HAL
open science

Conception et évaluation d'une base de données hypermédia en électricité - Révision du programme de la classe de seconde

Patrice Venturini

▶ **To cite this version:**

Patrice Venturini. Conception et évaluation d'une base de données hypermédia en électricité - Révision du programme de la classe de seconde. Education. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 1997. Français. NNT : . tel-00202428

HAL Id: tel-00202428

https://theses.hal.science/tel-00202428v1

Submitted on 6 Jan 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE

présentée à l'Université Paul Sabatier

en vue de l'obtention du Doctorat d'Université

spécialité : Didactique des disciplines scientifiques

Patrice VENTURINI

CONCEPTION ET EVALUATION D'UNE BASE DE DONNEES HYPERMEDIA EN ELECTRICITE

Révision du programme de la classe de seconde

Membres du jury :

Jean-Claude MARTIN, Professeur des Universités, Toulouse III, Président du Jury
Louis VIEL, Maître de Conférences, Toulouse III, Directeur de thèse
Georges-Louis BARON, Professeur des Universités, INRP Paris, Rapporteur
Jean-Jacques DUPIN, Professeur des Universités, IUFM Aix-Marseille, Rapporteur
Richard LEFEVRE, Professeur des Universités, Toulouse III
Jean BRAS, Professeur des Universités, IUFM Toulouse
Brigitte de LA PASSARDIERE, Maître de Conférences, Paris VI

Laboratoire d'Etude des Méthodes Modernes d'Enseignement
Université Paul Sabatier - 118 route de Narbonne - 31062 Toulouse Cedex

« - Qu’est-ce que signifie apprivoiser ?

- C’est une chose oubliée, dit le renard.
Ca signifie créer des liens. »

Antoine de Saint-Exupéry
Le Petit Prince

Remerciements

Une première recherche est quelque part une aventure... Il a été parfois rassurant, souvent nécessaire, toujours un plaisir, de ne pas m'y engager seul. Je tiens donc à remercier les personnes qui, à des degrés divers, ont accepté de m'accompagner.

- Jean-Claude Martin pour l'intérêt qu'il a manifesté à l'égard de mon travail, et pour avoir accepté de présider le jury;
- Louis Viel pour le soutien attentif et efficace qu'il a apporté à mon activité, pour les conseils qu'ils m'a prodigués, les indications qu'il m'a fournies, la confiance qu'il m'a témoignée en acceptant de diriger ma recherche ;
- Georges-louis Baron, qui a bien voulu analyser mon travail, pour les remarques constructives qu'il m'a adressées, pour les colloques sur les hypermédias qu'il a organisés avec Brigitte de La Passardière au cours desquels j'ai beaucoup appris;
- Jean-Jacques Dupin, pour avoir lui aussi consenti à analyser les résultats de ma recherche, pour ses commentaires, pour ses travaux que j'ai utilisés dans la conception de la base de données hypermédia;
- Richard Lefèvre, qui a largement contribué à ma formation en didactique et accepté de m'accueillir au sein de son équipe, pour les avis et les orientations qu'il m'a donnés ;
- Jean Bras, qui a contribué à ma formation de base lorsqu'il avait la responsabilité de la préparation au CAPES à l'Université Paul Sabatier, et qui a accepté de participer au jury;
- Brigitte de La Passardière pour les colloques qu'elle a organisés, pour ses encouragements lors de nos brèves rencontres et pour avoir accepté de participer au jury ;
- Mesdames Pagès et Raelisson, Monsieur Chalupzac, professeurs aux lycées des Arènes à Toulouse, qui ont bien voulu me confier leurs classes pour l'expérimentation, et ont exaucé à chaque fois, avec beaucoup de gentillesse et de compréhension, les souhaits que j'ai manifestés pour le déroulement du travail mené ;
- les élèves des trois classes de seconde avec lesquelles j'ai travaillé.

Sans eux, les quelques conclusions auxquelles j'ai abouti et les pistes qui se sont dessinées n'auraient jamais vu le jour.

Contenu des documents

Notre travail de recherche a porté sur la conception d'une base de données hypermédia destinée à l'enseignement de l'électrocinétique en classe de seconde et sur l'étude de son utilisation par les élèves. Le compte-rendu de ce travail figure dans trois documents

- Le cédérom[1], qui comporte la base de données que nous avons conçue.
- Le document principal, qui comporte plusieurs parties:
  - la partie I présente la problématique du travail mené et la méthodologie utilisée ;
  - la partie II récapitule l'ensemble des apports théoriques que nous avons utilisés ;
  - la partie III décrit la base de données hypermédias que nous avons conçue;
  - la partie IV propose l'analyse de l'ensemble des résultats expérimentaux liés à l'évaluation de l'utilisation de la base de données par les élèves;
  - la partie V rassemble les conclusions de l'étude et offre de nouvelles perspectives de recherche ;
  - la partie VI récapitule au sein d'une bibliographie les références des articles et ouvrages que nous avons utilisés pour travailler.
- Le document annexe, qui comporte aussi plusieurs parties:
  - la partie I résume la pré-expérimentation que nous avons menée;
  - la partie II rassemble les questionnaires que nous avons distribués aux élèves ;
  - la partie III fournit les résultats expérimentaux liés aux parcours des élèves au sein de la base de données;
  - la partie IV fournit les résultats expérimentaux obtenus à partir des questionnaires distribués aux élèves;
  - la partie V présente une analyse globale des résultats de la partie IV;
  - la partie VI fournit les résultats liés à l'appréciation des élèves sur la base de données.

[1] Nous utilisons dans ce document l'orthographe «cédérom» qui fait maintenant partie de manière officielle de la langue française en lieu et place de «CD-ROM».

Table des matières

TABLE DES MATIERES 5

PARTIE I - INTRODUCTION 11

1. Problématique 12
1.1. Contexte scolaire général 12
1.2. Contexte pédagogique en sciences physiques 13
1.3. Directions de travail 13
1.4. Apprendre, un acte complexe 14
1.4.1. Principaux courants de recherche 14
1.4.2. Mémoire, réseau associatif et apprentissage 17
1.4.3. Apprentissage et transformation des «conceptions» des apprenants 19
1.5. Enseigner et apprendre avec les technologies de l'information et de la communication 21
1.5.1. Un contexte critique 21
1.5.2. Modes d'utilisation de l'ordinateur 21
1.5.3. L'ordinateur «tuteur» 22
1.5.4. L'ordinateur «partenaire» 26
1.5.5. L'ordinateur «instrument de travail intellectuel» 27
1.5.6. Hypermédias 27
1.5.7. Autonomie de l'activité cognitive 29
1.5.8. Conclusion 30

2. Méthodologie générale 31
2.1. Méthodologie utilisée pour la conception du produit 31
2.1.1. Définition a priori de quelques grandes orientations 31
2.1.2. Prise en compte des travaux de recherche 32
2.1.3. Conception de la première version de la maquette de REV.E.S. 32
2.1.4. Test de la première version de la maquette 34
2.1.5. Construction de la deuxième version de la maquette du produit 34
2.2. Méthodologie adoptée pour évaluer l'utilisation de REV.E.S. par les élèves 34
2.2.1. Choix des pistes d'expérimentation 35
2.2.2. Définition de la stratégie utilisée 35
2.2.3. Mise au point des questionnaires d'évaluation des aspects cognitifs 36
2.2.4. Analyse des résultats obtenus 36
2.3. Formulation des conclusions 36
2.4. Caractéristiques de la méthodologie utilisée 36

PARTIE II - ASPECTS THÉORIQUES 38

1. Cadre institutionnel 39
1.1. Principes directeurs de l'enseignement de la physique au collège et au lycée 39
1.2. Programmes de seconde 40
1.2.1. Objectifs d'ensemble 40
1.2.2. Contenus 40
1.2.3. Commentaires 42
1.3. Les programmes de quatrième et troisième 42
1.3.1. Compétences exigibles en classe de quatrième 42
1.3.2. Compétences exigibles en classe de troisième 43
1.4. Capacités à évaluer en sciences physiques 44
1.4.1. Connaissances spécifiques aux sciences physiques 44

1.4.2. Connaissances et savoir-faire non spécifiques aux sciences physiques 44

2. Aspects didactiques 46

2.1. Les représentations 46
2.1.1. Le cadre général : la métaphore «du fluide en mouvement» 47
2.1.2. La représentation unifilaire 47
2.1.3. Les courants antagonistes 47
2.1.4. Circulation du courant et usure de la pile 47
2.1.5. Le raisonnement séquentiel 47
2.1.6. Cohabitation des représentations 48
2.1.7. Des raisonnements mononotionnels 48
2.1.8. La tension 48

2.2. Les analogies 49

2.3. Les schémas électriques 53
2.3.1. Situation dans les manuels 53
2.3.2. Décodage des schémas 54
2.3.3. Les schémas dans la résolution de problèmes 55
2.3.4. Conclusion 56

2.4. L'expérience dans l'enseignement 56
2.4.1. L'expérience dans l'apprentissage de savoirs scientifiques 57
2.4.2. L'expérience dans l'apprentissage de la démarche expérimentale 59

2.5. Les activités de simulation 59
2.5.1. Connaissance et simulation 60
2.5.2. La simulation du fonctionnement d'un appareillage 61
2.5.3. La simulation de phénomènes ou de processus 61

3. Hypermédias 64

3.1. Définitions 64
3.1.1. Approche technique 65
3.1.2. Approche fonctionnelle 65
3.1.3. Approche analytique 66

3.2. Usages des hypermédias 67

3.3. Questions soulevées par l'utilisation des hypermédias en situation d'apprentissage 67
3.3.1. Exploration d'une vaste base de données hypermédia 67
3.3.2. L'accès à une information spécifique 72
3.3.3. Construction d'une base de données 73
3.3.4. Personnalisation d'une base de données 75
3.3.5. Conclusion 75

3.4. Conception d'un produit : problèmes d'interfaçage 76
3.4.1. Les données 76
3.4.2. La structure de la base 76
3.4.3. Les indices de contexte et de progression 77
3.4.4. L'indexation des informations 77
3.4.5. La présentation des informations 78
3.4.6. La récupération dynamique du contrôle par le système 79
3.4.7. Le modèle de la tâche 79
3.4.8. Le modèle de l'usager 79

PARTIE III - DESCRIPTIF DU PRODUIT REV.E.S., REVISION DE L'ELECTRICITÉ DE SECONDE 80

1. Traitement hypermédia de l'information 81

1.1. Cadre général 81
1.1.1. Rappel des objectifs de conception 81
1.1.2. Modèle de la tâche 81
1.1.3. Modèle de l'usager 82

1.2. Structure et indexation des informations ... 82
1.2.1. Structure hiérarchique ... 82
1.2.2. Structure en réseau ... 86
1.2.3. Structure linéaire ... 93
1.2.4. Choix de la structure ... 96
1.3. Données ... 97
1.3.1. Blocs élémentaires d'information ... 97
1.3.2. Les scénarios ... 98
1.4. Indices de contextualisation ... 98
1.5. Repères de navigation ... 99
1.5.1. Savoir d'où l'on vient ... 99
1.5.2. Savoir où l'on est ... 101
1.5.3. Savoir où l'on va ... 101
1.6. La présentation des informations ... 102
1.7. Le contrôle de l'apprenant ... 102
1.7.1. Repérer la tâche ... 102
1.7.2. Repérer l'information ... 103
1.8. L'aide à la consultation ... 103
1.9. Les traces du travail des élèves ... 104
1.9.1. Les traces des parcours ... 104
1.9.2. Les traces des réponses aux tests ... 104
2. Prise en compte des programmes de seconde ... 105
2.1. Principes directeurs de l'enseignement de la physique ... 105
2.1.1. Ancrage de l'enseignement sur le quotidien ... 105
2.1.2. La dimension historique dans l'enseignement ... 106
2.2. Objectifs d'ensemble des programmes de seconde ... 109
2.2.1. Les lois de la physique ... 109
2.2.2. Savoir-faire méthodologiques généraux ... 110
2.2.3. Savoir-faire méthodologiques disciplinaires ... 115
2.3. Contenus des programmes de seconde ... 123
3. Traitement des aspects didactiques ... 124
3.1. Propriété de l'intensité dans un circuit série ... 124
3.1.1. Expérimentation simulée ... 124
3.1.2. Animation des électrons dans un circuit série ... 125
3.1.3. Questions relatives au positionnement d'un ampèremètre, et à l'éclat d'ampoules, dans un circuit série ... 126
3.1.4. Questions relatives aux indications de différents ampèremètres disposés dans un circuit série ... 127
3.2. Perception systémique des circuits électriques ... 128
3.2.1. Introduction d'un composant dans un circuit ... 128
3.2.2. Modification des valeurs d'un composant du circuit ... 129
3.3. Problèmes liés à la tension ... 131
3.3.1. Expérimentation simulée pour déterminer les valeurs particulières de la tension dans un circuit ... 131
3.3.2. Simulations expérimentales et questions relatives aux caractéristiques des sources de tension continue ... 133
3.3.3. Explicitation des caractéristiques des tensions variables ... 135
3.4. Lecture de schémas ... 136
3.5. Les analogies proposées ... 138
3.5.1. Analogie du «train » ... 139
3.5.2. Analogies hydrauliques ... 140
3.5.3. Analogie thermique ... 143
3.5.4. Conclusion ... 146
3.6. La simulation d'expériences ... 146
3.6.1. Le « récit » d'expérience ... 147

3.6.2. Simulation sur des expériences déjà construites 147
3.6.3. Simulation sur une expérience à construire 149
3.6.4. En conclusion 149
3.7. Cheminements au sein de la base de données 150

PARTIE IV- UTILISATION DE REV.E.S. : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE 151

1. Pré-expérimentation 152
1.1. Objectif 152
1.2. Résumé des conclusions 152
1.3. Exploitation des conclusions 153

2. Cadre général de l'expérimentation 154
2.1. Pistes d'expérimentation 154
2.1.1. Aspects cognitifs 154
2.1.2. Nature de l'information consultée 154
2.1.3. Mode d'accès à l'information 155
2.2. Les conditions de l'expérimentation 155
2.2.1. Les élèves, les classes 155
2.2.2. La procédure utilisée 156
2.2.3. Les «supports» de l'expérimentation 158
2.3. Traitement des informations obtenues 158
2.3.1. Le vocabulaire utilisé 159
2.3.2. Les variables utilisées pour l'analyse des parcours 160
2.3.3. Les variables utilisées pour l'analyse des résultats des deux séries de tests sur papier 163
2.3.4. Dépouillement des résultats 165

3. Etude des parcours 167
3.1. Analyse des durées de passage dans les différentes familles de pages 167
3.2. Analyse des pages parcourues 168
3.2.1. Analyse des taux caractérisant le nombre d'écrans parcourus par chaque élève 168
3.2.2. Analyse du pourcentage de pages vues dans REV.E.S. par chaque élève 170
3.2.3. Analyse des pages vues 170
3.2.4. Analyse des types de pages vues 173
3.2.5. Analyse des 15 premiers écrans consultés lors de la première session de travail 175
3.3. Analyse des modes d'accès à l'information 177
3.3.1. Analyse des taux caractérisant le modes d'accès à l'information lors de la totalité de la consultation 177
3.3.2. Comparaison des modes d'accès lors des 15 premiers et 15 derniers écrans parcourus 180
3.3.3. Analyse des stratégies utilisées pour accéder à l'information dans l'ensemble de la consultation 181

4. Analyse des réponses aux questionnaires 185
4.1. Propriété de l'intensité dans un circuit série 185
4.1.1. Questions, résultats bruts et première analyse 186
4.1.2. Valeurs des variables et répartition des effectifs 190
4.2. Valeurs particulières de la tension dans un circuit 191
4.2.1. Questions, résultats bruts et première analyse 191
4.2.2. Valeurs des variables et répartition de l'effectif 195
4.3. Lecture de schémas 196
4.3.1. Questions, résultats bruts et première analyse 197
4.3.2. Valeurs des variables et répartition de l'effectif 203
4.4. Analyse globale du fonctionnement d'un circuit 204
4.4.1. Questions, résultats bruts et première analyse 205
4.4.2. Valeurs des variables et répartition de l'effectif 210
4.5. Nature du courant 211

4.5.1. Les questions, résultats bruts et première analyse 212
4.5.2. Valeurs des variables et répartition de l'effectif 213
4.6. Lois de l'électrocinétique 214
4.6.1. Questions, résultats bruts et première analyse 215
4.6.2. Valeurs des variables et répartition de l'effectif 218
4.7. Propriétés des tensions variables 219
4.7.1. Questions, résultats bruts et première analyse 219
4.7.2. Valeurs des variables et répartition de l'effectif 222
4.8. L'amplificateur opérationnel 223
4.8.1. Questions, résultats bruts et première analyse 224
4.8.2. Valeur des variables et répartition des effectifs 227
5. Analyse du travail mené par les élèves sur l'ensemble des huit domaines étudiés 229
5.1. Analyse des variables utilisées 229
5.1.1. Niveau des élèves 229
5.1.2. Taux de Réponses exactes AVant passage sur machine (TRAV) 229
5.1.3. Taux de Réponses exactes APrès passage sur machine (TRAP) 231
5.1.4. Variation du Taux de Réponses exactes ΔTR après le passage sur machine 232
5.1.5. Taux de pages Vues dans REV.E.S 234
5.1.6. Taux de pages vues par types de page 235
5.2. Relation entre le niveau des élèves (Niveau) et le taux de réponses exactes avant passage sur machine (TRAV) 236
5.3. Relations entre le taux de pages vues (TPV) et la variation du taux de réponses exactes (ΔTR) 237
5.3.1. Valeur moyenne de ΔTR pour chaque classe d'élèves établie à partir des valeurs de TPV 237
5.3.2. Valeur moyenne de TPV pour chaque classe d'élèves établies à partir de ΔTR 238
5.3.3. Analyse des effectifs ayant progressé, stagné ou régressé dans deux classes d'élèves déterminées en fonction des valeurs de TPV 239
5.3.4. Valeurs moyennes du pourcentage de pages vues par un élève établies pour des classes d'élèves déterminées par $\overline{\Delta TR}$ 241
5.3.5. Valeurs moyennes de TPVC8D et TPVT8D pour deux classes d'élèves établies à partir de $\overline{\Delta TR}$ 242
5.3.6. Conclusion 242
5.4. Relation entre le niveau des élèves (Niveau) et le taux de pages vues (TPV) 243
5.4.1. Valeurs moyennes de TPV pour chacune des classes d'élèves établies à partir de leur niveau 243
5.4.2. Analyse des effectifs ayant TPV ≥ 0.5 dans deux classes d'élèves déterminées à partir de leur niveau 244
5.4.3. Conclusion 245
5.5. Relations entre le niveau des élèves (Niveau) et la variation du taux de réponses exactes (ΔTR) 245
5.5.1. Valeurs moyennes de ΔTR pour chacune des classes d'élèves établies à partir de leur niveau 245
5.5.2. Analyse des effectifs ayant progressé, stagné ou régressé dans deux classes d'élèves déterminées à partir de leur niveau 246
5.5.3. En conclusion 248
5.6. Analyse de l'adéquation entre les pages vues et les besoins révélés par les tests 248
5.6.1. Effectif ayant identifié ses besoins dans un domaine donné 249
5.6.2. Aptitude moyenne d'un élève à consulter l'ensemble des domaines qu'il doit réviser 250
5.6.3. En conclusion 251
6. Appréciations des élèves et des enseignants sur le produit 253
6.1. Appréciations des élèves 253
6.1.1. Accès à l'information 253
6.1.2. Présentation de l'information 254
6.1.3. Analyse des différentes parties 255
6.1.4. Appréciation d'ensemble 255
6.2. Quelques remarques des enseignantes des deux classes 256
6.2.1. Progression des élèves après utilisation de REV.E.S 256

6.2.2. Questions des tests «papier » 256
6.2.3. Représentation physique des phénomènes 257
6.2.4. Influence du niveau des élèves sur leurs résultats 257
6.2.5. Ouverture du produit 257
6.2.6. Part du texte 257
6.2.7. Conclusion 258

PARTIE V - CONCLUSION 259

1. Bilan du travail mené 260
1.1. Aspects didactiques 260
1.1.1. Difficultés des élèves 260
1.1.2. Situations variées et interactivité 261
1.1.3. Interprétation physique des phénomènes et analogies 261
1.2. Usage de REV.E.S 262
1.2.1. Aspects cognitifs 263
1.2.2. Nature de l'information consultée 264
1.2.3. Mode d'accès à l'information 266
1.3. Caractéristiques de REV.E.S 267
1.3.1. Individualisation et autonomie du travail 267
1.3.2. Navigation à l'initiative de l'élève 268
1.3.3. Architecture du produit 268
1.4. Méthodologie utilisée 270

2. Nouvelles perspectives de travail 272
2.1. Evolutions du produit REV.E.S 272
2.1.1. Mise en forme des informations 272
2.1.2. Organisation des informations 273
2.1.3. Contrôle de la navigation 274
2.1.4. Outils complémentaires 274
2.2. Pistes de recherche 275
2.3. Un travail à poursuivre 276

PARTIE VI - BIBLIOGRAPHIE 277

Partie I - Introduction

1. Problématique..... page 12

2. Méthodologie générale..... page 31

Nous allons tout d'abord décrire dans ce chapitre quelle a été notre problématique. Nous évoquerons ensuite quelle a été la méthodologie utilisée pour réaliser l'étude que nous avons menée (conception de la base de données et évaluation de son utilisation).

1. Problématique

Notre travail est étroitement lié aux contextes scolaire et pédagogique actuels dont nous allons décrire certaines caractéristiques. Puis, en fonction des conséquences qui en découlent, nous définirons les grandes lignes de la recherche menée.

Nous aborderons ensuite des éléments relatifs aux apprentissages, d'abord de manière générale, puis dans un second temps en relation avec l'utilisation des Technologies de l'Information et de la Communication, pour préciser le contexte global dans lequel s'insère la recherche menée. Les aspects théoriques spécifiques au travail réalisé sont eux proposés dans la partie II de ce document, qui rassemble les aspects institutionnels, didactiques et hypermédia.

1.1. Contexte scolaire général

Dans le souci légitime que l'enseignement contribue à élever le niveau global de la population, des efforts considérables sont déployés depuis quelques années pour amener le maximum d'une classe d'âge jusqu'au baccalauréat. Aussi les lycées accueillent maintenant un nombre plus important d'élèves avec une hétérogénéité et une diversité d'intérêts croissantes. Les enseignants sont obligés d'en tenir compte en proposant à leurs élèves des situations d'enseignement (ou de remédiation) de plus en plus individualisées, mais avec des populations scolaires importantes, ce qui semble parfois antinomique.

« Accueillir et promouvoir la diversité » est d'ailleurs une des exigences du Nouveau Contrat pour l'Ecole (MEN [1994]). On peut y lire en guise de commentaire : « L'égalité des chances suppose le respect des différences. Les problèmes des élèves, leurs demandes, leurs rythmes, leurs attentes, leurs besoins ne sont pas les mêmes. Le moule unique n'est donc pas la bonne réponse. C'est pourquoi les voies proposées, les réponses pédagogiques doivent être mieux adaptées et respectueuses de cette diversité. »

L'évolution technique de ces dernières années fait que les Nouvelles Technologies pour l'Enseignement apparaissent souvent comme une solution pour le «respect des différences », notamment avec l'avènement du multimédia. Le Nouveau Contrat pour l'Ecole mentionne par exemple la nécessité de mettre en place «la salle multimédia » dans chaque établissement pour offrir à tous les élèves, éventuellement à distance, l'ensemble des options d'enseignement disponibles. Les moyens consentis pour le développement de l'usage des N.T.E.[2]. dans le système éducatif n'ont d'ailleurs jamais été aussi importants, tant au niveau matériel qu'au niveau des formations mises en

[2] Nouvelles Technologies pour l'Education, ou encore Nouvelles Technologies Educatives. On a utilise aussi le sigle N.T.I.C. pour Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication, ou plus simplement T.I.C., pour Technologies de l'Information et de la Communication.

place pour les enseignants. Pourtant, les retombées réelles de tels investissements au niveau pédagogique restent encore souvent à démontrer.

1.2. Contexte pédagogique en sciences physiques

Nous avons déjà signalé (Venturini, [1993]), mais ce n'est un secret pour personne, que l'enseignement scientifique traverse actuellement une crise, dont l'impact est aggravé par l'importance des sciences dans notre société. Cette remarque était fondée sur une enquête de Boyer et Tiberghien [1989] portant sur l'enseignement des sciences physiques et la perception de ses finalités par les enseignants et les élèves. Il apparaît que son enseignement est celui qui suscite le désintérêt du plus grand nombre d'élèves (16 % d'élèves déclarent « ne pas s'intéresser du tout à cet enseignement », contre seulement 7 % pour les mathématiques et 3 % pour les lettres, alors que 30 % déclarent « s'y intéresser beaucoup » contre 38 % pour les mathématiques et 47 % pour l'éducation physique). Les auteurs affirment en conséquence que « les sciences physiques ne provoquent pas un fort intérêt par elles-mêmes, contrairement à d'autres disciplines », qu'elles « ne retiennent qu'une frange de scientifiques».

On peut toutefois noter que l'enseignement des sciences physiques évolue peu à peu tant au niveau des contenus (nouveaux programmes depuis 93) que des stratégies utilisées (souhait d'avoir un enseignement plus proche du concret et aussi plus expérimental, utilisation de l'ordinateur comme outil de laboratoire pour l'acquisition et le traitement des données notamment). Il n'en demeure pas moins que le contexte prête difficilement à l'innovation : classes trop chargées pour un enseignement expérimental significatif, programmes importants, prégnance des habitudes de travail des enseignants.

En même temps, si les travaux en didactique de la physique ont permis d'établir des éléments que l'on peut exploiter afin d'améliorer la qualité de l'enseignement, les difficultés de transfert des résultats de la recherche sont réels; les études montrent d'ailleurs selon Weil-Barais [1994], « une sous-utilisation par les enseignants des outils didactiques et parfois même une non-utilisation », notamment par manque de communication entre tous les acteurs concernés (enseignants de terrain, corps d'inspection, universitaires).

1.3. Directions de travail

La brève analyse que nous venons de mener montre la nécessaire évolution des pratiques d'une part vers l'individualisation de l'enseignement notamment à l'aide des outils N.T.E., d'autres part dans l'enseignement de la physique. Weil-Barais [1994] souligne qu'il semble important de « concevoir des contenus d'enseignement et des activités adaptés aux possibilités des élèves », que la question décisive notamment pour les « classes accueillant des élèves aux profils scolaires divers comme la classe de seconde » est celle de la « possibilité d'un enseignement différencié qui prenne en compte la diversité des ressources cognitives des élèves».

Aussi, dans ce contexte, il nous a paru utile d'examiner quel type de réponse pouvait apporter à ces nécessités, un produit multimédia centré sur des préoccupations didactiques.

Au moment où a commencé le travail de recherche, en 1993, il n'existait pas de produit multimédia centré sur l'enseignement de la physique réellement utilisable en classe de lycée. Nous avons donc été contraints d'en créer un de toutes pièces. Si cela a constitué un travail très lourd avec la nécessité de gérer aussi bien les problèmes didactiques que les problèmes informatiques et médiatiques, cela nous a permis de disposer pour l'étude d'un produit doté de spécificités choisies. Cette activité de conception d'un environnement d'apprentissage spécifique a donc constitué la première partie de notre travail.

Nous avons ensuite utilisé le produit réalisé pour évaluer l'usage que les élèves en ont fait. Cette évaluation de l'interaction entre un élève et le système matériel mis au point, qui a constitué la deuxième partie du notre travail, a porté à la fois sur le mode de « traitement » par l'élève de l'information proposée et sur l'évolution cognitive qui en résulte.

Nous allons maintenant préciser le contexte théorique général relatif aux apprentissages et aux nouvelles technologies dans lequel notre recherche se situe et qui la conditionne en partie.

1.4. Apprendre, un acte complexe ...

Nous résumerons tout d'abord les principaux courants de recherche. Nous exposerons ensuite deux aspects particuliers qui prolongent de manière différente ce tour d'horizon : les liens existants, selon certains cognitivistes, entre apprentissage et mémorisation et ceux qui existent, selon Giordan et De Vecchi, entre apprentissage et transformation des « conceptions ». On remarquera dés le titre que cette partie est centrée sur l'apprenant et la manière dont il apprend, suivant en cela, la tendance actuelle qui privilégie comme le souligne Astolfi (1996), «le processus apprendre » aux dépends «du processus enseigner ».

1.4.1. Principaux courants de recherche

Si tout le monde s'accorde à reconnaître qu'apprendre est une activité mentale permettant de transformer une information en connaissance, il n'en est plus de même quand on tente d'expliquer comment on apprend. Comme à chaque fois qu'une réalité est complexe, diverses théories tentent de l'approcher en découpant le champ d'investigation de différentes manières, permettant de diriger l'observation et de fournir des explications aux phénomènes observés. Pour les expliciter, nous avons emprunté à la synthèse rédigée par Cl. Delprat (1996) les citations de ce paragraphe.

On a d'abord considéré qu'apprendre est « le résultat de l'empreinte de celui qui sait dans la tête de celui qui ignore ». Le rôle du maître est alors de produire un

discours aussi clair que possible afin que l'élève puisse, en faisant attention, l'appréhender. En opposition à cette idée, les behavioristes (dont Skinner) se sont intéressés au comportement des apprenants. Selon eux, on peut déterminer en fin d'apprentissage des comportements observables et découper les contenus de manière à renforcer les comportements réussis. Ce modèle, qui a adopté le principe du conditionnement, est à la base de l'enseignement programmé et de la pédagogie par objectifs, sur laquelle nous reviendrons, notamment à propos des modèles utilisés par certains produits de formation.

Piaget proposera à partir de 1920 une des premières théories de la formation des connaissances, basée sur le développement des structures à partir de l'action des enfants sur des objets réels ou symboliques. L'élément de base en est le « schème » dont Delprat rapporte la définition proposée par Piaget. Il s'agit de « ce qui dans une action est transposable, généralisable ou différenciable d'une situation à la suivante, autrement dit ce qu'il y a de commun aux diverses répétitions ou applications de la même action ». Deux mécanismes vont permettre à l'enfant de s'adapter aux situations nouvelles et de progresser dans la connaissance : l'assimilation, qui est mise en jeu lorsque la situation est maîtrisée par des schèmes déjà construits, et l'accommodation, qui déclenche la transformation des schèmes existants pour s'adapter à une situation comportant des aspects originaux. A partir de ces deux invariants fonctionnels de la construction des connaissances, Piaget a déterminé un certains nombre de « stades de développement », qui sont actuellement contestés. Il n'en demeure pas moins que cette approche, basée sur l'interaction sujet-environnement et appelée « constructivisme » a été largement reprise par la suite, notamment dans tout ce qui concerne «la pédagogie active».

Un nouveau courant, celui des médiations humaines, vient compléter cette approche constructiviste. Pour les tenants de ce courant, si l'action de l'apprenant est toujours indispensable à l'apprentissage, l'intervention de quelqu'un qui l'accompagne dans ses tentatives d'action sur le monde qui l'entoure est tout aussi importante. « Il s'agit alors d'étudier quelle pourrait être la bonne « interaction » avec l'autre , porteur de valeurs et de connaissances d'un groupe ou d'une société à laquelle il appartient ». Les travaux de Bruner, et Vygotsky relèvent de ce courant des médiations humaines.

Selon Bruner, l'homme dispose, quel que soit son âge, de trois modes de représentation pour apprendre. Le mode « inactif » est le mode de l'action et de la manipulation. Le mode « iconique » permet de se représenter quelque chose sans l'avoir sous les yeux (on peut ici parler d'images mentales, résumés de l'action). Le mode « symbolique » permet la traduction dans une représentation abstraite par des codes. Si les trois modes se complètent, c'est le conflit entre deux modes de représentation qui va favoriser le développement cognitif. « L'adulte, par ses interventions, va permettre le passage de l'un à l'autre et aussi la prise de conscience de la démarche mentale ». Bruner souligne le rôle du langage « qui n'est pas seulement une manifestation de l'abstraction, mais aussi un médiateur pour y parvenir ». Dans le cadre de ses travaux sur cette interaction

de tutelle, Bruner a précisé certaines des conduites facilitatrices pour celui qui accompagne l'apprenant lorsqu'il est confronté à une situation problème(Hondé et Winnykamen [1992]) : « enrôlement dans la tâche, réduction des degrés de liberté, maintien et guidage de l'attention, signalisation des caractéristiques déterminantes de la tâche, contrôle de la frustration».

Vygotsky a également élaboré une théorie de l'apprentissage insistant fortement sur la composante sociale. Dans l'activité, la coopération sociale se réalise notamment grâce au langage qui est la matrice du développement de toutes les autres fonctions. Il fait l'hypothèse que chaque fonction psychique apparaît deux fois : la première fois comme activité de communication collective soutenue par l'adulte et le groupe social, la deuxième fois comme activité individuelle intérieure qui crée la pensée. Le rôle de l'enseignant est important puisque l'élève pourra faire seul demain ce qu'il fait aujourd'hui avec des adultes. La distance entre ce que l'enfant peut faire seul et ce qu'il peut faire avec un adulte est «la distance proximale de développement ». C'est la zone dans laquelle s'effectuent les apprentissages avec l'aide de l'adulte, qui réveillant les processus évolutifs de l'enfant, constitue le moteur du développement. «Les acquisitions dépendent à la fois du niveau déjà atteint et de l'apport d'une aide instrumentale juste nécessaire » (Houndé et Winnykamen [1992]).

Du courant socio-constructiviste proposé par les psychologues sociaux de l'éducation (comme Perret-Clermont ou Doise) qui focalisent leurs recherches sur les échanges liés à l'environnement social et culturel, nous retiendrons la notion de « conflit socio-cognitif » comme facteur d'apprentissage. Selon eux, l'échange de points de vue différents entre des personnes confrontées à un même problème est un facteur de progrès. Mais Giordan [1996] souligne ses limites dans l'appropriation des concepts (voir le paragraphe 1.4.3 page 19).

La psychologie cognitive s'est développée à partir des années 60 et tente de mettre en relation des recherches issues de champs différents (neurosciences, intelligence artificelle, linguistique...) pour rendre compte de comportements intelligents. Deux courants s'opposent pour décrire le fonctionnement mental

- le courant cognitiviste a soutenu « que l'on pouvait étudier les représentations mentales comme un suite d'opérations logiques. Fortement influencé par l'informatique et le développement de l'intelligence artificielle, il a pris le fonctionnement de l'ordinateur comme modèle ». Ses limites sont vite apparues ; nous y reviendrons au paragraphe 1.5.3.2 page 24.
- le courant connexionniste, issu des neurosciences, «étudie le fonctionnement mental comme celui de réseaux d'unité interconnectées dont l'activation plus ou moins forte, plus ou moins répétée déterminerait l'évolution permanente ». Ces recherches commencent à donner des résultats dans le domaine de la perception et de la mémoire.

1.4.2. Mémoire, réseau associatif et apprentissage

Nous ne citerons ici, dans le prolongement du paragraphe précédent sur le courant connexionniste, qu'un des modèles mis au point au cours des nombreux travaux sur la mémoire, qui rapproche d'une certaine manière mémorisation et apprentissage. Il ne constitue pas pour nous la référence unique en matière de construction et de mémorisation de connaissances, mais il nous paraît plus spécifiquement relié à notre recherche.

Nous nous intéressons ici à la mémorisation de connaissances déclaratives, par opposition aux connaissances procédurales, analogiques ou sensori-motrices. Les connaissances déclaratives concernent « les propositions, dont la structure est comparable à celle du langage naturel sans s'y identifier et les images dont la structure est comparable aux représentations issues de la perception » (Weil-Barais [1993]).

Les psychologues distinguent à leur propos deux types de mémoire, l'une assurant un stockage à court terme (par exemple mémoriser un numéro de téléphone le temps de le composer) et l'autre un stockage à long terme (retrouver ce même numéro de téléphone au moment opportun).

Pour ce qui concerne le stockage à court terme, « l'information est stockée provisoirement dans une mémoire sensorielle avant d'être identifiée et encodée ; le résultat de cette opération est transféré en mémoire de travail où il peut éventuellement faire l'objet d'une répétition mentale, qui lui assure une meilleure conservation » (Richard [1995]).

Pour ce qui concerne la mémoire à long terme, Lévy (1993) suppose que l'information « est enregistrée dans un seul et immense réseau associatif. Les éléments du réseau différeraient seulement dans leur contenu informationnel et dans la force et le nombre des associations qui les relient». Weil-Barais (1993) précise le modèle correspondant : « la mémoire est constituée d'un ensemble de processeurs élémentaires, interconnectés et en fonctionnant en parallèle. Ces unités sont reliées les unes aux autres par des connexions dont l'intensité est modifiable par apprentissage. La réponse de chaque unité à un moment donné est fonction de son état et de l'activation qu'elle reçoit par ses connexions des unités qui lui sont reliées. Les représentations sont donc des pattern d'activation du réseau. Le traitement résulte de l'évolution de la configuration des activations dans le temps en fonction des stimuli présentés et des réponses produites. La connaissance se trouve stockée dans les connexions qui relient les unités entre elles. » Dans ce modèle, « les représentations de l'environnement ne sont pas stockées à un endroit précis d'une mémoire mais elles sont au contraire distribuées sur toute la structure du système et activées avec celui-ci » (Houndé et Winnykamen [1992]).

Lorsque nous souhaitons retenir une information nouvelle, nous construisons une représentation de cette information grâce à une activité d'encodage. Au moment où cette représentation est construite, nous pouvons la retrouver immédiatement:

elle est dans un état d'activation intense au sein du système cognitif, dans notre zone d'attention ou très proche de celle-ci.

Mais l'ensemble de notre réseau cognitif ne peut être activé en même temps. La mémoire de travail, les processus de contrôle qui mobilisent l'attention consciente sont limités. Lorsque la représentation a été réalisée depuis très longtemps, l'activation devra se propager des éléments présents à notre attention vers les éléments à rechercher. Bien sûr, pour cela, la représentation à rechercher doit avoir « survécu » dans le réseau, et il doit exister au moins un chemin d'associations possibles menant à la représentation.

Selon les travaux d'Anderson, Baddely, Stillings analysés par Lévy (1993), une des meilleures façons de mémoriser une information est d'y ajouter, d'y associer des items, des images déjà acquis ou formés précédemment. C'est cette stratégie qui est appelée « élaboration ». Selon eux, l'adjonction à l'information cible d'éléments déjà connus et la mise en relation qui est faite à cette occasion, constituent de manière indissociable une façon de comprendre et de mémoriser : quand nous lisons un article, pour l'appréhender et en retenir l'essentiel, nous mettons en relation les informations lues avec des réflexions personnelles, ou avec des éléments extérieurs à l'article.

C'est la même idée que soutient Papert [1994] lorsqu'il écrit que «la part volontaire de l'apprentissage consiste à créer des connexions entre des entités mentales préexistantes ». L'efficacité de l'élaboration vient probablement du fait qu'elle permet « d'attacher l'information cible au reste du réseau par un grand nombre de liens » (Lévy [1993]). Ces liens constitueront autant de chemins associatifs possibles lorsque l'on cherchera à retrouver l'information. L'élaboration est de fait une stratégie qui permet donc de construire des chemins d'accès à la représentation à retenir dans le réseau associatif de la mémoire à long terme.

On peut citer différents facteurs influençant l'élaboration :

- La complexité et le nombre d'associations
  On retient d'autant mieux une information qu'elle est l'objet d'associations nombreuses et complexes.

- Les liens avec des « schémas »
  Les « schémas » sont des informations stabilisées par une longue expérience. On retient d'autant mieux une information qu'elle est reliée à un domaine de connaissance, à une situation qui nous est familière. La représentation de cette nouvelle information bénéficie alors du réseau de chemins associatifs menant au « schéma », fréquemment utilisés et facilement activables.

- La nature des liens
  Des liens de type « cause » ou « effet » favorisent plus la rétention que des liens de nature plus lâche n'impliquant aucune causalité.

– L'intensité des liens, le niveau de traitement
  Une information qui pour être trouvée ou interprétée a fait l'objet d'un traitement personnel important est mieux retenue.

– L'implication émotionnelle
  Une information impliquant émotionnellement le sujet (information personnelle par exemple) est mieux retenue.

La stratégie d'élaboration peut présenter deux inconvénients, dus au fonctionnement même de la mémoire humaine qui est loin de posséder les capacités d'un appareil idéal d'enregistrement et de restitution de l'information. Elle peut entraîner une confusion possible entre le message original et les élaborations associées. Il est aussi fréquent de voir transformer une information, un fait pour que celui-ci cadre avec un « schéma » préétabli, notamment quand on utilise un de ces schémas pour interpréter ce fait ou cette information.

1.4.3. Apprentissage et transformation des « conceptions » des apprenants

Très tôt, l'enfant doit agir sur le monde qui l'entoure, ce qui l'amène à construire des « connaissances », fussent-elles très frustres. Au fur et à mesure que l'enfant grandit, son champ d'action s'étend et ses connaissances se structurent en fonction des situations qu'il rencontre, avec une cohérence suffisante pour lui permettre une action relativement sûre et efficace sur son environnement, ou sur les problèmes qu'il a à résoudre. « Cette efficacité confère à ces structures une réelle solidité, même si elles sont très éloignées, ou même contradictoires de celles du physicien » (Dupin et Johsua [1988]).

Ces connaissances structurées sont dénommées «représentations » par les auteurs. Giordan et De Vecchi [1990] leur préfèrent cependant le terme de « conceptions » pour désigner « cet ensemble d'idées coordonnées et d'images cohérentes, explicatives, utilisées par les apprenants pour raisonner face à des situations-problème ». Ce terme met davantage l'accent selon eux sur «la structure mentale sous-jacente responsable de manifestations contextuelles ». La conception est selon Giordan (1996) « sa grille de lecture d'interprétation et de prévision de la réalité, et sa prison intellectuelle».

Dans le même article, il résume la manière, selon lui, d'utiliser les conceptions pour qu'elles constituent un « tremplin pour l'apprentissage ». L'enseignant doit « faire avec elles pour aller contre », selon le « modèle allostérique » qu'il a développé, constitué par un ensemble de micro-modèles portant à la fois sur l'apprentissage et sur les conditions qui le favorisent.

Il s'agit d'abord de permettre l'expression des conceptions, pour créer en quelque sorte un « conflit socio-cognitif ». Mais il ne faut pas en rester là. En effet, même si ce conflit est complété par des investigations structurantes, cette approche montre rapidement ses limites pour l'appropriation de concepts ou l'acquisition

de méthodes. « Apprendre n'est pas enrichir ses conceptions », pas plus qu'il ne s'agit de les détruire. Une conception résiste à des argumentations très élaborées parce qu'elle est en relation avec une structure cohérente plus vaste, la pensée de l'apprenant. Il s'agit donc de « déconstruire le savoir initial » pour le reconstruire différemment, tout comme certaines protéines (allostériques) ont la propriété de modifier leur structure et leur fonction pour répondre aux modifications de l'environnement. Le cadre de questionnement de l'apprenant doit être reformulé, sa grille de référence revue, ce qui n'est ni facile ni immédiat, les phases de conflits et d'interférences étant nombreuses au cours de ces opérations.

« Tout apprentissage réussi est un changement de conceptions. Le modèle allostérique montre que toute appropriation procède d'une activité d'élaboration de l'apprenant confrontant les informations nouvelles et ses connaissances mobilisées, et produisant de nouvelles significations plus aptes à répondre aux interrogations qu'il se pose ». Pour cela, l'apprenant doit se trouver confronté à un ensemble d'éléments convergents et redondants contredisant la conception initiale. Il doit relier différemment les informations engrangées pour constituer un nouveau réseau conceptuel, en exerçant un contrôle sur son activité et sur les processus qui la régissent. Il doit aussi y trouver intérêt car c'est un processus désagréable qui peut être perçu comme une menace, car déstructurant un équilibre acquis.

Le rôle de l'enseignant n'est pas dans le discours ou dans les démonstrations a priori, mais dans une interaction avec les stratégies de l'apprenant. Il doit « introduire une ou plusieurs dissonances qui perturbent le réseau cognitif que constituent les conceptions mobilisées ». Il doit confronter l'apprenant « à un certain nombre d'éléments significatifs (documentation, expérimentation, argumentation...) et à un certain nombre de formalismes restreints (symbolismes, graphes, schémas ou modèles) pouvant être intégrés à sa démarche ». A chaque étape, il s'agit pour l'enseignant de décoder les contraintes, de prévoir les activités ou les interventions favorisant l'apprentissage, de fournir des repères, des aides à la conceptualisation. L'enseignant apparaît ici comme un régulateur de l'acte d'apprendre.

Cette vision de l'apprentissage dépasse le constructivisme piagétien, notamment au travers des conditions à mettre en place pour favoriser ces apprentissages. Ici, même si seul l'apprenant apprend, il ne peut apprendre seul, l'interaction mise en place par l'enseignant étant fondamentale. On retrouve là, d'une certaine manière bien spécifique, le courant des médiations humaines évoqué précédemment.

1.5. Enseigner et apprendre avec les technologies de l'information et de la communication

Cette partie est fondée sur les travaux de Linard [1996], sur ceux de Baron et Bruillard [1996] et à un degré moindre, pour la partie «hypermédias», sur les travaux d'Agostinelli [1996].

1.5.1. Un contexte critique

Belisle et Linard [1996] attribuent à la conjonction de trois points le caractère critique du contexte actuel en matière d'utilisation des Technologies de l'Information et de la Communication (T.I.C.) dans la formation.

Le premier est relatif à la massification de la demande. Les besoins en formation initiale ou continue ne cessent en effet de croître et de se diversifier. Aussi, le recours aux T.I.C. est de plus en plus fréquent pour former de manière opératoire, flexible, rapide, sur mesure et souvent à distance.

Le deuxième point concerne la complexité fonctionnelle des T.I.C., qui elle aussi ne cesse de croître. En même temps, l'extension rapide de la médiatisation[3] des formations par les T.I.C. à des publics non spécialisés rend plus sensible «la rupture entre les dimensions cognitives, sociales et technologiques de la connaissance». Ces publics offrent des résistances variées que l'évolution actuelle vers des processus impliquant communication à distance et collaboration interactive aux travers des réseaux vont probablement renforcer.

Le dernier point est, selon les auteurs, l'absence de modèles adéquats d'apprentissage pour régir les productions et les recherches en formation médiatisée. Pour expliciter cet argument, nous allons préciser les différents modes d'utilisation de l'ordinateur ayant (ou ayant eu) cours dans l'enseignement, en les rattachant aux conceptions de l'apprentissage ou de l'enseignement auxquelles ils sont liés.

1.5.2. Modes d'utilisation de l'ordinateur

En excluant les utilisations de l'ordinateur liées à l'apprentissage de l'informatique, qui, comme toute discipline a sa didactique propre, mais qui ne constitue pas notre propos ici, on peut distinguer (Linard [1996]) deux grandes façons d'utiliser l'ordinateur dans l'enseignement

– « l'ordinateur tuteur », dans laquelle la machine se substitue plus ou moins partiellement à l'enseignant; ce courant a généré divers produits qui se sont succédés au cours du temps, des produits d'enseignement programmé aux

[3] « La médiation est un terme réservé à une intervention humaine exercée en vu d'aider un ou des partenaires à négocier et résoudre une difficulté ou un conflit de relations. Elle s'exerce entre des partenaires de même nature. La médiatisation est le terme réservé à l'opération technique de transcription d'un message en un autre mode d'expression que celui d'origine. Elle s'exerce entre partenaires de nature radicalement différente: l'humain et l'outil matériel» (Linard (1994]).

tuteurs intelligents en passant par les produit d'enseignement assisté par ordinateur.

– « l'ordinateur partenaire » dans laquelle la machine est un outil d'exploration de « micromondes » et de structuration personnelle, dans le cadre d'une pédagogie de la découverte où l'initiative et l'activité de l'apprenant sont prépondérantes.

Baron et Bruillard [1996] rajoutent une troisième composante à cette classification, la machine étant cette fois-ci utilisée comme « outil s'intégrant dans des tâches éducatives, comme un instrument de travail intellectuel et de production ».

Nous allons maintenant détailler et analyser chacune d'entre elles.

1.5.3. L'ordinateur « tuteur »

1.5.3.1. De l'enseignement programmé à l'EIAO

L'enseignement programmé s'est développé dans les années 1960 en se fondant sur la cybernétique (à laquelle il a emprunté le contrôle et la rétroaction pour guider l'automatisation de l'action) et la psychologie comportementale dont Skinner fut un des acteurs prédominants. Selon ce dernier cité par Baron et Bruillard, l'efficacité de l'apprentissage relève «de la participation active du sujet, de séquences courtes, d'une progression graduée suivant le rythme de l'élève, de la vérification immédiate, d'une réponse juste à la question posée ». Les programmes conçus à l'époque l'ont été selon un modèle linéaire se déroulant en une seule séquence, ou selon un modèle à branchements (modèle de Crowder), dans lequel l'apprenant parcourt un graphe de situations, la transition d'une situation à l'autre étant provoquée par les réponses précédemment effectuées. Ce modèle ramifié qui essaie de prévoir la majorité des réponses et erreurs possibles de l'apprenant est d'ailleurs à la base d'un grand nombre de produits éducatifs encore aujourd'hui sur le marché.

Linard [1996] note que plusieurs principes de l'enseignement programmé demeurent et ont contribué de manière positive à une évolution de l'enseignement en général. Il s'agit notamment

– « de l'individualisation du rythme d'apprentissage;
– de l'importance de l'analyse préalable en terme d'objectifs comportementaux explicites des contenus et buts pédagogiques poursuivis ;
– du recours, contre le principe de sanction par l'échec, au renforcement positif et aux dispositifs induisant le maximum de chances de réussite pour l'élève ;

– du déplacement remarquable de responsabilité qui pose que l'erreur chez l'apprenant est autant un défaut du programme (et du maître et du programmeur) que celui d'un défaut de l'élève.»

Mais, dans l'annexe de son livre, elle précise la limite de ce type de produit qui touche plus à la « présentation des contenus qu'à l'activité de l'apprenant ». Elle ajoute en citant O'Shea et Self, que ces produits s'intéressent « plus à l'efficacité de l'instruction qu'à la qualité de l'apprentissage, considérant ce dernier plutôt comme l'acquisition de savoirs que comme une expérience vécue et ignorant délibérément ses dimensions affectives et intellectuelles ». Elle poursuit, toujours en reprenant les mêmes références, en affirmant l'enseignement programmé incite plutôt l'étudiant « à faire ce qu'on lui dit de faire qu'à donner son interprétation personnelle », et regrette en fait « la disparition du sujet apprenant ».

L'enseignement programmé a fourni l'occasion de réfléchir sur la programmation de l'enseignement, et ainsi de passer «d'une conception psychologique à une conception didactique » (Baron et Bruillard citant d'Hainaut). En liaison plus étroite avec une discipline, la sélection et la formulation des objectifs à atteindre, le choix des méthodes et des moyens appropriés, la définition du dispositif d'évaluation en prenant une importance accrue, ont permis de dépasser le cadre purement technique de l'enseignement programmé au profit de l'enseignement assisté par ordinateur (EAO).

Pour palier une modélisation de l'élève trop élémentaire dans les produits d'EAO, on s'est alors tourné vers les solutions techniques susceptibles d'être fournies par l'intelligence artificielle, en relation avec le modèle cognitiviste de l'apprentissage. « On cherche à passer du traitement de l'information et de la structuration d'un cours à la représentation et au traitement des connaissances » (Baron et Bruillard), tendance qui donne naissance dans les années 70 à l'enseignement intelligemment assisté par ordinateur (EIAO).

« L'EIAO a d'abord pour objectif de construire un tuteur intelligent qui « sait » ce qu'il enseigne » (op. cit.), qui est capable de dialoguer avec l'apprenant pour lui apporter des explications ou répondre à ses questions. Pour cela, le programme doit pouvoir résoudre les problèmes qui lui sont posés ou qu'il génère lui-même. C'est donc dans le domaine des tutoriels de dialogue interactif et des programmes de résolution de problèmes que les recherches ont d'abord porté leurs efforts. Elles supposaient qu'il serait possible de créer « des méthodes logiques générales de représentation et de traitement automatique des connaissances sur la base de modèles mathématiques et informationnels relativement simples », ce qui s'est avéré impossible parce que les « connaissances humaines sont autant empiriques et pragmatiques que logiques» (Linard [1996]).

Les travaux sur les tuteurs intelligents ont été étendus au début des années 80 par les apports des systèmes experts. Ils supposent qu'il est possible, si l'on a un bon modèle du domaine à enseigner et de l'apprenant, de suivre étape par étape l'élève qui apprend : le système peut repérer ses difficultés, et lui proposer à chaque fois des situations adaptées... Mais les difficultés sont grandes, notamment pour ce qui concerne la formalisation d'un modèle de l'élève. En citant Devrillon, Linard (op. cit.) précise que ces difficultés sont liées « non pas à la représentation de l'espace-tâche en soi, mais à l'existence corrélative de l'espace-problème, privé des représentations mentales où chacun construit ses modèles avec ses propres moyens, en relation avec la situation, la nature de la tâche et de l'espace-solution à atteindre ». Et elle ajoute pour terminer que « les sciences humaines ne cessent d'apporter des preuves convergentes de la multiplicité des sources de différenciation interindividuelle, que ce soit au plan cognitif, psycho-affectif ou social ».

Avec la mise en avant par les systèmes de tuteurs intelligents de l'apprenant et de la stratégie qu'il utilise, la recherche élargit maintenant son intérêt vers les environnements interactifs d'apprentissage par ordinateur dont le sigle est également EIAO. Cette terminologie «renvoie à une vision constructiviste de l'apprentissage, selon laquelle l'apprenant construit ses connaissances en interagissant avec un milieu (au sens didactique du terme) ou environnement » (Baron et Bruillard, citant M. Baron). Dillenbourg [1994] souligne à cet égard l'évolution du concept de connaissance d'abord considérée comme « une substance mentale dotée de propriétés presque matérielles ... qui permettent de la représenter, de la manipuler et de la communiquer » et maintenant davantage considérée de manière dynamique comme « une capacité à interagir » avec le milieu physique et social dans lequel ces connaissances sont mises en œuvre.

1.5.3.2.Des modèles inadaptés car trop rationnels

L'essentiel des productions a donc été régi jusqu'à présent plus ou moins implicitement par deux modèles que Belisle et Linard [1996] synthétisent et analysent :

- « le modèle comportementaliste de l'apprentissage, héritier de la psychologie du conditionnement des années trente. Ce modèle tend à assimiler l'acquisition des connaissances à un apprentissage défini exclusivement en termes d'objectifs et de conduites observables. Les critères d'évaluation sont déduits d'une analyse opérationnelle des tâches, qui fait l'impasse sur les intentions, les motivations et les situations des acteurs qui les mettent en œuvre» ;
- « le modèle cognitiviste qui assimile la connaissance et le raisonnement humain au calcul logique de l'ordinateur. Ce modèle a séparé radicalement la connaissance de ses bases biopsychiques et sociales en le

réduisant à son aspect de traitement rationnel de représentations symboliques abstraites. Il est tout aussi éloigné de la réalité des acteurs humains que le modèle précédent».

Selon Linard [1994], on ne peut en effet réduire la connaissance à son seul aspect logique et abstrait, dépourvu de ses autres composantes humaines. Après un long exposé, elle conclut : «la connaissance est un processus-produit dynamique incarné dans un sujet qui se construit progressivement en même temps qu'il construit son monde (de sujets et d'objets) au cours d'interactions significatives et motivées avec son environnement. La rationalité logique abstraite représente une évolution cruciale mais seconde et dérivée par rapport à l'expérience sensori-motrice et socio-affective première. » On retrouve ici Piaget, Vygotsky et Bruner, et même Freud... Les apprenants ne sont plus ici seulement des opérateurs rationnels, des calculateurs parfaits. Il sont des acteurs vivants recherchant des compromis acceptables en mettant en jeu des fonctions cognitives et socio-cognitives.

« Seule une pédagogie à rationalité limitée peut faire face à une telle complexité. Cette pédagogie ayant renoncé à tout maîtriser par avance, se donne par contre les moyens d'adaptation et de régulation nécessaires pour une conduite négociée entre partenaires des buts et des méthodes par rapport aux contenus et aux situations » (op. cit.). L'analyse des contenus et des objectifs de la tâche qui servait de base à la médiatisation des apprentissages reste indispensable pour l'orientation des opérations mais n'est plus dédiée à leur déroulement préprogrammé.

En s'appuyant sur les analyses de Laurillard, Linard (op. cit.) propose un nouveau cadre théorique commun aux formations médiatisées, présentielles ou à distance, celui de «l'apprentissage considéré comme activité humaine pilotée par la médiation d'un dialogue ». Le dialogue est en effet un des moyens les plus efficaces pour élucider les incompréhensions ou négocier des régulations entre partenaires. Ce modèle «conversationnel » fournit seulement des recommandations. Conçu comme une interaction réciproque et continue entre enseignant et apprenant, le dialogue doit révéler les conceptions des deux partenaires et être mené de manière à traiter tous les aspects du processus d'apprentissage. «Le dialogue doit aussi analyser les relations entre la conception de l'étudiant et celle contenue dans l'objectif afin de déterminer le prochain point de centration dans la poursuite du dialogue ». Cette dernière recommandation n'est pas sans rappeler un des rôles dévolus à l'enseignant, selon Giordan, dans la transformation des conceptions (chapitre 1.4.3 page 19), tout comme le cadre théorique proposé est à mettre en relation (Belisle et Linard [1996]) avec le courant des médiations humaines (paragraphe 1.4.1 page 14).

1.5.4. L'ordinateur « partenaire »

Dans les années 70, en rupture avec l'EAO et en relation avec les théories de Piaget, Papert a créé un environnement ouvert, un «micromonde » de nature géométrique et logique, sur lequel l'apprenant peut, à sa guise, émettre des hypothèses et explorer leurs conséquences, contrôlant ainsi lui-même son activité. Le langage Logo a été développé pour permettre la communication de l'apprenant avec l'ordinateur et autoriser une interaction réelle avec le micromonde implanté en machine. Il ne s'agit plus de programmer le comportement de l'apprenant mais de lui fournir «un outil pour qu'il puisse penser avec » (Papert [1981]).

La compréhension et l'utilisation de concepts généraux comme la notion de variable, de procédure, de fonction ..., une pratique de la décomposition des problèmes, de la planification des tâches, de l'analyse des erreurs, le recours à des métaphores anthropomorphiques sont parmi les éléments caractéristiques de Logo mis en avant par les concepteurs.

Linard [1996] attribue à deux raisons l'échec de Logo.

- Au titre de technologie parmi d'autres, «il partage leur (triste) sort, général en éducation ». D'un point de vue strictement cognitif, Logo n'a pas donné les résultats espérés. L'aspect limité des acquisitions cognitives, le peu de transferts observés dans la résolution de types de problèmes analogues, la persistance de différences cognitives individuelles lors du travail avec Logo, entre autres, amènent à douter que ce langage soit suffisant à «motiver et instrumenter une démarche spontanée d'expression personnelle et d'auto-apprentisage ». D'un point de vue plus général, aucun des grands projets nationaux d'informatique pédagogique n'a pu se développer comme prévu ni même survivre ; Logo, selon Linard, s'inscrit dans «cette longue suite de mésaventures », dont elle détaille les raisons à la fois techniques, économiques et psycho-socio-institutionnelles.
- Au titre de technologie particulière, il est fondé sur un principe d'auto-référence cognitive qui détermine ses avantages que nous avons signalés pour certains, mais aussi ses limites. Baron et Bruillard évoquent ainsi «la nécessité d'un guidage approprié par les enseignants et la nécessité d'une médiation entre les activités menées avec Logo et les autres activités scolaires, ... l'aspect facilitateur de l'interaction sociale ». Linard insiste fortement sur cet aspect en affirmant que « la seule médiatisation technique ne suffit pas à assurer l'apprentissage cognitif », l'idée contraire relevant du « mythe de l'auto-génèse cognitive, souvent suscitée par les miroirs intellectuels interactifs que nous tendent les technologies nouvelles .... Le reflet des miroirs n'est que le premier pas de la réflexion qui dédouble l'objet et le met à distance par une re-présentation. Tout le travail d'intériorisation, d'intégration et de délibération de la pensée reste à faire », pour lequel une médiation humaine est nécessaire.

Cette approche s'affranchit des problèmes évoqués à propos de l'usage de l'ordinateur comme tuteur, en confiant à l'apprenant la plupart des fonctions difficiles à modéliser qui concourent à l'appropriation des connaissances. Elle n'en est pas moins exigeante, notamment vis à vis des maîtres, qui doivent faire preuve de fortes compétences non seulement disciplinaires et pédagogiques, mais aussi psychologiques et sociales pour fournir, par une médiation appropriée, une orientation et un soutien aux apprenants.

1.5.5. L'ordinateur « instrument de travail intellectuel »

Depuis une dizaine d'années, l'utilisation d'environnements ouverts servant d'outils pour un travail intellectuel dans diverses disciplines s'est largement développée. Certains ont été adaptés spécifiquement à l'enseignement, comme les outils d'Expérimentation Assistée par Ordinateur, alors que les logiciels de bureautique par exemple, conçus pour le monde du travail, ont été repris tels quels. D'autres, apparus récemment comme les hypertextes et hypermédias, font pour l'instant l'objet de recherches.

Ces systèmes « jouent un rôle d'auxiliaire pour la pensée et pour l'action, permettant une gestion du complexe au prix de l'accès à des niveaux intermédiaires d'abstraction, favorisant des passages réciproques entre le concret et l'abstrait via des représentations sur écran » (Baron et Bruillard [1996]). Ces mêmes auteurs font aussi remarquer que ces outils remplacent des systèmes existants dont ils étoffent les potentialités, sans remettre en cause les procédures classiques de travail.

La question de l'intérêt de ces systèmes pour l'enseignement est bien sûr posée. Pour ce qui nous concerne, nous nous intéresserons spécifiquement aux hypermédias, qui constituent un des éléments avec lesquels nous avons travaillé.

1.5.6. Hypermédias

Nous ferons ici une présentation très générale en relation avec les aspects cognitifs. Nous la poursuivrons de manière plus approfondie au chapitre 3 de la partie II de ce document, consacrée aux aspects théoriques servant de base à notre travail.

1.5.6.1. Hypermédias et connaissances

Les hypermédias[4] sont « un ensemble d'informations ou de connaissances, constitué d'objets appartenant à plusieurs types de médias, en interaction dynamique organisés en fonction d'un but. ... C'est donc un système complexe pouvant être lu, écouté, vu suivant de multiples parcours d'exploration permettant à chaque utilisateur de se construire une représentation personnelle de l'objet qui l'intéresse» (Agostinelli [1996]).

[4] On pourra consulter le paragraphe3.1 page 64 pour plus d'informations.

Dans le même sens et de manière plus synthétique, Baron et Bruillard [1996] caractérisent « l'approche » hypermédia par « une certaine façon d'organiser l'espace des informations en fonction de la tâche, ..., par la conception distribuée de la connaissance et par l'apport d'outil de structuration dynamique et a posteriori de masses de données».

L'intérêt de tels produits se situe dans «les diverses formes de représentation qu'ils donnent et d'actions qu'ils peuvent susciter » (Agostinelli). Après l'analyse didactique d'un domaine conceptuel, on peut ainsi dégager différentes parties et les présenter à partir «d'écrans » reliés en fonction des relations existant au sein de ce domaine. Suivant l'entrée choisie et le parcours effectué, les représentations de ce domaine conceptuel sont différentes. La mise en relation de ces outils avec la construction des connaissances se fait « à partir des liens conceptuels qu'ils sont capables de (re)construire mentalement et sur lesquels ils travaillent » (op. cit.), en fonction des actions effectuées au sein de l'hypermédia.

Il ne s'agit plus ici de simuler l'intelligence humaine. Les hypermédias se contentent de l'assister, « en la suivant au plus près dans ses diverses fonctions conceptuelles de tri, organisation, mémorisation, comparaison, validation, correction et recomposition d'informations» (Linard [1996]).

1.5.6.2.Interactivité et interaction, navigation topologique et sémantique

L'interactivité est une question de technique : elle permet à l'utilisateur une action sur sa machine en mode dialogué. L'interaction se situe par contre au niveau du sens : elle a lieu entre l'hypermédia et l'apprenant, qui au regard de ce qu'il perçoit de l'hypermédia en agissant dessus (structure, type et forme de l'information), adapte sa construction mentale. L'interaction a lieu entre deux systèmes cognitifs et est facilitée par l'interactivité de l'environnement (cet aspect est développé au paragraphe 3.3.1.2 page 69).

L'interfaçage entre l'apprenant et l'hypermédia relève de deux niveaux : un niveau topologique organisant l'environnement perceptuel (présentation et liens physiques entre les écrans) et un niveau sémantique, lié à l'analyse de l'organisation des connaissances du domaine (présentation et organisation de situations à un moment de la tâche). Pour développer une interaction, la navigation n'est pas déterminée par la structure physique du produit mais conditionnée par le sens que donne l'utilisateur à ce qu'il fait. On accède aux bases de données hypermédia « de manière logico-déductive, mais aussi associative, intuitive et multimodale» (op. cit.).

On fait donc l'hypothèse que « la présentation des informations joue un rôle prépondérant dans la structuration des connaissances et que les élèves vont accroître leur réflexion sur les activités qu'ils sont en train de mener » (Agostinelli [1996]). Pour le concepteur, le problème est d'organiser des passerelles entre la navigation d'une situation à l'autre et les concepts correspondants alors que pour l'usager, le problème est de traduire des

informations spatialement et temporellement représentées (écrans, situations...) en concepts.

1.5.6.3. Conditions d'utilisation

Peu d'hypermédias prennent en compte les conditions dans lesquelles le dialogue, les échanges s'effectuent entre la machine et l'utilisateur. Le déroulement d'une activité est différent suivant que l'utilisateur réfléchit individuellement ou en groupe. Ainsi, l'utilisation collective peut s'envisager à plusieurs sur la même machine, ou seul sur une machine reliée en réseau avec d'autres utilisateurs. Le statut de l'ordinateur peut être très variable : médium entre utilisateurs, moyen facilitant une activité collective, modalité de travail pour des usagers seuls ou en couple, en interaction avec la machine... Il est donc important de se préoccuper «du nombre d'individus qui discutent et orientent leur recherche, face au doigt qui clique sur la souris» (op. cit.).

Au-delà du nombre d'apprenants concernés par l'utilisation d'un produit hypermédia, il faut aussi s'interroger sur le mode d'intégration de ce produit au contexte général de formation : à quel moment est-il utilisé ? Après quelles activités ? Avec quel environnement complémentaire ?

1.5.6.4. Approche didactique

En reconnaissant l'importance de l'interaction homme-machine lors de l'utilisation d'un hypermédia, en souhaitant la développer et la rendre optimale, il est nécessaire de s'intéresser particulièrement aux savoirs constitutifs d'une discipline, à leur transmission et à leur structuration : quelle(s) situation(s) mettre en jeu pour constituer une connaissance donnée, comment les articuler, quelle(s) tâche(s) proposer aux apprenants, quels obstacles sont prévisibles, comment aider l'apprenant à les surmonter, à quel moment intervenir et comment... Toujours pour développer cette interaction, il est aussi nécessaire de proposer des outils cognitifs facilitant la réflexion des apprenants sur leur activité afin de leur permettre de mieux la contrôler. Un questionnement de nature didactique est incontournable si l'on veut que l'hypermédia joue un rôle significatif auprès de l'apprenant.

1.5.7. Autonomie de l'activité cognitive

Pour terminer cette approche très générale, nous évoquerons, parce qu'elles concernent le travail que nous avons mené, les difficultés liées à l'autonomie des apprenants, fréquentes lors de l'utilisation des T.I.C. en formation par des novices.

Les problèmes liés à la tâche elle-même, notamment lorsqu'elle exige des compétences métacognitives, sont aggravés dans un environnement T.I.C. par l'interférence d'outils nouveaux. Ceux-ci perturbent les nombreuses opérations

élémentaires acquises et transformées en routines sur lesquelles il faut au début se mettre à raisonner (par exemple passage d'une prise de notes à la main à une prise de note sur machine). « Les régressions pratiques, cognitives et socio-affectives sont possibles chez des novices avec par exemple détérioration de stratégies, oubli de métacompétences d'autocontrôle et de pilotage critique acquis précédemment » (Belisle et Linard [1996]). La phase de déstructuration et de restructuration de l'action cognitive doit être l'objet d'une attention toute particulière, et à tous les niveaux (conception, accompagnement...).

1.5.8. Conclusion

Nous avons souligné tout au long de ces deux parties sur les apprentissages avec ou sans T.I.C., l'importance de la médiation et de l'interaction. Nous avons distingué médiatisation et médiation, interactivité et interaction. Nous aurions pu prolonger le parallèle en opposant action et opération, tant c'est bien le deuxième versant de l'opposition qui concerne l'homme et ses apprentissages. Sans médiatisation, interactivité, action, il n'y a pas de produit de formation, mais sans médiation, interaction, opération, il n'y a pas de formation et donc d'apprentissage. Cette analyse doit sous-tendre toute conception, sans quoi, tout au plus, aura-t-on réussi, comme le fait remarquer Jacquinot [1996] à propos des produits de formation à distance, réussi « à apprivoiser la distance » - pour nous la technique - sans toutefois « supprimer l'absence ».

2. Méthodologie générale

Nous allons décrire de manière successive les méthodologies utilisées respectivement pour concevoir le produit puis évaluer son utilisation, conception et évaluation étant en relation étroite.

2.1. Méthodologie utilisée pour la conception du produit

2.1.1. Définition a priori de quelques grandes orientations

Ayant la nécessite de concevoir le produit sur lequel nous allions travailler, nous avons décidé a priori de lui donner certaines orientations que nous précisons ci-dessous.

Nous avons tout d'abord décidé de réaliser une base de données hypermédia[5] : multimédia, celle-ci permet d'individualiser le « parcours » de chaque apprenant grâce à des « hyperliens » établis entre les connaissances. Ces hyperliens proposent une structuration des connaissances qui interagit avec celle de l'élève (paragraphe 1.5.6.2 page 28).

Compte-tenu du caractère expérimental de l'enseignement de la physique, nous avons préféré destiner cette base de données à la révision des connaissances déjà appréhendées en cours, au renforcement et à la structuration des acquis plutôt qu'à l'introduction de nouvelles notions. Le produit réalisé sera donc un élément complémentaire à un ensemble proposé par l'enseignant comportant classiquement cours, travaux pratiques, exercices etc. Il pourra tirer partie de ce contenu pour le dépasser, notamment en proposant des situations susceptibles de transformer les conceptions des élèves (paragraphe 1.4.3 page 19).

Les révisions se faisant classiquement en dehors du cours et sans la présence de l'enseignant, la base de données doit donc pouvoir être utilisée par les élèves en autonomie, et donc bénéficier d'une grande facilité de prise en main (paragraphe 1.5.7 page 29). L'utilisation sera prioritairement individuelle, mais les situations proposées devront pouvoir être utilisées en dyade. Son contenu doit aussi correspondre étroitement à celui qui est exigé par les programmes officiels.

Nous avons évoqué (paragraphe 1.5.6.4 page 29) la nécessité d'une approche didactique lors de la conception d'un hypermédia. Le choix d'utiliser l'électricité comme discipline d'étude nous a permis de bénéficier de nombreux travaux et résultats de recherche en didactique de la physique. Nous avons donc développé une base de données destinée à la REVision de l'Electricité de Seconde, à savoir REV.E.S.. Ce travail doit aussi se fonder bien évidemment sur les travaux de

[5] C'est cette possibilité d'offrir de « multiples parcours de lecture » qui distingue un produit hypermédia d'un produit multimédia. On pourra consulter le paragraphe 3.1 page 64 pour plus d'informations.

recherches récents relatifs la réalisation et l'utilisation de bases de données hypermédia.

Le contenu de la base étant limité et celui-ci ayant normalement été déjà vu en cours, il ne nous a pas paru utile, pour une activité de révision, de doter REV.E.S. d'un système de tutorat. Nous avons donc décidé que l'élève devait être, dans une perspective constructiviste et interactioniste, l'acteur essentiel de ses choix navigationnels. Nous pensons ainsi renforcer l'interaction apprenant-machine et contribuer à mieux structurer les connaissances de l'apprenant. Cette activité, qui implique mais aussi développe des pratiques métacognitives, doit cependant être facilitée par des repères fournis dans la base.

Le contexte de travail proposé est donc un contexte d'autoformation en milieu scolaire dans le sens défini par Herbé (1996) où «l'autoformation désigne des situations pédagogiques où l'élève, l'apprenant travaille seul, le rôle du formateur étant de lui fournir les situations et les outils de son parcours d'apprentissage».

2.1.2. Prise en compte des travaux de recherche

Cette phase de recueil d'information, qui a été la première activité que nous avons menée, a été des plus classiques. Concernant la didactique de l'électricité, de nombreux articles ou ouvrages ont été publiés et nous ont permis de faire le point sur les éléments en relation avec le programme de seconde, notamment sur les modèles circulatoires du courant, la tension, la schématisation, l'expérimentation et la simulation, les analogies.

Pour ce qui concerne les travaux relatifs aux hypermédias en situation pédagogique, il s'agit encore, dans le second degré, plutôt d'innovation que de recherche proprement dite. Des travaux plus significatifs ont eu lieu dans le supérieur, avec des préoccupations parfois différentes. Nous les avons tout de même utilisés et avons tiré profit, entre autres, des communications faites aux trois colloques « Hypermédias et apprentissages » organisés en France depuis 91, et auxquels nous avons participé.

On trouvera un résumé des apports théoriques utilisés dans la partie II de ce document, aux chapitres 2 et 3, ainsi que les références bibliographiques correspondantes dans la partie VI.

2.1.3. Conception de la première version de la maquette de REV.E.S.

Cette phase a donné lieu à plusieurs opérations décisives pour la réalisation du produit.

- Définition du scénario au niveau «global»
  Nous avons d'abord précisé «l'unité d'information», entité sémantique qui constitue le niveau de base pour l'explicitation des contenus, et défini l'item disciplinaire correspondant à chacune de ces unités d'information(en limitant la première maquette aux informations relatives à l'intensité et à la tension). Nous avons ensuite organisé ces unités en fonction du type d'information véhiculée, de la tâche à effectuer et de la logique disciplinaire, établissant ainsi des liens entre elles conduisant à la structuration du produit (modalités d'accès aux diverses unités d'information).

- Définition du scénario au niveau «local»
  Nous avons ensuite explicité le scénario au niveau «local» en définissant au sein de chaque unité d'information les différents médias constitutifs de l'information (en tenant compte de contraintes disciplinaires, techniques, financières...), leur enchaînement et le mode d'activation de cet enchaînement.

- Définition d'un «design» pour le produit
  Nous avons choisi de donner au produit une forme sobre et imaginé une interface compatible avec les scénarios globaux et locaux, la matière et le public concernés par le produit, la nature et la forme des différents médias (données), l'environnement informatique ciblé, les pratiques sociales liées à l'usage des produits de ce type.

- Choix des outils de développement
  Nous avons choisi de développer l'application à partir de Toolbook, qui est un environnement de prototypage orienté objet contenant les outils nécessaires à la construction et à l'exécution d'applications sous Windows, commercialisé par Assymétrix (Toolbook [91]). Nous avons aussi choisi les outils permettant l'enregistrement et le traitement du son, l'acquisition, la réalisation et traitement des images, la numérisation et montage de séquences vidéos...

- Réalisation d'une ébauche
  Pour développer une ébauche, nous avons constitué et assemblé les données relatives à quelques unités d'information que nous avons organisées au sein des structures définies, tout en respectant le design proposé. Nous avons ensuite évalué la pertinence de cet ensemble et sa conformité aux objectifs de départ.

- Développement de la maquette
  Nous avons poursuivi le développement de cette première maquette en réalisant les adaptations de détail résultant de l'évaluation effectuée.

Les éléments résultant des trois premières étapes seront développés dans le descriptif du produit effectué dans la partie III de ce document, notamment dans le chapitre 1. Les éléments liés aux activités de développement dans leur ensemble (même si celles-ci ont donné lieu à un très important investissement personnel à la fois pour acquérir les compétences nécessaires et pour réaliser

effectivement le produit) ne relevant pas d'un travail relatif à la didactique des disciplines scientifiques, ne seront pas évoqués dans ce document.

2.1.4. Test de la première version de la maquette

Au cours d'une pré-expérimentation, nous avons utilisé la première version de notre maquette avec une vingtaine d'élèves de seconde. L'objectif était double :

- cerner les difficultés disciplinaires des élèves à la fois pour évaluer l'adéquation des situation proposées dans REV.E.S. à leurs besoins et définir les contours de l'expérimentation à mener ;
- évaluer l'ergonomie du produit et son architecture.

Un compte-rendu sommaire de cette pré-expérimentation est fait dans la partie IV de ce document, au chapitre 1. Le compte-rendu détaillé est proposé dans la partie I du document annexe.

2.1.5. Construction de la deuxième version de la maquette du produit

A la lumière des résultats de la pré-expérimentation, nous avons fait évoluer la maquette, notamment quant à son contenu. L'ergonomie générale ayant donné satisfaction, nous l'avons conservée. L'ensemble du programme d'électricité de seconde a été implanté, de même que nous avons développé le « mouchard » destiné à suivre l'activité de l'élève sur le produit, en fonction des pistes que nous souhaitions explorer (voir à ce sujet dans cette partie le paragraphe 2.2.1 page 35). Nous avons ensuite testé et fait tester le fonctionnement informatique, corrigé les dysfonctionnements détectés pour obtenir la version actuelle de la maquette que nous avons expérimentée, et qui figure sur le cédérom joint à ce document.

Cette version reste une maquette. En effet, sans être dépourvu de qualité technique, et même s'il est tout à fait utilisable, le produit n'est pas dans une version éditoriale. Aussi, la qualité du « design », des images, des messages sonores, des animations ou encore des vidéos n'a rien de professionnel. Il s'agit avant tout d'un travail de recherche.

Le produit est décrit sous ces aspects institutionnels, didactiques et hypermédias dans la partie III de ce document.

2.2. Méthodologie adoptée pour évaluer l'utilisation de REV.E.S. par les élèves

La méthodologie utilisée dans l'évaluation de l'utilisation du produit et les pistes d'expérimentation retenues, sont décrites en détail au chapitre 2 de la partie IV de ce

document, en préliminaire à l'exposé des résultats expérimentaux obtenus. Nous n'en donnerons donc ici que les grandes lignes.

2.2.1. Choix des pistes d'expérimentation

Nous avons choisi d'examiner trois grandes pistes

- les aspects cognitifs, en particulier l'évolution des connaissances après utilisation de REV.E.S., la liaison de cette évolution avec les informations parcourues dans REV.E.S., la liaison de cette évolution avec le niveau des élèves ;
- la nature de l'information consultée, notamment l'adéquation entre le profil cognitif de l'élève et la consultation effectuée, la relation entre le niveau des élèves et la consultation effectuée, les préférences qu'ils ont manifestées dans les thèmes et les types d'information consultées ;
- le mode d'accès à l'information, en particulier l'analyse des démarches de consultation, les modalités de prise en main du produit, la relation entre le niveau des élèves et les modes d'accès privilégiés, la relation entre les modes d'accès à l'information et l'évolution des connaissances.

L'ensemble de ces pistes est commenté au paragraphe 2.1 de la partie IV de ce document, page154.

2.2.2. Définition de la stratégie utilisée

Pour ce qui concerne les aspects cognitifs, nous avons choisi d'évaluer les élèves sur un nombre limité de domaines, définis pour la plupart à la suite de la pré-expérimentation. Pour cela, nous avons distribué aux élèves deux questionnaires papier semblables quant aux objectifs, l'un avant utilisation de REV.E.S., l'autre après, afin de comparer les réponses.

Nous avons décidé de nous placer chaque fois «au maximum» de l'activation des connaissances des élèves : la première évaluation a été prévue juste après que chacun des chapitres de cours ait été terminé par l'enseignant, contrôles compris; le deuxième questionnaire a été distribué aux élèves, immédiatement après l'usage de REV.E.S., effectué une fois le cours d'électricité terminé.

Les renseignements sur l'information consultée sur machine et les modes d'accès à cette information ont été fournis par le «mouchard» de REV.E.S..

Nous avons aussi décidé, à titre indicatif, de questionner les usagers (élèves et enseignants) pour obtenir leurs appréciations sur le produit et leurs remarques sur le travail effectué.

2.2.3. Mise au point des questionnaires d'évaluation des aspects cognitifs

Une fois les domaines définis, pour permettre l'identification des compétences cognitives, nous avons recherché des situations à la fois suffisamment différentes de celles utilisées en cours pour être originales, mais suffisamment proches pour être reconnues par les élèves, afin d'évaluer le réinvestissement des connaissances acquises.

En même temps, nous avons veillé à établir deux questionnaires non identiques, mais suffisamment proches pour que leurs résultats puissent être légitimement comparés.

Nous avons enfin réparti les questions en quatre parties en liaison avec les quatre chapitres vus en cours, à savoir intensité, tension, dipôles et amplificateur opérationnel.

Les deux séries de questionnaires sont présentées dans la partie II du document annexe, des chapitres 1 à 8.

2.2.4. Analyse des résultats obtenus

Nous avons décidé de faire d'abord une analyse des résultats domaine par domaine, avant de regrouper l'ensemble de ces résultats partiels pour conduire une étude globale, sur l'ensemble du travail effectué, centrée sur les trois pistes décrites précédemment.

Cette analyse est présentée dans la partie IV de ce document, des chapitres 3 à 5.

2.3. Formulation des conclusions

Pour terminer, nous avons mis en relation les objectifs visés, les options retenues au départ, avec les résultats obtenus lors de l'étude puis proposé des évolutions pour REV.E.S.. Nous avons souligné les éléments observés, les problèmes posés, et ouvert de nouvelles perspectives de recherches.

Ces conclusions sont présentées dans la partie V de ce document.

2.4. Caractéristiques de la méthodologie utilisée

Dans son principe général, la méthodologie que nous avons utilisée s'apparente à une démarche d'ingénierie didactique qui se caractérise «en premier lieu par un schéma expérimental basé sur des réalisations didactiques en classe, c'est à dire sur la conception, la réalisation, l'observation et l'analyse de séquences d'enseignement » mais aussi par son processus de validation qui est «essentiellement interne, fondé sur une confrontation entre analyse a priori et analyse a posteriori» (Artigue [1989]).

En même temps, on se situe d'une certaine manière dans une «recherche de faisabilité » (Astolfi [1993]), visant à vérifier si on peut compléter le «corpus des possibles » dans le traitement d'un problème didactique donné, par une situation mettant en jeu des informations hypermédias.

Partie II - Aspects théoriques

1. Cadre institutionnel..... page 38

2. Aspects didactiques..... page 46

3. Hypermédias..... page 64

Pour essayer de concevoir un produit qui présente une meilleure efficacité, nous avons tout d'abord pris connaissance du cadre institutionnel relatif à l'enseignement de la physique en classe de seconde, pour s'y conformer aussi étroitement que possible. Nous avons aussi consulté, pour en tirer profit, les travaux des chercheurs concernant la didactique de l'électrocinétique et concernant la constitution et l'utilisation de bases de données hypermédia, notamment à vocation pédagogique.

C'est cet ensemble d'informations que nous relatons ici.

1. Cadre institutionnel

Avant d'entamer toute réflexion, il apparaît nécessaire de situer brièvement mais clairement les attentes institutionnelles relatives aux programmes de seconde. Deux textes font référence en la matière et sont d'ailleurs cités partiellement dans la plupart des manuels destinés aux élèves :

- le Bulletin Officiel de l'Education Nationale hors série du 24 septembre 1992 fait état des programmes de seconde et les commente. Ce texte précise de plus les principes directeurs de l'enseignement de la physique et de la chimie au collège et au lycée.

- Le Bulletin Officiel de l'Education Nationale, numéro spécial 3 du 9 juillet 1987, qui précise entre autres les capacités à évaluer en sciences physiques.

Nous évoquerons donc d'abord les principes directeurs de l'enseignement de la physique. Nous préciserons ensuite le contenu des programmes de seconde ; nous les resituerons par rapport aux programmes de quatrième et de troisième, dans la mesure où les recoupements sont importants. Dans tous les cas, nous nous en tiendrons uniquement à la partie « électricité » qui nous concerne ici. Enfin nous préciserons les capacités, qui selon l'institution, sont à évaluer en physique.

1.1. Principes directeurs de l'enseignement de la physique au collège et au lycée

Le texte officiel (BOEN [1992]) explicite les objectifs assignés à l'enseignement de la physique dans le secondaire, dont nous rappelons ci-dessous l'essentiel :

- il doit développer chez tous les élèves «des éléments d'une culture scientifique» ;

- il doit former les esprits « à la méthode scientifique, à la critique, à l'honnêteté intellectuelle », au travers de la démarche expérimentale ;

- il doit être « ouvert sur les techniques, ... ancré sur l'environnement quotidien et les technologies modernes » ;

- il doit montrer que « le monde est intelligible, que la complexité de la nature et de la technique est susceptible d'être décrit par un petit nombre de lois, constituant une représentation cohérente de l'univers ». Dans cette perspective, il est nécessaire de faire appel à « la dimension historique de l'évolution des idées en physique» ;

- il doit donner « une place essentielle aux activités expérimentales », et « faire largement appel aux applications qui seront valorisées sous l'aspect physique et technique» ;

- il doit utiliser au mieux les moyens modernes, notamment l'ordinateur pour l'acquisition, le traitement des données ainsi que pour la simulation, mais celui-ci ne sera en aucun cas substitué à l'expérience directe.

1.2. Programmes de seconde

1.2.1. Objectifs d'ensemble

L'introduction insiste particulièrement sur le rôle de la physique qui rend notre monde intelligible, et « l'explique » à travers un petit nombre de lois. Ces lois sont « valables dans leur domaine d'adéquation, sont souvent exprimées sous des formes mathématiques simples ; elles permettent de prévoir et d'imaginer des phénomènes nouveaux, et sont à la base du fonctionnement des dispositifs techniques».

Avant de développer les contenus, le texte d'introduction fournit d'abord les savoir-faire méthodologiques généraux ou disciplinaires à développer.

1.2.1.1. Savoir-faire méthodologiques généraux

Il faudra mener des activités permettant d'établir ou renforcer les compétences suivantes :

- « étudier un cours, dégager les résultats essentiels, les mémoriser» ;
- « chercher et exploiter une information» ;
- « mettre en oeuvre sur des exemples simples les éléments de calculs nécessaires » ;
- « prendre des notes, faire des figures, des schémas...»

1.2.1.2. Savoir-faire méthodologiques disciplinaires

Il faudra mener des activités permettant d'établir ou renforcer les compétences suivantes :

- « rendre compte des observations» ;
- « réaliser une expérience à partir d'un schéma, de consignes...» ;
- « à partir d'une expérience ou d'une observation, se poser des questions, rechercher une explication, vérifier une hypothèse par la mise à l'épreuve des conséquences qu'elle implique» ;
- « s'habituer à ne jamais écrire une formule sans connaître la signification de chaque symbole, et pour chaque grandeur, connaître les unités, et si possible une méthode de mesure» ;
- « apprécier un ordre de grandeur» ;
- « analyser un résultat, expliciter des dépendances fonctionnelles, vérifier qu'il n'est pas manifestement faux» ;
- « exprimer un jugement sur une explication proposée».

1.2.2. Contenus

Le texte officiel (BOEN 1992]), que nous citons in extenso pour la partie électrocinétique, précise d'abord les notions du programme, puis les activités support et enfin les compétences exigibles ou en cours d'apprentissage.

1.2.2.1.Notions

- Tension (ou ddp) entre deux points, grandeur algébrique. Loi des tensions. Utilisation de l'oscilloscope pour visualiser une tension et mesurer ses caractéristiques (amplitude et fréquence).
- Courant électrique : circulation des électrons et porteurs de charge (ions). Loi des noeuds : loi de conservation de la charge.
- Amplificateur de tension : amplificateur opérationnel.

1.2.2.2.Activités support

- Montages électriques simples (utilisant piles, potentiomètres, lampes et résistances, diodes, amplificateur opérationnel, générateur d'amplitude variable, générateur B.F.) sur lesquels les calculs peuvent être confrontés aux mesures.
- Utilisation de l'oscilloscope en balayage : branchement, exploitation d'un oscillogramme.
- Montages avec interface et traitement de données à l'ordinateur

1.2.2.3.Compétences exigibles ou en cours d'apprentissage

On attend que l'élève sache :

- régler un contrôleur, l'utiliser en voltmètre, en ampèremètre, en ohmmètre et interpréter les résultats affichés ;
- réaliser un montage à partir d'un schéma simple ;
- que la tension est une grandeur algébrique ;
- la notation $U_{AB} = V_A - V_B$, associée à la représentation fléchée ;
- la loi d'additivité des tensions ;
- que deux points d'un circuit reliés par un fil de cuivre sont pratiquement au même potentiel ;
- distinguer un générateur de tension d'un générateur possédant une résistance interne et définir le schéma électrique équivalent ;
- que la tension est une mesure d'un état électrique ;
- que la tension nulle ne signifie pas nécessairement intensité nulle ;
- qu'intensité nulle ne signifie pas nécessairement tension nulle ;
- la loi des noeuds et sa signification physique : loi universelle de conservation de la charge ;
- la loi d'Ohm pour un conducteur ohmique, qu'il existe d'autres types de dipôles[6] ;
- le rôle d'un rhéostat, celui d'un potentiomètre[6] ;

[6] Compétence en cours d'acquisition

- les lois d'association des résistances et sache les démontrer[7] ;
- le rôle de la masse dans un montage ;
- la signification de tensions d'entrée et de sortie;
- utiliser un oscilloscope pour mesurer les caractéristiques d'une tension sinusoïdale ;
- qu'il existe des contraintes dans l'utilisation des divers éléments constitutifs d'un montage électrique ;
- confronter les résultats de mesure avec les prévisions théoriques associées à l'analyse d'un montage[7].

1.2.3. Commentaires

Les commentaires relatifs à la partie « électricité » sont brefs mais précisent bien l'esprit dans lequel doit être abordée cette partie.

Il s'agit tout d'abord de « mettre au point la formulation et l'exploitation méthodique des lois fondamentales concernant tension et intensité déjà rencontrées dans les programmes de quatrième et troisième ». Il s'agit en fait d'approfondir, de structurer les notions déjà vues précédemment, aucune notion nouvelle n'étant introduite, pour « donner les outils nécessaires à l'analyse de la partie sur les sons».

L'accent est mis sur l'expérimentation, notamment pour introduire les concepts d'intensité et de tension qui ne sauraient « être mis en place directement par les élèves ». Les lois sont rapidement structurées ; les manipulations sur des circuits d'usage courant ou des circuits les simulant, servent ensuite à les assimiler. Un temps suffisant est par contre consacré à la manipulation de l'oscilloscope et à l'analyse de l'amplificateur opérationnel utilisé en amplification.

Conformément à un des objectifs généraux, les élèves doivent avoir acquis l'idée que les lois manipulées sont universelles. L'accent est mis particulièrement sur la loi des noeuds, traduisant la loi de conservation de la charge, expliquée «sous forme simple mais rigoureuse de bilan».

1.3. Les programmes de quatrième et troisième

Il paraît utile de resituer, pour ce qui concerne les éléments directement en relation avec le programme d'électrocinétique de seconde, les compétences exigibles au cours des classes précédentes.

1.3.1. Compétences exigibles en classe de quatrième

- Réaliser des circuits fermés avec piles, lampes et diodes. Différencier les lampes à incandescence et à décharge. Identifier et réaliser des montages en série et en parallèle. Vérifier les effets des fils conducteurs de connexion.

[7] Compétence en cours d'acquisition

- Mesurer une intensité, une tension. Identifier les pôles d'une pile, mesurer la tension entre ses pôles en circuit ouvert. Choisir dans un assortiment de lampes celles que l'on peut allumer avec une pile donnée. Montrer que le courant qui traverse une pile dépend du circuit. Etendre ces activités à un générateur de tension continue.
- Vérifier la conservation de l'intensité et l'additivité des tensions le long d'un circuit série.
- Montrer expérimentalement que si l'on change l'ordre des éléments d'un circuit série, on ne change aucune des valeurs des grandeurs (tension aux bornes et intensité) qui les concernent. Montrer de même qu'en changeant le circuit, par exemple en rajoutant une lampe en série, les valeurs des grandeurs changent, mais les lois demeurent.
- Reconnaître qu'il peut y avoir une tension importante entre deux points entre lesquels ne passe aucun courant, et inversement qu'un dipôle peut être parcouru par un courant sans tension notable à ses bornes (fil de connexion, diode).
- Utiliser une diode pour déterminer le sens du courant ou imposer une absence de courant.
- Utiliser un oscilloscope. Identifier les grandeurs figurées sur l'écran : le temps en abscisse, la tension en ordonnée.

1.3.2. Compétences exigibles en classe de troisième

On attend que l'élève sache :

- que les porteurs de charge sont des électrons libres dans les métaux et des ions dans les solutions conductrices ;
- que dans le cas d'une tension alternative sinusoïdale, les porteurs de charge « oscillent sur place » ;
- qu'une tension alternative prend des valeurs positives ou négatives ;
- utiliser un oscilloscope sur une voie pour caractériser une tension alternative (amplitude ou fréquence) ;
- utiliser un ampèremètre, un voltmètre ;
- que dans le cas d'une tension alternative sinusoïdale, l'indication d'un voltmètre s'appelle tension efficace, qu'elle est reliée à la valeur maximale (facteur racine de 2) ;
- que la tension du secteur est une tension sinusoïdale de caractéristiques $U_{eff} = 220$ V, $U_{max} = 310$ V, N = 50 Hz, T = 20 ms ;
- appliquer la loi d'Ohm.

1.4. Capacités à évaluer en sciences physiques

Les capacités à évaluer (BOEN [1987]) donnent une indication sur la façon de conduire un enseignement. Nous allons donc les rappeler.

1.4.1. Connaissances spécifiques aux sciences physiques

1.4.1.1. Connaissances scientifiques

- Vocabulaire, symboles, unités.
- Ordres de grandeur.
- Définition, lois, modèles.

La connaissance des ordres de grandeur doit en particulier permettre à l'élève de porter un jugement critique sur un résultat, une affirmation.

1.4.1.2. Connaissances de savoir-faire

- Dans le domaine expérimental : connaissance fonctionnelle du matériel, connaissance de méthodes d'expérimentation et de mesures, maîtrise gestuelle, respect des consignes, en particulier de sécurité ;
- dans le domaine théorique : utilisation de méthodes, par exemple, pour résoudre certains problèmes.

1.4.2. Connaissances et savoir-faire non spécifiques aux sciences physiques

- Accéder aux connaissances au moyen de différentes sources : savoir rechercher et utiliser des sources documentaires diversifiées, en accord avec le sujet et le niveau.
- Utiliser la langue française : compréhension d'un énoncé, manipulation du langage scientifique.
- Utiliser les outils mathématiques : mise en application d'un outil mathématique sous différentes formes (calculs numériques, calculs algébriques, raisonnements géométriques, représentations et résolutions graphiques...).
- Utiliser d'autres outils et moyens d'expression : outil informatique, dessin et schémas sous toutes ses formes...
- Pratiquer une démarche scientifique, dans une situation voisine d'une situation connue, ou dans une situation inconnue, dans le domaine théorique et dans le domaine expérimental, notamment :
    - observer et analyser un fait expérimental ou le fonctionnement d'un objet technique, lire et analyser un texte scientifique ;

- choisir ou élaborer (ce qui est nettement plus difficile) un modèle physique, ou préciser les limites de validité d'un modèle ;
- organiser les étapes de la résolution, en décidant de façon autonome de la « technique » à employer, en organisant connaissances et savoir-faire appris ;
- porter un jugement critique sur un résultat, une série de mesures, l'utilisation d'un appareil...

2. Aspects didactiques

L'électrocinétique pourrait être considérée par l'enseignant comme un chapitre classique, présentant peu de difficultés pour lui et ses élèves. Si tel est le cas, il faudrait immédiatement nuancer cette appréciation et faire remarquer que l'enseignement de l'électrocinétique suppose l'introduction de concepts abstraits comme l'intensité du courant, faisant appel à la notion de débit, la tension, la charge électrique, l'énergie, la puissance, le champ électrique. Les raisonnements dans lesquels on utilise ces concepts, souvent plusieurs en même temps, impliquent de plus la maîtrise des notions de système et de conservation. Le problème est donc plus complexe qu'il n'y paraît de prime abord, et l'on comprend que les élèves éprouvent certaines difficultés à intégrer ces éléments et élaborent souvent des « représentations » (voir le paragraphe 2.1 ci-dessous) inadaptées. Les didacticiens les ont analysées depuis bientôt une vingtaine d'années maintenant, et leur travaux aboutissent à des conclusions que nous allons d'abord rappeler.

Le schéma est un élément important dans l'enseignement de l'électricité, tant dans la transmission des savoirs que dans la résolution des problèmes. Nous aborderons donc ensuite cet aspect.

De façon plus générale, l'expérimentation joue un rôle capital en physique, tant dans l'élaboration du savoir savant que dans sa transmission sous forme de savoir enseigné. Il nous a donc paru intéressant de faire le point sur les différents modes d'intégration de l'expérimentation dans les activités d'enseignement, surtout dans la mesure où le contexte informatique choisi pour notre travail était susceptible de les modifier, notamment en effectuant des simulations. Nous avons donc aussi jugé nécessaire d'expliciter brièvement les différentes possibilités offertes par ce type d'activité, mais aussi les contraintes qu'elles présentent.

Enfin, nous évoquerons la notion de réseau de connaissances auquel, selon certains auteurs, la construction et la mémorisation des connaissances font appel, et que nous trouvons dans les hypermédias.

Nous allons maintenant examiner tour à tour tous ces éléments, pris en compte dans notre travail de conception.

2.1. Les représentations

Nous avons déjà, dans la partie introductive, abordé les représentations ou «conceptions », sous leur aspect général (chapitre 1.4.3 page 19). Nous présenterons donc ci-après les représentations les plus courantes dans le domaine de l'électricité selon une classification empruntée à Dupin et Johsua [1988], pour en tenir compte dans la conception de la base de données hypermédia.

2.1.1. Le cadre général : la métaphore «du fluide en mouvement »

Cette « métaphore du fluide en mouvement », (Johsua [1983], Dupin et Johsua [1988]) constitue le cadre global que la majorité des élèves utilise, souvent avec succès, pour résoudre les problèmes d'électricité. Le courant électrique est considéré comme un fluide en mouvement qui circule dans des « tuyaux ». Ce fluide a des propriétés à la fois matérielles (il y a déplacement d'électrons, d'électricité ou de courant), et énergétiques (il permet l'échange d'énergie entre le générateur et le récepteur). La séparation de ces aspects, faite par le physicien, n'existe pas dans l'esprit de l'élève. Cette conception, trop riche en contenu, se retrouve sous diverses formes à l'élaboration de plus en plus sophistiquée.

2.1.2. La représentation unifilaire

Elle est rappelée pour mémoire car elle concerne habituellement les jeunes débutants. L'électricité est perçue comme un fluide s'écoulant, par un fil, de la pile vue comme un réservoir, vers l'ampoule où elle est consommée (Closset [1989], Tiberghien [1983]). Cette représentation ne peut résister aux évidences expérimentales et est rapidement remplacée par d'autres plus opératoires.

2.1.3. Les courants antagonistes

Selon cette façon de voir, un type de courant sort de la borne «plus » de la pile et rencontre dans la lampe l'autre courant qui sort de la borne «moins » de la pile. De la rencontre de ces deux électricités contraires naît la lumière (Closset [1989], Tiberghien [1983]). On peut remarquer du reste que cette conception a historiquement longtemps prévalu (Benseghir [1988]).

2.1.4. Circulation du courant et usure de la pile

Le modèle circulatoire est admis sous l'influence de l'enseignement, au niveau du collège. Mais dans la mesure où le courant est perçu comme un fluide doté de façon indissociée de propriétés matérielles et énergétiques, il est difficile d'admettre que l'énergie soit transmise à un récepteur sans que simultanément ne disparaisse « matériellement » au moins une partie du « fluide électrique » (Closset [1989]). Et c'est tout naturellement que l'élève développe un modèle avec consommation de courant : un récepteur, lors de son fonctionnement consomme du courant ; la pile, perçue comme un réservoir de courant se «vide » peu à peu : elle s'use. (Dupin et Johsua [1988], Tiberghien [1983]). On remarque ici que la pile, qui délivre une tension, est considérée « de façon fortement majoritaire à tous les niveaux » comme un générateur de courant constant (Dupin et Johsua [1986]).

2.1.5. Le raisonnement séquentiel

Dans un circuit électrique, ce qui se passe en un point quelconque dépend, de façon systémique, de l'ensemble des éléments du circuit. Or «naturellement », l'élève

raisonne de façon séquentielle. « Il raisonne localement en suivant le circuit, le plus souvent au départ d'une source, la pile ou le générateur. Celle-ci constitue une réserve de courant, le laissant s'écouler à débit constant dans le circuit, où il se modifie au fur et à mesure de sa progression, en fonction des « obstacles » rencontrés, et sans influence de l'aval sur l'amont » (Closset [1983-a]). En quelque sorte, en avançant, le courant découvre le circuit : ce qui se passe avant un point du circuit peut agir sur ce qui se passe après, mais il est très difficile d'imaginer que « l'après » puisse avoir une influence sur « l'avant », à l'image d'un fleuve que l'on suit de sa source à l'embouchure (Allevard et al. [1991]).

Closset [1983-a et 1988] a montré la stabilité au cours du temps de ce type de raisonnement qui explique une partie des représentations précédentes. S'il s'atténue grâce aux actions d'enseignement, on le retrouve pour analyser une situation dés que celle-ci cesse d'être classique, et ce, quelque soit le type de courant ou de récepteur. Il est utilisé dans le cadre d'un formalisme mathématique, même si celui-ci est maîtrisé. Même si l'aspect « local du raisonnement » s'atténue avec la formation, même si on raisonne plus « globalement » sur une portion de circuit, il est fréquent de constater que les modifications dans la portion étudiée n'influent pas sur le reste du circuit : le courant y demeure inchangé. Le raisonnement séquentiel persiste, en récupérant, après adaptation, les connaissances enseignées.

2.1.6. Cohabitation des représentations

Dupin et Johsua [1986 et 1988] font remarquer que les diverses représentations, évoquées ici ne sont pas exclusives les unes des autres. Les élèves utilisent l'une ou l'autre, en fonction des problèmes qu'ils ont à résoudre. Le modèle circulatoire peut être utilisé sans consommation du courant pour expliquer l'éclat identique de deux ampoules en circuit série, et avec consommation du courant pour expliquer l'usure de la pile dans le même circuit.

2.1.7. Des raisonnements mononotionnels

Closset [1983-a et 1989], Dupin et Johsua [1988], Tiberghien [1983] soulignent que les raisonnements des élèves se font essentiellement à partir d'une seule notion qui joue à la fois le rôle de courant, d'intensité et d'énergie. Le « courant » constitue la base de l'analyse des circuits électriques et la tension n'apparaît pas comme une grandeur pertinente ; les élèves ne s'y réfèrent pas et de plus ne lui substituent aucune autre notion. « La tension reste une grandeur isolée, non opérationnelle » (Dupin et Johsua [1986]).

2.1.8. La tension

Closset [1989] cite les travaux de Benseghir et rapporte ses conclusions : «Le potentiel en un point est étroitement associé à la présence d'une charge en ce point. La différence de potentiel est associée à la dissymétrie des charges dans les situations d'électrostatique (charges positives en un point, négatives en un autre) et à

la dissymétrie des quantités de charges (densité locale instantanée des charges dynamiques) dans les situations d'électrocinétique ». Selon lui, l'attention « est focalisée sur les pôles des générateurs considérés comme des points d'accumulation de charges ».

« Pour un grand nombre d'élèves, la différence de potentiel n'est concevable qu'en deux points du circuit présentant un statut particulier au sens où il est permis d'admettre en ces points une dissymétrie de signe ou de quantités de charges. La dissymétrie apparaît comme l'effet de l'usure du courant par l'élément du circuit compris entre les points concernés » On constate que ce type de raisonnement est étroitement lié au raisonnement séquentiel.

On peut aussi se référer aux articles de Tiberghien [1983] et Allevard et al. [1991] pour compléter nos informations sur les difficultés liées à l'introduction de la tension. S'il semble que la règle d'addition des tensions ne pose pas de problème, la reconnaissance d'une tension nulle entre deux points d'un circuit en fonctionnement ou aux bornes d'un court-circuit paraît difficile. Il est aussi difficile, à l'inverse, d'admettre qu'il existe une tension aux bornes d'un interrupteur ouvert, dans un circuit en fonctionnement (Canal [1996]). Pour les élèves, quand le courant circule, il doit exister une tension ; si le courant ne circule pas, la tension ne doit pas exister. On peut interpréter cela en disant que la notion de différence de potentiel est utilisée dans le cadre mathématique de la loi d'Ohm U = RI (si I= 0, alors, V = 0), sans maîtriser les contraintes de son utilisation issues des lois de la physique (conservation du courant, constance de la tension totale...).

Dans un autre ordre d'idées, on relève aussi parfois des identifications entre la résistance et la différence de potentiel aux bornes de la résistance. Enfin, Allevard et al. tout comme Calmettes (1992) relèvent des difficultés à maîtriser l'algébrisation de la tension. Allevard et al. les attribuent d'une part au fléchage des tensions qui se fait sous la forme inverse du fléchage vectoriel[8], d'autre part dans les méthodes de présentation des «conventions générateur» et des « conventions récepteur».

2.2. Les analogies

Canal (1996) rappelle une définition de l'analogie parue en 1985 dans le numéro 3 des rapports de recherche de l'INRP. « Penser par analogie, c'est rapprocher deux choses appartenant à des domaines différents, au nom d'une ressemblance entre les structures ou les rapports internes de ces choses. Penser par analogie peut permettre de découvrir (fonction heuristique), de faire comprendre (fonction pédagogique), de se représenter (fonction figurative). En d'autres termes, c'est un moyen facilitant pour passer de l'inconnu au connu et pour se figurer ce qui est complexe à penser. Ce mode de raisonnement n'a pas de pouvoir explicatif, mais peut-être utilisé comme moteur de la connaissance, en mettant sur la piste d'explications qui seront validées par d'autres démarches. En établir les limites est un moyen d'en maîtriser l'usage... ». Cette analyse

[8] U_{AB} est représentée par un vecteur dirigé de B vers A, alors que le vecteur AB correspond à un vecteur dirigé de A vers B

affirme l'intérêt des analogies, à condition notamment de préciser leurs limites avec les apprenants. Nous évoquerons donc ci-après les principales analogies utilisées dans l'enseignement. analysées par Closset (1983-b), notamment dans la perspective de ne pas renforcer inutilement le raisonnement séquentiel.

Un premier type d'analogie de type hydraulique consiste à illustrer la séparation du courant dans les deux branches d'un circuit parallèle par l'écoulement d'un fleuve sur deux voies d'eau qui se rejoignent ultérieurement. Cette analogie renforce l'idée que le courant s'écoule à débit constant avant d'arriver à la dérivation, comme s'il «ne savait pas » qu'il allait se partager, à l'image du fleuve qui s'écoule à débit constant en ignorant tout de ce qu'il rencontrera en aval. En fait, il faut souligner que l'existence d'une dérivation modifie la résistance du circuit et conditionne donc la valeur du courant dans l'ensemble du circuit.

Un deuxième type d'analogie classique consiste à considérer l'écoulement d'un réservoir supérieur vers un réservoir inférieur, en comparant les différences de hauteur à des différences de potentiel. Cette comparaison renforce l'idée d'une pile «réservoir de courant » qui laisse écouler ce courant à débit constant. D'autre part, le circuit n'est pas fermé, et même si on le ferme à l'aide d'une pompe remontant l'eau du niveau inférieur au niveau supérieur, cette fermeture n'apparaît pas nécessaire à la circulation de l'eau. Par ailleurs, on peut très bien avoir circulation d'eau entre bassin supérieur et bassin inférieur, puis pompage ultérieur entre bassin inférieur et bassin supérieur. Il n'y a pas nécessité d'un mouvement simultané, à l'image du mouvement d'ensemble des charges électriques dans un circuit. Enfin, le potentiel apparaît ici avec les propriétés du potentiel gravitationnel, c'est à dire uniquement fonction du point où on le mesure, alors que le potentiel électrique est fonction de l'ensemble des éléments du circuit.

Dans les deux cas, Closset souligne que c'est le caractère local de ces analogies qui est dangereux Il propose deux autres analogies, plus pertinentes selon lui.

La première utilise toujours une analogie hydraulique, mais le circuit est présenté horizontalement, et il comporte un ou plusieurs rétrécissements simulant les résistances dans le circuit. Une pompe assure une différence de pression dans le circuit.

Pour les élèves n'ayant pas accès aux concepts relatifs à la pression, il propose une autre analogie beaucoup plus simple, pour faire apparaître le caractère global du fonctionnement d'un circuit. Il s'agit d'une chaîne de vélo entraînée par un pédalier jouant le rôle de la pile. Un objet frotte en permanence sur la chaîne, ralentissant son mouvement et jouant le rôle d'une résistance. L'effet de cet objet se fait ressentir globalement sur tous les maillons de la chaîne. Par ailleurs, la chaîne apparaît aussi comme un moyen de transmettre de l'énergie.

De façon plus générale, Closset souhaite que l'on insiste sur tout ce qui peut mettre en avant le caractère global d'un circuit. Johsua et Dupin (1993) proposent deux analogies qui vont dans ce sens.

La première, l'analogie du « train » constitue une amélioration de l'analogie de «la chaîne de vélo» (Figure 1 page 51).

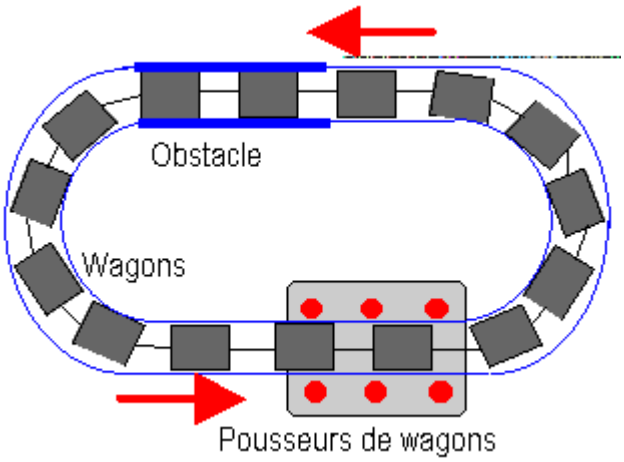


Figure 1 : L'analogie du train.

Un train continu se déplace sur une voie ferrée fermée. Il n'y a pas de locomotive, et les wagons, occupant l'ensemble de la voie, sont tous reliés les uns aux autres. Des « pousseurs », poussent l'ensemble du train avec une force constante. Des obstacles existent sur la voie qui ralentissent la progression de tout le train. On aura compris qu'il existe dans cette analogie les correspondances suivantes :

Train	Electricité
Wagons	Electrons
Mouvement des wagons	Courant électrique
Flux des wagons	Intensité
Obstacles	Résistances
Voie ferrée fermée	Circuit électrique
« Pousseurs »	Générateur de tension
Force constante	Force électromotrice
Fatigue musculaire	Usure de la pile

Tableau 1: Correspondances entre les termes de l'analogie du «train ».

Dans cette analogie, on distingue clairement l'aspect matériel du mouvement des wagons, (les électrons), de l'aspect énergétique, lié aux «pousseurs » qui se fatiguent (la pile qui s'use) contredisant la représentation classique du courant vu comme «un fluide en mouvement » (voir dans cette partie, le paragraphe 2.1.1 page 47). En même temps, on peut voir comment un obstacle local, (la résistance) influence l'ensemble du mouvement des wagons (le courant électrique dans tout le circuit). Par ailleurs, la «force de poussée » (la f.e.m.) étant constante, le mouvement des wagons dépend uniquement des éléments présents sur la voie tout comme le courant dépend de l'ensemble des éléments du circuit. Canal (1996) note pour compléter cette analyse, que les wagons, en cas de rupture de la voie ferrée, ne sont pas regroupés dans la gare, tout comme la pile, qui n'est pas un réservoir de charges, ne regroupe pas, dans le cas du circuit ouvert, ces mêmes charges en son sein. Cette analogie présente donc une bonne transférabilité aux situations mettant en jeu un circuit électrique. Les auteurs font cependant remarquer qu'elle présente quelques difficultés.

La première réside dans l'absence d'évocation du potentiel électrique, qu'il est pourtant nécessaire d'introduire. Par ailleurs, l'isomorphisme entre le circuit électrique et la voie ferrée n'est pas total. En effet, si la voie est ouverte, les wagons peuvent continuer à rouler pendant un court instant jusqu'au déraillement. Selon l'analogie, on pourrait penser qu'une ampoule continuerait de briller quelques brefs instants après l'ouverture du circuit. Il faudrait en fait assimiler l'ouverture du circuit qui empêche tout mouvement de charges à un obstacle infranchissable sur la voie. Malgré cela, cette analogie relativement aboutie a été utilisée avec succès par Johsua et Dupin (1993).

Pour ce qui concerne le potentiel, ils proposent une analogie différente, « l'analogie thermique» (Figure 2).

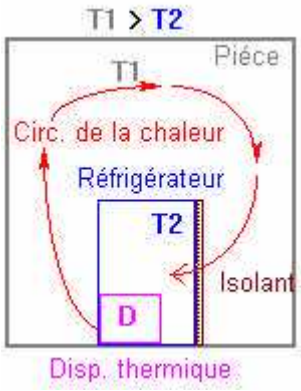


Figure 2 :L'analogie thermique.

Dans un pièce à la température T1 se trouve un réfrigérateur à la température T2, inférieure à T1. La chaleur s'écoule de la pièce vers le réfrigérateur au travers des défauts de la paroi isolante de ce dernier. Un dispositif thermique maintient constant l'écart de température entre la pièce et le réfrigérateur en évacuant dans la pièce la chaleur qui rentre dans le réfrigérateur. La correspondance entre le circuit thermique et le circuit électrique est la suivante :

Système thermique	Système électrique
Dispositif thermique	Générateur
Différence de température	Différence de potentiel
Température	Potentiel local
Circulation de chaleur	Courant électrique
Défauts dans l'isolation thermique	Résistance électrique

Tableau 2 : Correspondances entre les termes de l'analogie thermique.

Comme le dispositif thermique maintient constante la différence de température entre les deux milieux, le générateur maintient constante la différence de potentiel à ses bornes. Les auteurs soulignent l'intérêt de relier le caractère local du potentiel électrique au caractère local de la température. Le fait de considérer une résistance non pas comme un objet empêchant le courant de passer mais comme le laissant passer «un peu » permet de

comprendre pourquoi la résistance équivalente à deux résistances en parallèle a une valeur moindre que celle de chaque résistance.

Selon Johsua et Dupin, cette analogie présente tout de même certains inconvénients. Elle ne permet pas tout d'abord de se faire une idée de ce qu'est le courant électrique, la représentation de ce phénomène étant certainement bien meilleure que celle de la circulation de chaleur entre deux milieux. Par ailleurs en se focalisant sur l'aspect résistance = « chemin de passage du courant », on peut avoir des problèmes pour comprendre l'association de résistances en série. Canal (1996) ajoute que le circuit n'est pas matérialisé, qu'il n'existe pas l'équivalent d'un interrupteur, et qu'il n'existe pas non plus de fluide caloporteur.

Canal propose quant à lui quatre analogies différentes, dont il souligne la complémentarité : un modèle de simulation qu'il appelle « modèle-foule », un modèle hydraulique et deux modèles mécaniques, à chaîne et à engrenage. Leur originalité réside dans l'analyse énergétique qui est faite lors de leur mise en œuvre, et leur intérêt est d'introduire, dans la même situation, à la fois l'énergie, la tension et l'intensité, en faisant état des relations entre ces grandeurs, notamment dans les cas particuliers (bornes d'un interrupteur, association de récepteurs par exemple). Ne les ayant pas utilisées dans la base de données faute d'en avoir disposé au moment de la conception, nous ne les détaillerons pas ici, mais nous soulignons cependant leur intérêt.

2.3. Les schémas électriques

« Le schéma est une représentation figurée d'une connaissance utilisant formes, dimensions et positions pour ne reproduire que les caractéristiques valables pour une catégorie d'objets ou de phénomènes. .... un schéma descriptif met davantage en évidence les caractéristiques telles qu'elles apparaissent effectivement, tandis qu'un schéma explicatif met davantage en évidence le principe sous-jacent» (Vezin et Vezin 1988).

Schémas descriptifs ou schémas explicatifs, les schémas constituent un élément incontournable dans les cours d'électricité et dans la résolution des exercices ou des problèmes qui sont proposés. Leur compréhension est un facteur déterminant dans l'intégration des concepts fondamentaux de l'électricité et dans les performances des apprenants à résoudre des exercices. « Il ont une fonction visuelle et cognitive » (Jacobi [1987]). Il est donc important d'analyser comment ils sont décodés, compris et utilisés par les élèves. Caillot [1988] propose à cet égard des points de repère que nous allons rappeler dans ce chapitre.

2.3.1. Situation dans les manuels

Les schémas présentés sont classiquement « rectangulaires », ce qui ne correspond à aucune signification d'ordre physique. L'information importante dans un schéma est d'ordre topologique (mode de connexion des différents éléments entre eux). L'aspect rectangulaire, qui se voudrait accessible au plus grand nombre en raison de sa

simplicité, fait au contraire obstacle aux propriétés topologiques, élément essentiel dans le circuit.

On constate aussi, de façon très largement majoritaire, des dispositions privilégiées que l'on peut qualifier de « canoniques ». Les éléments en série sont représentés le long d'un même côté du rectangle, alors que les éléments en dérivation sont représentés sur des branches dessinées parallèlement les unes aux autres. De manière extrême, le schéma en électricité « code la redondance en devenant une figure commune à une série plus ou moins importante de choses réelles qu'il a su réduire à l'essentiel » (Jacobi [1987]).

Enfin, Caillot fait remarquer que la schématisation n'est pas réellement enseignée. L'élève, au travers de l'implicite des manuels et de l'enseignant crée ses propres règles de schématisation et de décodage des schémas pour s'en faire une représentation utilisable.

2.3.2. Décodage des schémas

Le schéma est à la fois une figure, un dessin soumis à des lois de la perception et une représentation d'un circuit réel, obéissant à des lois physiques et véhiculant une signification. Nous allons examiner tour à tour ces aspects.

2.3.2.1. Effets perceptifs

Les éléments figuratifs constituent un élément important de décodage d'un schéma lorsque l'élève en comprend mal le sens physique. La structure du schéma, c'est à dire la disposition matérielle des composants sur ce schéma est alors prépondérante, en particulier dans la reconnaissance des associations de dipôles en série ou en parallèle. Les psychologues ont établi l'importance des facteurs de :

- Proximité
  Des éléments voisins sont perçus comme appartenant à la même structure. Ainsi, deux résistances placées côte à côte seront plus facilement perçues en série que si elles sont éloignées ou séparées par un autre élément (générateur par exemple).
- Continuité
  Sur un schéma, les éléments orientés dans le même sens sont plus facilement décodés comme appartenant à la même structure.
- Symétrie
  Les schémas admettant des axes de symétrie sont plus facilement lus que les autres. Ainsi, deux résistances placées sur deux branches parallèles sont plus facilement lues comme montées en parallèle que si elles sont voisines.

– Clôture
  Les contours simples jouent un rôle prégnant dans le décodage d'une structure. Ainsi des éléments placés sur le pourtour du circuit sont plutôt vus en série.

2.3.2.2.Repérage des unités de sens

Caillot [1988] citant des travaux d'Egan et Schwartz, souligne que les experts lisant un schéma, utilisent des « unités signifiantes », en reliant des blocs du schémas à des concepts stockés dans leur mémoire à long terme. Le schéma est alors découpé conceptuellement, et perçu comme organisé en unités fonctionnelles.

2.3.2.3.Analyse locale ou globale

Un schéma peut donc être perçu de deux façons (non exclusives) suivant les connaissances du lecteur, selon un axe perceptif et selon un axe sémantique. On peut souligner, pour établir une liaison avec les travaux de Closset sur le raisonnement séquentiel, le caractère local de l'analyse intervenant dans l'axe perceptif : un dipôle est perçu dans ce cas en fonction de son environnement immédiat. On peut lui opposer le caractère global de l'analyse faite par un expert qui considère un circuit comme un tout, un système, pour en comprendre le fonctionnement.

2.3.3.Les schémas dans la résolution de problèmes

2.3.3.1.Quelques exemples

Voici quelques exemples montrant que les procédures utilisées par certains élèves dans la résolution des problèmes échouent en raison d'un mauvais décodage du circuit, induit par une analyse superficielle du schéma.

– Des composants placés sur le pourtour d'un circuit «complexe » sont souvent vus « en série ». Le courant étant identique en tout point d'un circuit série, certains élèves affirment alors que les deux éléments précédents sont traversés par le même courant.

– La tension est identique aux bornes de deux éléments montés en parallèle. Le parallélisme géométrique du schéma étant associé au montage de dipôles en dérivation, certains élèves affirment que la tension est identique sur des branches dessinées en parallèle, même si d'autres éléments s'intercalent.

– Lorsque certains élèves font des calculs de résistance équivalente sur des schémas s'éloignant des représentations canoniques, les associations erronées de dipôles sont nombreuses.

2.3.3.2.Connaissances prototypiques, connaissances flexibles

Il apparaît donc que les lois de l'électricité sont associées de façon mécanique à des schémas particuliers de circuits, les schémas canoniques, au lieu d'être valables pour toutes les représentations équivalentes des circuits. En reprenant une analyse de Richard (1995) sur la « typicité » de certains éléments représentatifs d'un concept, on pourrait dire que le schéma canonique serait le plus représentatif de sa catégorie (probablement parce que le plus représenté, sinon le seul), au point d'occulter tous les autres. D'où l'hypothèse émise par Caillot [1988], reprise et étudiée par Cauzenille-Marmèche et Mathieu [1988], d'une structuration des connaissances sous forme de prototype figé : à des formes particulières, les formes canoniques, sont associées des lois de l'électricité.

Lorsque le schéma étudié est isomorphe au schéma prototypique, l'élève élabore rapidement une représentation correcte du problème posé et trouve la solution. Dans le cas où le schéma proposé s'écarte des schémas prototypiques, l'élève ne disposant pas des connaissances nécessaires simplifie le schéma étudié pour le ramener à un schéma connu. Lors des activités d'apprentissage, il s'agit alors de remplacer des connaissances prototypiques figées par des connaissances plus flexibles, s'apparentant à celles de l'expert. Par exemple, un schéma en série ne sera plus considéré comme représenté par deux résistances côte à côte mais par un nombre quelconque de dipôles divers mis bout à bout.

2.3.4.Conclusion

Il est donc intéressant de construire des activités où les élèves pourraient schématiser un même circuit de manière différente, ou à l'inverse reconnaître les schémas équivalents à un même circuit. En même temps, comme le propose Caillot (1988), «il est sans doute aussi nécessaire d'utiliser moins fréquemment dans l'enseignement les schémas canoniques pour éviter que les connaissances des élèves ne se structurent sous forme de prototypes».

2.4. L'expérience dans l'enseignement

Dans la construction du savoir savant, expérience et théorie interagissent régulièrement l'une avec l'autre, renvoyant sans cesse l'une à l'autre. La théorie est une création intellectuelle dont découlent directement des hypothèses que l'expérience permet de tester. Suivant les résultats des tests, la théorie est alors validée, ou au contraire, elle est démentie, auquel cas il faut la modifier, la faire évoluer. Dans un autre contexte, celui d'une théorie acceptée par la communauté scientifique, l'expérience sert à effectuer des mesures de diverses grandeurs. Elle sert encore à créer des phénomènes nouveaux susceptibles de poser de nouvelles questions. Dans tous les cas, et particulièrement le premier, théorie et expérience apparaissent comme étroitement liées.

Dans le processus d'un enseignement utilisant habituellement la démarche inductive, la théorie constitue l'aboutissement des activités, dont l'expérience, elle, est le point de

départ. C'est en effet à partir de l'expérience que l'on met en relation différents concepts pour aboutir à l'élaboration d'un nouveau modèle. L'expérience a donc un rôle tout à fait différent dans la constitution du savoir savant dans laquelle elle permet de tester une théorie et dans l'élaboration du savoir que l'on enseigne, dans laquelle elle permet de définir une théorie.

En plus de son rôle de support pour l'introduction de nouveaux modèles, l'expérience est aussi utilisée comme support pour la formation à «la démarche expérimentale». Elle permet de faire acquérir des éléments méthodologiques, ou encore de développer une attitude scientifique.

Nous allons tour à tour examiner ces deux aspects de l'utilisation de l'expérience dans l'enseignement, apprentissage de savoirs scientifiques d'une part et apprentissage de la « démarche expérimentale» d'autre part.

2.4.1. L'expérience dans l'apprentissage de savoirs scientifiques

Une partie des activités d'enseignement doit permettre à l'élève d'acquérir des modèles. Deux démarches totalement différentes y concourent : la transmission des modèles par l'enseignant et la construction des modèles par l'élève. Nous allons d'abord examiner la première, beaucoup plus courante, avant de s'intéresser à la seconde.

2.4.1.1. Transmission du modèle

Le processus démarre par une expérience de «monstration » qui doit permettre selon Johsua [1989] :

- la « proposition du problème» à la classe pour que celle-ci se l'approprie;
- la « désignation (claire) du phénomène » étudié grâce à l'existence d'une correspondance évidente entre l'expérience et le phénomène que l'on veut montrer ;
- l'entrée dans le discours expositif en ayant la possibilité de dégager aisément les éléments nécessaires à l'élaboration de la théorie ; l'expérience de monstration doit se présenter comme «un lien entre le connu et l'inconnu ». Ainsi on choisit une expérience permettant d'effectuer facilement les mesures des grandeurs pertinentes, ou présentant une organisation structurant déjà les éléments pertinents.

L'expérience de monstration est en fait une expérience de nature prototypique dans laquelle tout est soigneusement calculé pour permettre d'induire à partir d'elle le modèle que l'on veut transmettre. Ce modèle peut être «transmis » à partir de trois démarches différentes :

- démarche inductiviste classique : il s'agit du cas le plus simple dans lequel on peut simplement relier entre elles les grandeurs mesurées pour établir une loi qui est « mise en évidence», loi que l'on généralise à toutes les situations.

– démarche de type « exposition-admission » : l'enseignant expose à l'élève le modèle en s'appuyant constamment sur l'expérience de monstration. Il avance en fonction « de la capacité qu'il a à faire admettre la plausibilité du modèle à l'élève» (Johsua [1989]), en relation avec l'expérience de départ qui est la référence du discours. En cas de doute, l'enseignant peut utiliser une autre expérience prototypique, susceptible du même traitement pour confirmer le modèle proposé. Il s'agit d'une expérience de «confirmation ». Des expériences de « renforcement » permettent aux élèves de renforcer leur adhésion au modèle transmis en le réutilisant.

– démarche de type « exposition-appropriation » (appelée « démarche de preuve » par Johsua) : le modèle n'est pas imposé par l'enseignant ; ce sont les élèves qui émettent des hypothèses et proposent après l'expérience de monstration, différents modèles ou éléments, qui sont en suite testés expérimentalement. Un modèle plausible est dégagé, éventuellement confirmé si nécessaire ou renforcé d'une façon identique à la démarche précédente.

2.4.1.2.La « construction-appropriation» du modèle

Il s'agit d'une situation totalement différente, nettement plus difficile à mettre en oeuvre, beaucoup moins courante, impliquant la résolution de problèmes expérimentaux, à partir de «situations-problème». A partir d'une représentation initiale de la situation expérimentale de départ, il s'agit d'arriver, après modélisation, à une nouvelle représentation plus aboutie exprimée en terme de systèmes décrits par des relations et des grandeurs physiques.

L'enseignant, à partir de l'analyse de la situation de départ par les élèves, cerne leurs représentations, et les exploite pour leur faire élaborer des hypothèses. Des expériences construites et réalisées par les élèves permettent de valider ou non certaines des prédictions. L'ensemble de ces éléments est formalisé et consigné par écrit. Des expériences complémentaires permettent de rechercher des relations fonctionnelles ; il s'agit là d'une phase particulièrement difficile, dans laquelle un guidage ou des aides didactiques doivent être apportés. Les relations fonctionnelles trouvées sont ensuite exploitées sur d'autres situations, notamment pour établir le champ expérimental explorable par le modèle. Enfin, le modèle établi sera réinvesti par exemple au travers de la résolution d'autres problèmes.

Cette méthode de travail fait une part importante aux représentations des élèves, à un véritable dialogue nécessaire à des échanges constructifs, à la rédaction et la schématisation comme auxiliaires à la réflexion et à la formalisation. On peut, pour résumer, la schématiser en trois étapes :

– activités d'investigation, dans lesquelles l'élève «investit » la situation à partir des représentations initiales, à l'aide «d'expériences pour voir» (Cauzenille-Marmèche et Mathieu [1984]);

– activités de statut scientifique, utilisant une méthode tâtonnante ou heuristique, permettant de réorganiser la planification du travail et les données recueillies, à l'aide « d'expériences pour prouver » ;

– activités de formulation et d'appropriation du modèle, dans lesquelles le modèle est mis en forme et réutilisé.

2.4.2. L'expérience dans l'apprentissage de la démarche expérimentale

Cette démarche comporte plusieurs étapes au demeurant classiques, dans lesquelles l'expérimentation constitue une part importante puisqu'elle concerne directement les trois dernières des quatre étapes évoquées ci-dessous :

– Formulation du problème
  L'élève témoigne de « sa capacité à se poser des questions, à comparer une situation nouvelle avec une situation connue, à envisager le système dans lequel on peut étudier le phénomène » (Develay [1989]).

– Emission d'hypothèses
  « Elle conduit à prolonger le réel par l'imaginaire ... à isoler le système sur lequel on souhaite travailler, ... à définir le champ de la recherche » (Develay [1989]).

– Vérification des hypothèses
  L'élève conçoit et réalise des expériences (manipulations), à partir de l'utilisation de techniques diverses. Develay préfère d'ailleurs parler plutôt de justification que de vérification, dans la mesure où l'hypothèse faite n'est qu'une des interprétations possibles.

– Interprétation des résultats
  Il s'agit d'infirmer ou de confirmer les présupposés de départ, et donc, de construire des concepts, des lois, des théories, des modèles.

On remarquera que l'expérimentation dépasse le cadre purement opératoire (manipulation) et englobe l'émission et la vérification des hypothèses ainsi que l'interprétation des résultats. Il s'agit donc d'un élément fondamental dans l'apprentissage de la démarche expérimentale.

2.5. Les activités de simulation

On distingue régulièrement, dans les typologies des utilisations de l'ordinateur dans l'enseignement de la physique, au moins jusqu'à présent, trois modalités : l'acquisition des données, le traitement des données et la simulation ; c'est ce dernier point qui nous intéresse plus particulièrement ici.

L'examen des produits existants en matière de simulation conduit à faire une première classification (Beaufils et al. [1987-a] et [1987-b]), en distinguant ceux qui relèvent de la simulation d'appareillage, faisant référence à un appareil, de ceux qui relèvent de la

simulation de phénomènes, faisant référence à un modèle. Nous examinerons ces aspects (et surtout le second) dans la deuxième partie de ce chapitre.

Mais avant de détailler ces aspects didactiques, il nous a semblé intéressant de rapporter une analyse de Lévy [1993], plus générale, sur la connaissance construite par simulation et le rôle d'outil d'aide à l'imagination que joue l'ordinateur dans ce contexte.

2.5.1. Connaissance et simulation

2.5.1.1. De la théorie au modèle

Lévy met en relation les caractéristiques du savoir à une époque donnée avec les « technologies intellectuelles » utilisables à cette époque. Avant l'écriture, la caractéristique essentielle du savoir était sa conservation, étroitement liée à la personne qui le détenait et sa transmission sous forme orale. L'écriture a permis de séparer le savoir de la personne qui le détient, à la fois pour sa conservation et sa transmission. Cette possibilité entraîne un souci de «vérité » qui s'est traduit par l'apparition de théories, énoncés autosuffisants, non critiquables, interprétés de façon univoque et rendus nécessaires par la transmission du savoir en dehors de la présence des personnes qui l'ont «créé ».

Le savoir, aujourd'hui à l'ère de l'informatique, est fondé en particulier sur la simulation de modèles, dont la norme est l'efficience et la pertinence. Ces modèles ne sont ni vrais, ni faux. Ils sont simplement plus ou moins utiles ou plus ou moins pertinents par rapport à un objectif particulier. On n'est plus dans un contexte de « vérité » où l'on critique, où l'on interprète, où l'on essaie de répondre à la question « pourquoi » qui constitue la base des théories, mais dans un contexte où l'on « débogue[9] », où l'on essaie de prévoir, de répondre à la question « comment », en explorant de façon interactive un modèle auquel l'informatique, par la facilité de modification qu'elle autorise, confère dynamisme et plasticité.

2.5.1.2. L'apprentissage par simulation

La possibilité de simuler un environnement et ses réactions semble jouer un rôle important pour tous les organismes susceptibles d'apprentissage. En effet, les travaux de psychologie montrent que nous construisons des modèles mentaux, des situations ou des objets sur lesquels nous raisonnons. Ils montrent aussi que nous explorons ensuite sur ces constructions imaginaires, par le biais d'une activité de simulation, différentes possibilités. Cette activité qui constitue donc une étape antérieure à l'exposition raisonnée, fait une part prépondérante à l'imagination, le « bricolage mental », les essais et erreurs. Moins absolue que la connaissance théorique, la connaissance par simulation est plus opératoire, davantage liée aux conditions particulières de son utilisation.

[9] Déboguer un programme informatique consiste à le mettre au point en enlevant progressivement les «bugs » (dysfonctionnements). « Déboguer » un modèle revient donc à le mettre au point progressivement pour que, peu à peu, il rende mieux compte de la réalité.

2.5.1.3.L'imagination assistée par ordinateur

La simulation sur un ordinateur constitue une technologie intellectuelle qui fonctionne comme une extension de la faculté humaine d'imaginer. Elle permet à un sujet d'explorer des modèles plus complexes et plus nombreux que s'il était réduit à utiliser sa propre imagerie mentale et sa mémoire à court terme, même si celles-ci sont secondées par un auxiliaire statique comme le papier. Elle permet à son utilisateur d'acquérir une sorte d'intuition des relations au sein du modèle. La simulation, selon Lévy, renvoie non pas une déréalisation du savoir mais à l'augmentation des capacités de l'imagination et de l'intuition

2.5.2.La simulation du fonctionnement d'un appareillage

En utilisant un logiciel simulant le fonctionnement d'un appareillage, l'élève est censé acquérir une méthode d'utilisation par un entraînement systématique plus ou moins long. Beaufils et al. [1987-a] font remarquer qu'on ne peut réduire cet apprentissage à cette seule activité, qui doit être complétée par un aspect expérimental pour « apporter un réel savoir faire et susciter des questions relatives à la physique du fonctionnement».

2.5.3.La simulation de phénomènes ou de processus

Ce type de simulation fait clairement référence aux modèles mathématisés des phénomènes ou processus physiques, que ceux-ci constituent un objet d'étude ou soient l'objet de situations interactives. Ces logiciels sont utilisés avec les élèves « soit dans une perspective d'acquisition des concepts et de formalisation des lois, soient dans la perspective de renforcement de connaissances déjà acquises » (Beaufils et Salamé [1989]). On peut distinguer deux types de logiciels dans ce contexte, ceux permettant d'explorer un phénomène modélisé et ceux permettant de construire un modèle.

2.5.3.1.Exploration d'un modèle

Beaufils et Salamé [1989] distinguent trois objectifs à ce type d'étude :

- « établir de manière précise les lois qui régissent un phénomène », ce qui peut aller jusqu'à l'écriture formelle des équations correspondantes ;
- « établir les modalités précises d'intervention ou d'action de différents facteurs pertinents» en mettant en évidence les variations ou co-variations, en construisant des relations quantitatives, la formalisation d'ensemble étant assurée avec l'enseignant ;
- acquérir des savoirs ponctuels et des compétences dans le domaine traité. Pour ce dernier cas, les situations de diagnostic constituent un exemple intéressant qui permet à l'élève, selon Beaufils et al. [1987-a], de développer « son sens de l'observation, de l'expérimentation et de la déduction » et qui l'oblige à mettre en oeuvre « une méthode d'investigation, de collecte et

d'analyse des résultats, ... démarche systématique faisant implicitement appel aux activités intellectuelles liées à la démarche expérimentale».

Ces mêmes chercheurs font aussi remarquer que, dans la mesure où la simulation autorise un grand nombre de résultats, obtenus par variations de différents facteurs, l'élève n'est plus dans le contexte de la situation de monstration (décrite au chapitre 2.4.1.1 page 57) où l'on réalise un nombre très limité d'expériences de nature prototypique. La planification du travail, l'anticipation, la mise en forme intermédiaire et finale des résultats deviennent alors des éléments importants pour le succès de l'entreprise, qui devraient avoir des retombées positives sur les activités expérimentales réelles.

Dans le même article, Beaufils et Salamé ajoutent trois autres éléments qui selon eux sont importants pour le déroulement des activités d'exploration :

- la richesse conceptuelle des phénomènes simulés, la variété des modes d'investigation auxquels ils se prêtent, et donc, dans une certaine mesure leur complexité ;
- la marge de l'initiative laissée à l'élève dans l'exploration, qui permet effectivement de mettre en oeuvre un raisonnement divergent, de faire apparaître l'existence de plusieurs solutions ;
- l'existence de système d'aide associés, aidant à l'exploration d'environnements ouverts, aides factuelles, méthodologiques ou stratégiques, que peu de logiciels offrent à leurs utilisateurs.

2.5.3.2.Construction d'un modèle

Dans le cas précédent, le modèle était établi et figé dans le logiciel. Une autre approche consiste à mettre au point ce modèle sur ordinateur avec les élèves. A partir de relations simples, on construit une succession de modèles progressivement enrichis par l'intégration de paramètres supplémentaires (Beaufils et Salamé [1989]). Cet enrichissement est obtenu par modification et ajustement après la comparaison du résultat expérimental avec le résultat obtenu par la simulation. Des outils spécialisés favorisent cette modélisation sur machine, dans laquelle la maîtrise de l'outil constitue un obstacle et la difficulté à établir un lien entre la réalité et le modèle (complexité des relations par exemple) une limite de la méthode.

2.5.3.3.Conclusion

Au travers des éléments évoqués précédemment se dégagent trois axes de travail possibles par la simulation :

- un axe méthodologique, lorsque le modèle est le moteur d'une situation interactive dans laquelle l'élève utilise la démarche expérimentale ;
- un axe cognitif, lorsque le modèle est l'objet de l'étude ;

– un axe méta-cognitif lorsque le modèle est construit par l'élève, permettant ainsi à ce dernier de préciser la notion même de modèle comme représentation du réel.

Le lien avec le réel doit d'ailleurs, selon Beaufils et al. [1987-b], «être le souci constant de l'enseignant ». Lui seul permet à la fois un réinvestissement des acquis dans des situations expérimentales réelles ou dans des situations théoriques et la définition des limites du modèle. Il offre de plus la possibilité d'atteindre la notion de modèle et de modélisation. «La simulation n'a de sens que par rapport à une réalité que l'on tente d'appréhender. Elle doit être un lien privilégié entre le théorique et l'expérimental, non un fossé de séparation » Beaufils et al. [1987-b].

3. Hypermédias

Les hypermédias, bien qu'apparus fort récemment, suscitent déjà beaucoup d'intérêt, de par les potentialités qu'ils semblent présenter notamment en matière de formation. Cependant, si les recherches d'ordre technologique donnent aujourd'hui des résultats opérationnels sur des micro-ordinateurs, il en va tout autrement pour les problèmes soulevés par la conception et l'utilisation des produits hypermédias, pour lesquels les travaux débutent à peine.

Rhéaume [1993] signale d'ailleurs que «la nouveauté se déplace d'une préoccupation envers le logiciel et une application immédiate à une préoccupation envers des approches pédagogiques. Pour l'instant, cet état de construction est d'ailleurs exigeant puisque le genre n'est pas complètement défini et encore moins reconnu et puisque les grandes visions pédagogiques qui intégreraient ces médias ne sont pas encore énoncées».

Ce chapitre présente donc parfois plus des hypothèses de recherche ou des résultats de réflexions que des conclusions scientifiquement établies. Ces éléments ont malgré tout servi de base au travail entrepris et il est nécessaire de les présenter pour «éclairer» cet aspect des choses.

Nous définirons d'abord, avec différentes approches, ce que nous entendons par produit « hypermédia ». Nous poursuivrons en abordant le type d'usages que l'on peut envisager pour les hypermédias dans un contexte pédagogique, usages qui nous mèneront à une réflexion sur les problèmes posés lors de l'utilisation de ces produits.

Cette réflexion, complétée par diverses études, aboutira à des idées, des règles, des méthodes pour la conception d'un produit hypermédia, qui serviront de base à notre travail.

Les recherches sur ce domaine ont historiquement concerné d'abord les hypertextes (au sens étroitement textuel du terme). L'évolution des ordinateurs permettant ensuite de travailler sur des médias plus variés, les recherches ont alors, pour la plupart, porté sur les hypermédias. Tant que la nature du média et les spécificités qui en découlent ne sont pas en cause dans l'étude, on peut étendre aux hypermédias les résultats obtenus pour les hypertextes et confondre les deux termes dans l'exposé. C'est le principe que nous avons souvent adopté dans les pages qui suivent.

3.1. Définitions

Pour mieux appréhender le concept de «produit hypermédia», nous donnerons plusieurs types de définition, d'abord d'ordre purement technique, puis d'ordre fonctionnel ou encore analytique.

3.1.1. Approche technique

Pochon [1993] procède à une courte revue de la question ; il cite d'abord Halasz qui propose la définition suivante : « un hypermédia est une façon de construire un système de représentation de l'information selon un réseau de noeuds connectés l'un à l'autre par des liens de type divers».

Il cite ensuite Weiland et Schneiderman à propos des hypertextes (mais nous pouvons étendre aisément cette définition aux hypermédias) : « une base hypertexte peut être vue comme un graphe orienté où chaque noeud du graphe est un court morceau de texte et où les arcs du graphe connectent chaque morceau du texte à d'autres morceaux du texte ayant une relation. Une interface est fournie, qui permet de consulter les textes, suivre les liens, explorer d'autres parties de la base, revenir sur ses pas pour rechercher d'autres informations complémentaires».

Rhéaume [1991] cite Conklin et propose une description en termes informatiques. L'hypermédia est « une base de données textuelles, visuelles, graphiques, sonores, où chaque îlot d'information est appelé noeud ou cadre ; l'ordinateur établit des liens potentiels entre ces noeuds et peut ainsi créer un mouvement rapide dans cette masse d'informations ; une interface ou un mode de présentation visuelle permet en somme l'interaction entre l'usager et l'hypermédia».

On peut déjà souligner ici deux éléments essentiels des hypermédias, que nous aurons l'occasion de reprendre largement dans les pages qui suivent :

- l'organisation des informations en réseau ;
- l'existence d'une interface permettant à l'usager d'interagir sur la base d'informations.

3.1.2. Approche fonctionnelle

Cette approche fournit plutôt un postulat sur l'usage des hypermédias.

Balpe (1990) définit plus généralement comme un hyperdocument « tout contenu informatif informatisé dont la caractéristique principale est de ne pas être assujetti à une lecture préalablement définie mais de permettre un ensemble plus ou moins complexe, plus ou moins divers, plus ou moins personnalisé de lectures. Parcourant des hyperdocuments, le lecteur peut dans une certaine mesure, décider de sa lecture et agir sur elle en définissant ses parcours ». Plus précisément, toujours selon Balpe (1990), un hypermédia « est un ensemble d'informations appartenant à plusieurs types de médias (textes, sons, images) pouvant être lu (écouté, vu) suivant de multiples parcours de lecture».

Rhéaume [1993] rappelle que le terme d'hypertexte a été forgé initialement par Nelson pour «parler d'une organisation non linéaire de l'information».

Pour Moreira [1991], « toute structure de stockage de l'information autorisant des modes de présentation non séquentiels de l'information peut être considérée comme un hypermédia ».

Pochon [1993] rappelle que « les hypertextes abolissent l'approche traditionnelle et linéaire de l'affichage et de l'utilisation de l'information».

On aura compris au travers de ces quelques citations que l'usage premier d'un « hyper »-média est la consultation non linéaire d'informations, rendue possible par la multiplicité des parcours disponibles au sein d'un réseau d'informations proposées à l'aide de différents médias.

3.1.3. Approche analytique

Au-delà de ce postulat d'usage, certains des auteurs déjà cités analysent brièvement les hypermédias et évoquent les caractéristiques dominantes qu'ils présentent selon eux. Même si nous reviendrons ultérieurement beaucoup plus en détail sur certains des aspects évoqués ici, ils complètent utilement cette première vue d'ensemble.

Moreira [1991] prétend que l'élément essentiel d'un hypermédia est son « ouverture », qui pour lui constitue un avantage. Un hypermédia « n'impose à l'utilisateur aucun modèle d'apprentissage préétabli, y compris quand au mode de présentation de l'information ». La présence simultanée de plusieurs médias dans un même système d'information « renforce son effet sur l'apprentissage et sur l'utilisation des connaissances ». Les hypermédias facilitent « l'association des idées personnalisées », l'utilisateur se comportant alors « comme un filtre autonome de l'information, qu'il sélectionne selon sa pertinence, dont il évalue l'importance, qu'il hiérarchise par rapport aux autres informations, qu'il réassemble de manière originale, construisant ainsi des connaissances nouvelles ». Il est évident qu'il s'agit là d'une vision optimalede l'utilisation d'un hypermédia.

Rhéaume [1991] confirme que « la question du sens est entièrement sous le contrôle de l'usager » ; il rappelle en citant Barthés « que tout usager doit se faire auteur en retraçant pour lui le fil de l'information qui est significatif à un moment donné ». Il nuance cependant indirectement l'enthousiasme de Moreira en affirmant que si « l'hypermédia est un révélateur de sens, seul un usager éveillé peut en prendre conscience ».

Nanard [1995] précise les activités de l'auteur et du lecteur d'un hypertexte. Selon lui, un hypertexte se compose de « documents » contenant des informations, et de « connaissances » représentées par les liens entre les documents. Lorsque l'auteur établit des liens entre les différentes informations, il se livre en quelque sorte à une « explicitation personnelle de connaissances », orientée vers la machine. Les relations entre informations explicitées dans l'hypertexte constituent potentiellement les germes d'informations nouvelles. « Mais elles ne prennent naissance que lors de l'interprétation qu'en fait le lecteur en fonction du montage réalisé lors du parcours effectif de l'hypertexte ».

On retiendra donc dans ces trois approches l'importance de l'utilisateur qui apporte sa spécificité lors la consultation dans le « filtrage » de l'information proposée, et dans les interprétations et les associations d'idées qu'il peut faire, forcément très personnels, pour parvenir au résultat escompté.

3.2. Usages des hypermédias

Après avoir, de diverses manières, précisé la notion d'hypermédia, nous allons brièvement évoquer les usages pédagogiques que l'on peut en faire, puis les problèmes spécifiques posés en situation d'apprentissage, par chaque type d'utilisation.

On peut considérer en première analyse qu'il y a deux niveaux auxquels peut intervenir un apprenant, celui de la consultation d'une base constituée et celui de la conception d'une base de données hypermédia. Il convient cependant d'affiner cette première approche en proposant pour chacun des deux niveaux précédents, deux types d'activités et en considérant avec Duffy et Knuth cités par Bruillard et de La Passardière [1994], qu'il y a en fait quatre types d'usages pour les hypermédias, à savoir,

- pour l'aspect consultation :
  - l'exploration d'une vaste base de données de type encyclopédique, contenant toute sorte d'informations ;
  - l'accès à une information spécifique en consultant une base de données réduite au domaine proposé à l'apprenant;
- pour l'aspect conception :
  - la construction d'une base de données dans laquelle l'usager est alors auteur au plein sens du terme ;
  - la personnalisation d'une base de données, c'est-à-dire la modification par l'usager d'une base de données existante pour qu'elle réponde mieux à ses besoins spécifiques.

Nous allons analyser tour à tour chacune de ces activités afin d'expliquer pourquoi nous avons choisi de travailler à partir de la consultation d'une base de données spécifique.

3.3. Questions soulevées par l'utilisation des hypermédias en situation d'apprentissage

3.3.1. Exploration d'une vaste base de données hypermédia

La consultation des bases de données, qu'elles soient vastes ou réduites à un domaine ciblé, est probablement le type d'usage le plus étudié. Ces études ont permis de dégager divers éléments donnant lieu à discussion : le degré de contrôle des apprenants, la difficulté à contextualiser l'information parcourue, la possible

désorientation dans la base, la surcharge cognitive éventuelle, les difficultés d'évaluation des connaissances, les pratiques actuelles en matière de recherche documentaire. Nous allons les évoquer tour à tour.

3.3.1.1.Contrôle de l'apprenant

La question du contrôle de l'apprenant n'est pas nouvelle. Elle s'est traduite au niveau de l'utilisation de l'informatique à des fins d'apprentissage par les deux approches déjà signalées au paragraphe 1.5.2 page 21 et rappelées par Schneider et al. [1993], à savoir «l'approche micro-monde basée sur l'exploration par l'apprenant d'une situation problème bien définie et l'approche tutorielle, basée sur l'implémentation d'agents dotés soit d'une expertise quant au contenu à enseigner, soit d'une expertise pédagogique».

On retrouve cette dualité quand il s'agit des hypermédias. Pochon [1993] rappelle « l'opposition entre ouverture et structuration des apprentissages » et il se demande « comment concilier "le flou" généré par l'hypertexte (facilité de se perdre, limite peu définie, etc.) avec la structuration d'une matière souhaitée par les apprenants».

Selon Moreira [1991], l'ouverture en matière d'apprentissage est tout à fait digne d'intérêt. Il affirme d'ailleurs que : «lire en utilisant les hypermédias modifie profondément la manière de penser. Ceci peut promouvoir, à long terme, des conduites particulièrement heuristiques, flexibles et innovatrices chez les utilisateurs d'hypermédias, dans l'ensemble de leurs activités intellectuelles ».

Depover et al. [1993] sont plus réservés. Selon eux, «de nombreuses études montrent que la capacité de contrôle sur la gestion de son propre apprentissage est loin d'être largement partagée par tous ». Ces capacités de contrôle dépendraient de divers paramètres liés à l'apprenant (âge, niveau de connaissances par rapport au domaine) ou liés à la matière (niveau de complexité des cours, caractère familier ou non du contenu).

C'est ce qui amène Depover à proposer une situation de compromis entre les tenants d'un contrôle strict de l'apprenant par le système et les concepteurs convaincus qu'il est important de confier à cet apprenant un contrôle étendu sur les contenus et les démarches d'apprentissage. « Cette voie médiane consiste à proposer à l'apprenant certaines latitudes de contrôle tout en lui fournissant des conseils et des suggestions susceptibles de l'aider dans ses décisions. Ce contrôle sous surveillance pourrait constituer un modèle pédagogique adapté aux possibilités des hypermédias » (op. cit.), modèle totalement inexistant pour l'instant.

Rhéaume [1991] et Depover [1993] sont en tout cas d'accord pour exclure la liberté totale d'exploration, peu productrice. Selon Rhéaume, « la recherche d'information dans l'hypertexte doit correspondre à un objectif pédagogique externe ». Ce sont ces exigences externes qui aident l'apprenant à déterminer ce

qu'il conserve ou élimine de son exploration. Selon Depover, «il est indispensable que la recherche de l'apprenant à travers des liens multiples et diversifiés soit orientée vers un but ». Cette orientation n'est pas celle qui est déterminée par un guidage étroit du système mais «peut dépendre d'un projet à long terme compatible avec l'idée que l'on se fait d'un apprentissage par redécouverte ».

3.3.1.2.Contextualisation de l'information

Dans un hypermédia, il s'agit entre autre de reconnaître l'information, d'établir des liens avec ce que l'on sait déjà, puis de se les approprier pour apprendre : « au parcours de ce que nous appellerons une carte de connaissance correspond la construction d'une carte mentale, un peu à la manière dont le plan d'une ville se dégage petit à petit d'errances, de retours en arrière de découvertes, de raccourcis inopinés » (Pochon [1993]). Cette idée est aussi exprimée par Rhéaume [1991] : «l'apprenant s'affaire à retracer des faits et des références comme dans toute base de données, mais il a aussi pour but de se reverser à lui même les structures sémantiques qu'il découvre par des liens entre ces informations ».

Pour cela, il s'agit de rapprocher le réseau sémantique de l'apprenant et celui implémenté dans l'hypermédia, ou encore de rapprocher « l'espace des connaissances enregistrées par le système informatique de l'espace cognitif de l'usager » (Pochon [1993]).

Selon Balpe [1990] citant Marchionini, il s'agit de considérer« le domaine d'un hyperdocument comme l'intersection de modèles mentaux ». Il s'agit selon lui de « postuler un modèle du destinataire, de définir le plus précisément possible le modèle mental de la cible visée, d'estimer comment faire coïncider la structuration du domaine par la cible avec celle du domaine par le producteur ».

En fait, il s'agit bien, selon cette approche, de rapprocher les modèles mentaux, ou les réseaux sémantiques et non de les rendre identiques. En effet, comme on vient de l'expliciter, si les modèles sont trop différents, aucune reconnaissance d'information, aucune identification de lien n'est possible. Mais s'il y a identité, les connaissances établies seront au mieux confortées, et il n'y aura aucun apprentissage nouveau. Pour reprendre une image proposée par Moreira [1991], s'il s'agit d'éviter la «noyade » de l'apprenant dans le système d'informations, il faut aussi lui proposer quelques difficultés pour lui « apprendre à nager ».

Tricot [1994] conteste par contre l'utilité et la possibilité d'établir un modèle du lecteur. Bastien et lui proposent (Tricot et Bastien [1996]), en s'appuyant sur des travaux de recherches récents, de dépasser l'importance accordée au contexte pour la mobilisation ou l'établissement des connaissances déclaratives (voir la conception de Lévy que nous avons brièvement évoquée dans un des paragraphes précédents, ou la conception de Le Ny citée par Tricot) pour

l'étendre aussi aux connaissances procédurales. Il fait remarquer que des experts raisonnent « non pas logiquement au sens classique du terme, mais fonctionnellement » en adaptant leurs connaissances au contexte dans lequel ils se trouvent. Il donne l'exemple, pour illustrer son propos, de la réalisation d'un logiciel ; un expert utilise une documentation structurée et réunit, en fonction du but qu'il doit atteindre, des informations éparses dans la documentation (gestion des entrées sorties, utilisation du graphisme etc.). Dans la connaissance qui en résulte et qui est mémorisée par l'expert, ces connaissances éparses sont connectées (et réutilisables), et elles se lient aux connaissances qu'il possédait déjà sur le domaine. « Cette double structuration, par le but et en fonction des connaissances antérieures constitue un réseau et résoudre un problème revient à trouver un cheminement dans ce réseau ». C'est ce qui expliquerait que le corpus d'une base puisse être utilisé avec succès par des personnes différentes, ayant des problèmes différents. L'idée serait donc, d'après ces chercheurs, non pas de s'adapter à l'utilisateur, mais de lui donner les moyens d'accéder, quand il le désire, aux informations pertinentes pour lui, en organisant et en indexant rationnellement la base en fonction des buts à atteindre par l'apprenant

Quel que soit le mode dont on structure une base, en fonction d'un certain type d'utilisateur ou en fonction d'un certain nombre de buts à atteindre, on peut s'inquiéter, comme Rhéaume, du développement grandissant du «morcellement de l'information dans les médias de masse comme dans les hypermédias pédagogiques ». Selon lui, et nous partageons ce point du vue, «la désarticulation des messages et leur multiplication dans le temps et l'espace crée une illusion de connaissance dont la superficialité est la conséquence la plus tragique. Les visions trop rapides occultent la vision d'ensemble ou la compréhension d'ensemble dont les liens de l'hypermédia sont censés tenir compte ». La solution à ce problème ne peut être que chez l'usager, qui pour répondre à un objectif précis doit rester «le capitaine de sa propre navigation ».

Rouet [1994] a montré que cela est d'autant plus facile que l'usager dispose de connaissances minimales sur le sujet concerné, ou que celui-ci dispose d'un entraînement sur l'hypertexte considéré ; cela paraît tout à fait normal, dans la mesure où il s'agit à la fois de localiser les items dans une structure complexe et de traiter les contenus correspondants.

3.3.1.3.Désorientation dans l'hyperespace

Selon Tricot [1993], être désorienté, ou se perdre dans un hypertexte, c'est «ne pas savoir où l'on est, ne pas savoir comment accéder à quelque chose que l'on croit exister » ou encore « arriver à un endroit et ne plus savoir pourquoi on est là, se perdre en digressions, ne pas savoir s'il reste des documents pertinents dans le système, oublier quelles sélections on a faites précédemment, ne pas être capable de se représenter une vue d'ensemble ou un résumé cohérent de ce que l'on vient de voir ».

Les facteurs facilitant la navigation ou au contraire désorientant l'apprenant, jouent aussi un rôle dans la contextualisation des informations et la surcharge cognitive. On doit en tenir compte pour concevoir un hypermédia et réaliser l'interfaçage entre la base de données et l'usager. Nous traiterons cet aspect globalement dans le paragraphe3.4 page 76 consacré à ces problèmes.

3.3.1.4.Surcharge cognitive

Ce problème est évoqué brièvement par divers auteurs. Il s'agit «d'un surcroît d'informations qui place l'usager dans une situation défensive » peu favorable à l'acquisition de nouvelles connaissances. Il résiste alors à l'apparition de nouvelles informations, à l'ouverture de nouvelles fenêtres, aux liens dont la signification n'est pas directement perçue et il n'intègre plus ces éléments qui ne lui paraissent plus pertinents.

3.3.1.5.Evaluation des connaissances acquises

L'évaluation des connaissances, nécessaire à tout pédagogue pour orienter son action, peut être rendue difficile par la multiplicité des parcours possibles au sein d'une base de données, et l'impossibilité dans laquelle il se trouve de savoir a priori quelles connaissances l'apprenant a parcourues. A l'individualisation du travail doit cependant être associée une certaine individualisation de l'évaluation, et une trace du parcours effectué au sein de la base de données peut à cet égard être utile.

Cette trace est d'ailleurs intéressante tant au niveau des connaissances, que des associations qui ont (ou n'ont pas) été faites par l'apprenant à partir des informations disponibles. Ces associations ou leur absence sont révélatrices dans une certaine mesure des structures de l'apprenant et de leur degré de complexité ou d'avancement. Le temps et les compétences nécessaires au traitement des parcours constituent cependant un obstacle pour tirer pleinement partie des informations.

3.3.1.6.Les pratiques de recherche documentaire

Les méthodes de recherche documentaire privilégient largement pour l'instant l'accès à l'information via les mots-clés d'un thesaurus. Dans les établissements scolaires, les élèves ont acquis une certaine familiarité avec cette façon de travailler, même si elle nécessite souvent l'intervention du documentaliste, qui, par compétence professionnelle, maîtrise bien mieux le thesaurus utilisé.

Les documentalistes et les enseignants devraient aussi pouvoir apporter une aide méthodologique aux élèves pratiquant une recherche de type hypermédia : repérage et utilisation pertinente des indices de navigation disponibles, disposition de repères personnels, identification éventuelle de certaines structures dans l'information consultée, récupération de l'information intéressante pour utilisation personnelle dans un logiciel approprié etc. Il y a là une sorte de « révolution culturelle » dans l'accès à l'information qui nécessitera

très rapidement une formation des acteurs concernés. Les enseignants en ont conscience et demandent fréquemment que leur soit fournis avec les cédéroms « des exemples concrets d'exercices » (Inspection Générale de l'Education nationale [1992]).

3.3.2.L'accès à une information spécifique

Dans ce cas, la base de données est limitée en connaissances, réduite au domaine de l'apprenant. Il en résulte que les problèmes évoqués précédemment, s'ils existent toujours et s'il faut les avoir à l'esprit lors de la conception d'un produit, sont atténués. Les risques d'égarement hors matière n'existent plus, la contextualisation de l'information est facilitée, la surcharge cognitive est réduite. On est en fait plus prêt du didacticiel que de la base de données. En contrepartie se pose de façon plus forte le problème d'un transfert ou d'une évolution des représentations de l'utilisateur, dont on peut dire ici qu'il est un apprenant au sens plein du terme.

3.3.2.1.La base de données «didactique»

La base de données doit posséder certaines caractéristiques pour jouer un rôle didactique. Selon Rhéaume [1991], «la matière doit être structurée pour être regardée sous divers angles. Chaque îlot d'informations doit être suffisamment explicite et autonome pour ne pas exiger de cheminement préalable. .... Les heurts laissés par les sauts entre les noeuds doivent être nivelés par l'apprenant qui doit se rebâtir une cohérence, une signification personnelle ». L'hyperapprenant est un apprenant qui sait «lire entre les noeuds », l'hyperprofesseur étant celui qui s'efforce de «rapprocher les rives des noeuds pour que les ponts soient traversés par l'hyperapprenant avec gain et non avec perte cognitive ».

Au delà d'une réflexion didactique nécessaire à la structuration de la matière, on peut pour faciliter le « gain cognitif » ou palier certaines lacunes de structuration, utiliser des dispositifs techniques mis au point pour faciliter l'exploration des grandes bases de données. Nous y reviendrons dans cette partie au paragraphe3.4 page 75 traitant des problèmes d'interfaçage.

3.3.2.2.Evolution des représentations grâce à l'hypertexte

Selon Coste [1993] auquel nous emprunterons l'essentiel des propos de ce chapitre, un hypertexte (entendu dans sa conception hypermédia) «n'est pas seulement à lire mais plutôt à voir et à manipuler ». En conséquence, les « fonctions navigationnelles d'un hypertexte doivent être mises au service de l'exploration visuelle du champ de connaissances concerné, pour que sa manipulation puisse être investie par l'utilisateur en situation de formation dans une stratégie individuelle de maîtrise du contenu».

Le contenu de l'hypertexte a en même temps un statut d'objet et de concept, que l'utilisateur manipule et appréhende au travers de ses relations avec d'autres objets, qu'ils soient dans l'hypertexte ou issus d'un environnement informatif

plus large. L'hypertexte doit donc, pour faciliter la perception de relations, posséder une possibilité de guidage dans l'information et/ou l'activité et être intégré à un contexte de formation plus large ; pour qu'il manipule des relations, l'utilisation d'un hypertexte nécessite de plus pour l'apprenant, «un projet-de-faire à travers cette technique».

Au travers de son propre « projet-de-faire », l'utilisateur confronte les objets de l'hypertexte et leurs relations à l'image de ses propres représentations. Même si le transfert n'est pas immédiat, car il nécessite de faire le deuil des représentations précédentes, il produit selon Coste «une situation d'actualisation et de déplacement des représentations inconscientes dont on peut penser qu'il autorisera le passage à la conscience, le passage d'une représentation de choses à la verbalisation par une représentation de mots».

Coste souligne aussi la dimension gestuelle (manipulatoire) de l'acte de pensée : l'hypertexte matérialise et donne à voir, un acte de pensée par le résultat qu'il produit lorsqu'on active une liaison. Les significations produites se renvoient l'une à l'autre, se renforcent et se restructurent en de nouvelles représentations : la mise en relation permet de comprendre («cum-prehendere ») en même temps plusieurs concepts. Chacun des objets manipulés par l'utilisateur matérialise ses propres schèmes associatifs et sa propre stratégie d'élaboration des représentations.

« En ce sens, la situation d'hypertexte permet de concevoir la gestion des informations comme une gestion d'objets représentant des choses, une gestion d'idées représentant des concepts, une gestion d'actions représentant des procédures ». L'hypertexte est ainsi un domaine intermédiaire permettant des « expériences-pensées » au sein d'un micro-monde « d'objets-concepts », intermédiaire entre la structure du langage et celle de l'action.

3.3.3. Construction d'une base de données

Construire une base de données est une activité déjà menée dans un contexte pédagogique sous d'autres formes que l'hypermédia. La réalisation d'une exposition, la constitution d'un service télématique relèvent des mêmes pratiques. En milieu scolaire, des tentatives ont été faites aussi avec l'hypermédia.

Dans tous ces cas, l'apprentissage est un procédé actif dans lequel l'apprenant travaille avec l'information et se l'approprie en la structurant, en l'organisant. L'apprenant est dans ce cas un auteur au sens plein du terme (Beaufils [1996]). Deux éléments sont au moins alors à considérer : l'hypermédia comme mode d'expression, et les contraintes du média lui-même lors de cette expression. Pour terminer, nous aborderons la possibilité de construire un hypermédia dans le cadre d'un apprentissage coopératif.

3.3.3.1.L'hypermédia, mode d'expression

Rhéaume [1991] affirme que « le passage de la pensée à l'hypertexte devrait se faire naturellement puisqu'il semble y avoir une parenté entre le mode de pensée d'un humain et l'hypertexte ». En effet, si nous apprenons comme nous pensons, en établissant des relations significatives entre des faits, l'hypermédia, qui fonctionne de manière associative, se prête bien à recevoir des informations reliées les unes aux autres. « C'est peut-être le cas où non seulement il faut en faire à sa tête, c'est-à-dire comme on le veut, mais il faut le faire, le composer comme on le pense. L'hypermédia devient un outil de structuration de la pensée, au même titre que la langue».

3.3.3.2.Contraintes liées au média

Nous évoquerons plus en détail ces contraintes lorsque nous traiterons le problème de l'interfaçage au paragraphe suivant. Celles-ci concernent la structuration de l'information (taille et contenus des noeuds, types de relation entre les noeuds), la présentation des unité d'informations (cohérence des titres, des couleurs etc.), la lisibilité des éléments graphiques et textuels, et en dernier lieu, les compétences techniques nécessaires à l'acquisition des données et à leur mise en forme.

Force est de remarquer d'une part que ces éléments ne font partie d'aucun des programmes de l'enseignement classique, et d'autre part qu'ils ne sont pas évidents à maîtriser, qu'on ne peut les acquérir que par une pratique régulière liée à la consultation de produits déjà réalisés et à la manipulation d'outils encore peu présents dans les établissements. Le temps nécessaire à cette acquisition (Kessler [1992]), les moyens matériels et humains nécessaires à la mise en oeuvre du procédé sont certainement des obstacles de taille à la généralisation immédiate de ce type d'activité, pourtant riche en potentialités.

3.3.3.3.Construire un hypermédia dans un cadre coopératif

Pour faciliter la construction d'un hypermédia dans un contexte scolaire, on peut décider de réaliser un produit peu ambitieux et très ciblé. On peut aussi décider de travailler dans un contexte coopératif, l'éducation étant alors considérée « non seulement comme un processus cognitif mais également comme un processus social » (Derycke [1991]).

On connaît l'intérêt des relations interpersonnelles et des conflits socio-cognitifs entre pairs dans la construction du savoir ; si l'on pense pouvoir établir des connaissances par l'élaboration d'un produit hypermédia, il est intéressant de pouvoir utiliser ces procédés. Pour l'instant, cela reste difficile, faute d'un outil de travail collaboratif adapté. Mais la coopération entre apprenants peut toutefois s'établir au moins avant l'implantation des données sur ordinateur. On est peut-être plus actuellement dans un contexte de travail d'équipe avec partage des tâches que dans un réel travail coopératif.

3.3.4. Personnalisation d'une base de données

Personnaliser une base de données relève des mêmes préoccupations pédagogiques que la construction d'un hypermédia : on admet dans les deux cas qu'un travail sur l'information peut susciter un apprentissage.

La personnalisation d'une base, qui fait jouer à l'hypermédia un rôle utilitaire, peut se faire de trois manières différentes : ajouts d'îlots d'informations, annotation de la base en y ajoutant ses commentaires personnels, création de nouveaux liens au sein de la base.

Cette activité pourrait paraître plus aisée à mettre en place que la construction complète d'un produit. Il est cependant nécessaire de s'imprégner largement de la cohérence de la base existante, et de la conserver tout au long des modifications apportées, que ce soit au niveau cognitif ou au niveau communicationnel. Ces problèmes sont encore plus cruciaux si la base est modifiée par plusieurs utilisateurs. Par ailleurs, la nécessité d'une maîtrise technique demeure. Il faut donc gérer cet ensemble de contraintes et aussi trouver, ou créer, une base susceptible d'être modifiée. Ces difficultés expliquent probablement que peu d'expérimentations en ce sens semblent avoir été effectuées.

3.3.5. Conclusion

Parmi ces usages, compte-tenu des analyses précédentes, nous avons choisi de développer la consultation d'une base de données spécifique à un domaine. Il y a plusieurs raisons à cela :

- la construction ou la personnalisation, par les élèves, d'une base de données nécessitent du temps pour « apprendre » les techniques de conception correspondantes. Cela n'est pas compatible, dans le cadre purement disciplinaire, avec le temps dont dispose un enseignant pour faire son cours ;
- la consultation d'une vaste base de données ne peut aboutir à l'heure actuelle qu'à la constitution de connaissances d'ordre général, par exemple sur l'histoire des sciences. Il ne semble pas y avoir, pour l'instant, un produit de ce type permettant de faire un travail d'ordre disciplinaire, en relation avec les programmes, en physique.
- la consultation d'une base de données spécifique présente l'avantage de diminuer les problèmes liés à la consultation d'une vaste base, surtout si on la dote d'outils de navigation adaptés. Elle correspond aussi à certaines des orientations que nous avons retenues dans cette partie au paragraphe 2.1.1 page 31 : l'activité, de nature individualisée, peut se faire en autonomie, en dehors des heures de cours.

3.4. Conception d'un produit : problèmes d'interfaçage

L'interfaçage entre la base de données et l'usager est capital. Ce chapitre décrit certains des problèmes correspondants. Il emprunte largement à Dufresne [1991] la classification servant de base à la présentation.

3.4.1. Les données

D'après Tricot [1993], il faut réfléchir :

- à la nature des données (texte image, son...) afin de choisir la plus adaptée pour représenter l'information ; Leclerc [1991] propose le «principe multimédia », qui consiste à « fournir l'information sous divers angles (verbaux, iconiques, etc.) pour satisfaire à une variété de styles d'apprentissage» ;
- au type des données correspondant à des connaissances déclaratives ou procédurales, ce deuxième cas nécessitant la présence d'exercices permettant un feed-back immédiat ;
- au « grain » des données, quantité d'information résultant de la segmentation des connaissances. Les études actuelles ne permettent pas de dire s'il vaut mieux faire peu de grosses unités ou beaucoup de petites. Selon Rhéaume [1991], la grosseur d'un noeud devrait correspondre à l'espace de la mémoire à court terme.
- aux relations entre les données, logiques ou non. Si les connaissances sont de type logique, il y a une relation « nécessaire » entre les éléments. Ce n'est pas le cas lorsqu'il n'y a pas de relation logique et il est alors plus difficile à l'utilisateur de gérer l'ensemble des liens possibles. La surcharge cognitive étant alors plus grande, il faut simplifier la structure.

3.4.2. La structure de la base

Dans un hypermédia, tout type de structure est envisageable. Tricot [1993], Rouet et Tricot [1995] proposent des conclusions relatives à chaque type de structure en reprenant différents travaux de recherche. Selon ces travaux :

- la structure hiérarchique facilite la représentation du système, satisfait les utilisateurs, structure mieux les connaissances, mais entraîne de nombreuses ouvertures non pertinentes. On peut d'ailleurs mettre en parallèle les relations entre ces résultats et les habitudes de consultation des usagers liées à une culture « textuelle », privilégiant déjà ce type de structure. Dans une structure hiérarchique, « les sujets établiraient d'abord des repères, puis des relations entre ces repères, établissant un plan local, puis un plan général en reliant entre eux les plans locaux ». Un découpage orthogonal des connaissances et les regroupements sémantiques dans les menus facilitent les choses (Dufresne [1991]) ;
- l'index permet une plus grande exhaustivité dans la consultation ; par contre, utilisé seul, il traduit mal les relations entre les données ;

– la structure linéaire est très peu performante, mais peut être améliorée avec une table des matières ou un index (mais on rejoint alors les structures précédentes) ;

– la structure hypertextuelle (réseau) facilite les phénomènes de boucle. Il est complètement inadapté aux novices du système et du domaine ;

– la structure combinée (hiérarchique / réseau) paraît pertinente, mais on ne semble pas disposer de résultats clairement établis à ce sujet.

Tricot modère cependant la portée des études correspondantes, en disant que les différences individuelles (les lecteurs se rattachent prioritairement à une structure usuelle pour eux) et les tâches entreprises interviennent de façon notoire dans les conclusions. Dans Tricot et Bastien [1996], les auteurs défendent l'idée d'une « organisation rationnelle relativement indépendante du contenu d'un corpus de connaissances » qui permettrait d'alléger la tâche des apprenants «en différant le traitement d'un certain nombre de contenus sémantiques » car selon lui, « l'établissement d'un lien fonctionnel entre deux connaissances est un objectif d'apprentissage à beaucoup plus long terme que la simple consultation d'un hypermédia ».

3.4.3. Les indices de contexte et de progression

La rétroaction est importante dans un système informatique pour que l'usager puisse constater l'impact de ses actions et les adapter à ses propres objectifs. Pour lui permettre de se rappeler d'où il vient ou ce qu'il cherche à faire, l'historique du parcours est un outil intéressant (Dufresne [1991]. Il facilite la visualisation et l'accès à ce qui vient d'être vu (notions ou pages). Des indices peuvent aussi rappeler le contexte de navigation (items choisis, pages vues ou restant à voir, performance dans l'apprentissage....). On peut laisser des traces de son passage, (textuelles graphiques ou sonores) pour se rappeler qu'on a déjà pris connaissance d'une information. Ces indices jouent un rôle également au niveau motivationnel.

3.4.4. L'indexation des informations

« Il est souvent intéressant d'offrir plus d'un mode d'accès à l'information. ... Les diverses structures d'accès servent non seulement à accéder aux informations, mais servent aussi de point d'ancrage pour l'organisation des informations en mémoire ; elles servent de résumé, ce qui facilite la rétention. Enfin, ... cela peut favoriser l'acceptation du système tant par les novices que pour les experts » (Dufresne [1993]). Plaisant [1993] ajoute que cela augmente les possibilités de trouver l'information. Coste [1993] précise que la variété des modes d'accès à l'information « permet à chacun de s'y retrouver selon ses propres schèmes associatifs, en fonction du problème spécifique qui le motive ». Rouet [1994] affirme que « les rédacteurs d'hypertextes doivent substituer aux indicateurs des structures linéaires (table des matières, numéro de pages...) des indicateurs de structure non linéaire».

Plaisant [1993], de La Passardière et Dufresne [1992], Tricot [1993] et Coste [1993] proposent différents moyens d'accès à l'information parmi lesquels on peut citer :

- une table des matières (ou sommaire) interactive, présentant le contenu par chapitres et sous-chapitres, qui permet un accès hiérarchique ;
- un « fish-eye view», sommaire avec niveau de détail variable ;
- un réseau de relations, présentant en même temps que les thèmes, les relations entre ces thèmes ; des « boutons » (hotwords) permettent d'activer les liens entre les noeuds du réseau et doivent fournir la signification de ces liens.
- un index alphabétique permettant de retrouver rapidement une information ;
- une table des stratégies, donnant accès à un ensemble d'informations entre lesquelles on a prédéfini des liens (chronologie, association, analogie, thème etc.). Il s'agit en fait d'une forme de guidage dans l'exploration.
- une carte conceptuelle, dans laquelle est représenté de façon explicite le réseau défini par les noeuds d'informations et les liens existants entre ces noeuds. Cette carte, manipulable et dynamique, faciliterait grandement selon Depover [1993] la structuration du réseau conceptuel de l'apprenant. Lévy [1993] va dans le même sens lorsqu'il affirme que nous retenons mieux ce qui est organisé selon des relations spatiales, ou encore que « la maîtrise d'un domaine du savoir implique généralement la possession d'une riche représentation schématique ». De façon plus générale, Rouet [1994] a montré que l'explicitation des relations influence favorablement les sélections opérées par les usagers qu'elle soit faite sous forme schématique ou littérale.
- une visite guidée, qui permet, lors d'une première utilisation, un tour d'horizon de la base avec un effort minimal, mais qui trahit en quelque sorte le principe de l'hypermédia ;
- une fonction «cherche mot» permettant de retrouver un terme dans la base ;
- la liste des informations déjà vues pour y retourner très rapidement.

3.4.5. La présentation des informations

La complexité de l'interface peut influencer sa compréhension. D'après Dufresne [1991], on peut mesurer cette complexité « au nombre d'items de connaissances, à la proportion d'espaces vides dans un texte, à la longueur des phrases, à l'imbrication des propositions, au nombre de mots rares, à la cohérence de sa présentation. » Rhéaume [1991] rappelle que les éléments présentés doivent être bien lisibles, l'écran doit être agréablement disposé sans aucune surcharge. Une désorientation spatiale se traduit rapidement selon lui par une désorientation cognitive. Les écrans doivent être suffisamment complets et autonomes par eux-mêmes. On retrouve en fait là des règles

classiques de présentation et de lisibilité de l'information comme condition nécessaire (mais non suffisante) à une qualité de la conception graphique.

3.4.6. La récupération dynamique du contrôle par le système

Si le système limite ou oriente l'accès aux informations de façon dynamique, en fonction de l'apprenant, de ce qui a été vu et/ou réussi par lui auparavant, celui-ci doit être averti. Il peut avoir le choix de suivre ou non les recommandations du système. Il est important, lors de la conception, pour ne pas nuire à la cohérence des processus cognitifs de l'usager, de bien harmoniser la zone de contrôle qui lui est laissée avec la zone de contrôle attribuée au système (Dufresne [1991]).

3.4.7. Le modèle de la tâche

« Le modèle de la tâche doit idéalement être implicitement inscrit dans l'organisation du contenu, en respectant la hiérarchie des pré-requis, les séquences ... » (Dufresne [1991]. Pour cela, il est important que les objectifs du concepteur soient clairs, et que la rhétorique dont il s'inspire (filmique, iconographique, textuelle ...) pour les traduire soit adaptée.

3.4.8. Le modèle de l'usager

L'interface dépend aussi du modèle que l'on se fait de l'usager. En plus de son temps d'adaptation au système, de ses connaissances, intervient ce que Tricot [1993] appelle « l'empan structurel ».

Il correspond d'une part au nombre de pages (ou cartes ou écrans) d'informations traitées successivement sans perte de contexte (notion de profondeur) et d'autre part au nombre de liens susceptibles d'être traités dans chaque page d'information.

Tricot fait de plus l'hypothèse que l'empan structurel varie avec la stratégie de l'utilisateur. Lorsqu'il s'agit de contextualiser des informations connues, de réorganiser des connaissances existantes, (stratégie d'exploration), l'empan est important : la quantité d'informations à traiter peut être importante, et la structure complexe. Lorsqu'il s'agit d'établir ou d'approfondir des connaissances (stratégie d'approfondissement), l'empan est réduit, la quantité d'informations doit être réduite pour pouvoir les assimiler, la structure doit être claire pour ne pas désorienter l'usager. C'est d'ailleurs aussi l'avis de Moreira [1991], qui préconise de ne pas dépasser deux à trois niveaux de profondeur dans les hypermédias.

Bien que non perceptible à l'usager, la trace de ses travaux (parcours, réponses aux questions etc.) est un élément intéressant, à la fois pour le système et pour l'enseignant. Tous deux pourront, s'ils en sont capables, déduire un modèle de cet usager et en tirer des conséquences quant au parcours ou aux activités à proposer ultérieurement.

Partie III - Descriptif du produit REV.E.S., REVision de l'Electricité de Seconde

1. Traitement hypermédia de l'information... page 80

2. Prise en compte des programmes de seconde..... page 105

3. Traitement des aspects didactiques..... page 124

REV.E.S. a été conçu en s'appuyant fortement sur les travaux théoriques que l'on vient de rappeler dans la partie précédente. Il nous a donc paru naturel de le présenter suivant les mêmes axes. Dans l'ordre, nous avons donc décrit :

- comment est traitée l'information pour constituer une base de données hypermédia ;
- comment sont prises en compte les exigences institutionnelles énoncées dans les programmes ;
- comment sont traitées les difficultés d'ordre didactique mises à jour par les chercheurs.

Cette présentation a l'avantage de bien marquer les liens entre REV.E.S. et les travaux théoriques. Par contre, il arrivera qu'un même point du produit présente des caractéristiques intéressantes à analyser suivant chacun des trois axes. Il sera alors repris plusieurs fois et, même si c'est avec un point de vue différent, cela constitue tout de même l'inconvénient du choix opéré pour la présentation qui suit

1. Traitement hypermédia de l'information

Après avoir donné des informations sur la cadre général ayant présidé à la conception du produit, nous allons décrire dans ce chapitre tour à tour la manière dont est structurée l'information, le type de données que nous avons utilisées pour constituer la base, les indices de contextualisation que nous avons fournis ainsi que la manière dont nous avons présenté les informations et contrôlé l'apprenant.

1.1. Cadre général

1.1.1. Rappel des objectifs de conception

Conformément aux orientations définies au paragraphe 2.1.1 page 31, il s'agit de réaliser un produit correspondant au programme de seconde en physique, plus spécifiquement en électrocinétique. Ce produit à vocation didactique est destiné principalement à asseoir, renforcer, structurer les connaissances déjà vues en cours, notamment en tenant compte des difficultés identifiées par les recherches en didactique. Il ne se substitue pas au cours, mais il le complète.

Il sera donc utilisé par les élèves essentiellement en situation d'autonomie, pour réviser le cours, de leur propre initiative ou sur les conseils d'un enseignant, en dehors de la présence de celui-ci.

L'information est exprimée à l'aide de différents médias, sous différentes formes pour varier et renforcer ses effets. Elle est structurée pour faciliter son accès : des liens de type « hypertexte » existent entre les différentes informations. L'ensemble constitue une base de données hypermédia.

Le produit est interactif et ne comporte aucune forme de tutorat. Dans une perspective constructiviste, c'est l'apprenant qui décide des informations qu'il souhaite consulter, dans l'ordre qui lui paraît approprié en fonction de ses besoins et des liens existants. Différents points de repère doivent l'aider à contrôler ces choix et lui éviter une navigation erratique au sein de la base de données.

1.1.2. Modèle de la tâche

L'apprenant, élève de seconde, doit repérer et parvenir à mieux maîtriser les principaux contenus notionnels et méthodologiques du programme d'électrocinétique de seconde, tels qu'ils ont été énoncés précédemment.

Il doit être capable d'identifier une notion, de la rattacher à un domaine spécifique (par exemple informations relatives à la notion de tension), ou transversal (par exemple informations relatives à la notion de circuit série), afin de faire évoluer peu à peu son réseau sémantique de manière plus large et plus opérationnelle.

Placé dans un contexte de révision limité en temps, il va devoir choisir les éléments qu'il a besoin de réviser, et procéder à une consultation ciblée

1.1.3. Modèle de l'usager

L'usager est un élève de seconde. A ce titre, on suppose qu'il a déjà acquis de façon satisfaisante le contenu des programmes de quatrième et de troisième relatifs à l'électricité, et qu'il a déjà abordé en cours les notions explicitées dans le programme de seconde. On suppose aussi qu'il n'a que très rarement utilisé un ordinateur ou un produit hypermédia au cours de sa scolarité.

1.2. Structure et indexation des informations

REV.E.S. dispose à la fois d'une structure globale de type hiérarchique et de type réseau. De plus, certaines informations sont chaînées pour être aussi consultées de façon linéaire. Nous allons expliciter les raisons de ces choix et la façon dont ils ont été mis en oeuvre.

1.2.1. Structure hiérarchique

Cette structure est celle que les élèves ont le plus l'habitude d'utiliser. On distingue une hiérarchie s'appuyant sur un découpage de l'information par type, thème et item notionnel et une hiérarchie fondée sur un classement alphabétique des pages d'information.

1.2.1.1. Découpage par type, thème et item notionnel

- par type : le menu (Figure 3 page 83) propose en effet d'accéder aux informations de type « Connaissances » (savoirs essentiels) « Méthodes » (savoir-faire liés aux calculs et aux mesures), « Documents » (compléments aux connaissances et méthodes) et « Tests » (autocontrôles de type formatif).

- par thème et item notionnel : chacun de ces types est divisé en quatre thèmes (Intensité, Tension, Dipôles et Amplification) regroupant les items notionnels correspondants, matérialisés par des « boutons » (Figure 4 page 83 à Figure 7 page 85). L'activation d'un bouton conduit directement à l'élément terminal de la hiérarchie qui est la « page » d'information : à une notion élémentaire identifiée dans le programme de seconde correspond une page de la base de données. La hiérarchie se compose donc uniquement de trois niveaux de profondeur : menu proposant le choix des types d'informations, menu proposant pour un type donné, le choix des items notionnels élémentaires, regroupés par thème, et enfin la page qui fournit l'information correspondante. La limitation à trois niveaux de profondeur, un découpage proche de celui du cours ou des manuels scolaires (voir Durandeau [1993], Gentric, [1993], Lecardonnel [1993] ou Tomasino [1993]), ont été faits à dessein afin de faciliter l'accès au produit lors des premières utilisations.

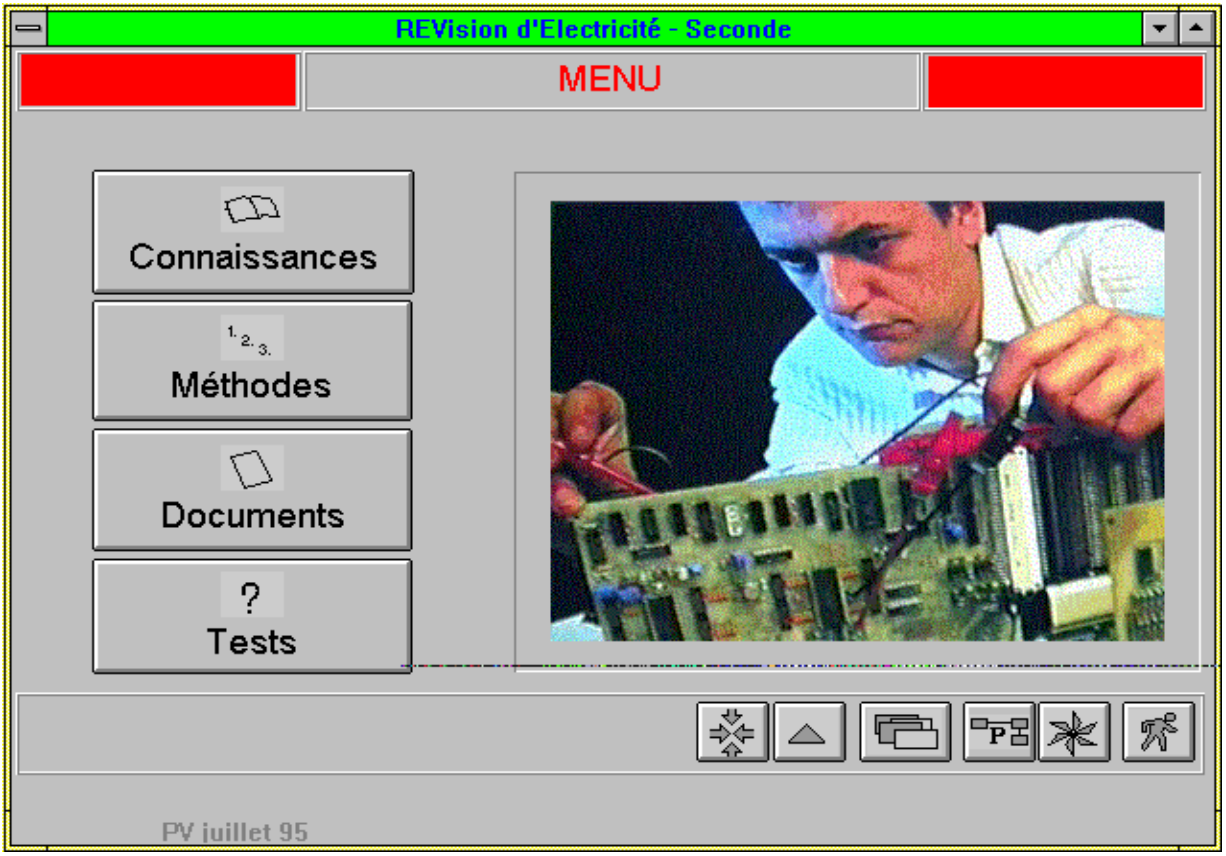


Figure 3 : Le menu du livre.

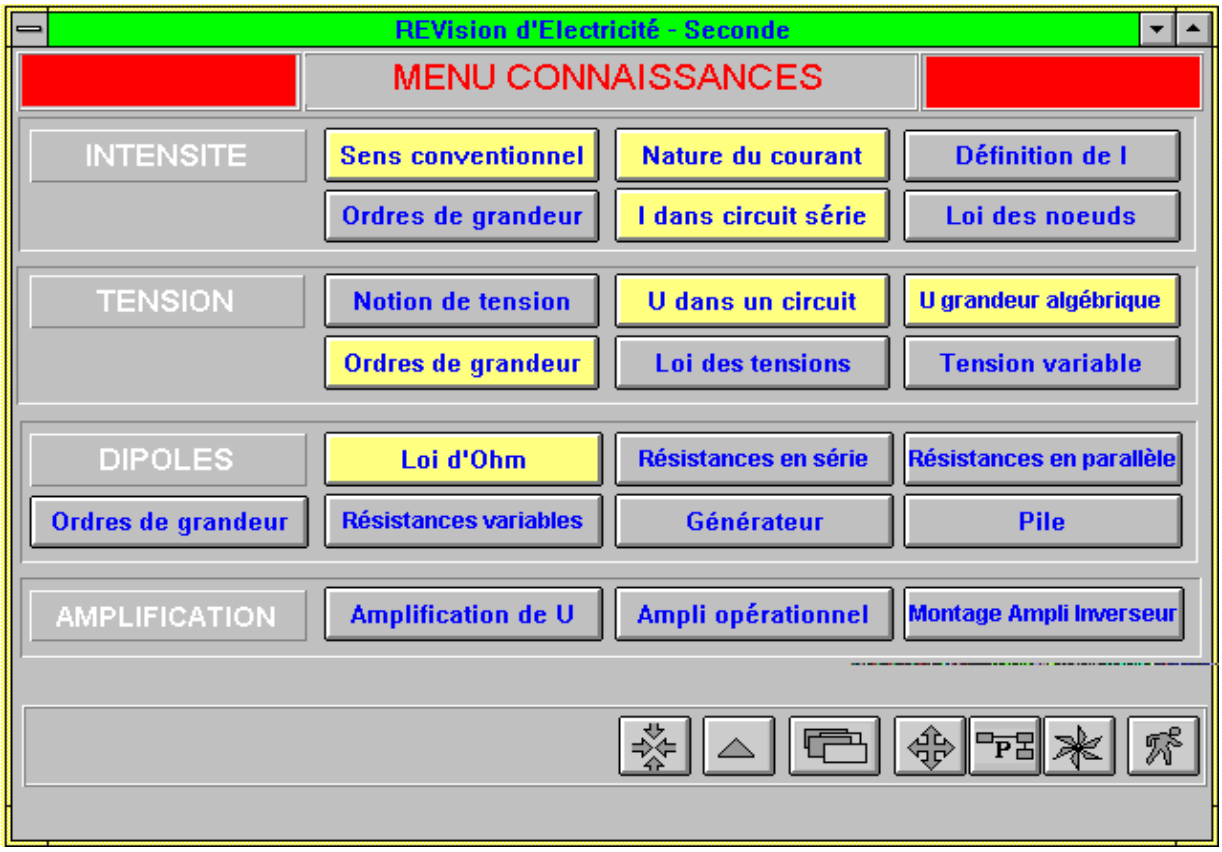


Figure 4 : Le menu "Connaissances".

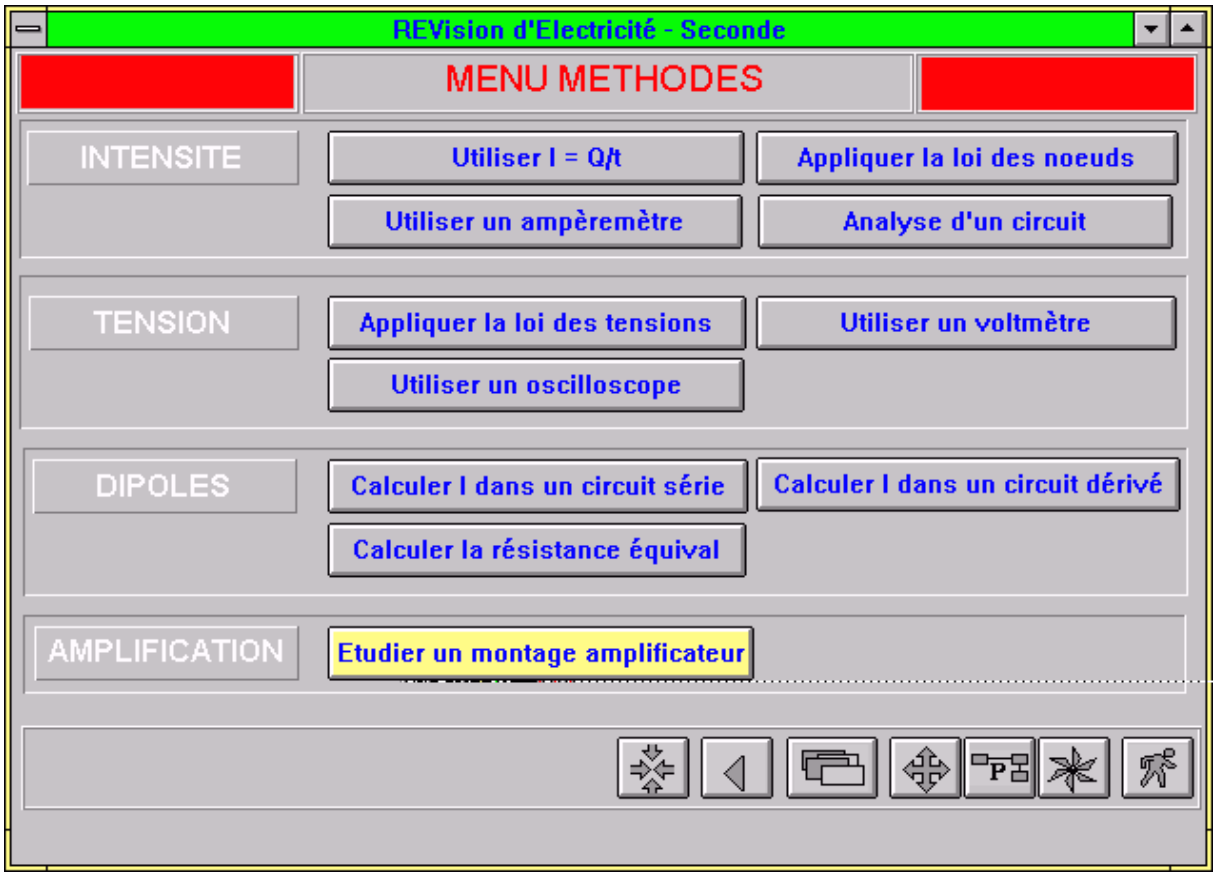


Figure 5 : Le menu "Méthodes".

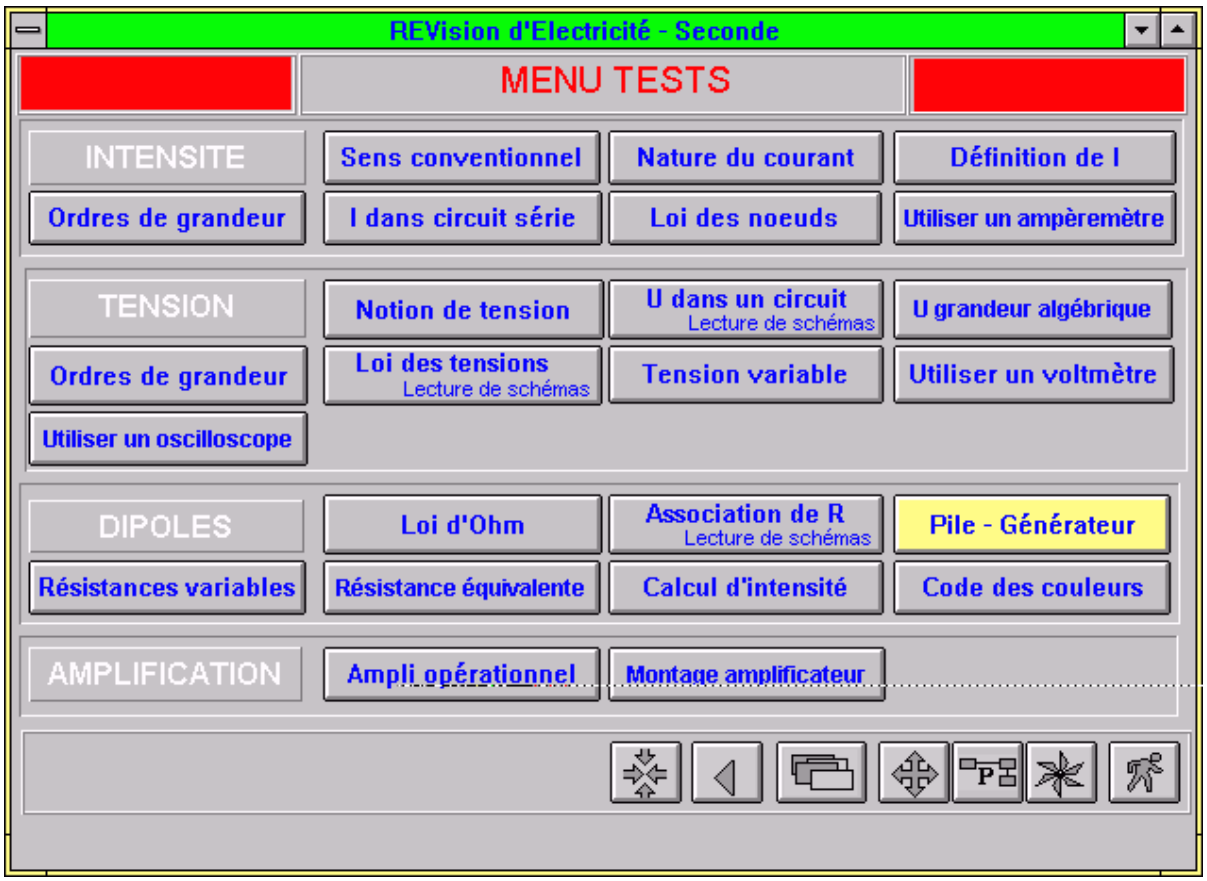


Figure 6 : Le menu "Tests".

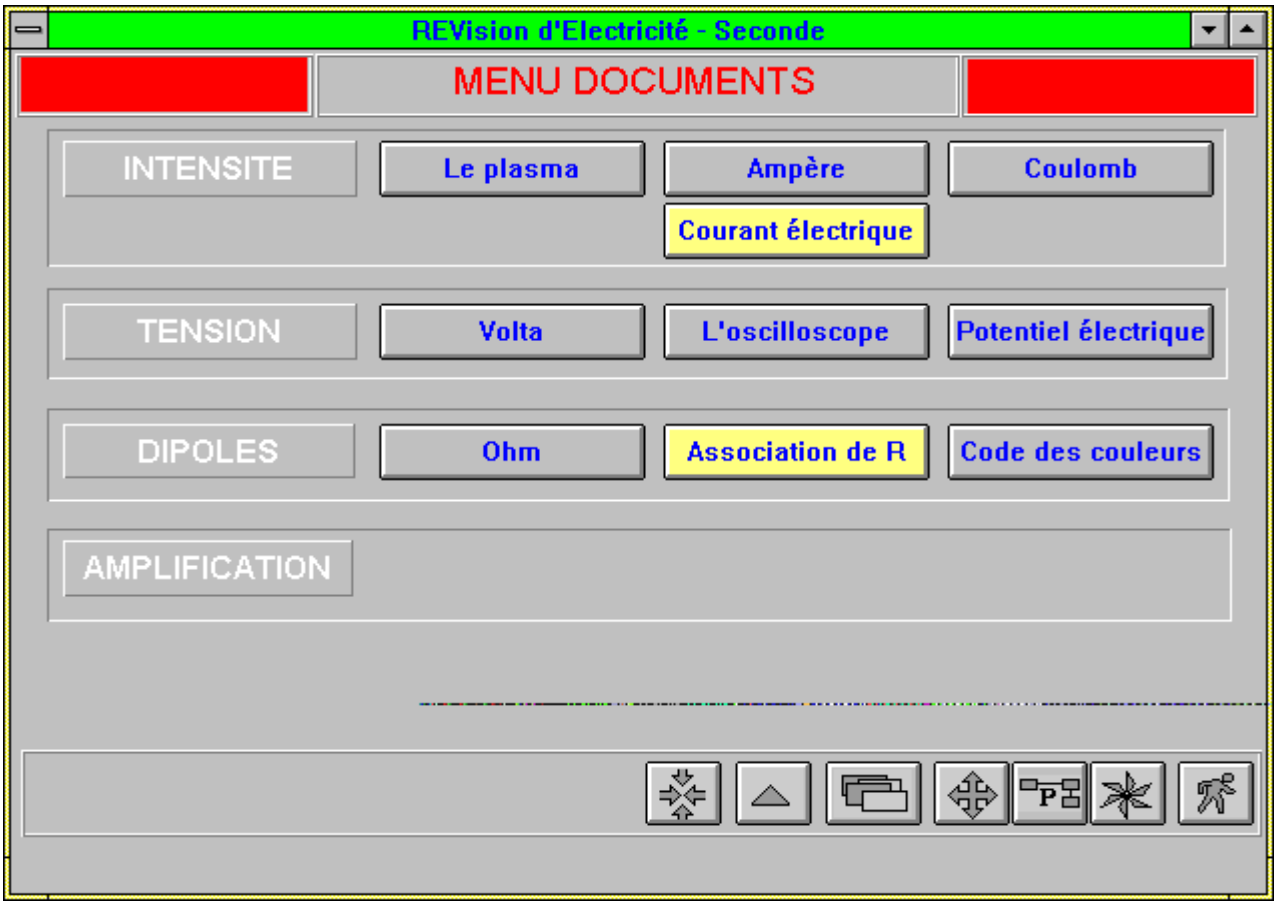


Figure 7 : Le menu "Documents".

1.2.1.2.Classement alphabétique des pages d'information

Une liste alphabétique récapitule l'ensemble de ces pages, repérées par leur titre (voir Figure 8 page 86). Cette liste permet d'atteindre directement n'importe quelle page du document, par simple «clic» de souris sur son nom. Il s'agit d'un moyen rapide pour accéder à une information quand on sait précisément ce que l'on recherche.

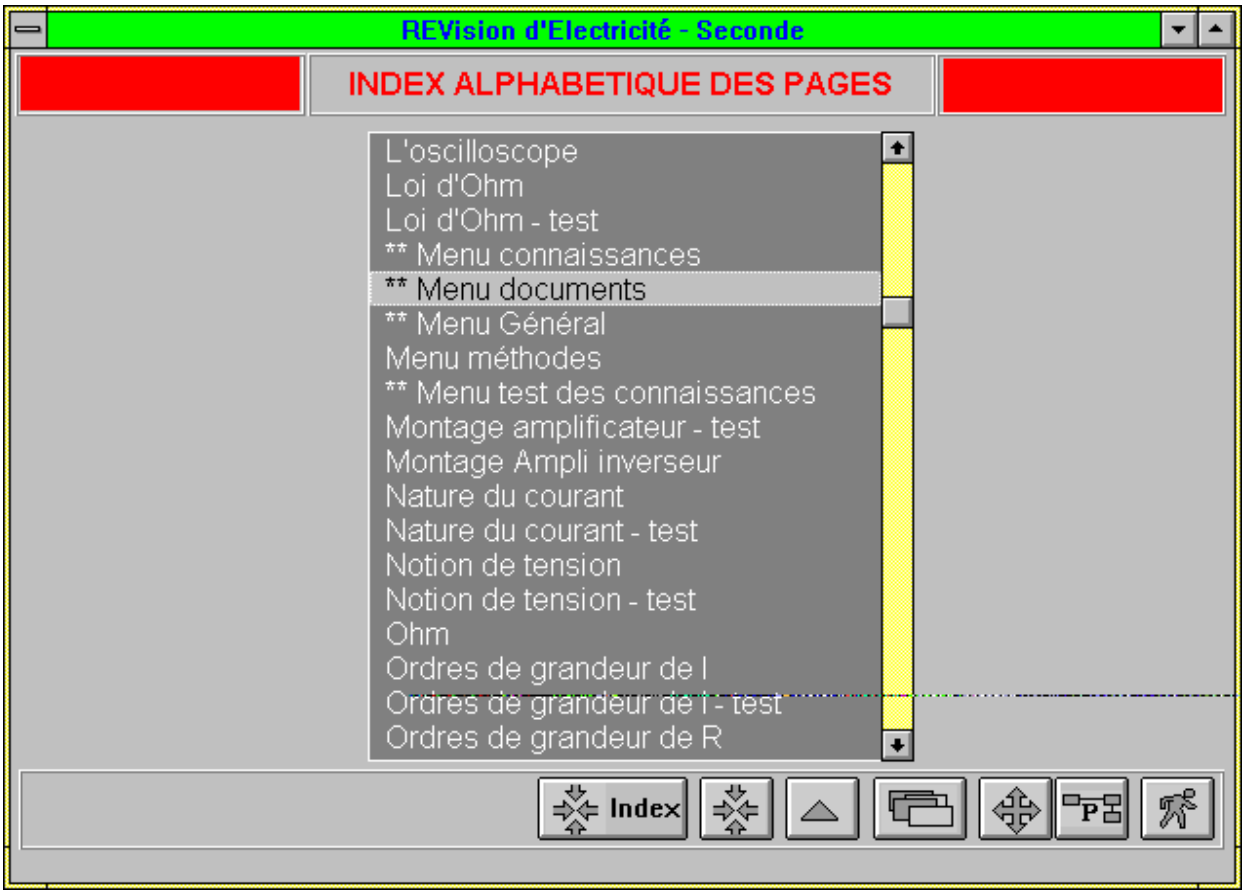


Figure 8 : L'écran "Index alphabétique des pages. La page d'où l'on vient est en inverse vidéo.

1.2.2. Structure en réseau

La structure réseau permet d'établir des liens sémantiques entre différentes informations. Ils doivent aider à structurer le réseau de connaissances de l'apprenant. On précisera d'abord les types de liens figurant dans la base, puis nous décrirons l'ensemble des liens de type «notionnel».

1.2.2.1. Types de liens

On distingue :

- les liens qui sont activés directement à partir du texte ou de l'image constituant l'information ; selon le cas, ils fournissent une information complémentaire « locale » (Figure 9 page 87) ou activent la présentation de l'information de la page, momentanément invisible pour des raisons didactiques (Figure 10 page 87) ;
- les liens qui sont activés à partir d'un icone et qui permettent l'accès à une information située sur une autre page. On peut distinguer les liens « structurels » (lien systématique entre une page «Connaissances» et une page « Tests » - voir Figure 11 page 87 -) des liens « notionnels », qui pointent vers des informations éventuellement utiles à connaître pour

appréhender le contenu de la page en cours (Figure 12 page 87 ou Figure 13 page 88).

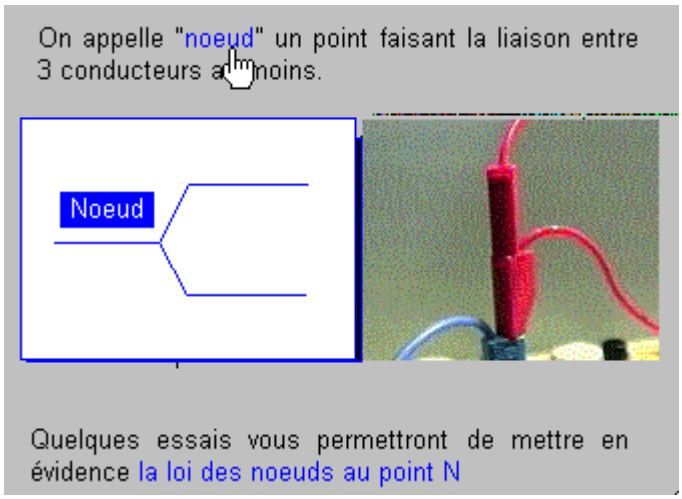


Figure 9 : En cliquant sur « noeud », on obtient momentanément un schéma et une image à caractère explicatif.

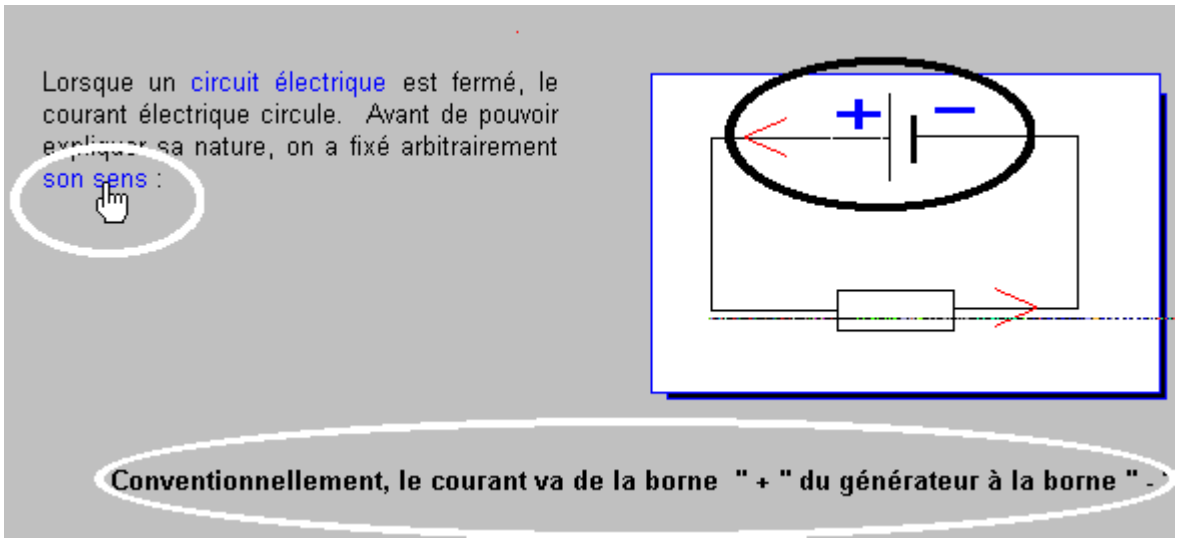


Figure 10 : En cliquant sur « son sens » (en bleu dans le texte), on déclenche un scénario présentant sous différentes formes (ici texte et graphique signalés sur cette copie d'écran par les ellipses, et son), une nouvelle information ainsi mise en valeur..

Figure 11 : En cliquant sur l'icone désigné par le curseur, on accède à une page de tests sur les connaissances relatives à la page en cours. Le lien est de type «structurel ».

Figure 12 : En cliquant sur l'icone désigné par le curseur, on complète ses connaissances sur le courant électrique. Le lien est de type « notionnel ».

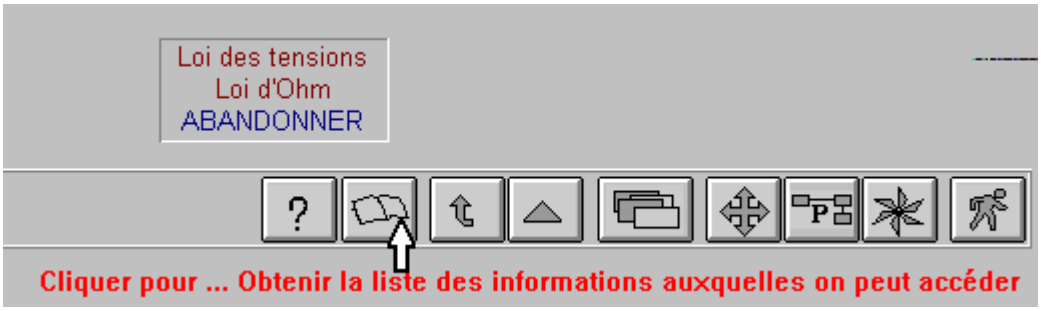


Figure 13 : Cette page est liée aux pages « Loi des tensions » et « Loi d'Ohm ».

1.2.2.2.L'ensemble des liens notionnels

Comme il est difficile de présenter de façon lisible sur une page A4 le graphe des liens notionnels pour l'ensemble de REV.E.S., nous avons choisi de procéder par thème : on trouvera de la Figure 15 page 89 à la Figure 18 page 92 tour à tour ces graphes pour les thèmes Intensité, Tension, Dipôles et Amplification. Ainsi, par exemple, le graphe du thème «Intensité » comporte l'ensemble des pages de REV.E.S. consacrées à l'intensité, que celles-ci soient de type « Connaissances », « Méthodes » ou « Documents ». Il comporte aussi les pages des thèmes « Tension », « Dipôles » ou « Amplification » qui ont un lien avec l'une des pages du thème « Intensité ». L'ensemble des thèmes a bien sûr été traité de la même façon.

Les pages de la partie « Tests » ne figurent pas sur les graphes. On rappelle simplement que toutes les pages « Connaissances », la plupart des pages « Méthodes » et certaines pages « Documents » ont un lien systématique avec la page correspondante de la partie «Tests ».

Sur les graphes, chaque page est matérialisée par un cadre dont le pourtour est différent suivant le thème auquel elle appartient (Figure 14 page 88). Elle est repérée par son nom (par exemple « Sens conventionnel ») et par le type auquel elle appartient (par exemple «Documents»).

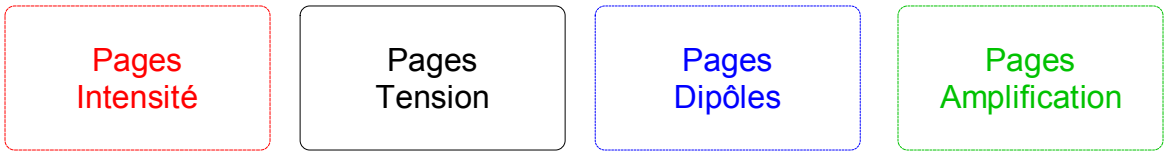


Figure 14 : Dans les quatre figures suivantes, chaque page de REV.E.S. est matérialisée par une couleur et un cadre en fonction du thème auquel elle appartient.

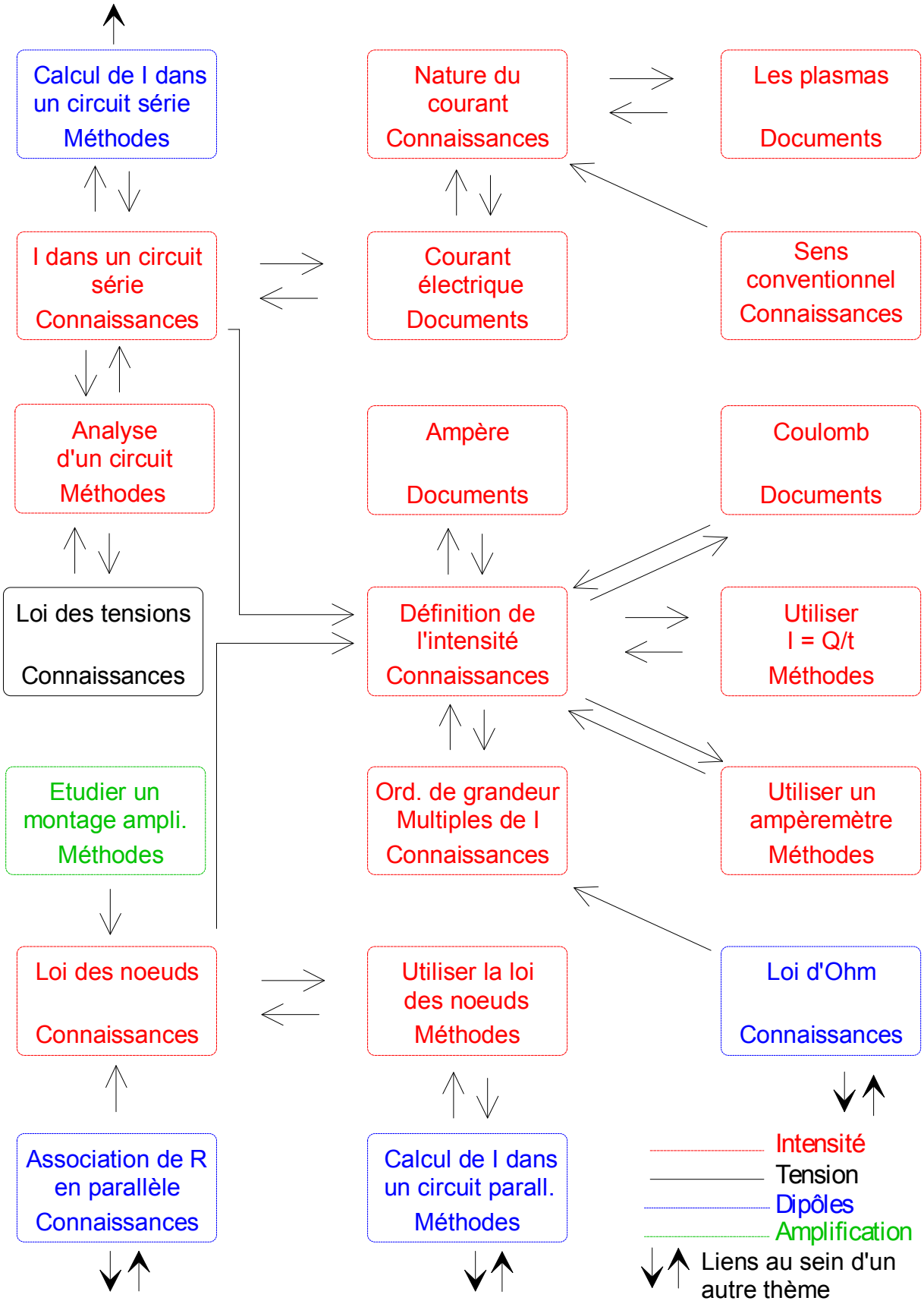


Figure 15 : Réseau de liens entre les items du thème «Intensité ».

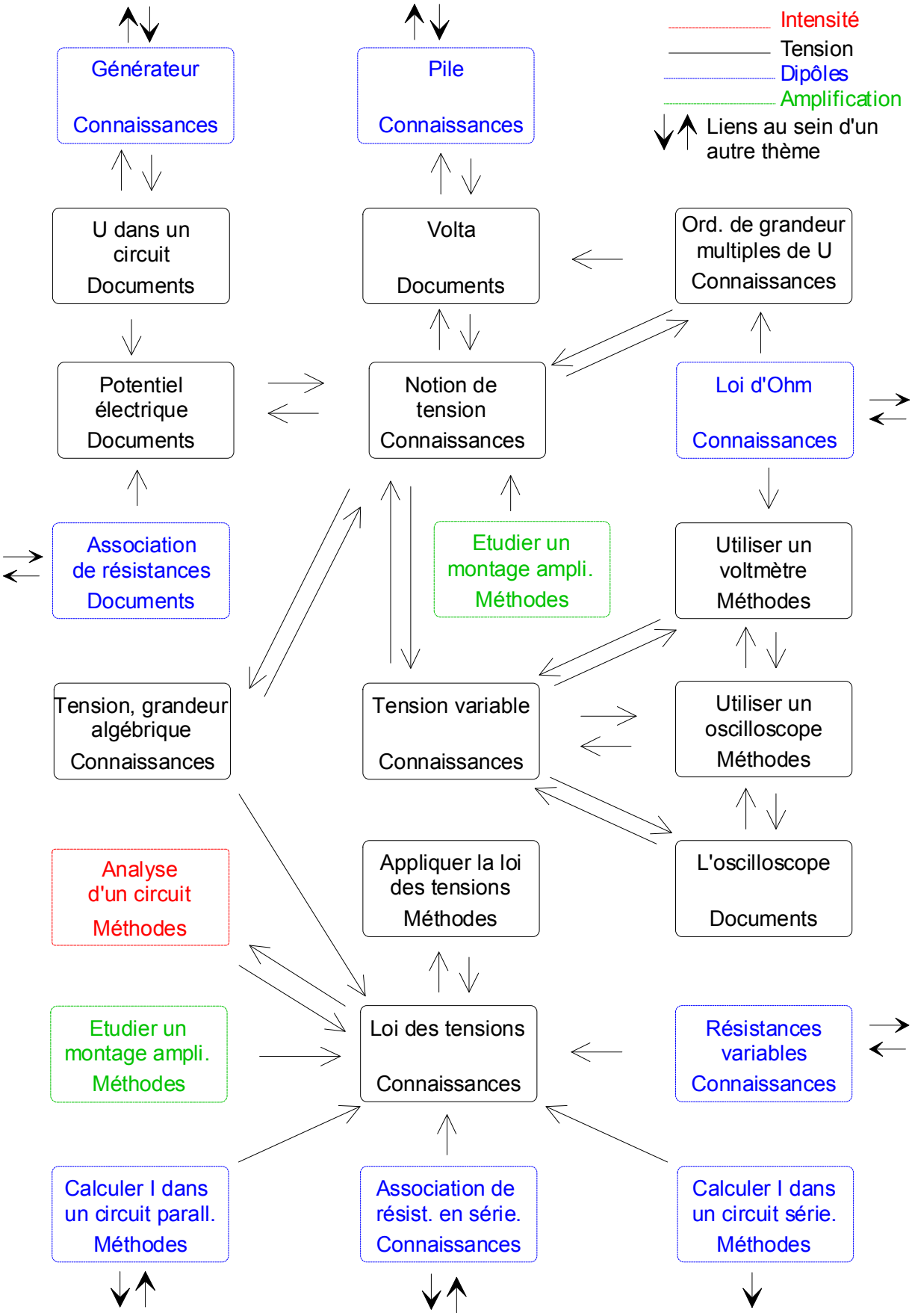


Figure 16 : Réseau de liens entre les items du thème «Tension».

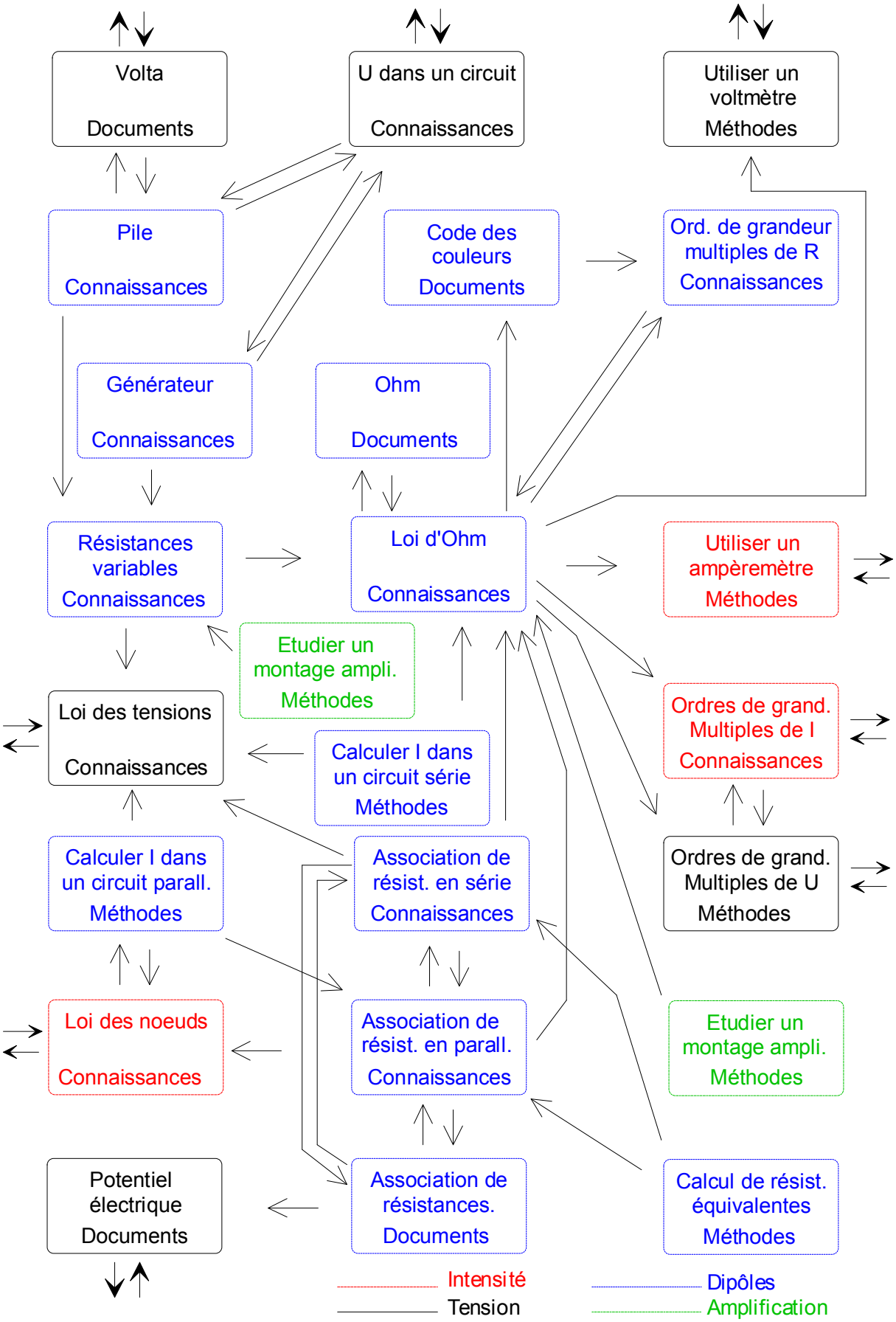


Figure 17 : Réseau de liens entre les items du thème «Dipôles».

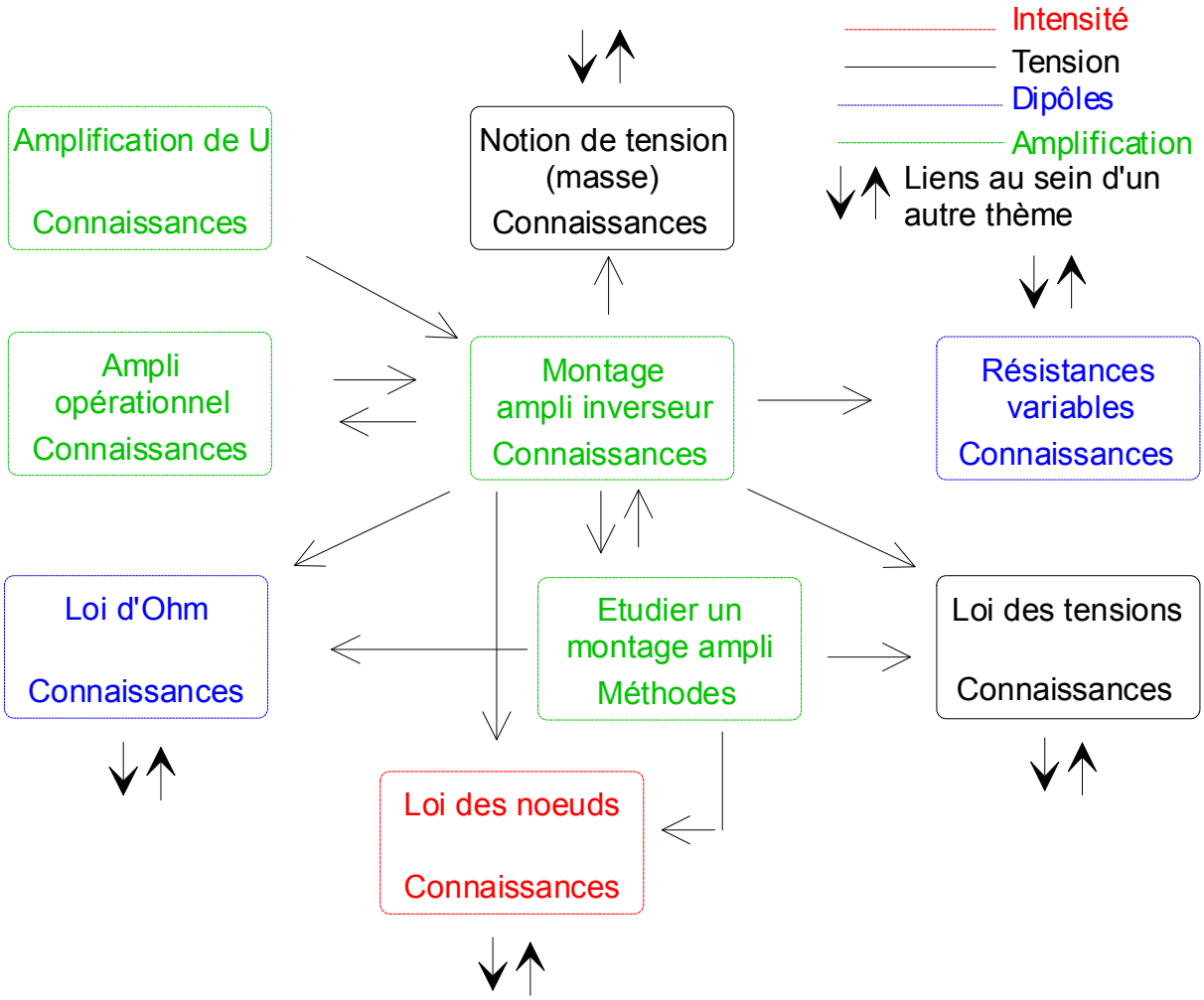


Figure 18 : Réseau de liens entre les items du thème « Amplification ».

Les liens de type « notionnel » ont été établis avec le souci de compléter ou d'expliciter l'information fournie sur une page. Si l'on considère par exemple dans la Figure 18, située juste au-dessus, la page intitulée « Montage ampli inverseur », les liens implémentés permettent de consulter des informations sur la notion de masse, d'amplificateur opérationnel, de résistance variable, ainsi que sur la loi des noeuds, la loi des tensions et la loi d'Ohm. Ces notions ou lois sont utilisées sans aucun commentaire dans la page relative au montage amplificateur inverseur de tension. Les liens établis permettent à l'élève, s'il le souhaite, de consulter par exemple une information qui lui ferait défaut sur l'amplificateur opérationnel.

On constate à la lecture de ces graphes que dans chacun des thèmes, une page a un rôle « central » : de nombreux liens en partent ou y aboutissent. C'est le cas des pages « Définition de l'intensité », « Notion de tension », « Loi d'Ohm » et « Montage ampli inverseur ». Par ailleurs, le thème « Dipôles » présente le plus grand nombre de liens. Cela semble normal dans la mesure ou les informations concernant les dipôles utilisent fréquemment à la fois les notions liées à la tension et à l'intensité.

1.2.3. Structure linéaire

1.2.3.1. Introduction

Cette structure, concernant un nombre réduit de pages, permet à l'apprenant de réaliser automatiquement quelques parcours thématiques au sein des informations de la base. Ces parcours répondent plus directement que les structures précédentes à des questions transversales du type «Quelles sont les informations dont on peut disposer sur les circuits série? » ou « Quelles sont toutes les lois sur l'intensité ? ». Ils doivent contribuer pour leur part à rompre l'impression de morcellement et donner une meilleure vue d'ensemble des connaissances implantées dans la base.

Les parcours sont accessibles depuis la page «Parcours thématiques » contenant leur liste classée par ordre alphabétique (Figure 19 page 93). Un parcours comporte en moyenne 4 à 5 pages. L'usager peut en sortir dés qu'il le souhaite (Figure 20 page 94).

Nous avons proposé différents parcours suivant des problématiques différentes: on peut distinguer les parcours relatifs aux notions (courant et tension), les parcours relatifs aux mesures des grandeurs physiques (appareils de mesure et ordres de grandeur), les parcours relatifs aux lois (sur l'intensité, sur la tension, sur les résistances, sur les circuits parallèles, sur les circuits série) et enfin un parcours informatif de nature historique (sur quelques grands physiciens).

Figure 19 : La page "Parcours thématiques" permettant de choisir un des parcours proposés.

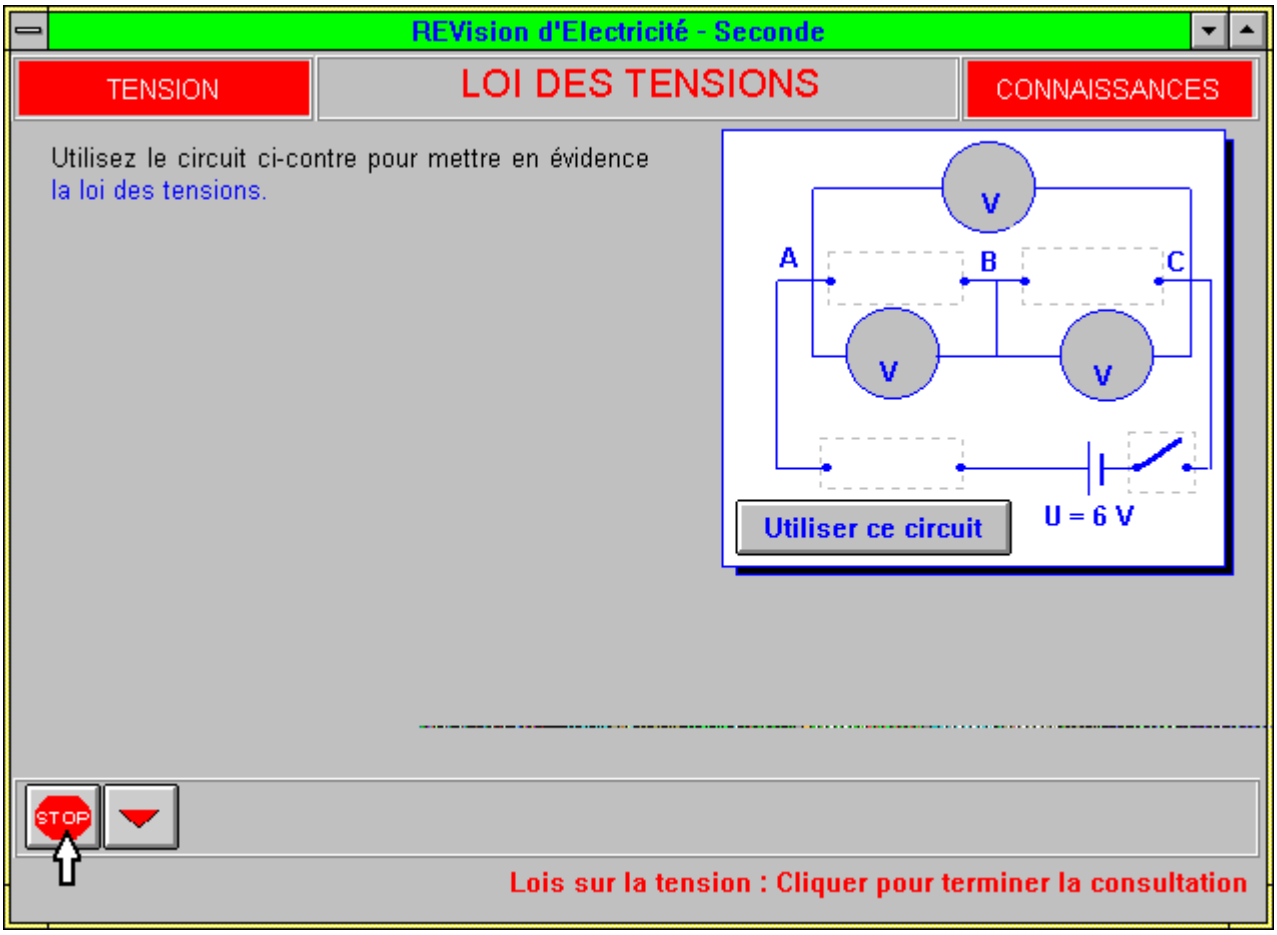


Figure 20 : Une page du parcours « Lois sur les tensions » qu'il est possible d'interrompre à tout moment.

1.2.3.2.Parcours relatifs aux notions

Ces parcours rassemblent des informations d'ordre général sur les notions de courant et de tension. Ils permettent à l'élève de parcourir les éléments caractéristiques de ces notions importantes, à l'exclusion des lois quantitatives, figurant dans un autre parcours. Nous précisions ci-dessous la liste des pages et le type (Connaissances, Documents, etc.) auquel elles appartiennent.

Parcours	Suite des pages
Courant électrique	Sens conventionnel (Connaissances) Nature du courant (Connaissances) Courant électrique (Documents) Les plasmas (Documents) Définition de I (Connaissances)
Tension	Notion de tension (Connaissances) Potentiel électrique (Documents) U grandeur algébrique (Connaissances) Tension variable (Connaissances) Amplification de U (Connaissances)

Tableau 3: Parcours relatifs aux notions.

1.2.3.3.Parcours relatifs aux mesures de grandeurs physiques

Nous proposons ici à l'élève de consulter systématiquement les informations relatives à l'utilisation des appareils de mesure exploités dans le programme de seconde, et de revoir rapidement les ordres de grandeur des grandeurs physiques correspondantes. On sait que leur maîtrise est souvent délicate et qu'elle reste particulièrement nécessaire pour l'évaluation de la pertinence du résultat dans un problème.

Parcours	Suite des pages
Appareils de mesure	Utiliser un ampèremètre (Méthodes) Utiliser un voltmètre (Méthodes) L'oscilloscope (Documents) Utiliser un oscilloscope (Méthodes)
Ordres de grandeur	Ordres de grandeur de I (Connaissances) Ordres de grandeur de U (Connaissances) Ordres de grandeur de R (Connaissances)

Tableau 4 : Parcours relatifs aux mesures de grandeurs physiques.

1.2.3.4.Parcours relatifs aux lois du programme de seconde

Il nous a paru intéressant de rassembler les lois du programme de diverses manières afin que l'élève, notamment lorsqu'il résout un problème, puisse réinvestir cette façon de faire. La loi sur les tensions peut être considérée comme une loi parmi les lois sur les circuits série, ou une loi parmi les lois sur les tensions. La loi d'Ohm peut être considérée comme une loi relative à l'intensité, la tension ou les résistances. Généralement, les lois sont présentées dans le cours dans un contexte défini. Nous proposons ici d'élargir ce contexte de présentation afin que l'élève lorsqu'il résout un problème soit à même de se dire « je reconnais un circuit série, quelles sont les lois sur les circuits série ?», ou bien, «je cherche une tension, quelles sont les lois sur les tensions ?».

Parcours	Suite des pages
Lois dans un circuit parallèle	Loi des noeuds (Connaissances) Appliquer la loi des noeuds (Méthodes) U dans un circuit (Connaissances) Résistances en parallèle (Connaissances) Calculer I dans un circuit dérivé (Méthodes)
Loi dans un circuit série	I dans un circuit série (Connaissances) Loi des tensions (Connaissances) Appliquer la loi des tensions (Méthodes) U dans un circuit (Connaissances) R en série (Connaissances) Calculer I dans un circuit série (Méthodes)
Lois sur les résistances	Loi d'Ohm (Connaissances) R en série (Connaissances)

Parcours	Suite des pages
Lois sur les résistances (suite)	R en parallèle (Connaissances) Association de résistances (Documents) Résistances variables (Connaissances)
Loi sur la tension	Loi des tensions (Connaissances) Appliquer la loi des tensions (Méthodes) U dans un circuit (Connaissances) Loi d'Ohm (Connaissances) Pile (Connaissances)
Lois sur l'intensité	Définition de I (Connaissances) I dans un circuit série (Connaissances) Loi des noeuds (Connaissances) Loi d'Ohm (Connaissances) Calcul de I dans un circuit série (Méthodes) Calcul de I dans un circuit dérivé (Méthodes)

Tableau 5 : Parcours relatifs aux lois du programme de seconde.

1.2.3.5.Parcours « historique »

La fin du dix-septième siècle a été une époque très riche notamment pour ce qui concerne l'électricité, avec le passage des phénomènes électrostatiques aux phénomènes électrocinétiques. Il nous a paru intéressant de resituer brièvement cette époque foisonnante en fournissant des indications sur les principales figures qui sont à l'origine de cette transition et sur leurs contemporains. C'est l'objet de ce parcours.

Parcours	Suite des pages
Physiciens	Ampère (Documents) Coulomb (Documents) Volta (Documents) Ohm (Documents)

Tableau 6 : Parcours « historique ».

1.2.4.Choix de la structure

Le choix de la structure est possible à tout moment. Sur toutes les pages existent des liens réseau (icones « Tests », « Documents » et « Connaissances » dans l'exemple de la Figure 21 page 97), des liens hiérarchiques (icones « Menu », « Sommaire » et « Index alphabétique des pages») ou linéaires (icone «Parcours thématiques »).

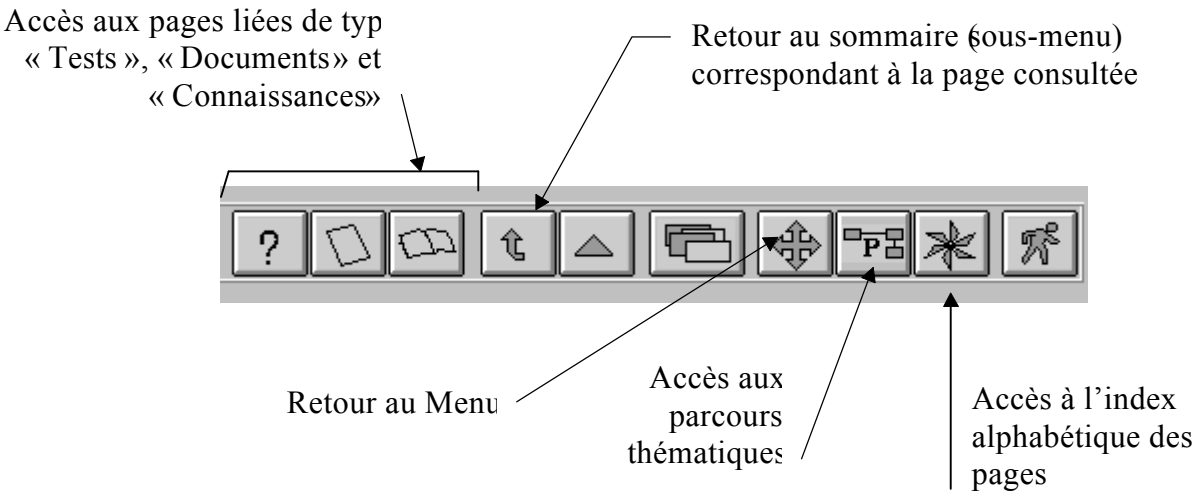


Figure 21 : Les icones présents sur toutes les pages, permettent de naviguer dans la base de façon hiérarchique, linéaire, ou réseau.

1.3. Données

Au niveau global, l'élément d'information est la page, qui est intégrée à plusieurs structures, hiérarchique, réseau ou linéaire.

Au niveau « local », celui de la page, l'information est construite à partir d'un enchaînement de blocs élémentaires constituant, toute proportion gardée, un «scénario » (Venturini et Viel [1996-c]).

1.3.1. Blocs élémentaires d'information

Ils sont constitués par:

- Des textes
  Ils sont traditionnels et utilisés en particulier pour indiquer l'essentiel de l'information. Ils comportent des formules.
- Des schémas
  Classiques en électricité, ils sont présentés généralement sous des formes différentes tout au long du produit pour habituer l'usager à leur lecture.
- Des « schémas dynamiques»
  Il s'agit de schémas sur lesquels l'usager peut intervenir, en les modifiant pour faire varier certains paramètres et simuler ainsi une expérience. Les appareils de mesure inclus dans les circuits réalisés présentent des valeurs résultant des modifications apportées (voir par exemple Figure 20 page 94 présentant la possibilité d'étudier par simulation la loi des tensions). Cet aspect compense en partie l'impossibilité de réaliser de véritables expériences.

- Des images
  Elles montrent la réalité expérimentale et sont associées fréquemment aux schémas de façon à augmenter les compétences de l'usager sur la schématisation ou à l'inverse sur la lecture de schémas ;

- Des animations
  Elles permettent de mettre en évidence les caractéristiques des phénomènes impliquant un mouvement, par exemple le déplacement d'électrons.

- Des sons
  Comme les textes, ils constituent un vecteur traditionnel de communication ; ils maintiennent l'attention de l'usager, et sont utilisés pour formuler une consigne ou expliciter une conclusion. Ils sont généralement associés à une trace écrite résumant leur contenu pour renforcer leur effet.

- Des vidéos numériques
  Elles sont rares dans le produit pour des raisons techniques, la vidéo numérique sur micro-ordinateur n'étant pas d'une qualité satisfaisante pour l'instant, même sur une machine haut de gamme. Elles sont cependant utilisées pour montrer une série d'actions dans leur continuité (méthode de mesure), ou pour présenter une information de façon visuelle.

1.3.2. Les scénarios

Les scénarios réalisés à partir de l'apparition des blocs élémentaires que l'on vient d'évoquer sont linéaires ; leur déroulement peut être automatique, ou au contraire géré étape par étape par l'utilisateur. Certaines pages contiennent plusieurs scénarios activables au gré de l'usager, notamment quand il souhaite expliciter différents éléments et qu'il n'existe pas d'ordre préférentiel pour le faire. On trouvera un exemple de déroulement progressif d'un scénario explicitant une méthode d'utilisation de la loi des noeuds de la Figure 34 page 111 à la Figure 38 page 113.

Les scénarios sont construits prioritairement avec des préoccupations didactiques, un peu à l'image de l'enseignant qui conçoit un chapitre de son cours en assemblant différents éléments dans un ordre donné. Leur déroulement étape par étape permet à l'apprenant de mieux suivre la construction proposée par le concepteur, tout en n'étant pas submergé par la totalité des informations. De plus, d'un point de vue technique, les étapes peuvent éventuellement se succéder physiquement à l'écran, l'une remplaçant l'autre, sans que l'apprenant n'ait à changer de page ; ainsi, malgré la quantité importante d'informations qu'elle peut contenir, la page reste pour l'usager l'élément terminal de navigation au niveau global.

1.4. Indices de contextualisation

L'usager doit à la fois reconnaître l'environnement dans lequel il évolue mais aussi y trouver des éléments nouveaux pour progresser.

Parmi les éléments familiers, on peut citer la présentation arborescente des informations disponibles via les menus « Connaissances », « Méthodes », « Tests » et « Documents » (Figure 4 page 83 à Figure 7 page 85) et les items résultant de leur découpage. Ces deux aspects sont sensiblement conformes à ceux que l'élève rencontre dans le cours ou les manuels, tout comme d'ailleurs le contenu des parties « Connaissances », « Méthodes » et « Documents ».

Par contre, les situations proposées dans la partie « Tests » sont souvent beaucoup plus originales. De plus, la structuration des informations en réseau est tout à fait nouvelle pour les élèves.

1.5. Repères de navigation

Dés qu'il va utiliser la structure en réseau, comme le rappelle Rhéaume (op cit.) l'usager a besoin de savoir d'où il vient, où il est, où il peut aller.

1.5.1. Savoir d'où l'on vient

L'usager dispose :

- de la possibilité de se situer sur le sous-menu correspondant. A chaque activation de l'icone « Sommaire », le bouton correspondant à la page d'où l'on vient est coloré de rouge pour indiquer la provenance (Figure 22 page 99) ;
- d'une trace du parcours déjà effectué depuis le début de la session, accessible depuis toutes les pages par l'icone « Page Précédente » (Figure 23 page 100). En activant régulièrement cet icone, on consulte dans l'ordre inverse toutes les pages parcourues depuis l'entrée dans le produit ;
- de la liste des pages parcourues depuis le début de la session, avec la possibilité d'accéder directement à l'une d'entre elles (Figure 23 page 100 et Figure 24 page 100)
- d'un marquage des pages vues lors de l'ensemble des sessions sur le produit (session en cours et sessions précédentes). Les boutons des menus, relatifs à chaque item notionnel élémentaire, sont gris avant consultation de la page correspondante, jaunes après consultation (Figure 25 page 100). En même temps, dans la page « Index alphabétique des pages », l'intitulé d'une page consultée est précédée de « ** » (Figure 26 page 100). Il y a donc au démarrage de chaque session, restauration de l'environnement propre à chaque apprenant, et ce dernier sait à tout moment quelles sont les informations qu'il a déjà parcourues.

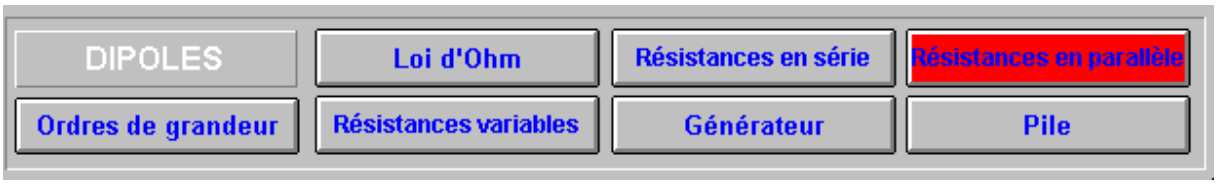


Figure 22 : Le bouton, devenu rouge indique la page que l'on vient de consulter.

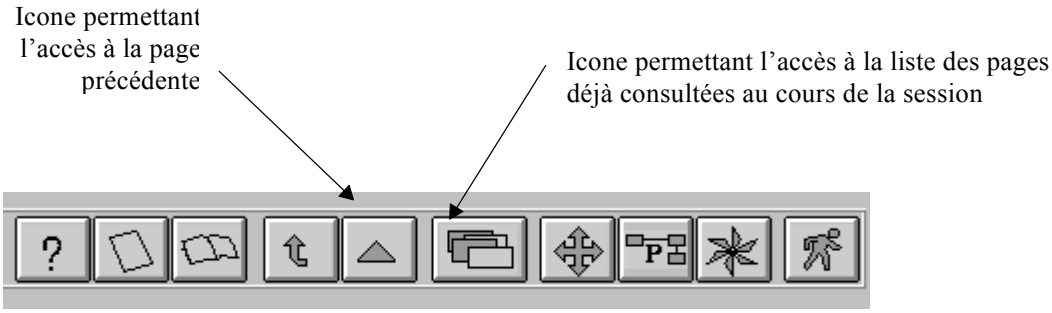


Figure 23 : Icones "Page Précédente» " et "Liste des pages consultées".

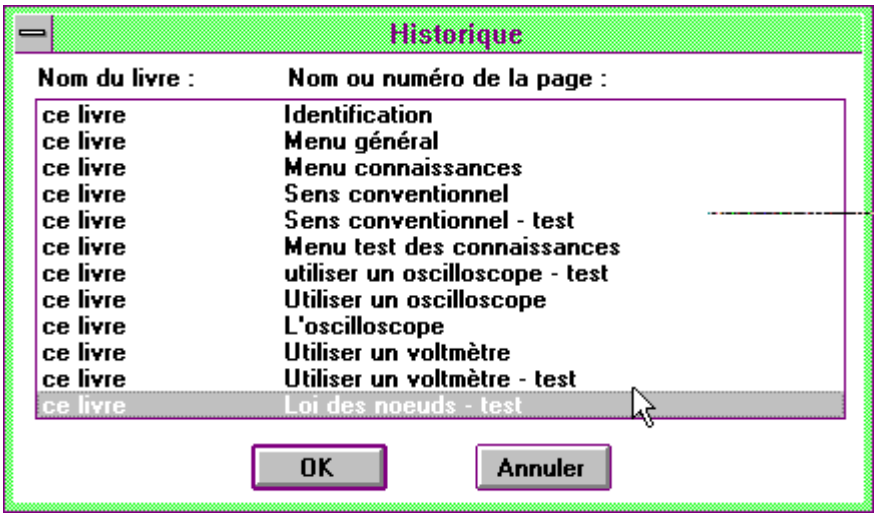


Figure 24 : Fenêtre indiquant la liste des pages parcourues depuis le début de la session, permettant l'accès à l'une d'entre elles.

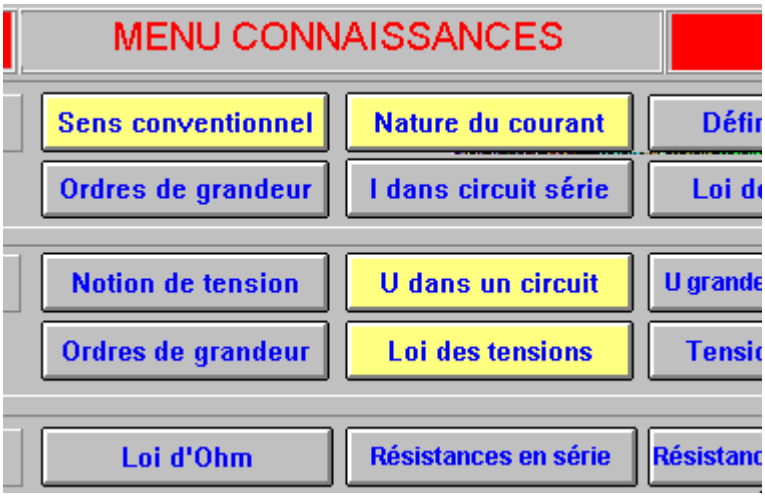


Figure 25 : Les boutons de chaque sous-menu changent de couleur lorsque l'information correspondante a été parcourue une fois lors de la session en cours ou des sessions précédentes.

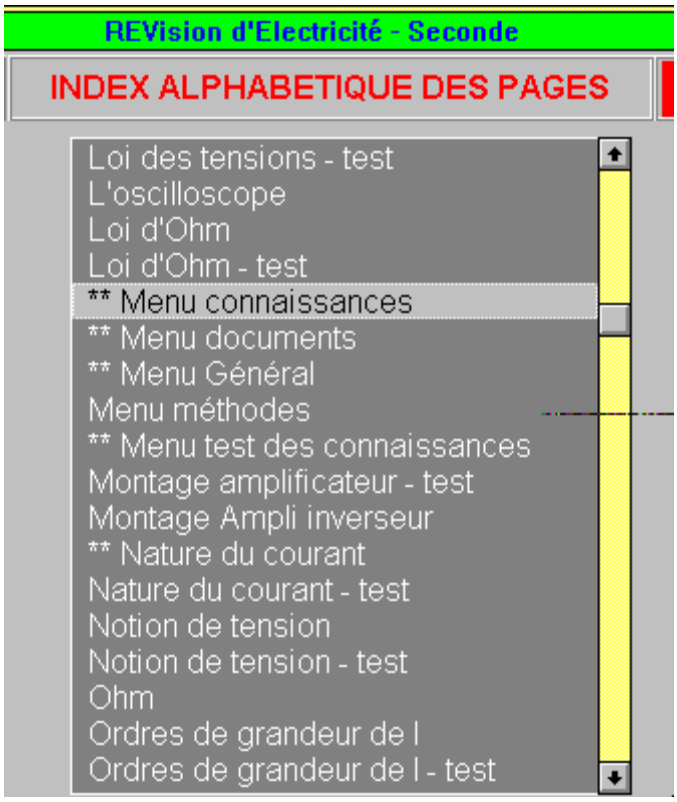


Figure 26 : Dans la liste des pages, l'intitulé d'une page parcourue au cours de la session ou lors d'une session précédente est complétée par "**".

1.5.2. Savoir où l'on est

L'usager dispose d'une identification sur chacune des pages, précisant l'intitulé de la page (titre), le thème (Intensité, Tension, ...) et le type de page (Connaissances, Tests etc.) (Figure 27 page 101).

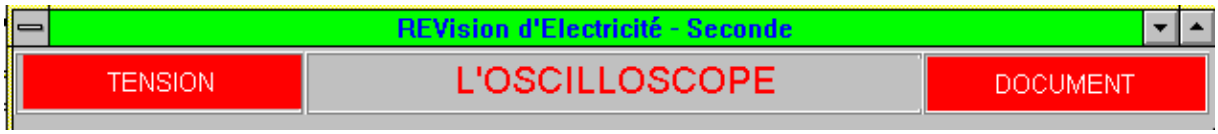


Figure 27 : Le haut de chaque page l'identifie (Thème, Intitulé, Type).

1.5.3. Savoir où l'on va

L'usager dispose

- d'indications sur l'endroit où il va aboutir en cliquant sur un icone (Figure 28 page 102) ;
- d'un intitulé explicite, sur les boutons de chacun des menus, pour la navigation hiérarchique (Figure 22 page 99)

Figure 28 : Chaque icone indique, lorsque l'on y déplace le curseur, le résultat obtenu si l'on "clique" dessus.

1.6. La présentation des informations

Les deux éléments qui caractérisent le plus cet aspect de l'interface utilisateur sont

- La sobriété
  On n'assiste à aucun débordement de couleur, de police, de corps des caractères etc. Les règles de lisibilité classiques sont respectées (pages aérées, phrases courtes et compréhensibles, vocabulaire adapté, «boutons» identifiés ...).

- La cohérence
  L'ensemble des pages est construit sur le même modèle (fond gris, texte noir, identification en haut de page, barre d'icones en bas de page, indications sur la navigation au bas de chaque page, forme des curseurs identiques, schémas en bleu sur fond blanc etc.).

On retiendra donc que le « design » d'ensemble est fait pour que l'apprenant se repère très rapidement dans le produit et apprenne à le manipuler facilement (cohérence), et ne soit pas attiré par des éléments externes au contenu véhiculé (sobriété). L'interface utilisateur est de plus entièrement pilotée avec la souris.

1.7. Le contrôle de l'apprenant

L'apprenant contrôle sa navigation sans intervention du système ; c'est le choix qui a été rappelé au paragraphe 1.1.1 page 81. Le système fournit par contre un certain nombre de points de repère, que l'on vient d'évoquer en décrivant le produit dans les pages précédentes, et que nous rappellerons brièvement.

1.7.1. Repérer la tâche

Comme l'affirme Tricot [1994], «ce n'est pas parce qu'un sujet est libre de choisir qu'il fait des choix pertinents par rapport à la situation à traiter ». Il était donc important de fournir dans le produit des informations permettant à l'élève de mieux se représenter à la fois les connaissances à acquérir et leur degré d'acquisition correspondant, pour qu'il en déduise la tâche à effectuer.

Au niveau des éléments que l'élève a à acquérir, les menus «Connaissances» et « Méthodes » (voir Figure 4 page 83 et Figure 5 page 84) rassemblent l'ensemble des possibles, et constituent en quelque sorte, une carte des objectifs à atteindre ; cette

carte identifie à la fois le type d'objectif (notionnel ou méthodologique) et le thème concerné (intensité, tension...). Des tests correspondants à chaque objectif permettent à l'usager une première évaluation de type formatif sur les connaissances acquises.

La rétroaction fournie par la machine contient à la fois une composante de vérification (généralement sonore) et une composante explicative, basée sur la supposition que l'apprenant peut comprendre ses erreurs et les corriger. «Le rôle attribué à la rétroaction procède alors d'une conception constructiviste de l'apprentissage, considéré comme processus par lequel un apprenant convertit des mots et des exemples fournis par un formateur ou un ordinateur en habiletés utilisables » (Vautier et Guillevic [1996]).

En fonction de la réponse qu'il propose et de celle qu'il peut obtenir du système, l'apprenant peut ou non décider de « (re)visiter » l'information correspondante. Il y a là un repère sur la tâche à accomplir

1.7.2. Repérer l'information

Les moyens d'accès à l'information (menus hiérarchiques, liste des pages, parcours prédéfinis, liens de type réseau), les repères de navigation (accès aux pages précédentes, liste des pages parcourues, marquages des pages vues, identification de chaque page, explicitation permanente de l'action des icones et de certains boutons de texte) sont autant de points de repères pour circuler dans la base de données hypermédia.

C'est cet ensemble de moyens qui doit permettre à l'apprenant de faire des choix navigationnels susceptibles d'améliorer ses connaissances.

1.8. L'aide à la consultation

Dans la mesure où l'usager est novice dans l'utilisation des produits multimédia, une aide technique à la consultation lui est obligatoirement proposée lors de la première session de travail. Il peut aussi y accéder à son gré depuis les menus par un icone (Figure 29 page 103). On y retrouve les éléments essentiels (rôle de la barre d'icones, identification de chaque page, rôle et propriétés des boutons des menus et sous-menus, rôle des pages « Index alphabétique des pages» et « Parcours thématiques».

Figure 29 : Icone d'accès à l'aide à la consultation.

1.9. Les traces du travail des élèves

1.9.1. Les traces des parcours

Le produit est doté d'un « espion » permettant de connaître le parcours et le temps passé sur chaque page pour chacun des apprenants. Ces informations, non accessibles à l'élève, sont destinées à obtenir des éléments objectifs à des fins d'étude.

1.9.2. Les traces des réponses aux tests

Ce travail de recherche reposant entre autre sur l'activité des élèves, nous avons conservé l'ensemble des réponses qu'ils ont effectuées dans les tests, quelle qu'en soit la forme (choix d'un item « vrai ou faux », « question à choix multiple », texte d'une question avec réponse ouverte, schéma...).

2. Prise en compte des programmes de seconde

Ce chapitre a pour but de montrer comment sont prises en compte dans REV.E.S. les exigences institutionnelles concernant le programme de la classe de seconde en physique. Celles-ci sont déjà détaillées dans la partie II de ce document, au chapitre 1 page39 ; nous nous contenterons donc ici simplement en les citant, d'expliquer comment et en quoi REV.E.S. répond à ces exigences. Dans l'ordre, nous aborderons les éléments relatifs aux principes directeurs de l'enseignement de la physique, puis ceux qui sont relatifs aux objectifs d'ensemble des programmes de seconde en physique et enfin ceux qui concernent les contenus même de ces programmes.

2.1. Principes directeurs de l'enseignement de la physique

Il ne nous paraît pas utile dans le cadre de ce descriptif de revenir longuement sur les principes directeurs de l'enseignement de la physique au lycée. Ils sont très généraux (voir dans la partie I de ce document, le paragraphe 1.1 page 39) et pour certains repris dans les objectifs d'ensemble spécifiques aux programmes de seconde (rôle des lois pour expliquer ou représenter l'univers par exemple). Cependant, le traitement de deux des points proposés dans ces principes directeurs mérite une brève analyse, car nous n'aurons que très peu l'occasion d'y revenir ultérieurement. Il s'agit d'une part de l'ancrage de l'enseignement sur le quotidien et les applications, et d'autre part de la nécessité d'introduire une dimension historique dans les cours de physique.

Par contre, nous n'évoquerons pas maintenant le problème de l'expérimentation même si le texte officiel souligne son rôle fondamental, et même si, parmi les principes directeurs, c'est le seul dont la mise en oeuvre pose vraiment problème dans le contexte d'un produit informatique. Nous y reviendrons cependant lorsqu'il s'agira d'évoquer l'aspect didactique au chapitre suivant, et nous décrirons alors comment nous avons traité le problème (voir dans cette partie III, le paragraphe3.6 page 146).

2.1.1. Ancrage de l'enseignement sur le quotidien

L'ancrage de l'enseignement sur le quotidien, sur les applications concrètes, est difficile à mettre en oeuvre de façon systématique, d'autant plus qu'en électricité «de base », les montages utilisés à vocation didactique sont souvent au plein sens du terme des montages «d'école ».

Toutefois, lorsqu'il s'est agi d'expliciter des ordres de grandeur pour l'intensité, ou la tension, ou encore lorsqu'il s'est agi d'évaluer la maîtrise de ces ordres de grandeur, il nous a paru important de choisir des exemples à la fois représentatifs et familiers afin de mieux concrétiser cet important aspect des choses.

Les ordres de grandeur, lorsqu'on en parle dans les manuels, sont traditionnellement proposés à partir d'un tableau comportant une liste d'objets à laquelle on associe un nombre et une unité. Nous avons choisi une présentation graphique susceptible de

renforcer l'impact de l'information (voir Figure 30 page 106 pour un exemple sur l'intensité). En même temps, l'ordre de grandeur n'est fourni qu'après avoir cliqué sur l'objet, rendant possible une émission d'hypothèse par l'élève, suivie d'une vérification. Ce type de présentation permet à l'élève de dépasser la simple consultation et, le rendant actif, laisse supposer une meilleure intégration des informations.

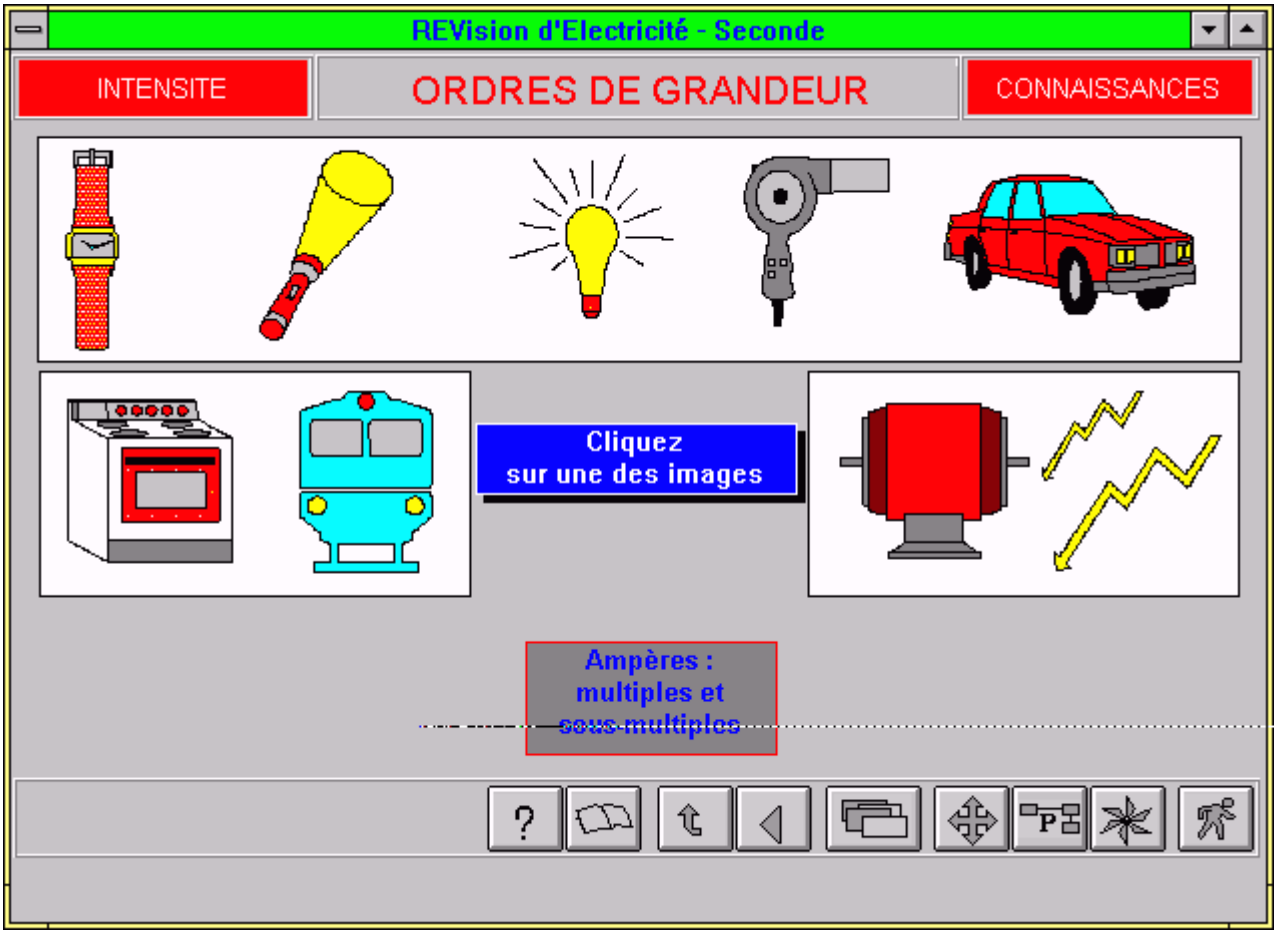


Figure 30 : Ordre de grandeur de l'intensité mise en jeu lors du fonctionnement de quelques objets courants.

2.1.2. La dimension historique dans l'enseignement

Ce n'est pas la première fois, ni probablement la dernière, qu'un texte officiel rappelle l'intérêt sinon la nécessité d'introduire une dimension historique dans l'enseignement. Mais force est de remarquer que dans la plupart des cours, et notamment au lycée, cet aspect est fort peu pris en compte, entre autre parce qu'une telle réflexion épistémologique ne peut se construire que progressivement, tant au niveau des enseignants que des élèves. Du reste, les textes spécifiques aux programmes de seconde ne préconisent aucune acquisition de ce type.

Pour ce qui nous concerne, nous avons choisi en quelque sorte d'initier cette approche, en proposant des informations sur les savants passés à la postérité sous la forme du nom d'une unité légale, à savoir Ampère, Volta, Coulomb et Ohm.

Nous l'avons fait en rappelant leurs travaux, leurs inventions, en cherchant à faire percevoir, au travers de diverses biographies évoquées de façon très élémentaire, le foisonnement d'idées qui, au début du dix-neuvième siècle, a permis l'avènement d'une « science de l'électricité ». Nous avons aussi rappelé le nom de leurs contemporains scientifiques, politiques, philosophes, musiciens, peintres, afin d'évoquer le contexte dans lequel ils ont vécu. Il est en effet important d'utiliser des points d'ancrage plus connus (historiques notamment) afin de situer des travaux scientifiques dans le temps et l'esprit d'une époque, afin d'établir des liens entre diverses connaissances éparses et constituer un réseau d'informations multimédias se renforçant l'une l'autre. Les possibilités de l'hypermédia sont à cet égard déterminantes, surtout dans le contexte d'un réseau d'informations réduit et ciblé.

Nous aurions pu aller au-delà et souligner par exemple, les difficultés rencontrées à cette époque pour passer d'une science de l'électrostatique à celle de l'électrocinétique. Cela nous a paru, d'une part trop formel pour des élèves de seconde et d'autre part dépasser le cadre d'un produit destiné à la révision de connaissances.

On trouvera ci-après un exemple illustrant notre propos, concernant Volta (voir Figure 31 page 107, Figure 32 page 108 et Figure 33 page 108).

Figure 31 : Première page d'information sur Volta.

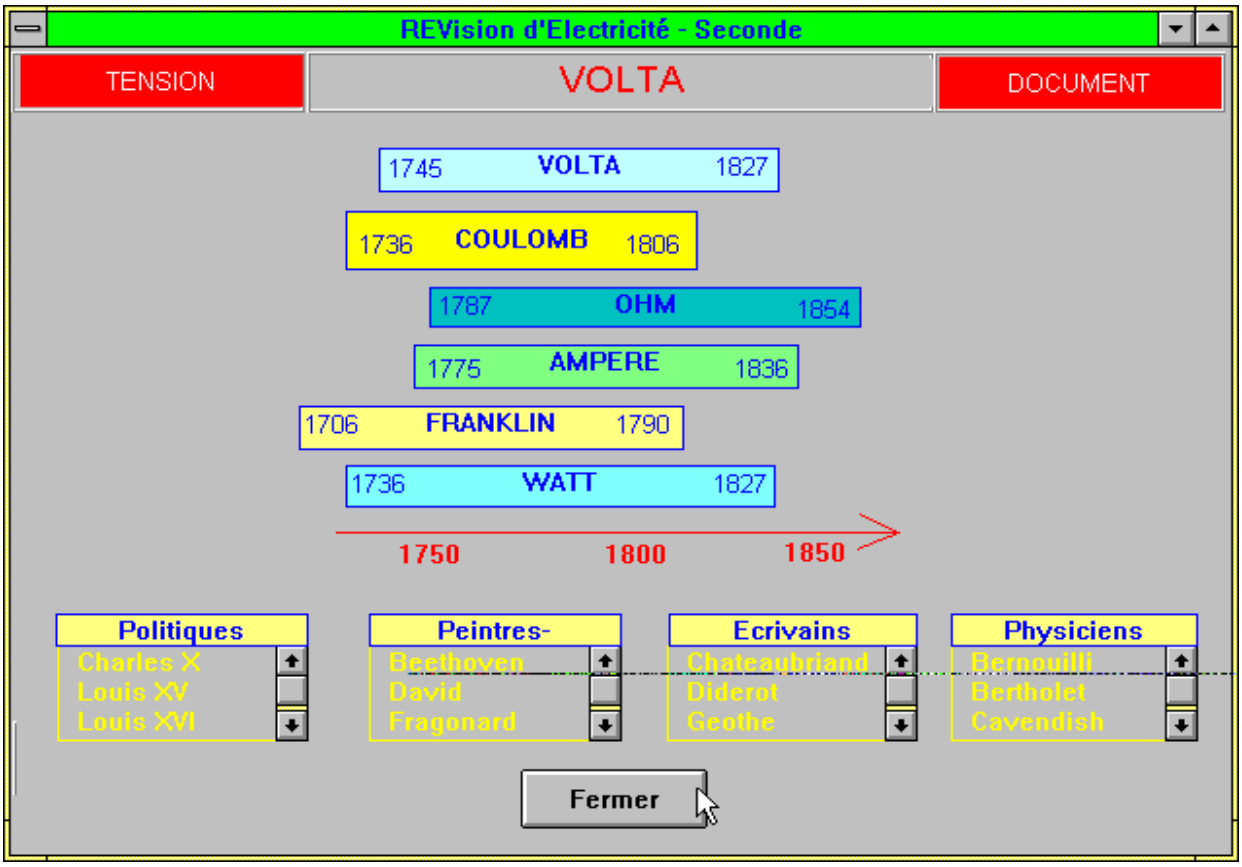


Figure 32 : Volta est un physicien du XVIII ième siècle.

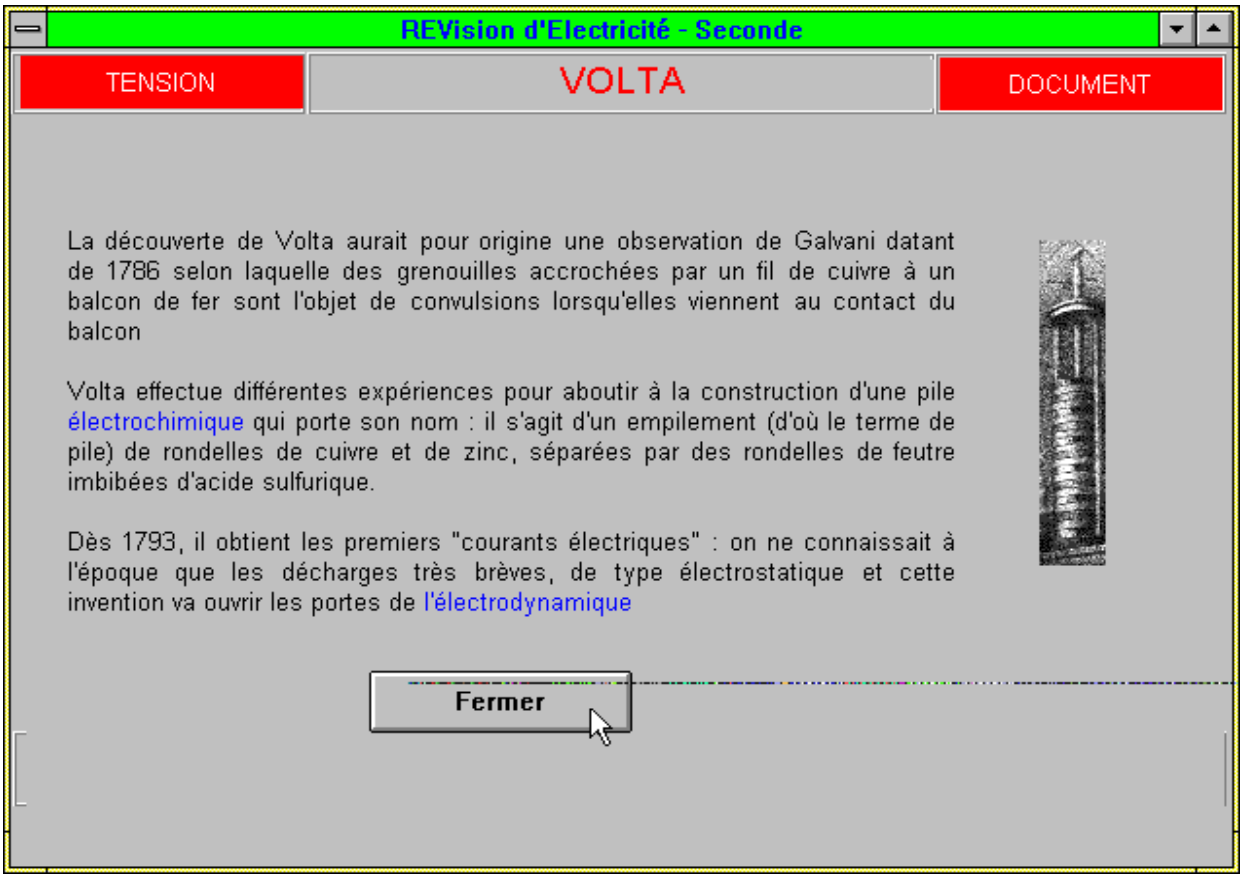


Figure 33 : Volta invente la pile électrique.

2.2. Objectifs d'ensemble des programmes de seconde

2.2.1. Les lois de la physique

Le texte insiste d'abord sur le rôle des lois de la physique (leur nombre réduit et leur expression sous forme mathématique simple) pour expliquer de façon cohérente et rendre compréhensible notre monde (voir le paragraphe 1.2.1 page 40).

Il n'est pas simple de montrer cela dès l'introduction de l'électrocinétique. Nous l'avons cependant tenté de façon indirecte en profitant de la possibilité de constituer un « parcours » sélectif et prédéfini au travers des pages d'informations. Ainsi avons-nous proposé à l'élève un parcours sur les lois sur l'intensité, sur les lois sur la tension, sur les lois relatives aux circuits parallèles, sur les lois relatives aux circuits série etc.

Par exemple, le parcours sur les lois relatives à l'intensité contient les « pages » :

- « Définition de I » ;
- « I dans un circuit série » ;
- « Loi des noeuds » ;
- « Calcul de I dans un circuit série » ;
- « Calcul de I dans un circuit dérivé ».

Le parcours relatif aux circuits série contient les pages :

- « I dans un circuit série » ;
- « Loi sur les tensions » ;
- « U dans un circuit » (tension aux bornes d'un interrupteur, d'un fil conducteur etc.) ;
- « R en série »
- « Calcul de I dans un circuit série ».

On pourra consulter le chapitre 1.2.3 page 93 pour avoir d'autres exemples de parcours sur les lois.

Les élèves peuvent constater à chaque fois que ces lois sont simples, peu nombreuses, et suffisent à rendre compte du fonctionnement d'un circuit. Mais il faudrait une action dans le même but, axée sur les autres domaines des programmes, pour affermir ces éléments épistémologiques.

On peut toutefois constater à travers cet exemple l'intérêt qu'il y a à inclure dans des parcours différents et structurés une même information. Cela autorise différentes lectures de cette information et permet de lui donner différentes significations, selon le regard qu'on lui porte : la loi des noeuds par exemple, peut être considérée seule et en tant que telle, ou encore comme une loi sur l'intensité parmi toutes les autres lois sur l'intensité, ou encore comme une loi sur les circuits parallèles parmi les autres lois sur ce type de circuit.

2.2.2. Savoir-faire méthodologiques généraux

Avec les autres disciplines, la physique permet à l'élève d'acquérir des savoir-faire méthodologiques généraux.

2.2.2.1. Etudier un cours, dégager les résultats essentiels, les mémoriser

Pour apprendre, il est effectivement important de dégager l'essentiel (ce qui suppose déjà de savoir distinguer l'essentiel de l'accessoire), mais aussi de structurer cet essentiel, de le relier aux connaissances déjà acquises. On ne peut dire que REV.E.S. permette, dans l'absolu, d'apprendre à dégager l'essentiel dans une série d'informations. Il montre, en la mettant en œuvre, une méthode de travail qui consiste à organiser des informations, et à les situer les unes par rapport aux autres. Cette méthode peut être éventuellement transférée et réinvestie, lorsque l'élève aura acquis le savoir-faire correspondant.

Ainsi, au travers de l'accès hiérarchique, REV.E.S. propose une organisation des informations dans laquelle l'élève peut identifier les savoirs qu'il doit posséder (voir les menus déjà présentés de la Figure 4 page 83 à la Figure 7 page 85). Par exemple, l'élève repère aisément les savoirs théoriques relatifs à l'intensité qu'il a à connaître : définir le sens conventionnel, expliquer la nature du courant électrique, définir l'intensité d'un courant, repérer des ordres de grandeur, préciser les propriétés de l'intensité dans un circuit série et connaître la loi des noeuds. Pour ce qui concerne les savoir-faire, il repère qu'il lui faut savoir utiliser la loi I=Q/t, appliquer la loi des noeuds, savoir mesurer l'intensité du courant dans une portion de circuit et savoir analyser un circuit de manière globale. En même temps, REV.E.S. propose le moyen dynamique (clic sur le bouton correspondant) d'accéder directement à une information. L'essentiel est repéré, l'accès en est immédiat : l'élève est totalement disponible à sa consultation. L'information elle-même est formulée avec le souci permanent de la lisibilité des documents, de la cohérence de la forme et de la pertinence des médias choisis parmi texte, image, animation, vidéo et son.

Par ailleurs, les connaissances sont d'autant mieux mémorisées si elles sont reliées les unes aux autres. Quand l'élève révise par exemple la loi des noeuds, il est intéressant pour lui, comme le permet REV.E.S., de pouvoir compléter son information en s'intéressant à la méthode d'utilisation de cette loi, ou encore en repérant que cette loi concerne, avec d'autres (loi sur les tensions, association de dipôles...), les circuits parallèles, ou encore tout simplement en obtenant la définition de l'intensité.

REV.E.S. organise et repère donc les informations essentielles, propose un réseau de liens entre ces informations, tout en fournissant le moyen dynamique d'y accéder, afin de faciliter le travail de mémorisation de l'élève.

2.2.2.2. Chercher et exploiter une information

REV.E.S., on vient de le voir, propose un moyen de recherche de l'information encore relativement original dans le domaine scientifique. Il complète ceux dont

dispose l'élève, du même type (dictionnaires, bases de données sur support informatique...) ou d'un type plus classique (livres, encyclopédies papier, moyens audiovisuels etc.).

Sans que cela concerne réellement notre propos, on peut tout de même affirmer que le savoir-faire acquis ici en matière de recherche et d'exploitation d'information, spécifique des hypermédias, est important et sera probablement réinvesti de nombreuses fois dans l'avenir.

2.2.2.3.Mettre en oeuvre des éléments de calcul

REV.E.S. propose, à chaque fois que cela est nécessaire, une méthodologie d'application d'une loi sur un cas concret et classique. Chacune des étapes de la méthode est explicitée progressivement ; les informations apparaissent graduellement à l'écran, à l'initiative du lecteur, généralement d'abord sous forme textuelle (ou/et éventuellement orale) puis dans un deuxième temps sur le schéma d'accompagnement. Chaque étape apparaît ainsi à la fois suffisamment isolée pour être clairement identifiée, mais aussi totalement reliée aux autres pour constituer une méthode dont l'élève peut redétailler à loisir chaque élément. On pourra voir, à titre d'illustration de la Figure 34 page 111 à la Figure 38 page 113, un exemple portant sur une méthode d'utilisation de la loi des noeuds.

L'explicitation pas à pas d'une méthodologie apporte une aide dans la discipline de référence, ici la physique. Elle montre le nécessaire travail de structuration des données destiné à leur fournir le sens qui permettra d'entamer un calcul. Ce sont ces éléments que l'élève pourra réinvestir dans une autre discipline (chimie, mathématiques, biologie...) en tant que savoir méthodologique d'ordre général.

Figure 34 : Loi des noeuds, contexte d'utilisation.

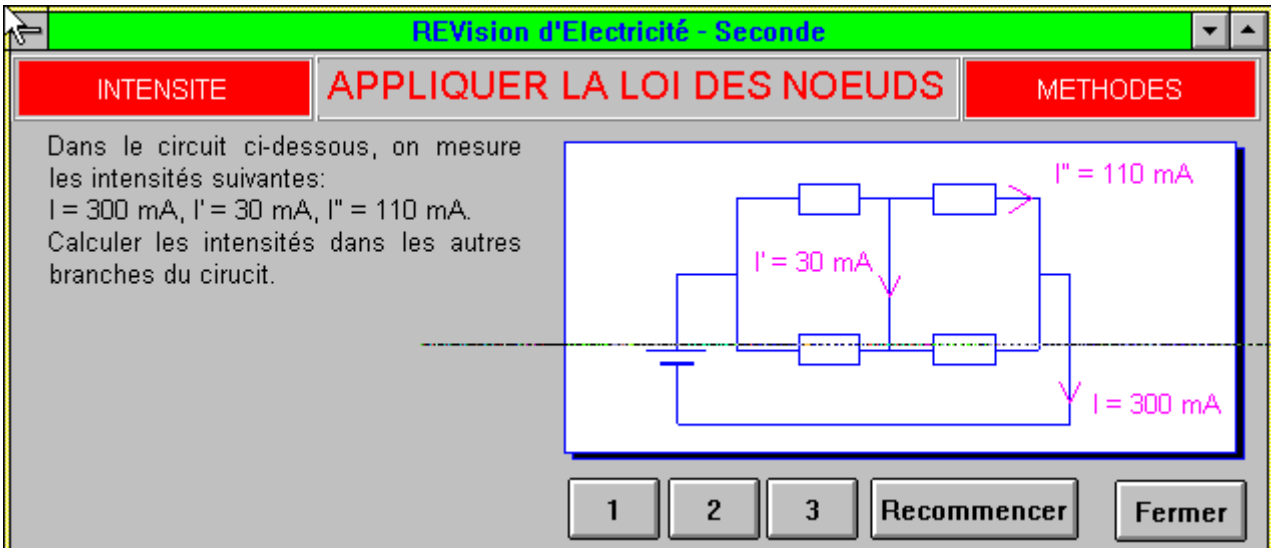


Figure 35 : Loi des noeuds, énoncé du problème.

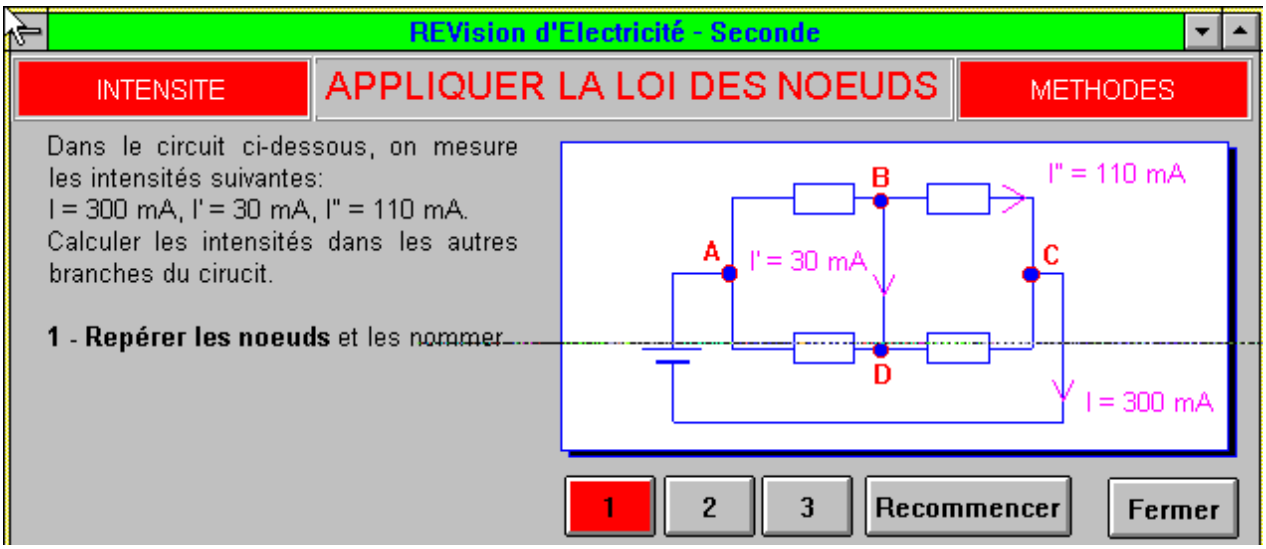


Figure 36 : Loi des noeuds, étape 1. Le texte paraît d'abord, puis le nom des noeuds sur le schéma, souligné par un « bip » sonore.

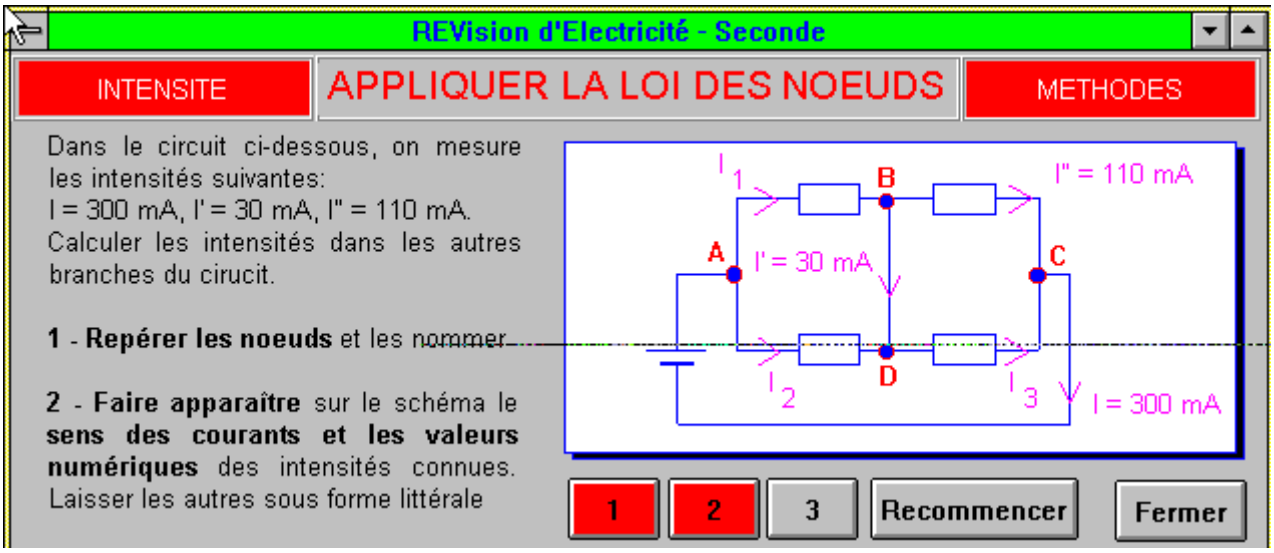


Figure 37 : Loi des noeuds, étape 2. Apparition du texte, puis dans un deuxième temps, mise en oeuvre sur le schéma.

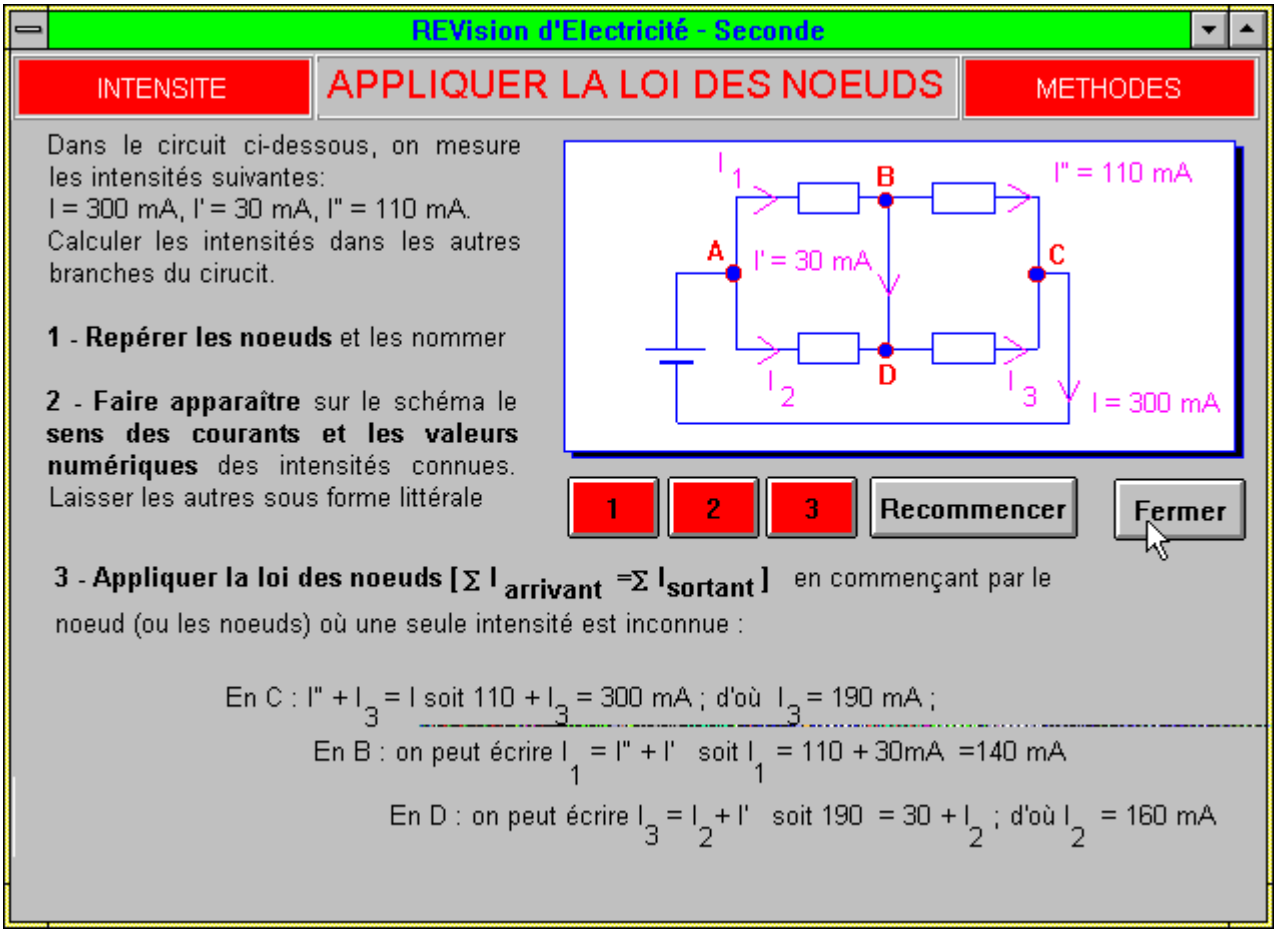


Figure 38 : Loi des noeuds, étape 3. Les lignes de texte apparaissent progressivement à l'écran, au rythme de la lecture de l'élève.

2.2.2.4.Faire des schémas

REV.E.S. permet, dans quelques exemples, de pratiquer la schématisation à partir d'une consigne écrite ou orale. Une fois cette consigne fournie, l'élève choisit les composants, les obtient par clic sur le bouton correspondant et les déplace à l'endroit qui lui convient pour construire le schéma (Figure 39 page 114).

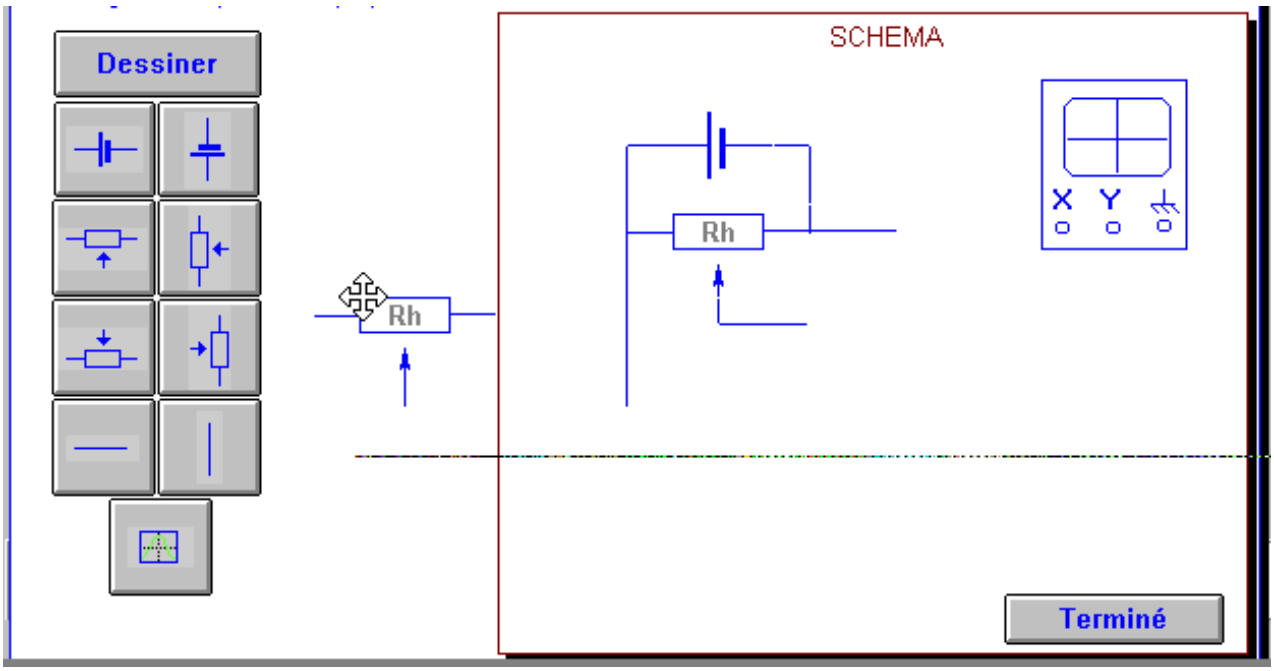


Figure 39 : Dispositif de schématisation. L'élève choisit un composant et le positionne sur la zone "schéma", chaque composant étant déplaçable en permanence.

Seuls sont proposés, selon diverses orientations, les composants nécessaires au schéma demandé. Ce choix est lié à la simplicité du schéma à réaliser (par exemple associer des résistances pour obtenir une valeur particulière) ou à l'inverse à sa complexité (par exemple réaliser le montage permettant de simuler et d'étudier à l'oscilloscope le comportement d'une manette de jeu). Dans les deux cas, il nous a paru inutile de proposer des composants qui n'ont pas à être utilisés dans le schéma.

Les composants peuvent être assemblés, déplacés, réassemblés jusqu'à obtenir, par essais et analyses successifs, un schéma satisfaisant pour l'utilisateur. Cette possibilité, due à l'ordinateur, dynamise la réalisation de schémas.

La schématisation s'apparente tout à fait aux activités d'écriture ou de codage. Il est nécessaire de proposer en parallèle des activités de lecture ou de décodage, les acquis respectifs se renforçant mutuellement dans les deux types de situation. REV.E.S. propose régulièrement une lecture de schémas, dont un certain nombre représentés de façon non canonique (voir par exempleFigure 69 page 137 à Figure 70 page 138). Ces situations plus originales, doivent aussi contribuer à faciliter ultérieurement l'activité de schématisation.

On constate donc que REV.E.S. n'apprend pas la schématisation stricto sensu. Il propose plutôt des situations dans lesquelles les compétences nécessaires sont mises en jeu et renforcées.

2.2.2.5.Conclusion

Au travers des paragraphes précédents, on peut constater que l'acquisition de savoir-faire méthodologiques généraux ne constitue pas l'objectif essentiel de REV.E.S., qui vise beaucoup plus l'aspect disciplinaire. Cependant, il offre l'occasion d'une mise en oeuvre de ces savoirs qui pourraient être analysés par l'utilisateur et être réinvestis dans un autre contexte. On aura remarqué aussi que cette mise en oeuvre met en exergue les spécificités du moyen utilisé (multiplicité et contrôle des médias, hyperliens, multiplicité des liens relatifs à une même information).

2.2.3.Savoir-faire méthodologiques disciplinaires

2.2.3.1.Réaliser une expérience à partir d'un schéma, de consignes

Sur un ordinateur, on peut seulement simuler la réalisation d'une expérience, à partir d'éléments allant des plus réalistes jusqu'aux plus symboliques. Nous avons opté, comme on pourra le voir dans les figures suivantes, pour une simulation utilisant les symboles électriques usuels, à la fois par souci de simplicité et par souci didactique, pour que les élèves les manipulent et affermissent le rapport qu'ils établissent entre réalité et symbole. Ces simulations mettent en jeu et par là-même développent des savoir-faire liés à la conception d'expériences, notamment à partir de consignes écrites ou orales, dans le but de vérifier une hypothèse.

On trouve à la Figure 40 page 116 et à la Figure 41 page 116 un exemple des possibilités offertes par REV.E.S., pour ce qui concerne la conception d'une expérience permettant d'établir le caractère identique de l'intensité en tout point d'un circuit série. Dans la limite des composants proposés, les élèves peuvent « monter » très rapidement une multitude d'expériences différentes correspondant à l'objectif assigné par la consigne. L'ordinateur permet à l'imagination de l'apprenant de s'exercer en toute liberté, dans le cadre bien sûr des contraintes imposées par les lois de la physique.

Nous reviendrons par ailleurs plus en détail sur l'expérimentation au sein de REV.E.S. dans le chapitre 3.6 page 146 consacré au descriptif didactique du produit.

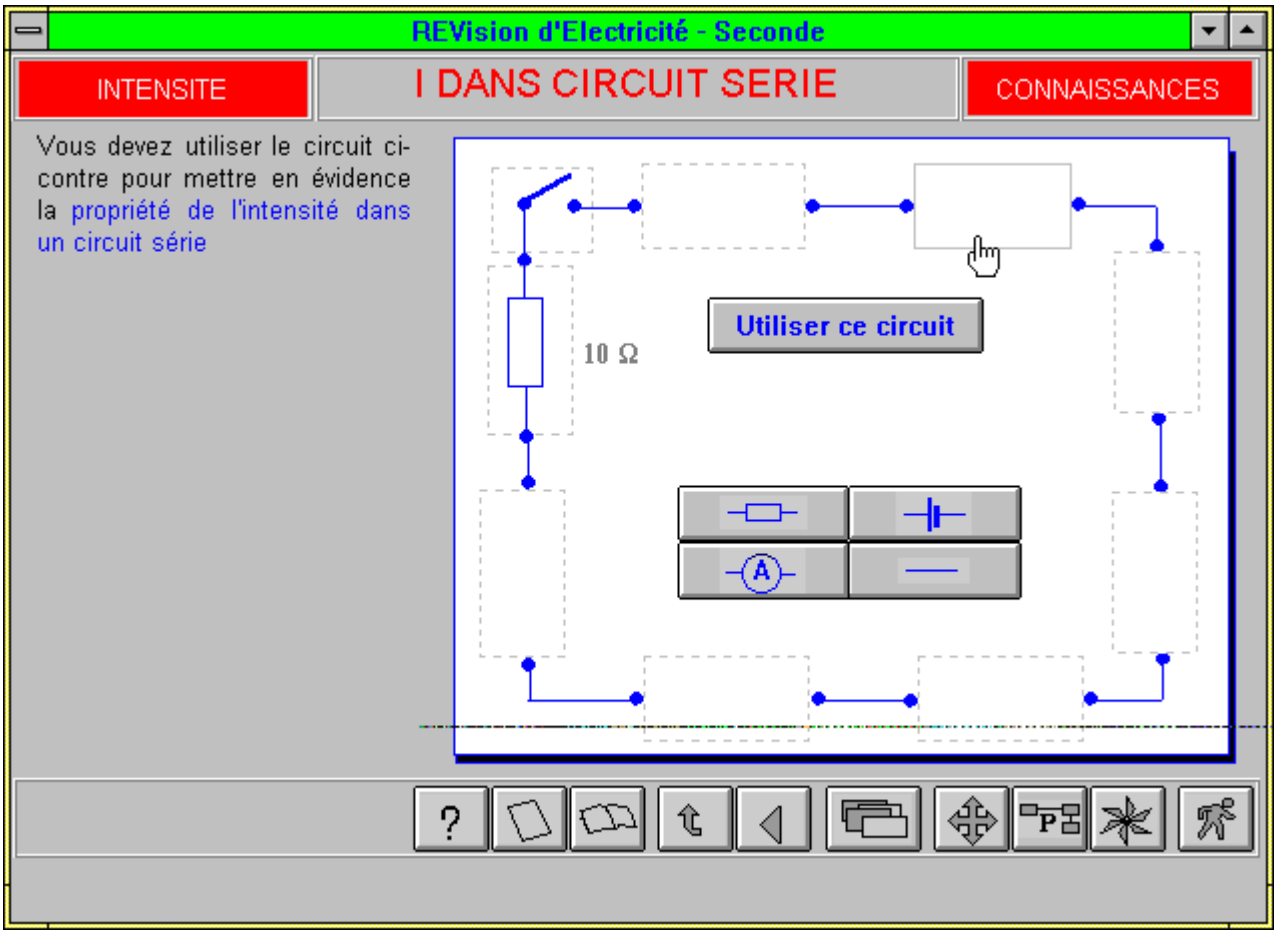


Figure 40 : Conception d'une expérience sur l'intensité dans un circuit série. Les composants apparaissent en cliquant sur la zone dans laquelle on veut placer un élément.

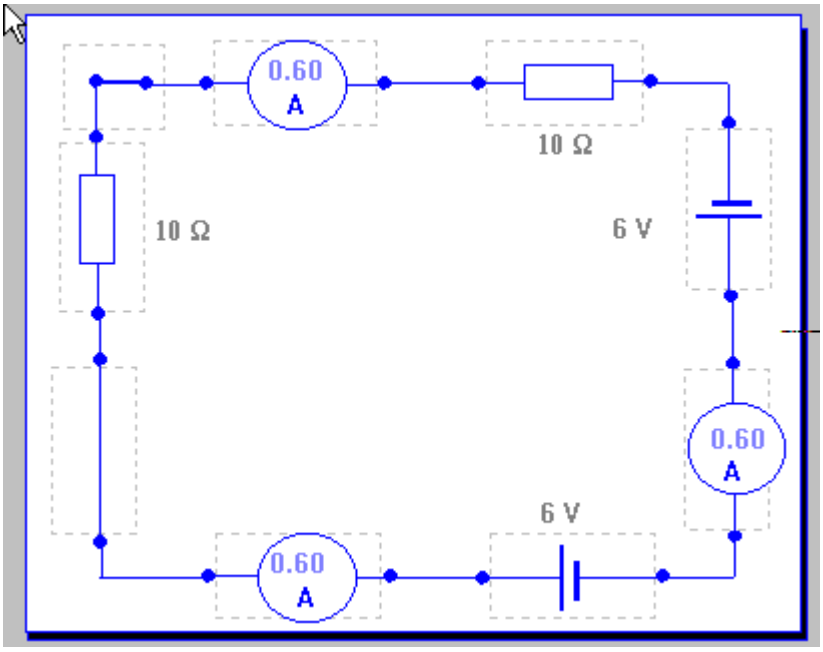


Figure 41 : Conception d'une expérience, réalisation possible pour déterminer les propriétés de l'intensité dans un circuit série.

2.2.3.2. Vérification d'une hypothèse, recherche d'une explication à partir d'une expérience

Nous nous plaçons toujours, comme précisé dans le paragraphe précédent dans un contexte de simulation d'une expérience réelle. Dès que l'on peut simuler la variation d'un ou plusieurs paramètres, il est possible d'émettre des hypothèses quant à leur influence sur les grandeurs en jeu dans l'expérience.

Nous avons, dans le paragraphe précédent, fourni un exemple de simulation d'expérience dans laquelle il est possible de faire varier deux paramètres (résistance du circuit et tension d'alimentation) afin de vérifier le caractère identique de l'intensité en tout point d'un circuit série. Nous proposons ici un autre exemple illustratif (Figure 42 page 117) dans lequel le circuit concernant la loi des tensions est déjà proposé, mais pour lequel il est possible de faire varier la valeur des résistances.

Dans les deux cas, nous faisons l'hypothèse que la vérification active d'une loi (qui est normalement connue dans une situation de révision) renforce les connaissances existantes, beaucoup plus que le simple rappel par énoncé de cette loi. Bien sûr, cela n'exclut pas l'énoncé lui-même, qui arrive après.

REV.E.S. propose de nombreuses autres simulations du même type, permettant à l'apprenant de vérifier des hypothèses (loi des noeuds, association de résistances, tension dans un circuit etc.).

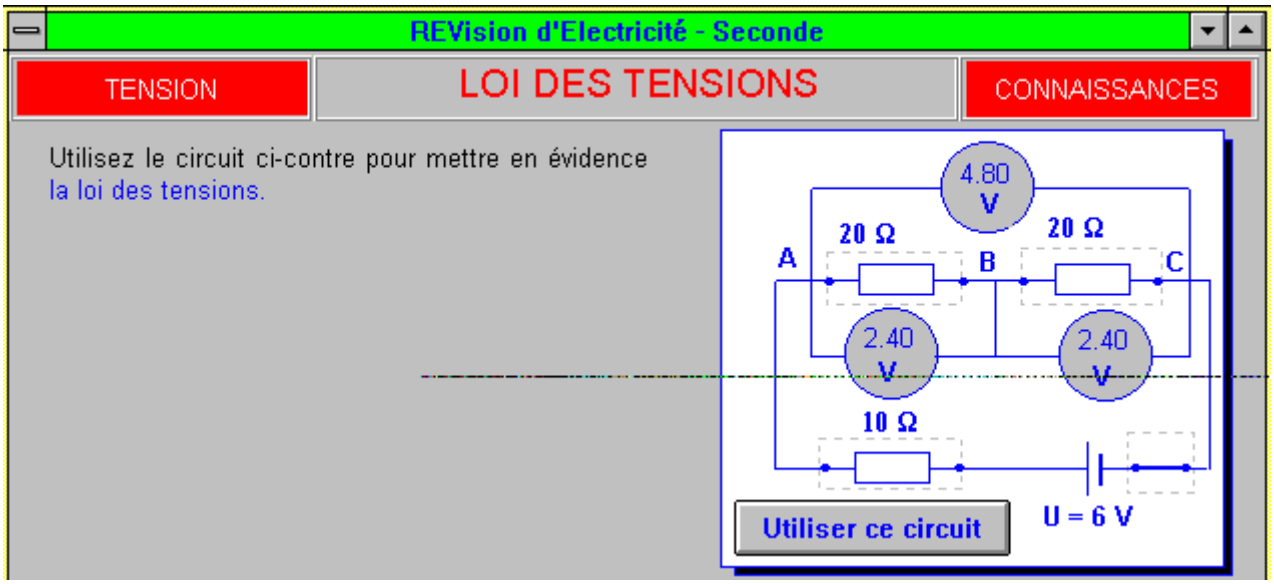


Figure 42 : En faisant varier les résistances de chacune des branches du circuit, l'élève vérifie l'hypothèse faite concernant la loi des tensions.

2.2.3.3. Connaissance des symboles, des unités des grandeurs relatives à une formule

Pour chaque formule mettant en jeu des grandeurs de différente nature, les unités sont systématiquement précisées, à la fois de façon orale et de façon textuelle. La présentation sur la page les met clairement en évidence. Des

renvois sont faits avec des hyperliens à la fois vers les pages comportant les multiples et les sous-multiples des unités concernées et vers les pages décrivant leur méthode de mesure (voir par exemple ci-après deux extraits de la page consacrée à la loi d'Ohm et à certains de ses liens hypermédias dans laFigure 43 page 118).

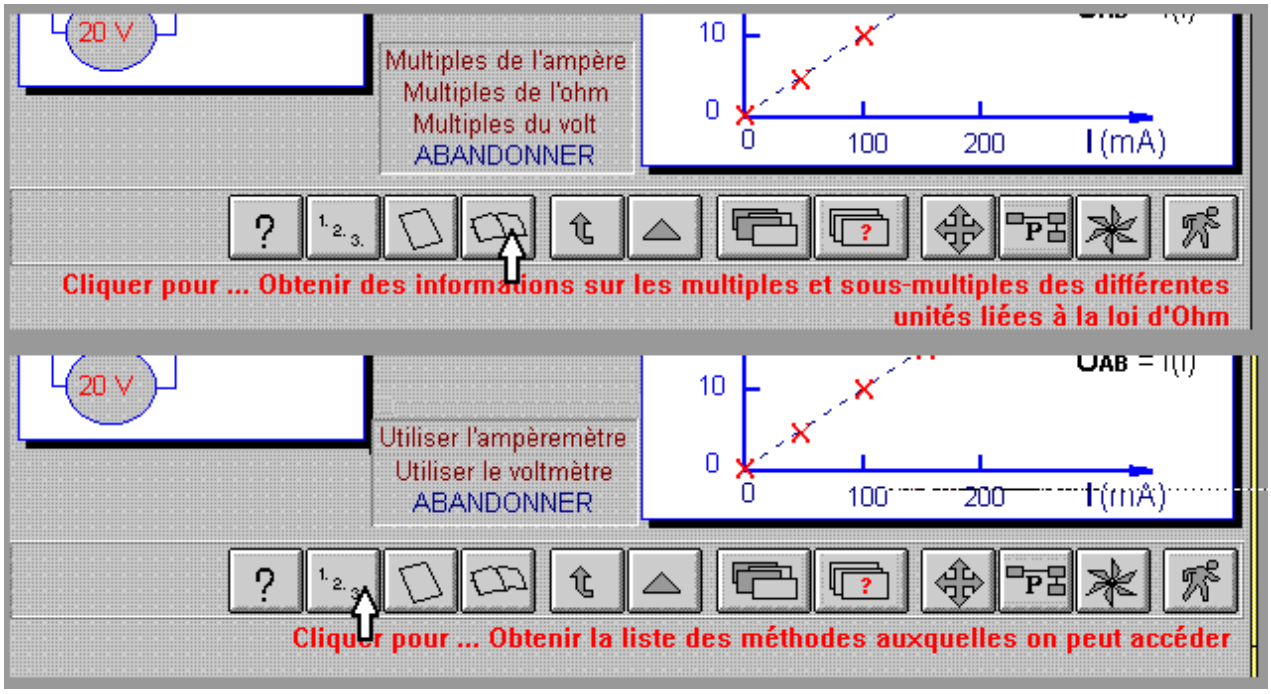


Figure 43 : Dans la page consacrée à la loi d'Ohm, les hyperliens renvoient, pour la partie "Méthodes" aux pages consacrées à la mesure de U et I, et pour la partie "Connaissances", aux pages contenant des informations sur les sous-multiples et multiples de l'ampère, l'ohm et du volt.

2.2.3.4.Connaissance des méthodes de mesure des grandeurs

Pour présenter les méthodes de mesure des grandeurs physiques du programme, nous avons adopté deux démarches différentes : la première fait appel à une présentation, qui en associant du texte, des images et du son, relate séquentiellement la méthode. C'est le cas pour la mesure de l'intensité dont la Figure 44 page 119 décrit l'étape 2. L'élève active à son gré le descriptif multimédia de chaque étape, sur lequel il peut revenir à tout moment. Un résumé clôture l'ensemble du dispositif. Ce procédé a l'avantage d'isoler clairement chaque phase de la méthode, tant dans la chronologie, que dans le contenu.

La deuxième démarche de description fait appel à la vidéo numérique, et nous avons ainsi traité la méthode de mesure de la tension, à l'aide d'un voltmètre et à l'aide d'un oscilloscope. Ce média semble particulièrement adapté à la transmission d'un savoir-faire, qu'il montre de façon concrète. Cependant, la réalisation d'une séquence vidéo est nettement plus complexe à mener à bien que la présentation figée de la démarche précédente. Elle implique en effet scénario, prise de vue, numérisation, montage et sonorisation. De plus l'espace disque occupé par une vidéo est conséquent. Ces raisons expliquent que nous

n'ayons pas fait appel à la démarche précédente pour expliciter toutes les méthodes de mesure abordées dans REV.E.S., bien que nous pensions que la vidéo recèle plus d'intérêt pour l'usager.

On trouvera de la Figure 45 page 120 à la Figure 52 page 121, 8 images extraites de la séquence d'une minute concernant le réglage de la sensibilité verticale et de la base de temps d'un oscilloscope. Leur succession traduit l'esprit dans lequel a été conçue la vidéo : nous avons associé en permanence à l'image l'action sur les boutons de réglage et son effet sur l'écran de l'oscilloscope.

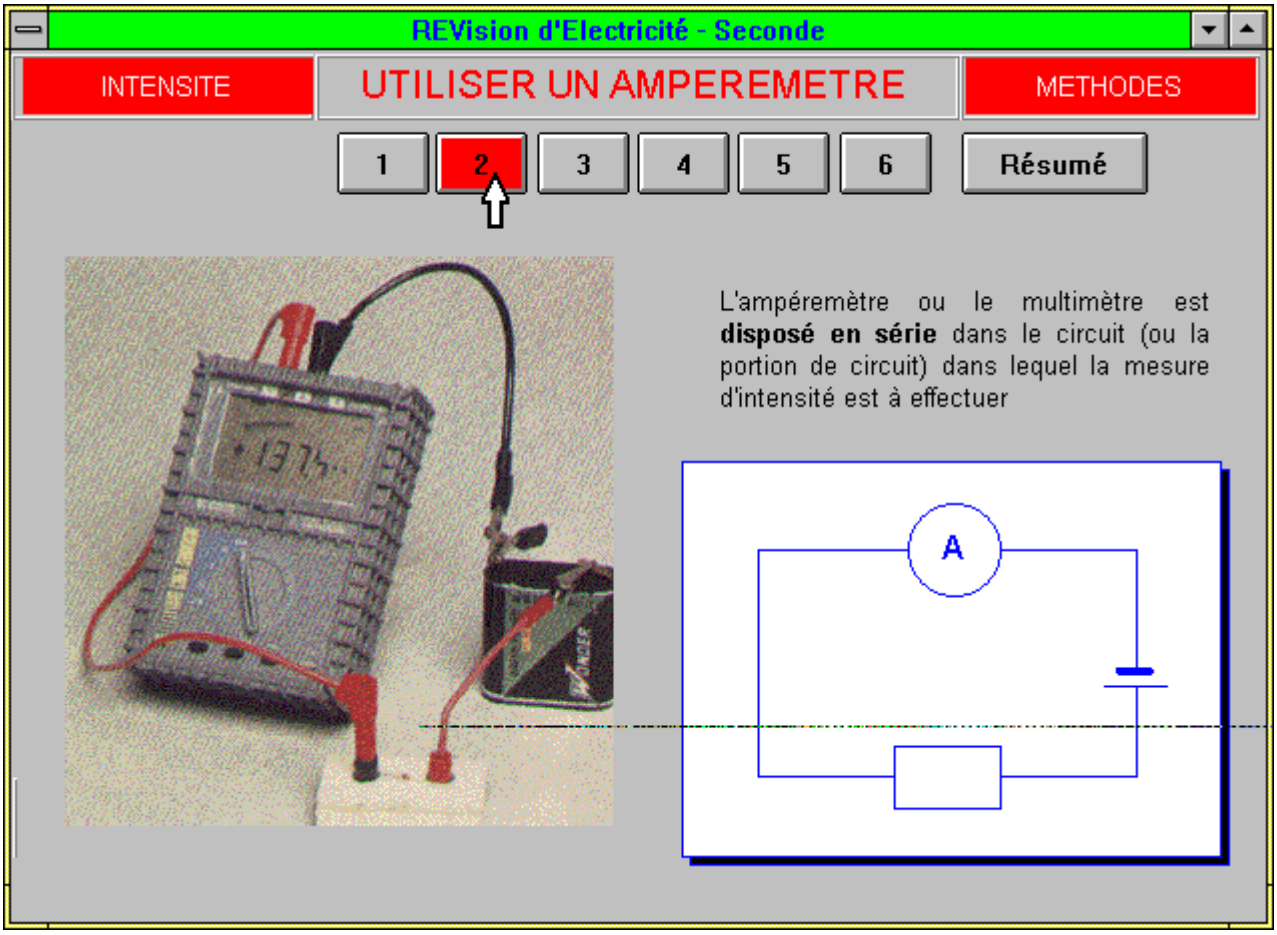


Figure 44 : Mesure de l'intensité. La deuxième étape de la présentation décrit la position de l'ampèremètre dans le circuit. L'élève peut activer à tout moment le descriptif d'une des étapes, ou s'il le préfère, le résumé de l'ensemble des étapes.

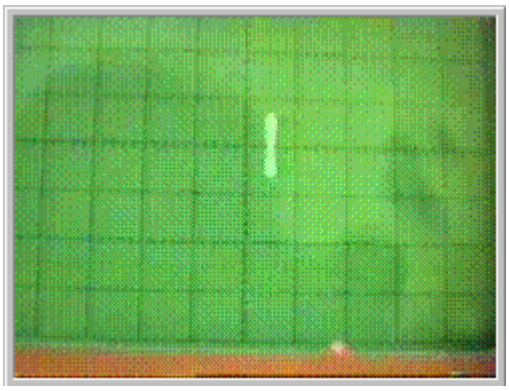


Figure 45 : Tension variable avant réglage de l'oscilloscope.

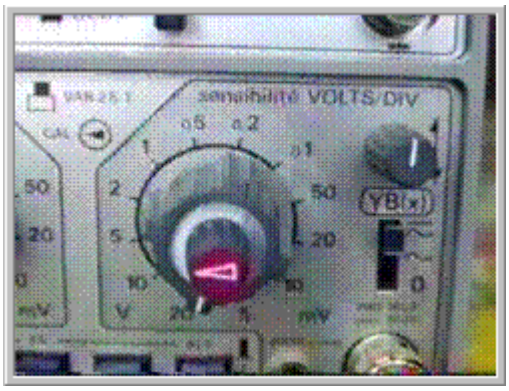


Figure 46 : Bouton de réglage de la sensibilité verticale.

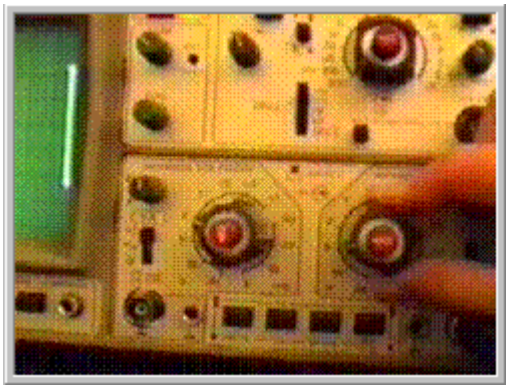


Figure 47 : En augmentant la sensibilité verticale, on augmente l'amplitude du signal à l'écran.

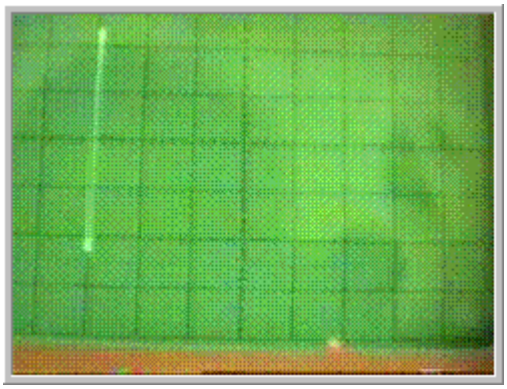


Figure 48 : Le signal est convenablement amplifié pour être bien visible à l'écran.

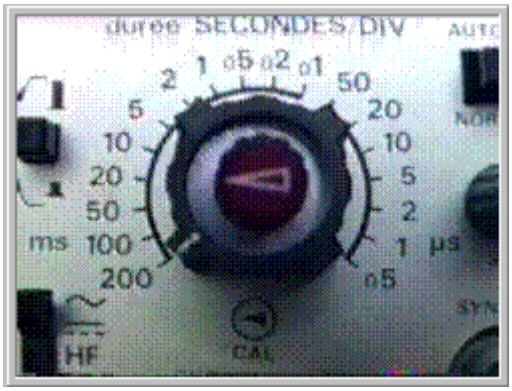


Figure 49 : Bouton de réglage de la base de temps.

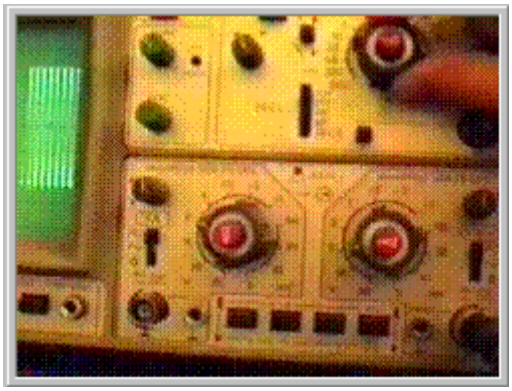


Figure 50 : En réglant la base de temps, on parvient à étaler le signal sur l'écran.

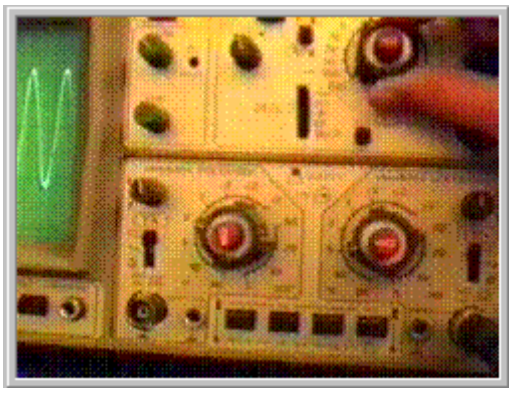


Figure 51 : Le signal est de plus en plus lisible à l'écran.

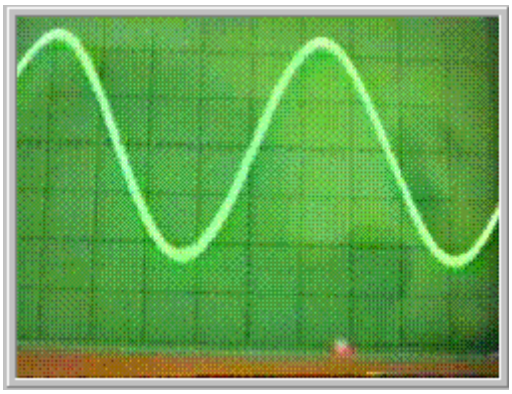


Figure 52 : Avec un réglage adéquat, on parvient à obtenir un signal stable et occupant tout l'écran.

Pour compléter cette vidéo centrée sur les réglages de l'appareil, nous avons explicité le principe de fonctionnement de l'oscilloscope en transformant chaque partie du schéma en zone sensible dont l'activation fournit des explications (Figure 53 page 121). Nous avons aussi permis à l'élève de simuler par animation la visualisation de deux tensions alternatives (notamment à très basse fréquence pour mieux voir le phénomène) et d'une tension continue, auxquelles on peut appliquer deux valeurs différentes de la base de temps. Dans le cas présenté à la figure suivante, l'impact du faisceau d'électrons sur l'écran se déplace lentement sur une horizontale. La capture de l'image l'a immobilisé dans la partie droite de l'écran. En même temps, on visualise une information sur le canon à électrons.

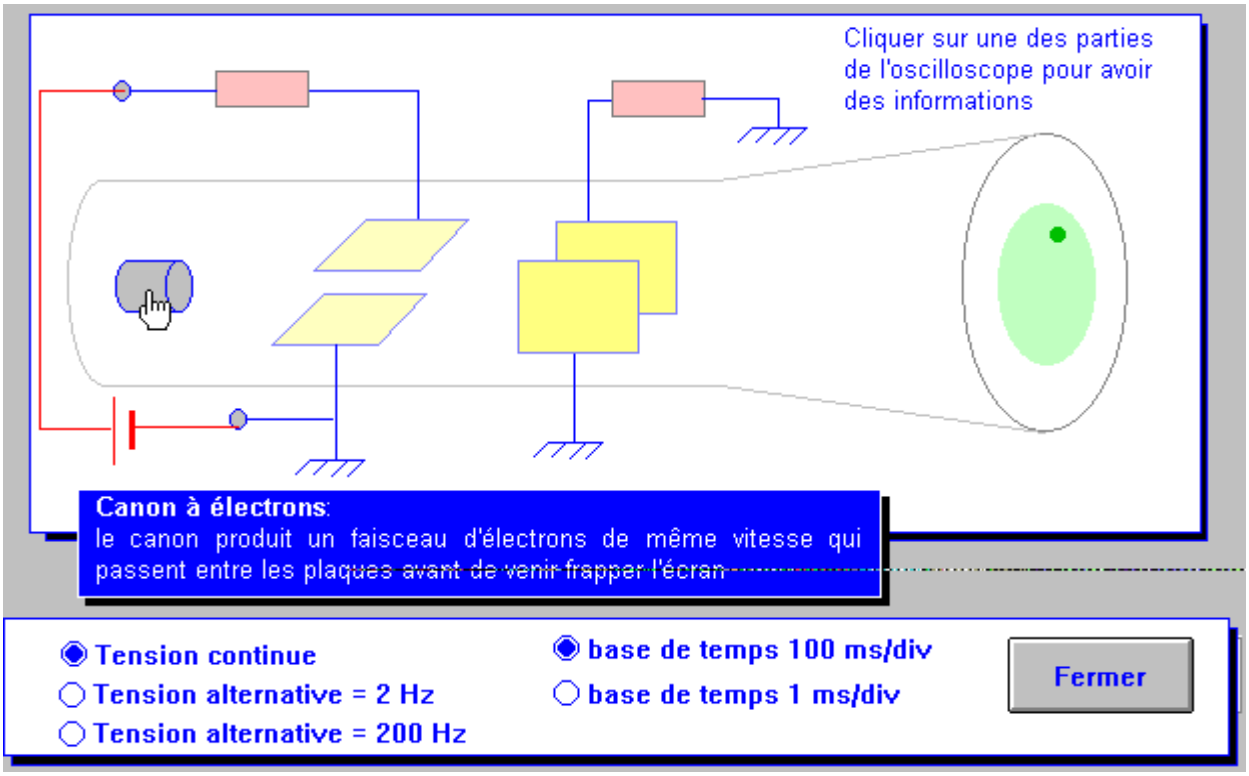


Figure 53 : Principe de fonctionnement de l'oscilloscope et visualisation de tensions avec réglage de la base de temps.

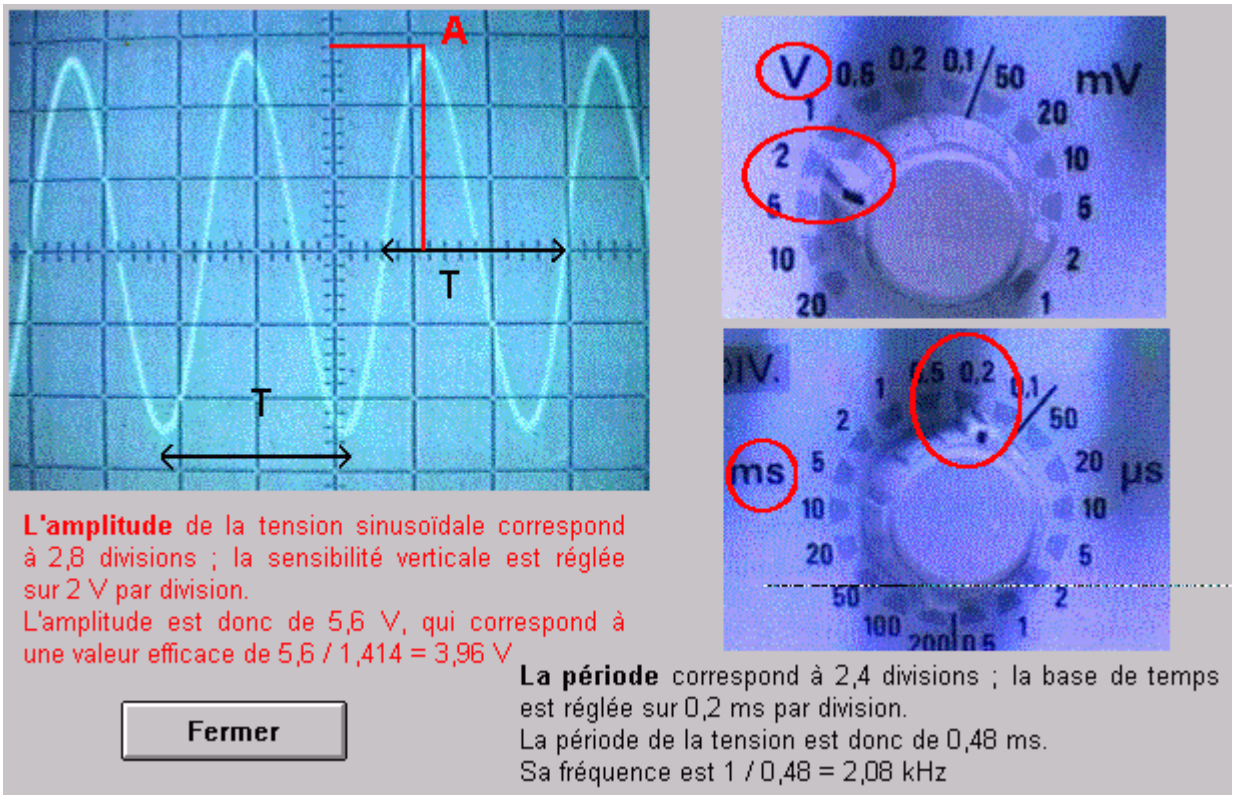


Figure 54 : Description du principe de lecture d'un oscillogramme.

Enfin, toujours en complément de la vidéo, nous avons décrit à partir d'une association classique image - texte (Figure 54 page 122), le principe de lecture d'un oscillogramme.

2.2.3.5.Exprimer un jugement sur une explication

Deux cas permettant au lecteur de faire preuve de sens critique sont proposés : il s'agit pour lui d'analyser des situations basées sur l'analogie hydraulique qui sont régulièrement utilisées : comparaison entre les branches d'un circuit électrique parallèle et les deux bras d'un fleuve, comparaison entre un circuit électrique et un circuit hydraulique (voir le chapitre 3.5.2 page 140 dans lequel sont explicités les aspects didactiques de ces analyses critiques).

En amenant l'élève à critiquer ces comparaisons, on espère contribuer à une évolution de ses représentations concernant le courant électrique et le potentiel. L'expression d'un jugement est donc considérée dans REV.E.S. comme une stratégie d'apprentissage, mais elle reste marginale.

2.2.3.6.Conclusion

Nous avons eu le souci d'intégrer à REV.E.S. des moyens permettant de renforcer quelques uns des savoir-faire disciplinaires présents dans les programmes de seconde (connaître un ordre de grandeur, maîtriser une méthode de mesure, imaginer une expérience, vérifier une hypothèse, notamment en faisant varier un seul paramètre expérimental à la fois, utiliser les unités adéquates etc.). Le but de ce chapitre était d'en faire état, tout en montrant la

spécificité des moyens hypermédias. Ces moyens sont de nature différente de ceux qui sont utilisés en classe (notamment le contexte expérimental basé sur des simulations), et doivent les compléter, sans bien sûr prétendre les remplacer.

2.3. Contenus des programmes de seconde

L'ensemble des contenus du programme de seconde en électricité a été traité. On peut se référer aux menus des parties « Connaissances » (voir Figure 4 page 83), « Méthodes » (voir Figure 5 page 84) et « Documents » (voir Figure 7 page 85) pour vérifier à la fois que les items proposés font partie des programmes et que celui-ci a été entièrement couvert.

3. Traitement des aspects didactiques

Nous décrivons dans ce chapitre comment ont été pris en compte dans REV.E.S. les problèmes didactiques évoqués d'un point de vue théorique au chapitre 2 page 46, ainsi que ceux que nous avons perçus au cours des diverses expérimentations que nous avons accomplies avec les élèves de seconde. Nous expliquerons comment nous avons mis en valeur le caractère identique de l'intensité en tout point d'un circuit série, et comment nous avons favorisé la perception systémique d'un circuit. Nous évoquerons aussi les aspects liés à la schématisation, à l'utilisation d'analogies, et enfin ceux qui concernent l'expérimentation par simulation.

Certaines situations font référence à plusieurs problèmes didactiques, notamment celles qui utilisent les analogies, la simulation ou encore par exemple la lecture de schémas. Nous serons donc amenés à les reprendre à plusieurs reprises dans ce descriptif. Elles seront cependant analysées à chaque fois avec un regard différent et des renvois seront faits pour établir des liens quand cela sera nécessaire.

3.1. Propriété de l'intensité dans un circuit série

Si le caractère constant de l'intensité est généralement maîtrisé par les élèves dans le cas d'un circuit série élémentaire, ce n'est pas toujours le cas si celui-ci devient à peine plus complexe. Nous avons donc proposé dans REV.E.S. des situations plus originales au travers de simulations expérimentales, de tests mettant en jeu les indications de différents ampèremètres, ou encore des animations traduisant le mouvement des électrons dans le circuit. Nous avons aussi explicité l'analogie du train électrique et critiqué l'analogie hydraulique, pour tenter de faire évoluer les représentations des élèves (voir le chapitre 3.5 page 138).

3.1.1. Expérimentation simulée

Le dispositif, qui utilise un schéma dynamique, a été présenté page 116. Nous le rappelons à la page suivante (Figure 55) en montrant la réalisation d'un circuit dont la nature pose des problèmes aux élèves de seconde.

L'élève a à sa disposition, au départ, un schéma vide de composants, dans lequel il peut introduire un ou des générateurs, un ou des ampèremètres, un ou des fils de liaison, une ou des résistances. Le dispositif utilisé permet une grande souplesse dans la construction ou la modification des situations expérimentales : l'élève peut à tout moment enlever des composants et les remplacer par d'autres, ou encore disposer les ampèremètres à n'importe quel endroit du circuit.

Par le biais de ces diverses manipulations, l'élève peut ainsi constater que l'intensité est la même en tous les points d'un circuit série, quels que soient ses composants. Il peut constater « de visu » en particulier que l'intensité est la même avant et après un générateur, avant et après une résistance.

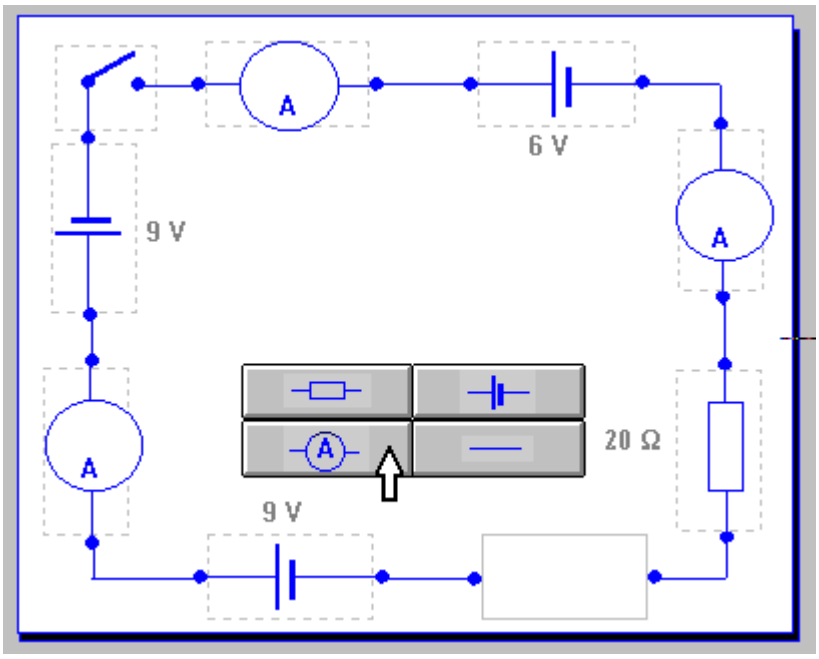


Figure 55 : Simulation de la mesure de l'intensité dans un circuit série conçu par l'élève.

La facilité de manipulation permet à l'élève d'exercer pleinement sa créativité pour imaginer et simuler des expériences « curieuses » qui ne sont pas faites en cours ou en travaux pratiques, par exemple en mettant plusieurs générateurs et en regardant ce qui se passe avant, entre et après chacun d'eux. Les cas limites (circuit comportant uniquement des générateurs, circuits dépourvus de résistance...) sont contrôlés par la machine qui prévient de l'impossibilité de les mettre en oeuvre.

Ce type de simulation ne remplace évidemment pas une expérimentation réelle, notamment pour l'acquisition d'un savoir-faire manipulatoire. Cependant, en permettant de multiplier rapidement les circuits testés, il nous paraît constituer un complément intéressant de l'expérience traditionnelle.

3.1.2. Animation des électrons dans un circuit série

L'animation des électrons dans le circuit électrique est présentée en continuité avec « l'expérience » décrite précédemment, permettant ainsi de lui donner une interprétation « visuelle ». Grâce à ce dispositif, les élèves peuvent constater que les électrons ne s'accumulent pas dans une partie du circuit (figure 56 page 126).

Le circuit servant de base à l'animation comporte à dessein deux résistances pour montrer qu'elles n'affectent pas ponctuellement le mouvement des électrons (pas d'accumulation d'électrons avant la première résistance par exemple). De plus, cette animation induit, sans toutefois l'expliciter, une perception globale du circuit. Ce dispositif a été utilisé à deux reprises dans REV.E.S. avec les mêmes objectifs.

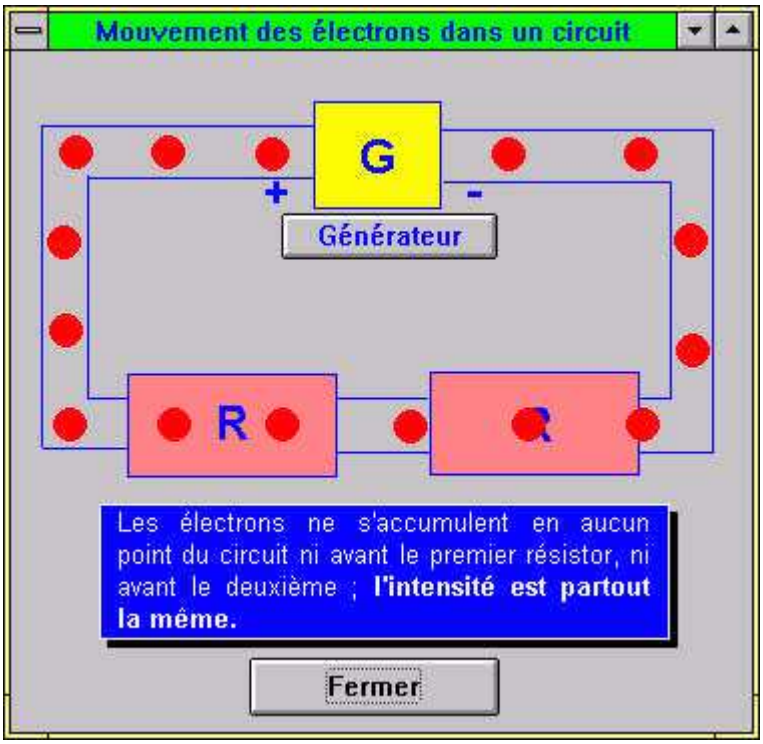


Figure 56 : Animation montrant le mouvement des électrons dans un circuit série (les particules, représentées par des cercles colorés, se déplacent dans le conducteur).

3.1.3. Questions relatives au positionnement d'un ampèremètre, et à l'éclat d'ampoules, dans un circuit série

Ces situations, utilisées dans la première partie des tests relatifs à l'intensité dans un circuit série, ne présentent que peu de difficultés : les circuits sont simples (deux ampoules en série), les questions portent sur l'éclat des ampoules dans le circuit, ou bien sur l'endroit où placer un ampèremètre pour effectuer une mesure d'intensité.

On trouvera ci-après (Figure 57 page 127) un exemple des circuits et du type de question proposés.

Les questions sont posées oralement ou textuellement et utilisent comme support des schémas ou des photographies de montages expérimentaux. Les réponses se font sur le même principe.

Il s'agit ici beaucoup plus de faciliter un réinvestissement des compétences démontrées dans le cas de situations simples vers des situations plus complexes (proposées ensuite sur la même page de tests) que d'affermir des connaissances qui normalement doivent être acquises dans les classes précédentes.

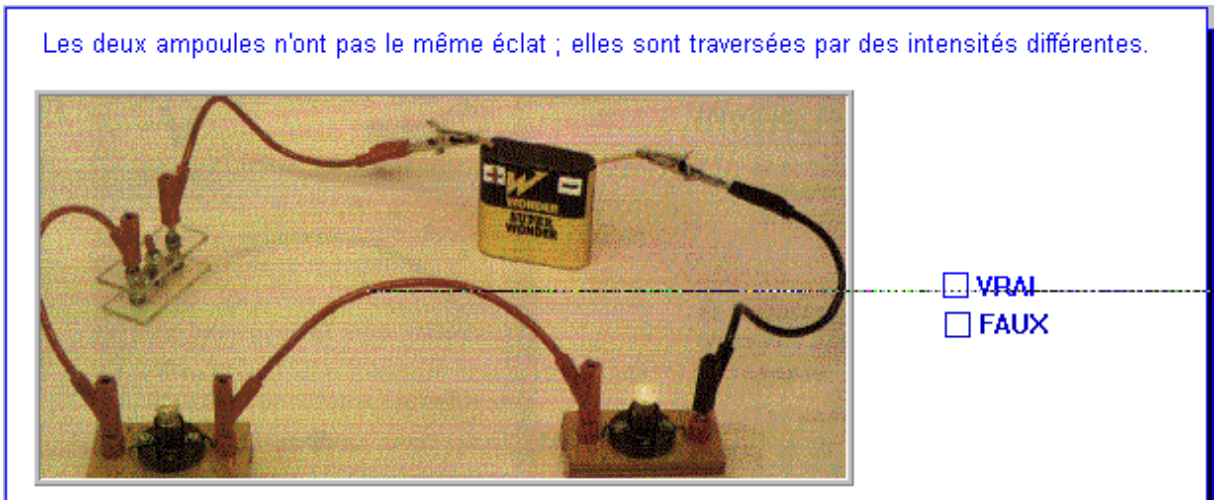


Figure 57 : Question Vrai-Faux destinée à vérifier/établir le caractère identique de l'intensité en tout point d'un circuit série.

3.1.4. Questions relatives aux indications de différents ampèremètres disposés dans un circuit série

Les élèves doivent, à partir des éléments fournis dans la situation proposée, prévoir l'indication affichée par des ampèremètres disposés dans le circuit. Les circuits utilisés comportent plusieurs composants différents (ampoules, lampes, générateurs) et les ampèremètres sont positionnés aux endroits susceptibles de poser des problèmes (avant et après un générateur ou une résistance, entre deux générateurs successifs etc.). Il s'agit ici, à partir de la réflexion sur des cas générant des doutes dans l'esprit des élèves, d'ancrer encore davantage le fait que l'intensité est partout la même en tout point d'un circuit série.

Les réponses, orales ou textuelles, insistent tour à tour sur la non-accumulation d'électrons et sur la propriété de l'intensité dans un circuit série. La figure suivante (Figure 58) donne un exemple de situation utilisée pour faire réfléchir les élèves.

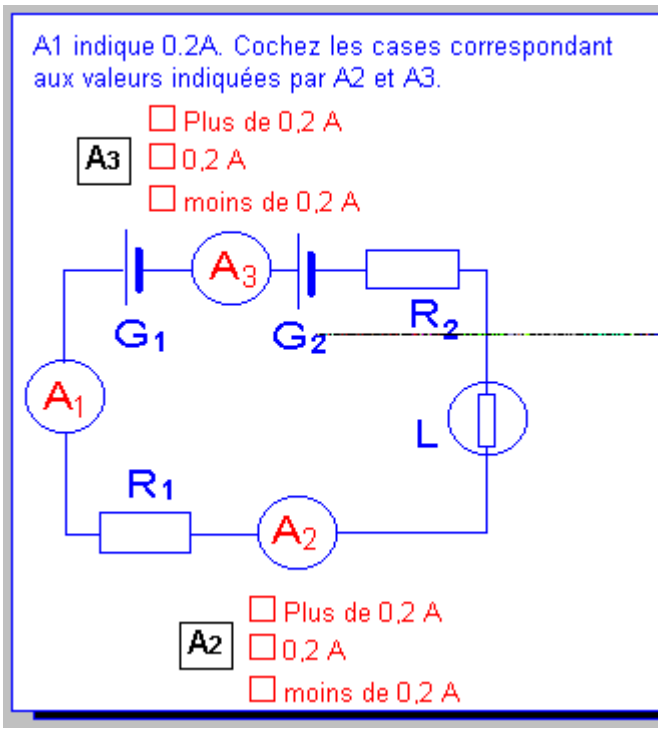


Figure 58 : Questionnaire à choix multiples destiné à vérifier/établir le caractère constant de l'intensité dans un circuit série.

3.2. Perception systémique des circuits électriques

Des situations comme celles que nous venons de décrire au chapitre précédent permettent de manière implicite de travailler sur la perception globale d'un circuit.

Cependant, l'accent était mis sur la propriété de l'intensité dans un circuit série. Il nous a donc paru nécessaire d'introduire quelques situations spécifiques dans lesquelles la perception globale d'un circuit était mise en jeu. L'introduction d'un nouveau composant en un lieu du circuit à déterminer, l'influence de la modification d'un composant sur une des grandeurs du circuit (tension ou intensité) en un point éloigné du lieu de modification, constituent des situations de ce type.

Nous avons de plus utilisé encore une fois l'analogie du train électrique dans laquelle la conséquence globale d'une modification locale est particulièrement évidente. Enfin, nous avons demandé à l'élève de critiquer l'analogie hydraulique souvent utilisée pour illustrer la loi des noeuds (voir le chapitre3.5 page 138).

3.2.1. Introduction d'un composant dans un circuit

Au cours d'une activité de schématisation proposée dans la partie «Tests» pour travailler sur les résistances variables, nous avons posé la question suivante :

On a réalisé un circuit comportant deux résistances en parallèle R1 et R2 montées en série avec une ampoule, deux résistances en parallèle R3 et R4 et un générateur de tension. On souhaite maintenant pouvoir faire varier l'intensité dans l'ampoule, et on modifie ce circuit. **Dessinez le nouveau circuit.** Quand vous avez terminé, cliquez sur le bouton "terminé".

Figure 59 : Consigne de schématisation mettant en jeu la perception systémique d'un circuit.

Telle qu'elle est libellée, cette question laisse ouvertes toutes les possibilités pour disposer dans le circuit le rhéostat que l'élève doit introduire. Il peut le placer tout prés de l'ampoule et on pourra alors penser qu'il fait preuve d'un regard plutôt local sur le circuit. Il pourra aussi le placer n'importe où dans la partie «série » du circuit (voir une solution proposée Figure 60 page 129), ou encore, même si cela est moins naturel, dans une des branches dérivées : dans ces deux cas, on pourra penser que l'élève perçoit les effets globaux d'une modification locale du circuit.

En tout état de cause, la question est susceptible de l'entraîner à réfléchir sur cet aspect des choses, et la réponse pointe expressément le problème.

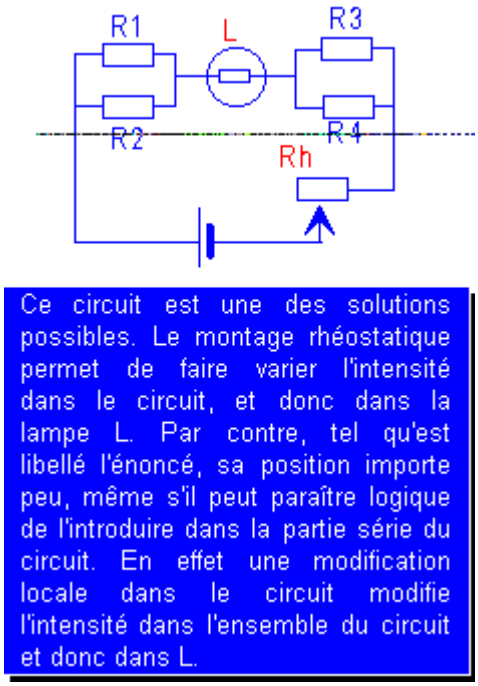


Figure 60 : La réponse à la question de la figure précédente propose de placer le rhéostat dans la partie série du circuit et rappelle qu'une modification locale entraîne une modification de l'intensité dans l'ensemble du circuit.

3.2.2. Modification des valeurs d'un composant du circuit

Différentes situations (à partir des valeurs de l'intensité et de la tension) sont proposées dans REV.E.S. sur le principe de l'exemple fourni ci-aprèsFigure 61 page 130. Elles sont destinées, comme nous l'avons dit en introduction à ce chapitre, à faire réfléchir l'élève sur l'influence d'une modification dans le circuit, très loin du lieu où intervient cette modification.

Les circuits sont plutôt complexes, et souvent dessinés de façon non canonique. La réponse de l'élève est à fournir sur des cases à cocher. Les questions sont souvent multiples pour une même situation, et apparaissent successivement à l'écran. La réponse de REV.E.S. est ensuite fournie de manière orale puis écrite.

Pour entraîner une prise de conscience plus significative, l'élève est enfin invité à prendre connaissance lui-même par simulation des conséquences des modifications qu'il introduit dans le circuit (Figure 62 page 131).

Nous pensons que la réflexion associée à une simulation de contrôle sont des activités à même de faire prendre conscience progressivement du caractère systémique du fonctionnement d'un circuit électrique.

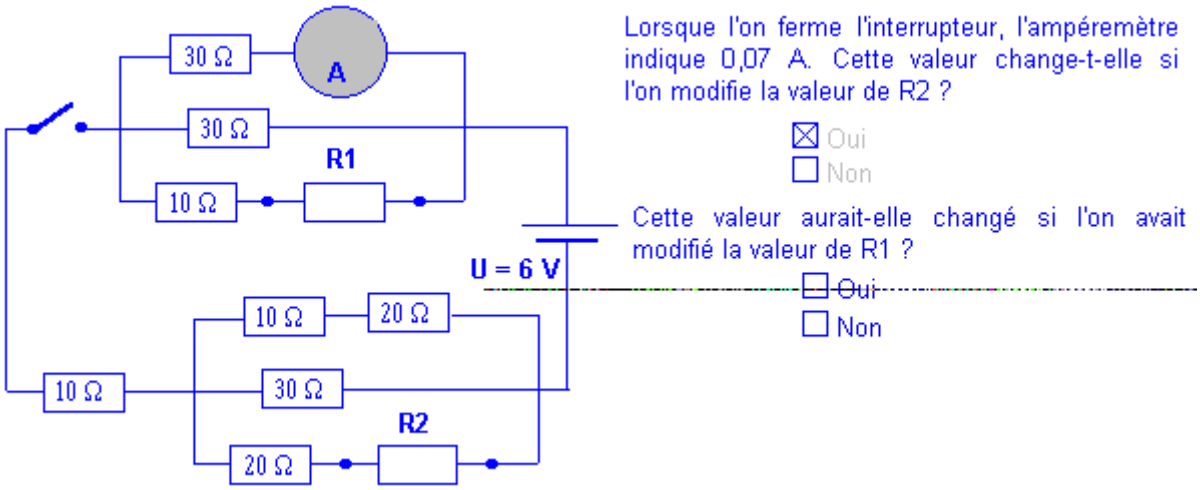


Figure 61 : Situation permettant de faire réfléchir l'élève sur l'influence globale d'une modification locale du circuit.

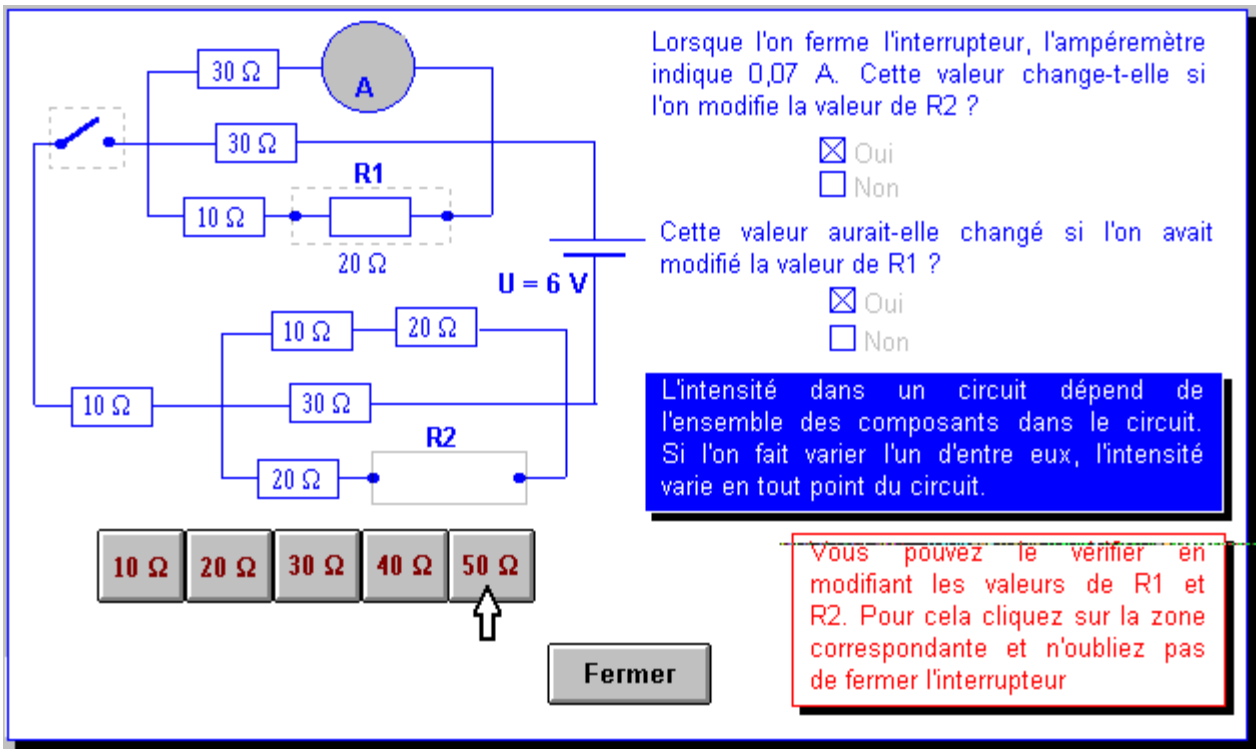


Figure 62 : Après indication d'éléments de réponse oraux et textuels, l'élève est invité à vérifier par simulation l'influence globale de toute modification ponctuelle dans le circuit. Il rajoute ici une résistance de 50 ohms dans la zone R2.

3.3. Problèmes liés à la tension

Dans ce chapitre, nous évoquerons tour à tour comment ont été traités les problèmes liés aux valeurs particulières de la tension dans un circuit, les problèmes liés aux caractéristiques des sources de tension continue puis enfin, ceux qui sont liés aux propriétés des tensions variables. Nous avons aussi utilisé dans REV.E.S. les analogies thermique et hydraulique pour concourir à la construction de la notion de tension ou de potentiel (voir le chapitre3.5 page 138).

3.3.1. Expérimentation simulée pour déterminer les valeurs particulières de la tension dans un circuit

La tension aux bornes d'un interrupteur fermé ou ouvert, aux bornes d'un générateur, la tension entre les deux extrémités d'un fil de liaison sont parmi les cas particuliers qui posent souvent des problèmes aux élèves.

Nous avons choisi, pour renforcer les éléments déjà vus en cours, de leur permettre de mesurer eux-mêmes expérimentalement par simulation les valeurs de ces tensions particulières. Le dispositif utilisé est présenté ci-après Figure 63 page 132. L'élève peut déplacer les voltmètres pour les positionner aux bornes BC, DE, FG, IJ et AH. Il peut ouvrir ou fermer l'interrupteur, utiliser ou non une résistance supplémentaire,

choisir d'alimenter le circuit avec une pile ou un générateur de tension. En fonction de la configuration choisie, il obtiendra les valeurs correspondantes de la tension.

Nous pensons en effet que le fait d'avoir à repérer ces cas particuliers sur le circuit puis d'y simuler des mesures est à même de donner un certain relief aux résultats trouvés.

Les conclusions des expériences sont énoncées de façon orale et écrite à la demande de l'élève, le dispositif de simulation restant toujours actif pour les vérifier.

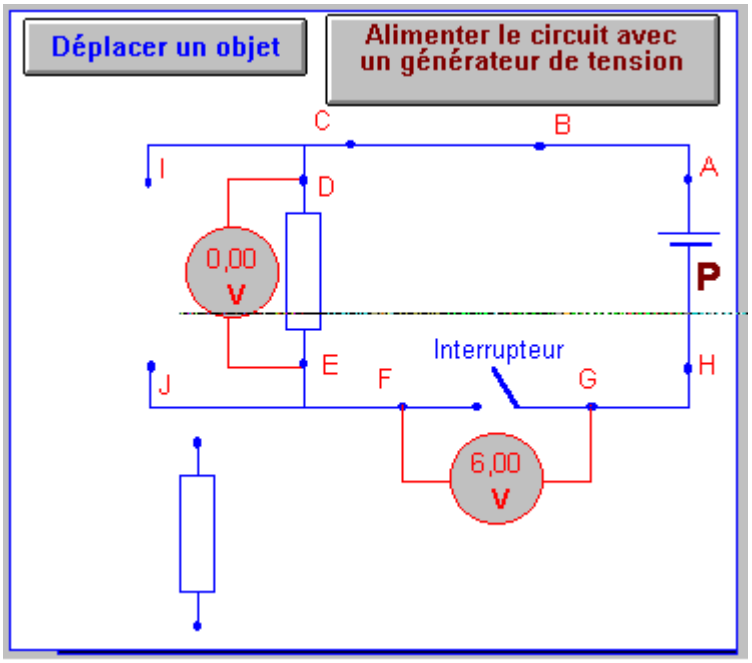


Figure 63 : Mesure de tension à des endroits particuliers du circuit.

Des situations mettant en jeu les valeurs particulières de la tension dans un circuit sont aussi proposées dans la partie « Tests » de manière graphique (schémas) ou textuelle. Elles doivent permettre à la fois un réinvestissement et un renforcement des connaissances acquises ou en cours d'acquisition. Dans le cas de questions posées textuellement, une « vérification expérimentale » permet de valider les réponses fournies par l'élève ou par REV.E.S. (Figure 64 page 133).

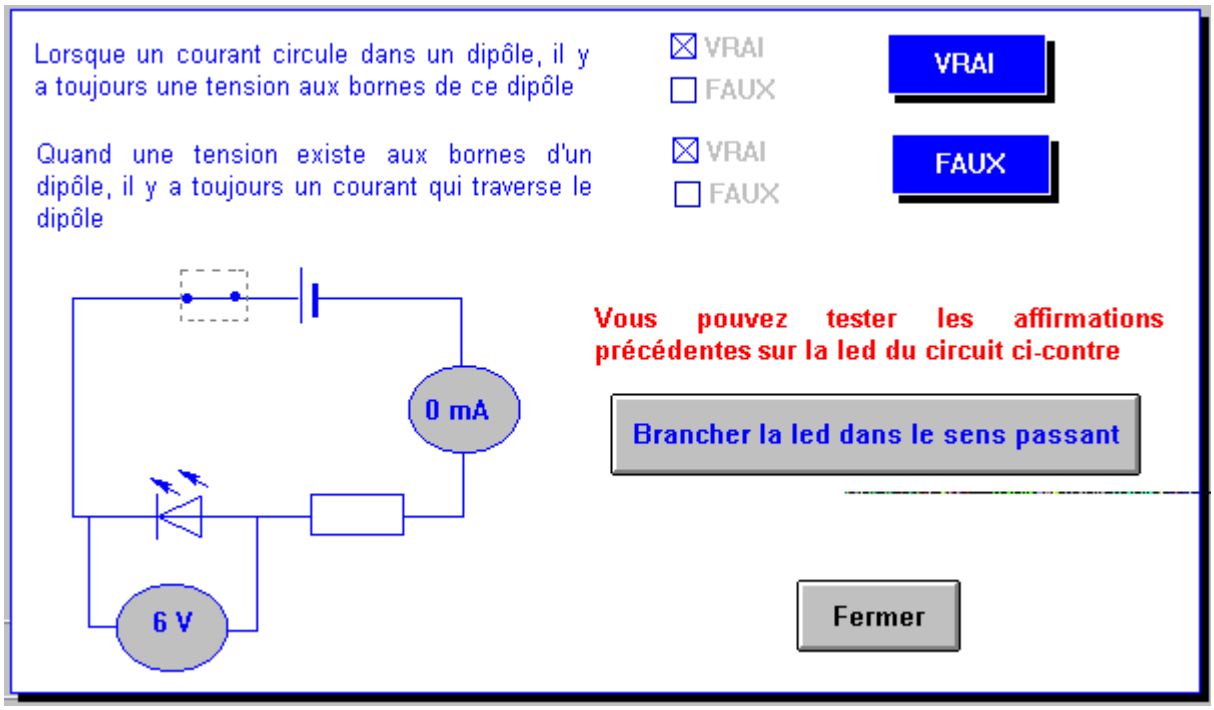


Figure 64 : Questions posées et "vérification expérimentale" de la réponse fournie.

3.3.2. Simulations expérimentales et questions relatives aux caractéristiques des sources de tension continue

Il s'est agi pour nous de renforcer chez les élèves la prise de conscience de la différence entre pile et générateur de tension. En même temps, nous avons souhaité faire remarquer que le courant circulant dans le circuit varie en fonction des éléments de ce circuit : un générateur de tension ou une pile ne constituent pas des sortes de « réservoirs de courant » débitant un courant constant quel que soit le circuit (voir le chapitre 2.1.4 page 47 pour l'analyse théorique de ce problème).

3.3.2.1. Tracé et analyse de la caractéristique U=f(I) de la pile et du générateur de tension

Il nous a semblé intéressant de faire tracer par simulation la caractéristique U=f(I) d'une pile et d'un générateur, pour différencier leurs propriétés.

On trouvera ci-après Figure 65 page 134, l'exemple de la page consacrée au générateur, après déroulement complet du scénario multimédia. Le traitement appliqué à la page consacrée à la pile est de même nature.

L'élève a d'abord à manipuler le rhéostat pour «prendre» une mesure. En même temps, il visualise sur les appareils de mesure que U ne varie pas alors que I varie. Une fois la mesure prise, il doit, en cliquant sur le bouton «Tableau, Graphe» reporter la mesure dans le tableau de résultats et positionner le point correspondant sur le graphe.

Lorsque le nombre de points est suffisant, il obtient, en cliquant sur le bouton « Tracer graphe » le tracé de la caractéristique U=f(I). Le bouton « Analyse des résultats » apparaît en même temps. En l'actionnant, on obtient l'interprétation orale et textuelle de l'allure de cette caractéristique.

Si la conclusion étonne l'élève, celui-ci a toujours la possibilité de faire varier la position du rhéostat pour vérifier par simulation que cette conclusion est bien en accord avec les résultats expérimentaux.

Ce traitement nous a paru susceptible de mettre fortement l'accent sur la constance de U et la variation de I : l'élève peut le voir par lecture directe des mesures, par lecture du tableau qui en résulte, par lecture du graphe, et enfin en écoutant et en lisant l'interprétation.

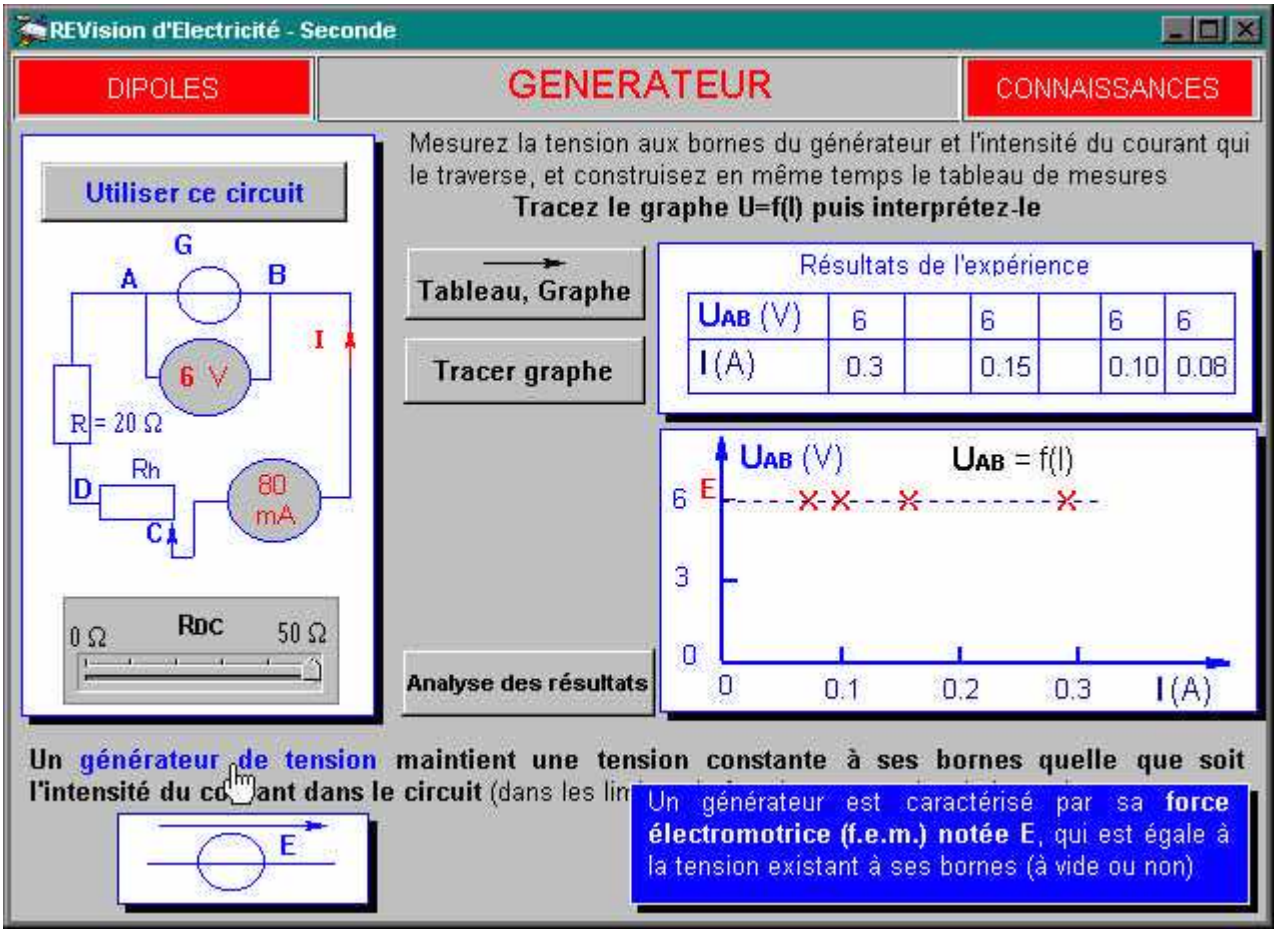


Figure 65 : Simulation du tracé de caractéristique U=f(I) d'un générateur de tension et analyse du résultat via texte et son.

3.3.2.2.Mesures de tension aux bornes d'un générateur ou d'une pile

Nous avons déjà évoqué cette situation au chapitre 3.3.1 page 131 pour la tension aux bornes d'un fil, d'un interrupteur ouvert ou fermé etc. La simulation expérimentale liée à cette situation a été conçue pour pouvoir alterner dans le même circuit une pile ou un générateur (Figure 63 page 132). Cette simulation permet à l'élève de constater que la tension aux bornes de la pile varie si l'on

modifie la charge du circuit, et que ce n'est pas le cas lorsqu'il s'agit d'un générateur de tension. Cette conclusion est rappelée après les essais « expérimentaux » de façon orale et écrite, le schéma servant de base à la « simulation » restant actif pour une éventuelle vérification.

3.3.2.3. Prévisions à la suite de la modification d'un circuit contenant un générateur

Il nous a paru intéressant de proposer en guise de test, des situations à l'instar de celle présentée ci-après Figure 66 page 135 dans laquelle les élèves ont à réinvestir les connaissances évoquées précédemment pour prévoir un résultat. Ces situations, centrées sur la prévision sont à même, nous semble-t-il, de contribuer à l'affermissement des connaissances mises en jeu.

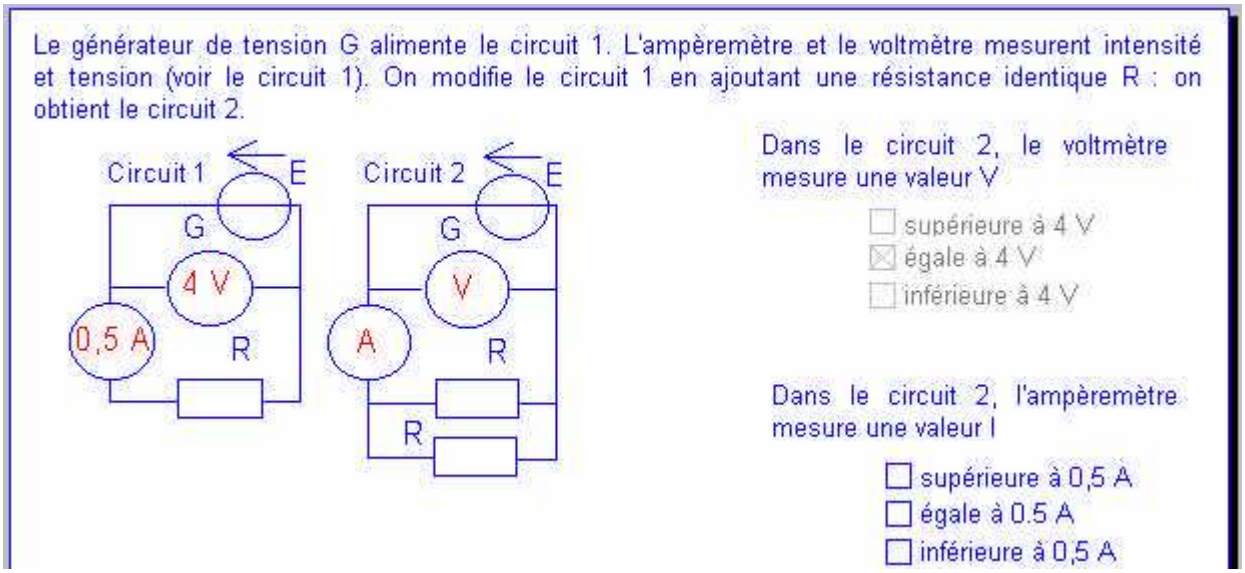


Figure 66 : Une des questions de la partie "Tests" relative aux sources de tension continue.

3.3.3. Explicitation des caractéristiques des tensions variables

Nous avons réalisé de manière classique mais interactive une explicitation sonore, textuelle et graphique des propriétés des tensions variables dans la partie « Connaissances » (Figure 67 page 136). Nous avons ensuite multiplié les situations et les questions dans la partie « Tests » correspondante. On en trouvera un exemple ci-après dans la Figure 68 page 136. Les questions sont posées les unes après les autres. La réponse est fournie suivant le cas au fur et à mesure ou à la fin. Nous pensons qu'une manipulation importante de ces notions peut favoriser leur intégration par les élèves.

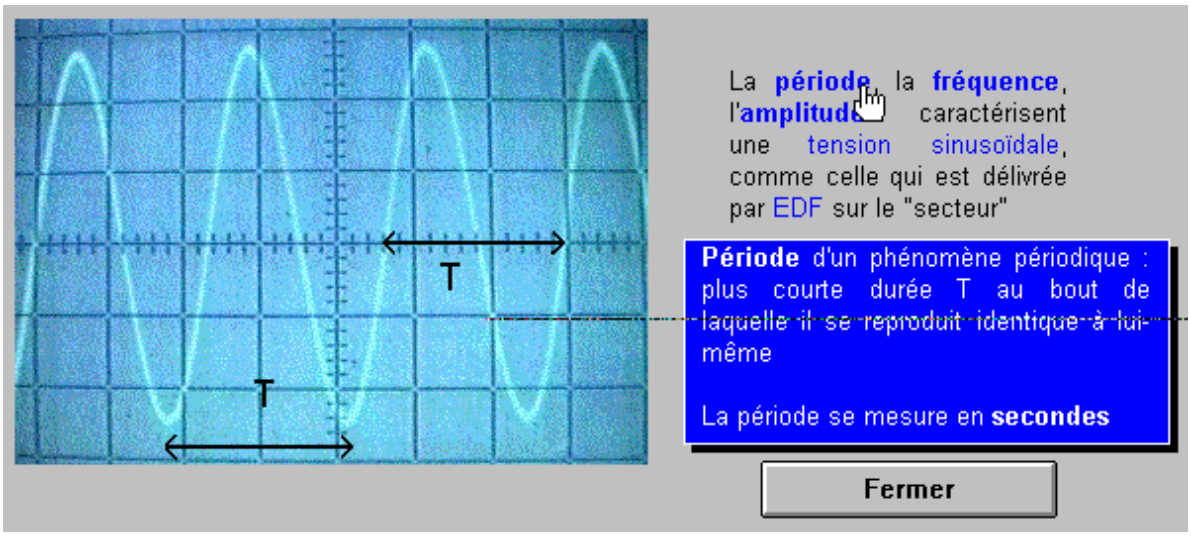


Figure 67 : Explicitation de la notion de période de manière sonore, graphique et textuelle ; en cliquant sur les mots « fréquence » et « amplitude » on obtient aussi les informations correspondantes.

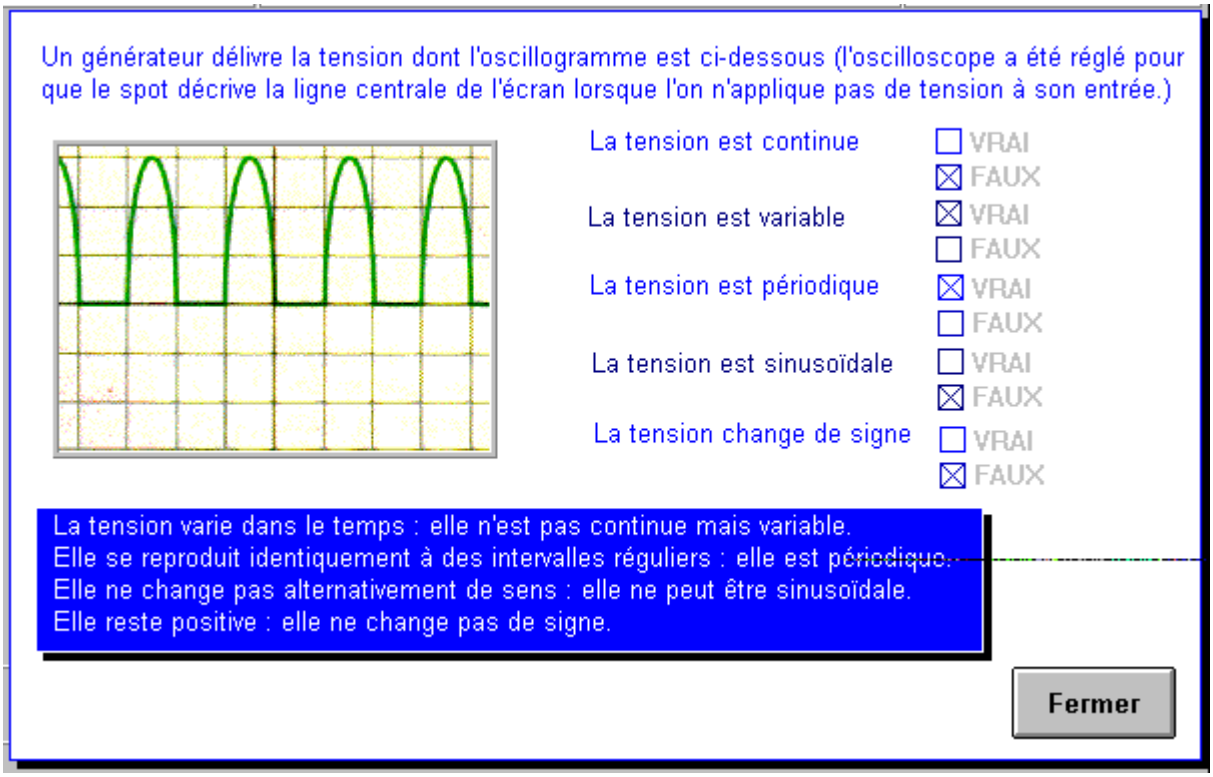


Figure 68 : Une situation permettant à l'élève de vérifier et stabiliser ses connaissances sur les propriétés des tensions variables.

3.4. Lecture de schémas

Pour entraîner les élèves à lire des schémas non conventionnels ou un tant soit peu complexes, nous avons, dans la partie «Connaissances», explicité clairement à quoi on reconnaît deux dipôles montés en série ou en parallèle (explicitation orale, graphique et

textuelle, exemplifiée). Nous avons aussi, dans le cas des circuits plus complexes utilisant, par exemple, un amplificateur opérationnel, explicité clairement l'analyse fonctionnelle du circuit en dégageant des «blocs de sens ».

Au delà de cet apport nécessaire d'informations, nous avons proposé aux élèves de nombreuses situations sur lesquelles les appliquer. Nous sommes en effet sur un secteur qui est peu pratiqué en classe, et pour lequel l'acquisition de «réflexes de lecture » passe par beaucoup de pratique. L'élève trouve donc dans REV.E.S. des situations sur lesquelles il s'agit simplement de reconnaître le caractère série ou parallèle de l'association de certains dipôles et d'autres dans lesquelles cette reconnaissance était un préalable pour répondre aux questions posées (loi des tensions par exemple).

Nous avons beaucoup utilisé les effets perceptifs comme on pourra le voir dans les figures ci-après (Figure 69 à Figure 71). Les questions, lorsqu'elles sont nombreuses, sont posées successivement. Les réponses sont fournies de manière textuelle, graphique et sonore et proposent, quand cela est nécessaire, un schéma équivalent se rapprochant des formes canoniques, associé à un repérage sur le circuit initial par un jeu de couleurs.

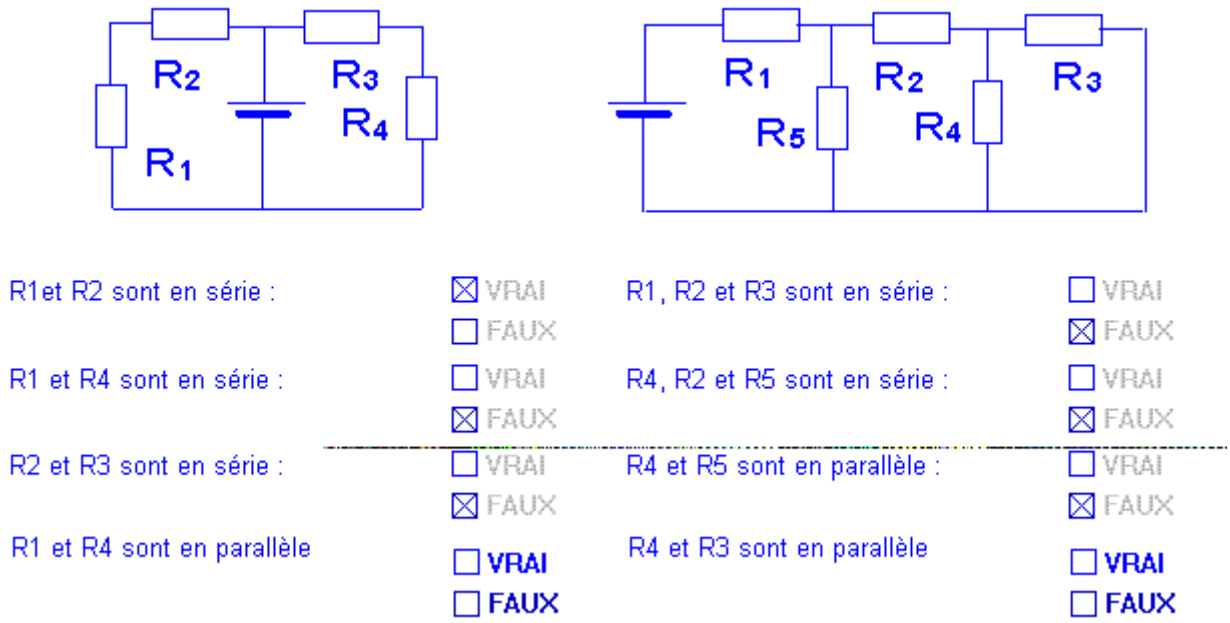


Figure 69 : Deux des situations dans lesquelles on demande au lecteur de reconnaître le caractère série ou parallèle du montage de dipôles.

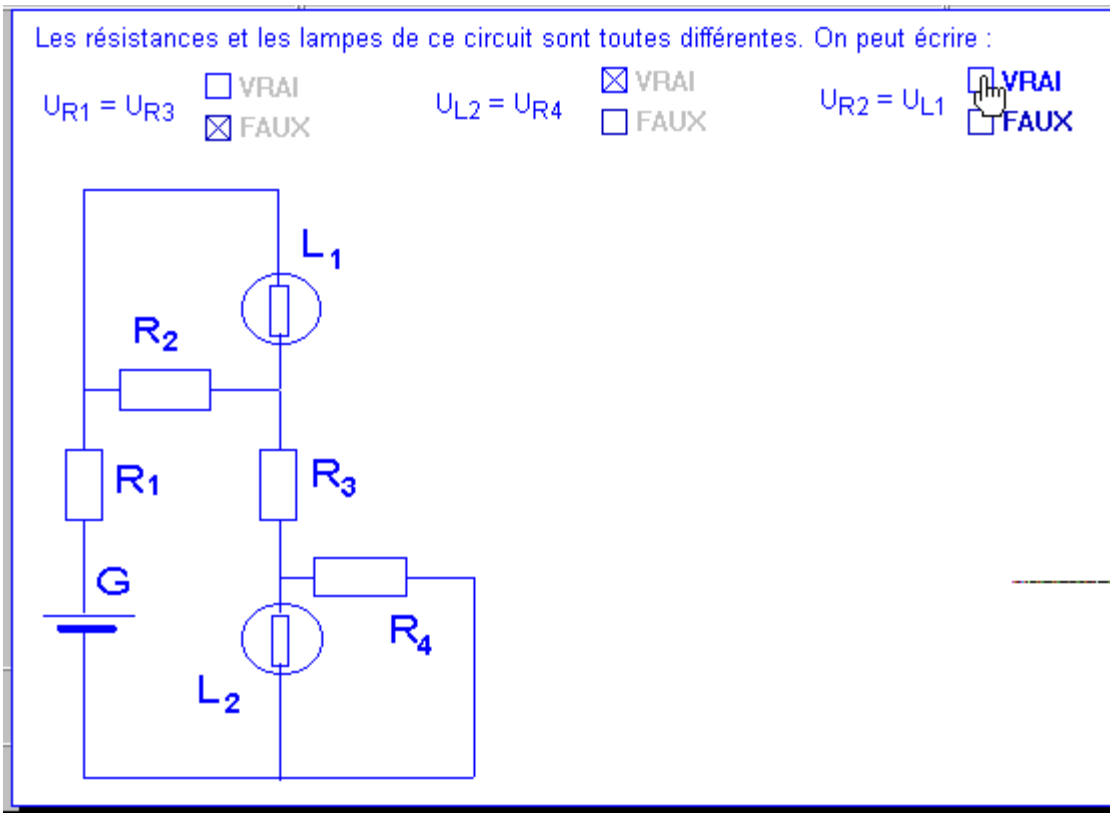


Figure 70 : Un exemple des situations semi-classiques proposées dans REV.E.S. pour décoder un schéma.

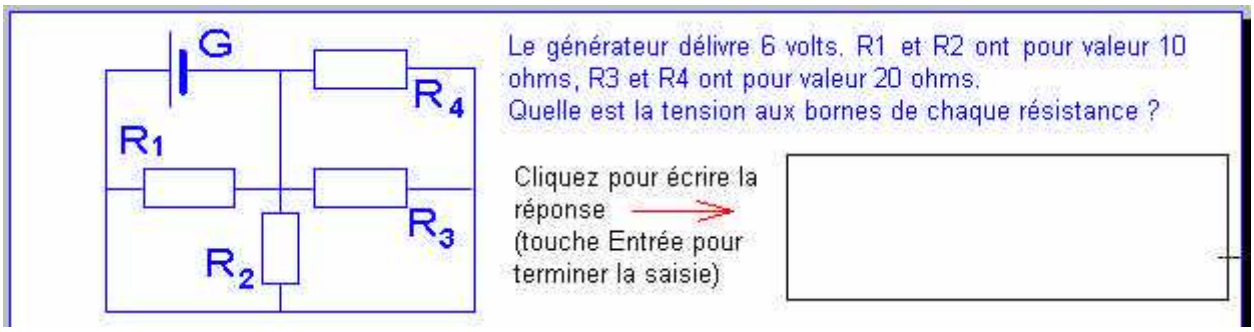


Figure 71 : Un exemple de lecture de schéma proposé à la réflexion des lecteurs.

Nous rappelons aussi pour mémoire et sans rien rajouter, les activités liées à la perception systémique du circuit déjà évoquées au chapitre 3.2 page 128, dont une partie relève aussi de la lecture de schémas, et les activités de schématisation évoquées au chapitre 2.2.2.4 page 114.

3.5. Les analogies proposées

Comme nous l'avons indiqué précédemment, nous avons regroupé dans un seul chapitre le traitement des analogies.

3.5.1. Analogie du « train »

On a déjà présenté et analysé cette analogie au chapitre 2.2 page 49. Elle met en jeu une situation simple et même s'il n'est pas sûr que les transferts des connaissances acquises sur l'équivalent d'un circuit série élémentaire s'opèrent dans des situations plus complexes, nous avons souhaité la présenter aux élèves pour trois raisons :

- la non-accumulation d'électrons dans un point d'un circuit série y est particulièrement apparente. Effectivement, les wagons étant solidaires les uns des autres, ils ne peuvent se déplacer qu'avec un mouvement d'ensemble ;
- elle fait apparaître avec évidence qu'un composant situé en un point du circuit influence bien le comportement du circuit dans son ensemble. En effet, un obstacle local sur la voie ralentit globalement de façon évidente l'ensemble du train ;
- elle met l'accent sur le rôle du générateur comme fournisseur d'énergie au circuit au travers des « pousseurs » de wagons qui assurent le mouvement de ces derniers.

Le schéma utilisé pour la présenter est celui de la Figure 72 page 140. On peut regretter qu'il soit statique, une simulation sous forme d'animation étant indubitablement plus évocatrice. Mais les problèmes de développement étant nettement plus complexes à traiter dans ce cas, nous avons momentanément abandonné cette idée.

Les correspondances entre les termes électriques et « ferroviaires » sont explicitées successivement les unes après les autres de manière sonore ; elles sont notées à l'écran au fur et à mesure. Un commentaire écrit est fait ensuite, de manière progressive pour que les élèves puissent en prendre connaissance au fur et à mesure. Il souligne les points clés de l'analogie (Figure 73 page 140).

Le seul « traitement » de l'information proposée ici est de nature multimédia ; l'information est donnée de manière sonore, graphique et écrite, souvent de manière redondante afin de faciliter l'appropriation par les élèves, qui ont aussi la possibilité de revoir entièrement le descriptif et l'analyse de l'analogie s'ils le souhaitent.

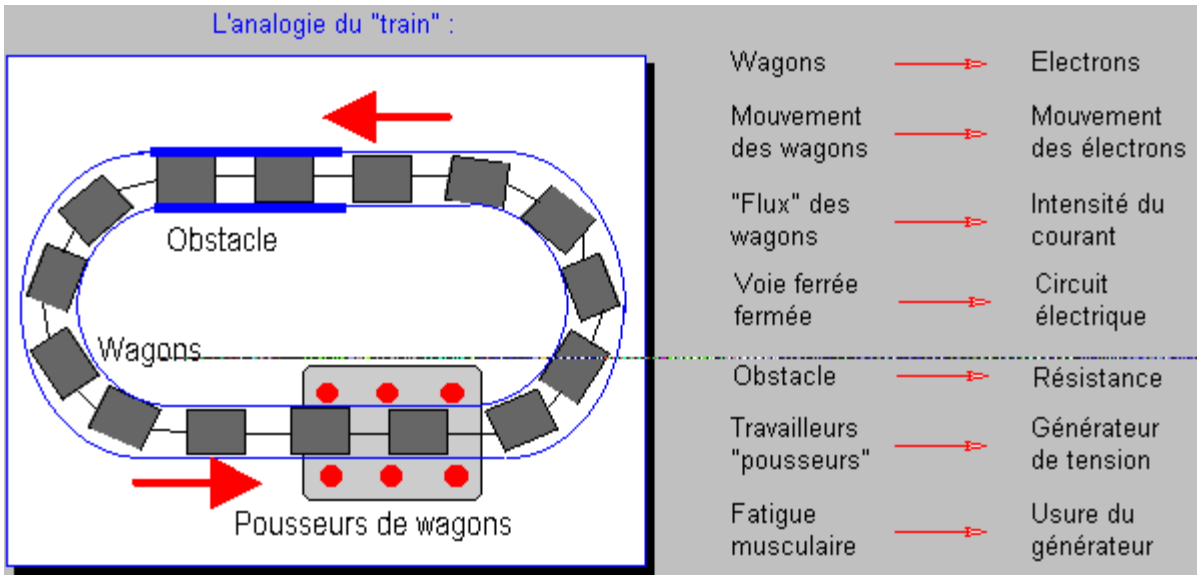


Figure 72 : Les correspondances de l'analogie sont énoncées oralement et explicitées par écrit.

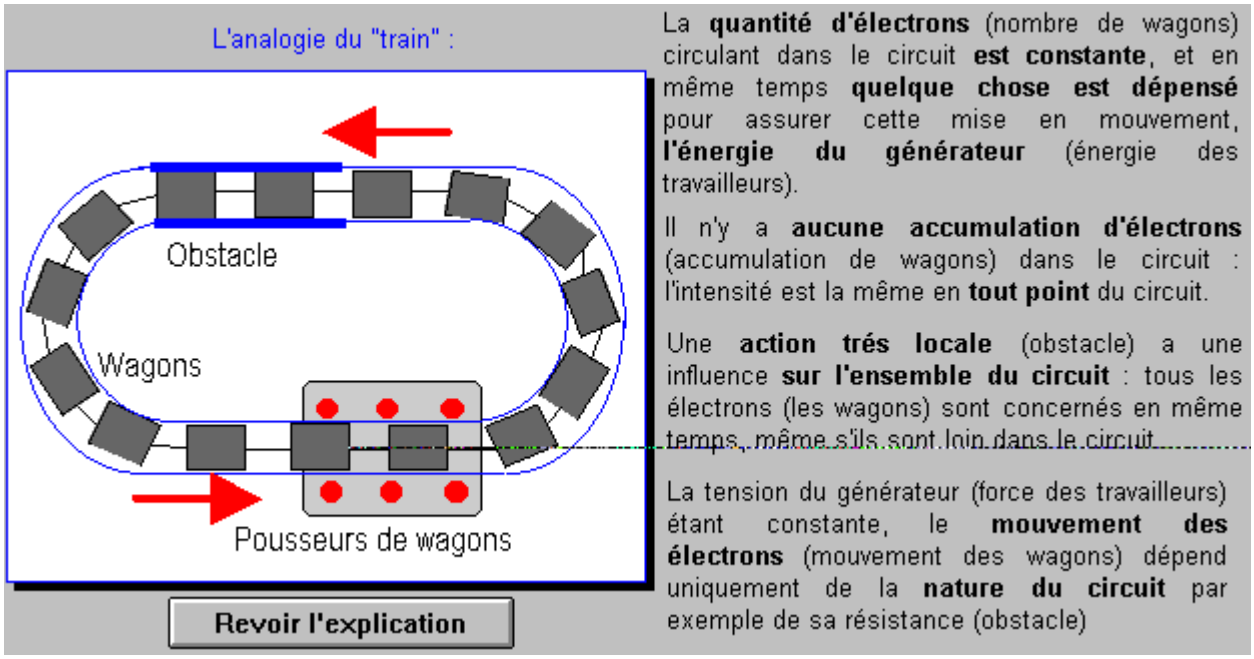


Figure 73 : Les commentaires de l'analogie du train électrique apparaissent progressivement à l'écran.

3.5.2. Analogies hydrauliques

3.5.2.1. Utilisation de l'écoulement de l'eau entre deux bassins

Cette analogie est souvent utilisée. Elle présente certains inconvénients qu'il nous a paru bon de souligner en proposant aux élèves d'en faire une critique :

– elle rend possible notamment une circulation du courant dans un circuit série ouvert, avec accumulation des charges à certains endroits du circuit ;

– le potentiel électrique y est comparé au potentiel gravitationnel. Or le premier présente un caractère global dépendant de l'ensemble du circuit électrique, et le deuxième un caractère essentiellement local.

Cette critique est proposée dans un des tests relatifs à la page «Nature du courant». L'analogie est rappelée oralement en utilisant comme support le dessin classique proposé à la Figure 74 page 141. La question est ensuite posée de façon très ouverte, («critiquez cette analogie»), mais des indications sont données sur une partie de ce que l'on attend (critique de la comparaison entre les propriétés du circuit électrique et du circuit hydraulique, critique de la comparaison des caractéristiques entre la circulation du courant électrique et du courant d'eau).

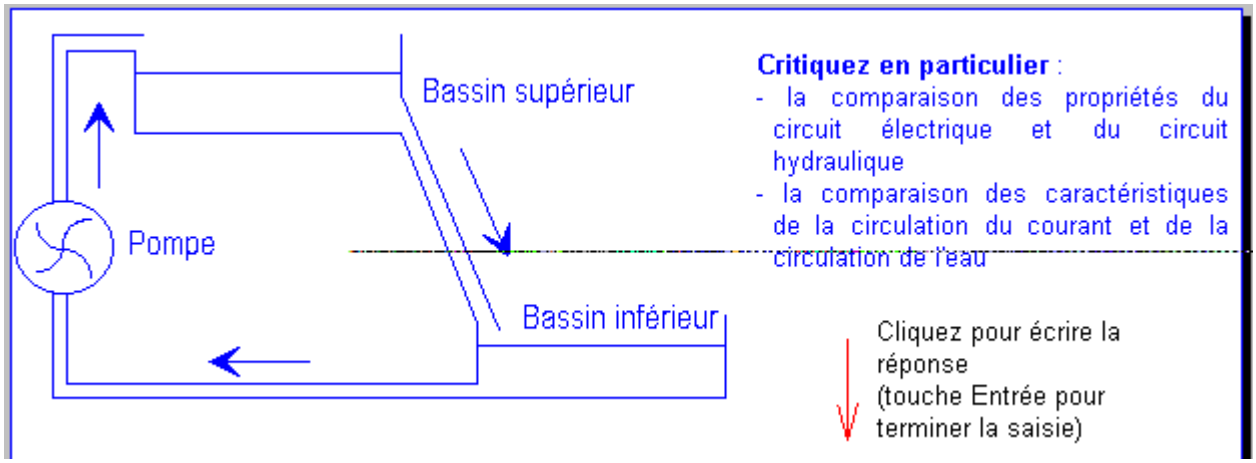


Figure 74 : Schéma d'un circuit hydraulique utilisé dans l'analogie hydraulique.

Les différents points de la réponse sont affichés de manière successive à l'écran (Figure 75 à Figure 77).

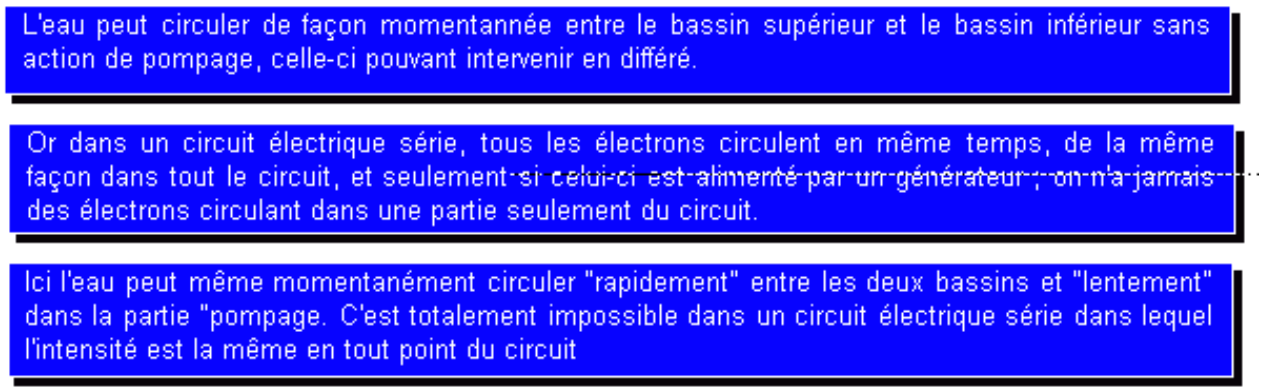


Figure 75 : Une partie de la critique de l'analogie hydraulique concernant la non-accumulation des électrons lors de leur circulation (écrans successifs apparaissant à l'initiative de l'élève, à lire et écouter).

Par ailleurs, l'eau peut circuler en circuit ouvert entre les deux bassins, alors qu'un circuit électrique doit toujours être fermé pour que les électrons circulent.

Figure 76 : Une partie de la critique de l'analogie hydraulique concernant la possibilité de circulation en circuit ouvert.

Enfin, la différence de potentiel aux bornes d'un élément d'un circuit électrique dépend de l'ensemble des éléments composant le circuit, alors qu'ici la différence de niveau entre les deux bassins qui assure la circulation de l'eau est indépendante du reste du circuit.

Figure 77 : Une partie de la critique de l'analogie hydraulique concernant le caractère global du potentiel électrique.

L'exercice est probablement difficile. Cependant, que ce soit au cours de la réflexion de l'élève ou lorsqu'il prend connaissance de la réponse (même s'il ne fournit pas la totalité de la réponse demandée), il nous semble que la formalisation des différences entre les deux types de circuit hydraulique et électrique est un facteur de structuration intéressant.

3.5.2.2.Utilisation de l'écoulement de l'eau au sein d'un fleuve

Il s'agit ici pour l'élève de critiquer le rapprochement proposé entre un circuit électrique contenant deux branches en parallèle dans lesquelles l'intensité se « partage » et un fleuve dont le lit se sépare provisoirement en deux cours d'eau qui se réunissent ultérieurement. Cette situation est courante dans les manuels et assez souvent utilisée comme un raccourci simple pour illustrer la loi des noeuds. Cependant, le débit de l'eau dans les deux branches du fleuve dépend uniquement des facteurs conjoncturels rencontrés au fur et à mesure de son parcours et le transfert direct de cet état de fait au circuit électrique n'est pas du tout de nature à favoriser sa perception systémique. C'est pour cette raison qu'ils nous a paru intéressant de la faire analyser.

Après avoir explicité oralement les éléments de l'analogie en utilisant comme support du discours les schémas classiques de laFigure 78 page 143, nous avons demandé à l'utilisateur de la critiquer.

La réponse proposée par REV.E.S. à cette question très ouverte fait état tour à tour des arguments valorisant l'analogie et des arguments montrant ses aspects négatifs (voirFigure 79 et Figure 80 page 143 pour une partie de ces derniers).

Il est probable que l'élève ne donnera vraisemblablement pas tous les éléments proposés dans notre critique. La question l'amènera cependant à y réfléchir, et donc à mieux les intégrer lorsque ceux-ci seront présentés. L'utilisation successive de différents médias (son, image, texte) contribue à renforcer l'impact des informations fournies.

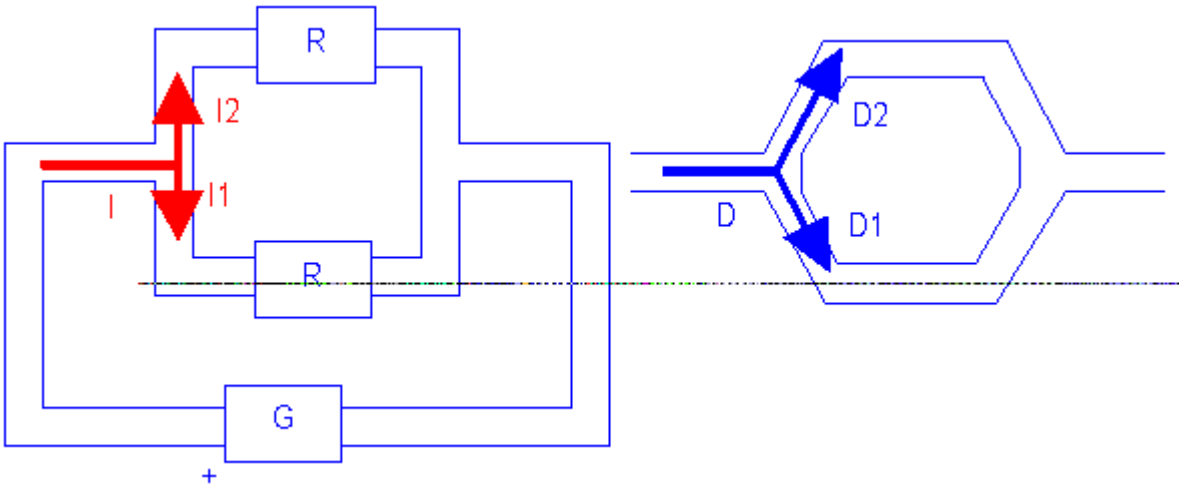


Figure 78 : Les schémas servant de support à la critique de l'analogie hydraulique utilisée pour la loi des noeuds.

Mais :
- l'intensité dans le circuit principal (et dans chaque branche) dépend de l'ensemble du circuit (aspect global de l'intensité dans un circuit), alors que le débit de l'eau avant l'embranchement ne peut dépendre des obstacles que rencontrera le fleuve aprés l'embranchement (aspect local du débit de l'eau).

Suite

Figure 79 : Critique de l'aspect local de l'analogie hydraulique (phase 1).

On pourrait presque dire que le courant qui arrive sur la dérivation "sait" ce qu'il y a après puisque sa valeur en est tout à fait dépendante, alors que le fleuve "ignore" tout de ce qu'il y a après l'embranchement, son débit en amont ne pouvant dépendre de ce qu'il y a en aval. C'est là une différence esentielle qui rend ce modèle tout à fait critiquable d'un point de vue physique.

Figure 80 : Critique de l'aspect local de l'analogie hydraulique (phase 2).

3.5.3. Analogie thermique

Rares sont les analogies relatives à la notion de potentiel. Celle-ci, due à Johsua et Dupin (voir le chapitre 2.2 page 49 pour son analyse théorique) met en jeu des phénomènes thermiques dont on sait qu'ils ne sont pas forcément mieux intégrés que la notion de potentiel. Nous avons cependant tenu à l'insérer dans notre produit à titre expérimental, dans la partie « Documents ». Cette localisation, dans une partie un peu en marge des connaissances et méthodes essentielles, est destinée à souligner aux yeux de l'utilisateur le caractère « complémentaire » des informations fournies et à relativiser ainsi l'importance des difficultés que présente cette analogie.

Nous avons utilisé un scénario multimédia voisin de celui qui pourrait être utilisé dans une situation de classe dans laquelle le professeur use du tableau pour illustrer progressivement son explication avec des schémas et mentionner par écrit l'essentiel

des choses à retenir. L'élève peut de plus en fin «d'exposé» revoir la totalité des explications.

La situation sur laquelle porte l'analogie est donc explicitée pas à pas de façon orale et illustrée au fur et à mesure de façon graphique : un réfrigérateur à la température T2 est situé dans une pièce à la température T1 ; l'isolant du réfrigérateur laisse passer la chaleur ; un dispositif thermique l'évacue pour maintenir la différence de température constante entre le réfrigérateur et la pièce (Figure 81 page 144).

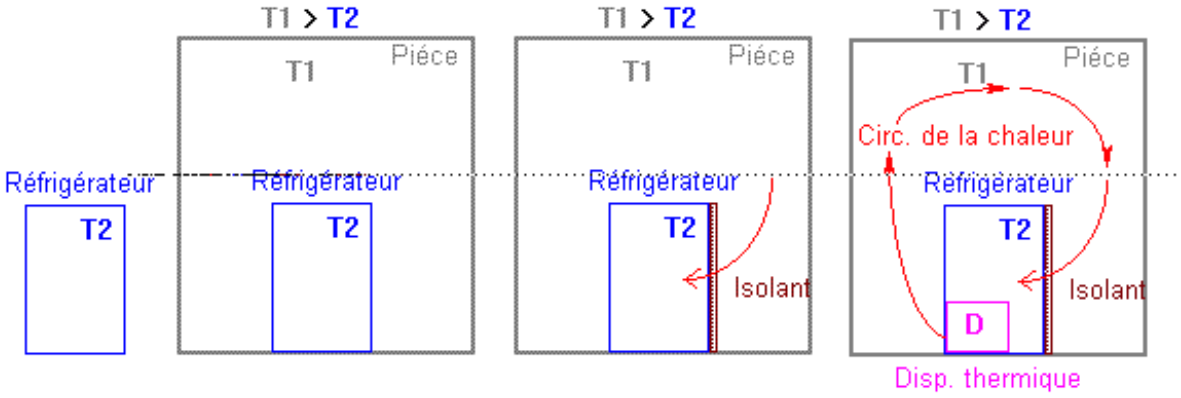


Figure 81 : Les différentes étapes décrivant progressivement, sur le même schéma qui s'enrichit au fur et à mesure, la situation sur laquelle sera faite l'analogie.

La correspondance est ensuite faite oralement, pas à pas et terme à terme entre circuit thermique et circuit électrique. L'essentiel est rappelé textuellement (voir les deux premières étapes de cette correspondance à la Figure 82 page 144).

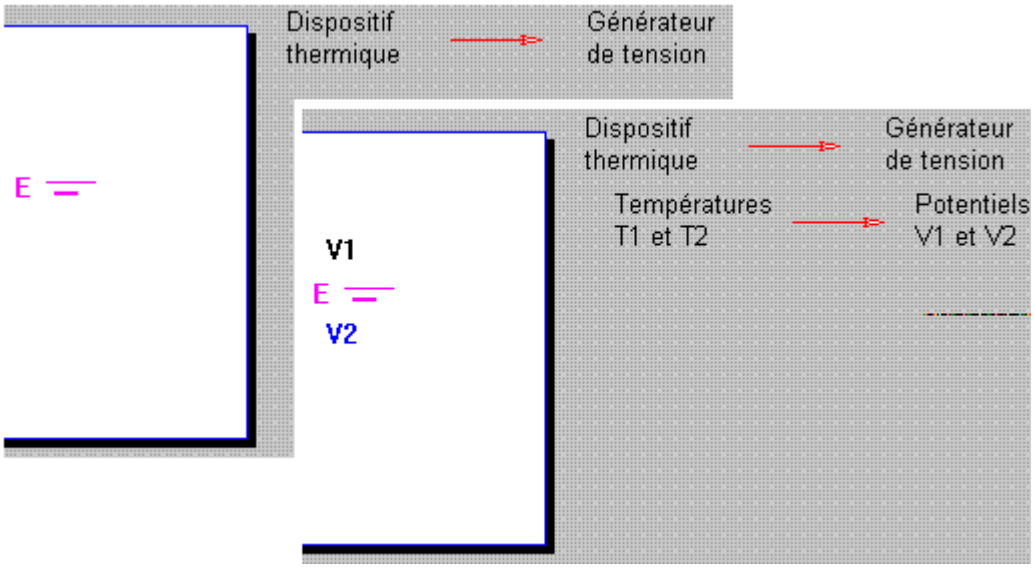


Figure 82 : Les 2 premières étapes de l'énoncé de la correspondance terme à terme entre circuit électrique et circuit thermique (les couleurs utilisées pour chaque élément du circuit électrique sont celles qui sont utilisées pour les éléments qui leur correspondent dans le circuit thermique).

Le parallèle dans le fonctionnement des deux circuits est enfin établi toujours progressivement et de façon textuelle. La page complète, une fois la présentation terminée, est présentée Figure 83 page 145.

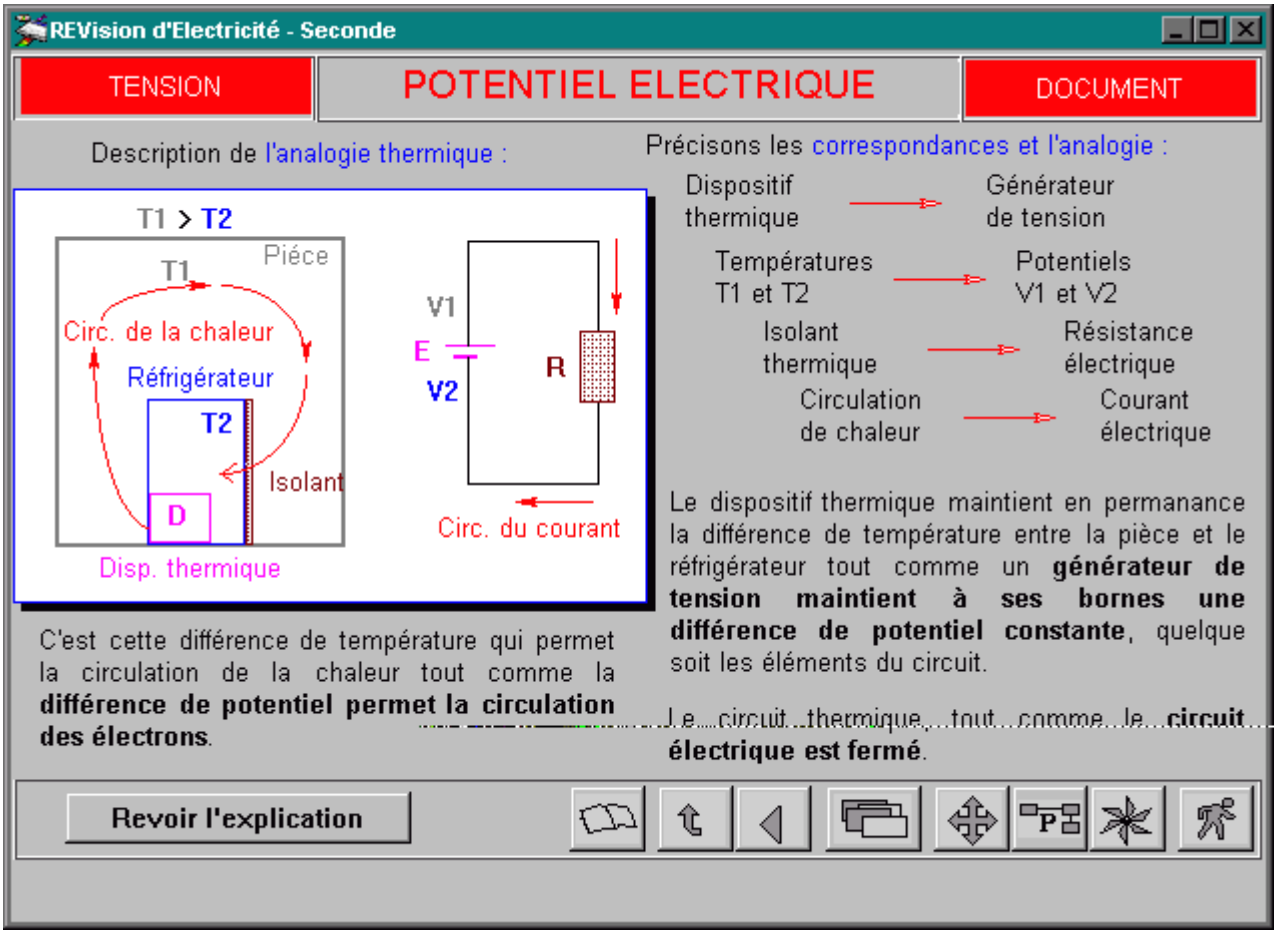


Figure 83 : Page complète présentant l'analogie entre le circuit électrique et le circuit thermique.

Nous avons aussi profité de l'exploitation de l'analogie thermique pour la «réinvestir » à propos de l'association de résistances, et nous allons brièvement décrire de quelle manière nous avons traité cet aspect.

En établissant un rapprochement entre les circuits thermiques et électriques, on peut « montrer » pourquoi l'association de deux résistances en parallèle conduit à une résistance équivalente moins importante que la valeur respective de chacune d'entre elle, ce qui n'est pas évident à appréhender par les élèves. Nous avons aussi utilisé ce parallèle pour l'association des résistances en série, bien que ce type d'association ne pose aucun problème particulier aux élèves.

On trouvera ci-après les deux schémas servant de support à ces rapprochements (Figure 84 page 146). Le parallèle entre les deux circuits est fait à chaque fois de manière textuelle, en regard de chacun des schémas.

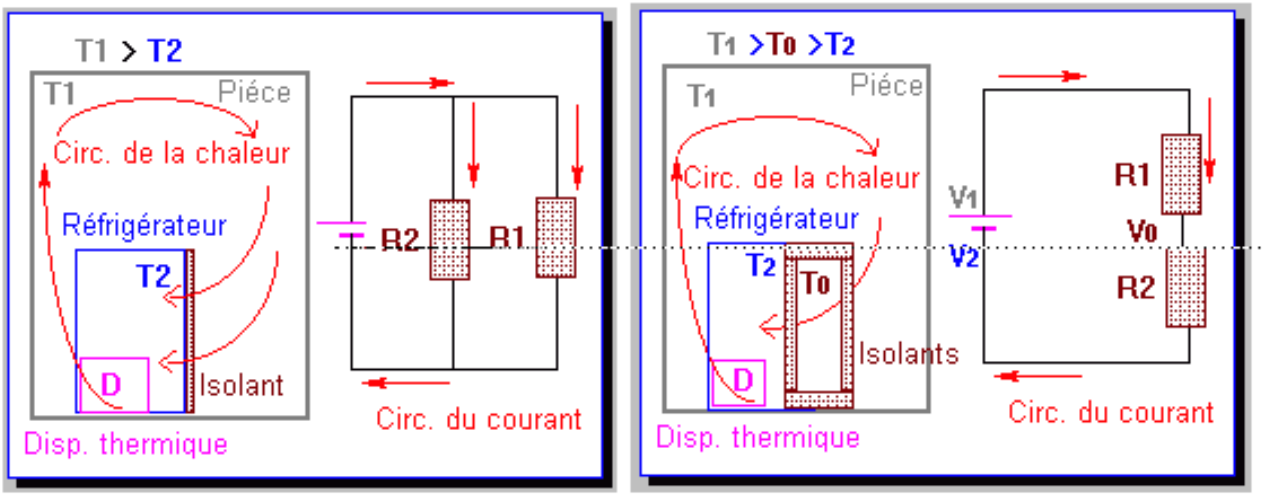


Figure 84 : Les deux schémas utilisés comme support d'explication lors de la comparaison entre les circuits thermique et électrique pour ce qui concerne l'association en parallèle ou en série des résistances.

3.5.4. Conclusion

Comparativement à l'ensemble du produit, les analogies ont été peu utilisées dans REV.E.S., les unes pour leur pouvoir d'explicitation (train électrique et analogie thermique, cette dernière à titre expérimental), les autres (analogies hydrauliques) pour l'intérêt présenté par leur critique dans l'évolution des représentations des élèves.

3.6. La simulation d'expériences

Nous avons évoqué le rôle de l'expérience dans l'enseignement (voir le paragraphe 2.4 page 56) et proposé des regards sur les activités de simulation (voir paragraphe 2.5 page 59). A la suite de ces analyses, il était naturel de souhaiter que REV.E.S. utilise la simulation d'expériences, construite sur un nombre variable de paramètres. En fait, on peut distinguer trois types de simulations, utilisés dans REV.E.S., dans lesquels l'activité de l'élève est plus ou moins importante:

- le « récit » d'expérience dans lequel l'élève n'a aucune autonomie et se contente de regarder ;
- la simulation sur une expérience déjà construite, l'élève ayant un certain nombre de paramètres à prendre en compte et à faire varier en fonction de la situation ;
- la simulation sur une expérience à construire par l'élève.

Nous avons eu l'occasion dans les pages précédentes de donner des exemples des deux derniers types. Nous en tiendrons compte pour alléger le descriptif de ces aspects.

3.6.1. Le « récit » d'expérience

Nous avons utilisé cette possibilité une seule fois dans REV.E.S. pour transmettre une information qui portait sur le caractère algébrique de la tension. Dans la mesure où l'élève est totalement passif, elle vaut seulement par l'utilisation des moyens multimédias (image, schémas, texte, son) dans le descriptif de l'expérience et par le caractère dynamique qui en découle (Figure 85 page 147).

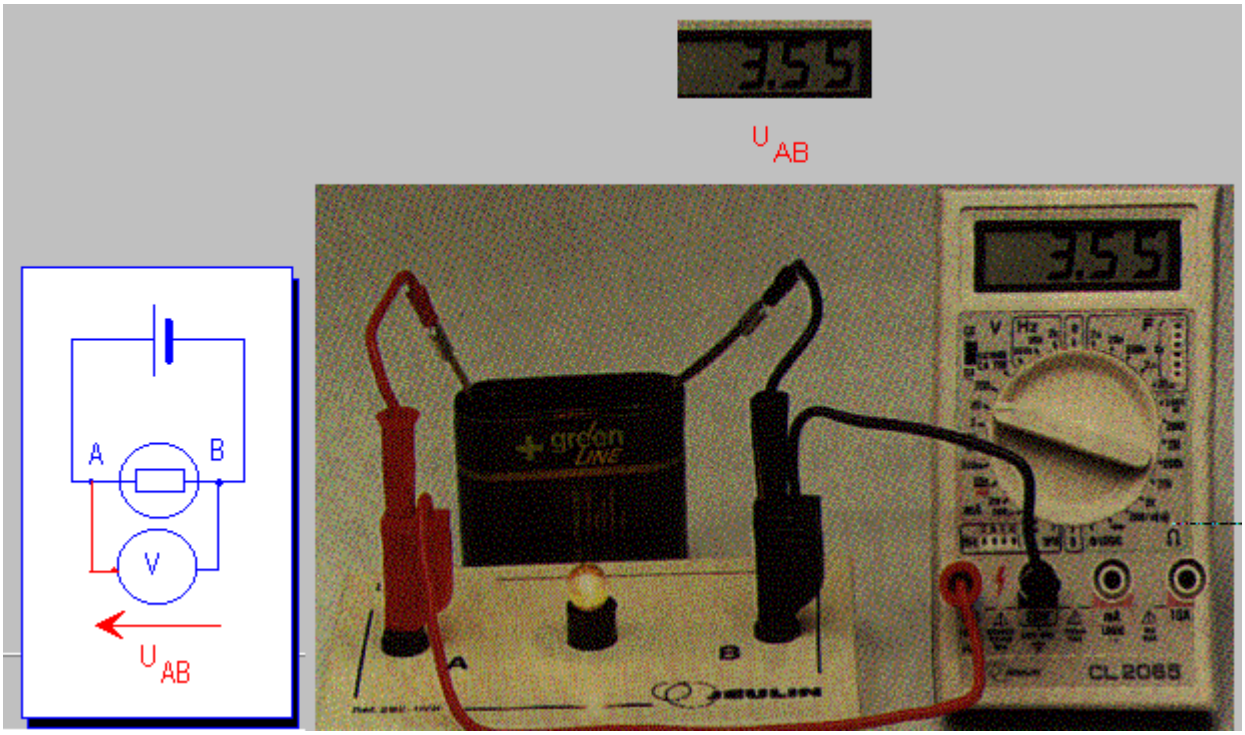


Figure 85 : Eléments du descriptif multimédia de l'expérience permettant de montrer le caractère algébrique de la tension ; un commentaire sonore accompagne l'apparition de chaque élément.

3.6.2. Simulation sur des expériences déjà construites

Pour ce type de simulation, dans laquelle l'élève doit faire varier un ou plusieurs paramètres pour vérifier ou établir une loi, nous avons déjà évoqué précédemment les éléments ci-après.

– La vérification de la loi des tensions
  Cette situation est décrite au chapitre 2.2.3.2 page 117. Selon le même modèle, une simulation propose à l'élève de travailler sur la loi des noeuds. Dans les deux cas, les élèves font varier la valeur des résistances dans le circuit.

– Le tracé de la caractéristique U=f(I) pour le générateur de tension
  Cette similitude est présentée au chapitre 3.3.2.1 page 133. Selon le même modèle, nous avons aussi traité le tracé de la caractéristique U=f(I) pour la pile, ainsi que l'établissement de la loi d'Ohm. Dans le premier cas, l'élève fait varier la charge

dans le circuit à l'aide d'un rhéostat. Dans le deuxième, c'est la tension d'alimentation qui varie.

– La mesure de tension aux bornes des éléments particuliers d'un circuit
  Cette mesure de tension est proposée au chapitre 3.3.1 page 131. Ici, plusieurs paramètres interviennent : la charge du circuit par l'adjonction ou non d'une résistance, l'ouverture ou la fermeture de l'interrupteur du circuit, et enfin la nature de la source de tension (générateur ou pile). On constate que cette situation, simple à mettre en œuvre, est toutefois complexe à exploiter par les élèves qui doivent procéder à un véritable plan d'expérimentation pour en tirer pleinement profit.

– Les circuits proposés dans les questions de la partie «Tests »
  Certains d'entre eux utilisent la simulation pour renforcer l'impact de la réponse fournie en permettant à l'élève une vérification «expérimentale ». Ces simulations sont cependant « frustres » parce que faisant intervenir le plus souvent le seul paramètre en jeu dans la question (Figure 62 page 131 et Figure 64 page 133).

D'autres situations n'ont pas été évoquées dans les pages précédentes mais relèvent de la même philosophie.

– L'association de résistances, le rôle d'un rhéostat ou d'un potentiomètre dans un circuit
  La Figure 86 page 148 décrit un exemple traitant de l'association de résistances en parallèle. La consigne écrite informe sur l'opération à conduire. Des cas particuliers sont prévus (court-circuit, circuit ouvert). La loi est fournie (en cliquant ici sur le mot « loi ») en laissant apparent, comme à chaque fois, le dispositif de simulation afin de permettre à l'élève de continuer à «manipuler » s'il souhaite la vérifier.

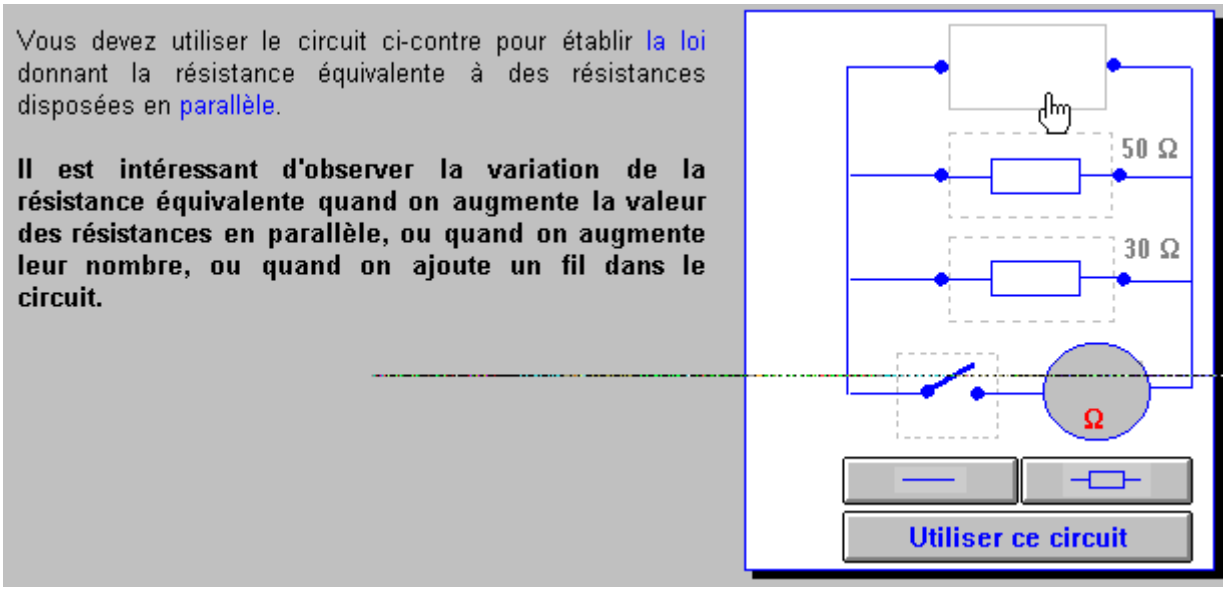


Figure 86 : Simulation permettant de vérifier (ou d'établir) la loi d'association des résistances en parallèle.

– Le circuit utilisant l'amplificateur opérationnel dans un montage inverseur de tension
La simulation est basée sur un circuit décrit ci-après dans la Figure 87 page 149. La consigne et la simulation à effectuer sont explicitées oralement puis résumées par écrit. Le circuit est affiché et analysé pas à pas de manière fonctionnelle. Des conseils de « manipulation » sont disponibles. Il est possible de revoir l'ensemble du scénario. Le circuit, compte-tenu de sa complexité et de l'espace qu'il occupe à l'écran ne peut être maintenu affiché en même temps qu'est proposée l'interprétation de la simulation. Il n'est plus possible à l'élève, pour une fois, de vérifier expérimentalement le résultat de la simulation, en même temps qu'il en prend connaissance.

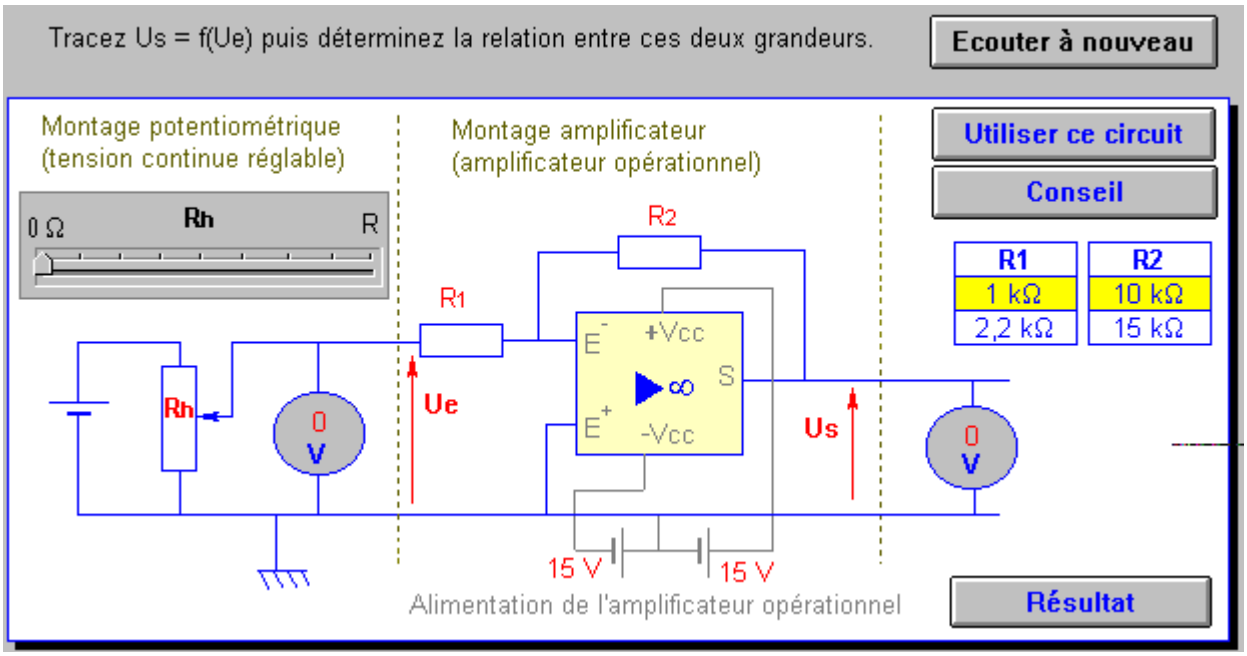


Figure 87 : Simulation concernant le montage amplificateur inverseur de tension.

3.6.3. Simulation sur une expérience à construire

Un seul cas de ce type est proposé dans REV.E.S. ; si nous avons bien conscience que ce type de simulation est de loin le plus intéressant, il faut bien dire aussi qu'il s'agit du plus complexe à développer techniquement ; certains produits informatiques sont d'ailleurs uniquement dédiés à sa mise en oeuvre. C'est en raison de cette complexité que nous n'avons pas développé plus avant cette approche. La situation de ce type proposée dans REV.E.S. concerne l'intensité dans un circuit série. Nous l'avons longuement explicitée par ailleurs (voir les chapitres 2.2.3.1 page 115 et 3.1.1 page 124) et nous ne rajouterons rien ici la concernant.

3.6.4. En conclusion

On a pu constater que la simulation expérimentale, quelle que soit sa forme, a été fortement utilisée dans REV.E.S., pratiquement aussi souvent que possible. Il s'est

agi pour nous de pallier l'absence d'expérimentation réelle dans le produit en fournissant aux élèves des situations dans lesquelles ils pouvaient émettre des hypothèses et les vérifier aisément (Venturini et Viel [1996-a, 1996-b]).

3.7. Cheminements au sein de la base de données

Nous rappelons pour mémoire que la structure de la base et les cheminements induits sont fortement fondés sur des raisons didactiques. Cet aspect des choses ayant déjà été traité au chapitre 1.2 page 82, nous n'y reviendrons pas ici.

Partie IV - Utilisation de REV.E.S. : étude expérimentale

1. Pré-expérimentation..... page 152
2. Cadre général de l'expérimentation..... page 154
3. Etude des parcours..... page 167
4. Analyse des réponses aux questionnaires..... page 185
5. Analyse du travail mené par les élèves sur l'ensemble des huit domaines étudiés..... page 229
6. Appréciations des élèves et des enseignants sur le produit..... page 253

Dans cette partie, nous présentons et commentons l'ensemble des résultats expérimentaux que nous avons obtenus.

Après un bref résumé de la pré-expérimentation, rapportée intégralement dans le document annexe, nous préciserons le cadre général de l'expérimentation : pistes d'expérimentation, procédure utilisée, mode de traitement des résultats, avec notamment la définition des variables que nous avons utilisées.

Nous exposerons ensuite tour à tour l'étude des parcours des élèves, l'étude du travail qu'ils ont réalisé dans chacun des huit domaines et une synthèse du travail réalisé sur l'ensemble de ces domaines. Nous terminerons en rapportant de manière indicative les opinions des élèves et des enseignants sur le produit et ses caractéristiques.

1. Pré-expérimentation

Nous avons mené cette pré-expérimentation au Lycée des Arènes à Toulouse, avec une classe de seconde comportant 33 élèves. L'ensemble de ce travail (objectifs, méthodologie, résultats et commentaires) est décrit en détail dans la partie 1 du document annexe.

Nous en rapporterons ici très brièvement les objectifs et les principales conclusions ; celles-ci ont contribué à bâtir la maquette actuelle de REV.E.S. et à jeter les bases de l'expérimentation que nous allons décrire. Les résultats obtenus sont d'ailleurs semblables qualitativement à ceux que nous avons obtenus au cours de l'expérimentation. C'est ce qui justifie leur renvoi en annexe pour éviter toute redondance inutile.

1.1. Objectif

L'objectif de la pré-expérimentation était double :

- vérifier l'ergonomie de la première version de la maquette de REV.E.S., en particulier l'interfaçage utilisateur, la structuration de l'information, le niveau et le mode de formulation des messages. L'ergonomie testée est celle que nous avons décrite tout au long du chapitre 1 de la partie III de ce document à partir de la page 81.
- pointer les difficultés des élèves de seconde, et le niveau atteint dans la résolution des problèmes didactiques identifiés par les chercheurs, à la fois pour proposer dans REV.E.S. des contenus bien adaptés et pour choisir les items sur lesquels portera l'expérimentation.

1.2. Résumé des conclusions

De la synthèse faite dans Venturini et Viel [1996-d], nous ne retiendrons ici que l'essentiel, les détails se trouvant comme nous l'avons dit précédemment en annexe.

L'ergonomie de cette première maquette s'est avérée satisfaisante : les élèves ont trouvé l'information qu'ils ont recherchée, en privilégiant les liens hiérarchiques pour y accéder. Ils ont été satisfaits par la forme et la fonction du produit qu'ils ont bien accueilli.

Pour ce qui concerne les aspects didactiques et disciplinaires, les éléments relatifs à l'intensité et à la tension que nous avons testés, sont pour la plupart maîtrisés dans des situations classiques. Cependant :

- ces éléments donnent lieu à des difficultés importantes dés que l'on passe à des situations qui, sans être complexes, sont différentes de celles vues en cours.

– les élèves éprouvent des difficultés pour définir la nature du courant, les propriétés des tensions variables et surtout pour analyser globalement le fonctionnement d'un circuit (97% d'échecs).

1.3. Exploitation des conclusions

Au vu des résultats de la pré-expérimentation, nous avons conservé telle quelle la forme générale de REV.E.S. (structuration, interface, présentation de l'information). Nous avons renforcé l'aspect non canonique des situations proposées dans la partie « Tests de connaissances » et étoffé les éléments soumis à la réflexion des élèves dans les domaines où sont apparues certaines difficultés. Ces principes ont été utilisés à la fois pour modifier la première version de la maquette de REV.E.S. et pour concevoir les parties non développées.

Ce travail pré-expérimental a aussi contribué à déterminer les domaines sur lesquels a porté une partie de l'expérimentation. Ainsi, nous avons choisi d'expérimenter l'influence de REV.E.S. pour :

– préciser la nature du courant, analyser globalement le fonctionnement d'un circuit, définir les propriétés des tensions variables,

– mettre en place le caractère identique de l'intensité en tout point d'un circuit série et utiliser les lois de l'électrocinétique dans des situations non canoniques.

C'est en effet sur ces domaines que les élèves ont connu des difficultés lors de la pré-expérimentation. De plus, nous avons souhaité regarder si REV.E.S. permettait de mieux comprendre les valeurs particulières des tensions, d'améliorer la lecture de schémas, de mieux connaître les propriétés de l'amplificateur opérationnel. Nous n'avions pas traité ces trois éléments dans la première maquette. Nous avons décidé d'étudier les deux premiers en raison des difficultés remarquées par les didacticiens, le dernier en raison de son caractère original.

Nous avons donc expérimenté les apports de REV.E.S. sur huit domaines que nous présenterons dans les analyses qui vont suivre toujours dans l'ordre suivant :

– Propriété de l'intensité dans un circuit série.
– Valeurs particulières de la tension.
– Lecture de schémas.
– Analyse globale du fonctionnement d'un circuit.
– Nature du courant.
– Lois de l'électrocinétique.
– Tensions variables.
– Amplificateur opérationnel.

2. Cadre général de l'expérimentation

Nous rappelons tout d'abord, en les précisant, les éléments que nous avons souhaité explorer au cours de cette expérimentation. Nous évoquerons ensuite les conditions dans lesquelles a eu lieu cette expérimentation avec notamment la procédure de travail utilisée, et la manière dont nous avons traité les informations obtenues.

2.1. Pistes d'expérimentation

Comme nous l'avons énoncé en présentant la méthodologie générale (voir dans la partie I de ce document le paragraphe 2.2.1 page 35), nous avons choisi de travailler dans trois directions : les aspects cognitifs, la nature de l'information consultée, et le mode d'accès à l'information. Nous les détaillons tour à tour ci-après.

2.1.1. Aspects cognitifs

Il nous a paru nécessaire d'examiner :

- L'évolution des connaissances après utilisation de REV.E.S.
  Il s'agit de savoir comment la pratique de REV.E.S fait évoluer les connaissances et les compétences des élèves, tout en examinant la relation entre cette évolution et les informations consultées dans le produit.
- L'existence éventuelle d'une relation entre cette évolution et le niveau des élèves
  Dans la mesure où des propos souvent passionnels circulent sur l'influence des nouvelles technologies dans la réduction ou l'augmentation des écarts scolaires entre les élèves, il est intéressant d'observer comment des élèves de niveau différent tirent profit de REV.E.S..

2.1.2. Nature de l'information consultée

A ce titre, nous avons observé :

- Le degré d'adéquation entre l'information consultée par un élève et son profil cognitif
  Nous sommes partis sur l'hypothèse que les éléments fournis dans REV.E.S. suffisaient pour permettre aux élèves d'identifier les pages à consulter (voir dans la partie III le paragraphe 1.7 page 102). Il est donc nécessaire de vérifier si cette hypothèse est pertinente en analysant si les élèves ont consulté les informations dont ils avaient besoin compte-tenu de leurs connaissances effectives.

- L'existence éventuelle d'une relation entre le niveau des élèves et le type de consultation effectuée
  Nous avons souhaité analyser, pour les mêmes raisons que celles évoquées précédemment, si le niveau des élèves est un facteur influant sur le type de consultation effectuée (quantité d'information consultée, adéquation de l'information consultée avec les besoins, nature de l'information consultée).

- L'existence éventuelle de préférences des élèves lors de consultation des informations
  Il s'agit de déterminer s'il existe des domaines ou des informations qui sont privilégiés lors de la consultation et si à l'opposé, il y en existe qui sont délaissés afin de revoir, s'il y a lieu, le balisage des informations dans le produit.

- Les modalités de prise de contact avec le produit
  La façon dont les élèves prennent contact avec le produit, notamment quelles sont les premières pages vues (thème et type) est un élément qui peut être riche d'enseignements, notamment pour la conception d'un produit.

2.1.3. Mode d'accès à l'information

Il nous a paru utile d'étudier :

- Les démarches utilisées pour l'ensemble de la consultation
  Pour éventuellement typer ces démarches, il est intéressant d'analyser comment les élèves travaillent sur ce type de produit, comment ils accèdent aux informations, si une structure est privilégiée.

- Les premières structures utilisées lors de la prise de contact avec le produit.

- Les structures d'accès éventuellement privilégiées par les élèves qui ont progressé après utilisation de REV.E.S..

- L'existence éventuelle d'une relation entre le mode d'accès à l'information et le niveau des élèves
  L'idée est d'examiner si le niveau des élèves influe sur les modalités d'utilisation de REV.E.S..

2.2. Les conditions de l'expérimentation

2.2.1. Les élèves, les classes

L'expérimentation s'est déroulée sur deux classes de seconde du Lycée des Arènes à Toulouse, dans lesquelles exerçaient deux enseignantes différentes. Le groupe d'une soixantaine d'élèves s'est en fait réduit à 54 à la suite d'absences diverses au cours des trois mois d'expérimentation.

Sur l'ensemble des soixante élèves, 18 seulement sont passés en 1ère S et une vingtaine ont redoublé la classe de seconde, certains étant réorientés. De l'avis des enseignants, ainsi que du nôtre, les classes avaient un niveau faible et comportaient des élèves, à l'exception des meilleurs éléments, souvent incapables d'attention suivie, peu intéressés, peu attentifs et fournissant peu de travail.

Nous avons demandé aux enseignants de classer les élèves en deux niveaux, supérieur et inférieur à la moyenne. Sur 54 élèves, selon les enseignants, 19 (dont 6 dans une classe et 13 dans l'autre) ont été jugés au-dessus de la moyenne, soit 35% ; les 35 autres ont été jugés en dessous de la moyenne.

De fait, ce type de public, souvent en difficulté, est une des cibles potentielles d'un produit de révision en autonomie, permettant une individualisation des parcours, d'où l'intérêt d'expérimenter avec lui, même s'il limite en conséquence les analyses qui seront faites.

2.2.2. La procédure utilisée

Dans une démarche d'ingénierie didactique, nous avons examiné comment l'utilisation de REV.E.S. avait fait évoluer les connaissances des élèves. Cette démarche a été complétée par l'analyse du mode d'utilisation de REV.E.S..

2.2.2.1. Une première évaluation des connaissances sur huit domaines avant le passage sur machine

Pour cela, nous avons conçu un premier questionnaire «papier » regroupant les huit domaines étudiés (voir pour la liste des domaines dans cette partie IV le paragraphe 1.3 page 153), destiné à évaluer les connaissances des élèves et leur aptitude à surmonter les difficultés didactiques identifiées. Nous l'appellerons souvent « première série de tests » dans l'étude qui va suivre. Nous l'avons structuré en quatre parties correspondant aux quatre parties du programme (tension, intensité, dipôles et amplification). Certains domaines, comme « la lecture de schémas » « les lois de l'électrocinétique » ou « l'analyse globale du fonctionnement d'un circuit» s'étendent sur plusieurs parties du questionnaire. Par contre, «l'amplificateur opérationnel » constitue une « partie » à lui tout seul. L'ensemble des tests est rapporté dans la partie II du document annexe, au chapitre 1. Il comporte 64 questions.

Chacune des parties a été donnée après le cours correspondant, sur lequel les élèves ont déjà été interrogés et notés. L'idée était pour nous de nous situer en phase d'activation des connaissances - donc aussi près que possible du cours -, tout en faisant en sorte qu'il n'y ait plus lieu pour les élèves de retravailler sur les parties testées avant leur passage sur machine - donc après l'évaluation des enseignants -. Nous avons pensé ainsi limiter les influences extérieures à REV.E.S. sur l'évolution des connaissances des élèves.

Sur le conseil des enseignants, le questionnaire a été rempli à chaque fois en classe pour éviter une « uniformisation » des réponses. L'inconvénient a été de travailler en temps limité - mais suffisant -, ce qui a peut-être faussé légèrement les résultats obtenus par certains élèves.

2.2.2.2.Le passage sur machine

Une fois les quatre parties du cours terminées et les réponses aux questionnaires données, nous avons proposé aux élèves de réviser l'ensemble de leur cours à partir de REV.E.S. en vue de préparer un contrôle récapitulatif ultérieur.

Les élèves ont donc utilisé le produit durant les séances de travaux pratiques en deux sessions d'environ deux heures. Certains élèves (peu nombreux) sont revenus travailler entre les sessions, les machines étant disponibles en permanence.

Les élèves pouvaient disposer de l'ensemble des documents en leur possession notamment les interrogations écrites et la première série de tests sur laquelle ne figurait aucune annotation particulière. Ils ont travaillé soit seuls soit en dyade, le nombre de machines n'étant pas suffisant pour pouvoir faire travailler seuls tous les élèves.

Le temps qu'ils ont passé sur machine ne leur permettait pas de consulter l'ensemble des informations, ce qui les a conduit à faire des choix ; il était toutefois largement suffisant pour pouvoir effectuer un travail significatif avec REV.E.S..

La machine a enregistré pour chaque session la référence des pages consultées et l'ordre dans lequel elles ont été consultées, le temps passé sur chaque page et les réponses fournies aux questions de la partie «Tests de connaissances».

En effet, l'explicitation des pistes d'expérimentation a fait apparaître la nécessité de percevoir si une information a été consultée ou non, c'est à dire si un travail effectif a été effectué ou non à son propos. Pour ce faire, le temps passé sur la page correspondante a été pour nous le seul facteur que nous pouvions utiliser dans le contexte expérimental dans lequel nous nous trouvions.

Nous avons donc évalué pour chaque page un temps minimum qui est celui de la prise de connaissance minimale de l'information (lecture, audition, expérimentation simulée etc.). En deçà de ce temps minimum, nous avons estimé que l'information n'avait pas été consultée.

Pour ce qui concerne le passage par les pages «Tests», les réponses fournies ou non par les élèves et enregistrées dans la machine sont des éléments prêtant moins à interprétation. Par ailleurs, les élèves n'ayant pas effectué systématiquement tous les tests proposés sur une page donnée,

nous avons considéré que cette page a été vue seulement si au moins la moitié des tests présents sur la page ont donné lieu à une réponse de la part des élèves.

Il faudra donc avoir ces réserves en tête lorsque on prendra connaissance des conclusions.

2.2.2.3. Une deuxième évaluation des connaissances sur huit domaines après le passage sur machine

Une fois le travail de révision juste terminé, et donc toujours dans une phase d'activation des connaissances pour pouvoir établir des comparaisons avec la première série de tests, nous avons soumis les élèves à un nouveau questionnaire « papier », qui constitue la deuxième série de tests. On pourra constater en l'examinant (voir la partie II du document annexe, au chapitre 2) que celui-ci est très voisin du premier questionnaire, toujours dans le souci d'établir, dans des contextes aussi proches que possible, des comparaisons entre les résultats obtenus.

Il a été rempli par les élèves toujours en classe dans un temps limité mais suffisant, comme pour le premier test.

2.2.2.4. Une évaluation informelle sur le produit et son utilisation

Pour finir, nous avons souhaité recueillir les avis des élèves puis des enseignants sur le produit. Pour les premiers, nous avons proposé un questionnaire papier que l'on retrouvera dans la partie II du document annexe au chapitre 3. Pour les seconds, nous avons préféré réaliser une interview à partir de l'analyse des premiers résultats obtenus. Ces deux éléments complètent les informations précédentes.

2.2.3. Les « supports » de l'expérimentation

Au travers de la procédure décrite dans le paragraphe précédent, il apparaît qu'essentiellement deux éléments nous ont permis de travailler

- les parcours des élèves au sein du produit (durée de consultation, informations consultées, mode d'accès aux informations);
- les résultats comparatifs des deux séries de tests sur papier portant sur huit domaines didactiques ou disciplinaires (aspects cognitifs).

Ces deux éléments ont été complétés de manière annexe par le questionnaire d'évaluation du produit proposé aux élèves et l'interview des enseignants.

2.3. Traitement des informations obtenues

Pour travailler sur les objectifs de l'expérimentation, nous avons construit un certain nombre de variables, que nous allons expliciter (celles-ci sont récapitulées, pour

faciliter la lecture des chapitres où elles sont utilisées, sur l'intercalaire joint à ce document). Auparavant, nous préciserons le sens que nous avons donné à divers termes que nous emploierons régulièrement dans toute l'étude expérimentale.

2.3.1. Le vocabulaire utilisé

2.3.1.1.Pages et écrans

Par « page », on entend l'ensemble des informations de nature disciplinaire (par exemple « nature du courant » ou « loi d'Ohm »), ou les informations de nature navigationnelle (par exemple page «Menu Général », page sommaire « Connaissances ») regroupées sous le même titre. On peut, volontairement ou non, accéder plusieurs fois à chaque page, donnant lieu ainsi à l'examen, au parcours de plusieurs « écrans » identiques. Selon la terminologie utilisée, on peut donc parcourir plusieurs «écrans » relatifs à la même « page » d'information.

2.3.1.2.Types et familles de pages, domaines

Les pages de REV.E.S. peuvent être regroupées de différentes manières. Nous aurons ainsi des pages comportant des informations disciplinaires que nous appellerons des pages « Contenu » et des pages comportant des informations navigationnelles, comme les pages «Menu », « Parcours thématiques » et « Index alphabétique ». L'ensemble des pages « Contenu », l'ensemble des pages « Menu », la page « Parcours thématiques » et la page « Index alphabétique » constituent les quatre familles de pages de REV.E.S..

Les pages « Contenu » peuvent aussi être regroupées en quatre types, que nous avons déjà explicités en décrivant REV.E.S., suivant la nature de l'information disciplinaire proposée : les pages de type « Connaissances », de type « Méthodes », « Documents » ou « Tests ».

Les pages de la famille « Contenu » relevant d'une même préoccupation disciplinaire peuvent aussi être regroupées en «domaines ». Par exemple, les pages du domaine « Amplificateur opérationnel » sont les suivantes : « Amplification de tension », « Amplificateur opérationnel », « Amplificateur opérationnel - test », « Montage amplificateur inverseur », « Montage amplificateur inverseur - test », et « Etudier un montage amplificateur ».

2.3.1.3.Pages ou écrans parcourus, vus ou survolés

Ces termes concernent les pages de la famille «Contenu ». Lorsque l'élève passe par une de ces pages, la page ou l'écran est «parcouru».

Une page ou un écran parcourus peuvent être

– « vus » lorsqu'ils ont donné lieu à un travail effectif; la durée de passage sur cette page ou cet écran est supérieure au temps minimum de consultation de la page ; nous avons parfois utilisé les termes « consulté effectivement » à la place du terme « vu », pour mieux adapter le texte écrit à la langue française;
– « survolés » lorsqu'ils n'ont pas donné lieu à un travail effectif; la durée de passage sur cette page ou cet écran est inférieure au temps minimum de consultation de la page.

2.3.2. Les variables utilisées pour l'analyse des parcours

2.3.2.1. Taux caractérisant les durées de passage dans les différentes familles de pages

En additionnant la durée de passage dans l'ensemble des écrans parcourus pour chaque élève, nous avons défini, pour chacun d'entre eux, les taux suivants, caractérisant les durées de passage dans différentes familles de pages :

– TDPCV : le Taux de Durée de Passage par les écrans « Contenu » Vus s'obtient, pour chaque élève, en divisant la durée de passage sur l'ensemble des écrans « Contenu » qui ont été vus, par la durée totale du travail sur machine.

  Ce taux caractérise l'importance de la durée de travail « efficace », en pourcentage de la durée d'utilisation de REV.E.S..

– TDPCS : le Taux de Durée de Passage par les écrans « Contenu » Survolés s'obtient, pour chaque élève, en divisant la durée de passage sur l'ensemble des écrans « Contenu » qui ont été survolés, par la durée totale du travail sur machine.

  Ce taux caractérise l'importance de la durée consacrée à survoler des pages d'information, en pourcentage de la durée d'utilisation de REV.E.S..

– TDPM : le Taux de Durée de Passage par les écrans « Menu » s'obtient, pour chaque élève, en divisant la durée de passage sur l'ensemble des écrans « Menu » par la durée totale du travail sur machine.

  Ce taux caractérise l'importance de la durée de passage par les menus et sommaires, en pourcentage de la durée d'utilisation de REV.E.S..

Ces trois taux permettent de comparer, en pourcentage de la durée d'utilisation de REV.E.S., la durée de consultation effective, la durée de consultation n'ayant pas donné lieu à un travail effectif et la durée d'utilisation des menus à des fins navigationnelles.

Dans le document annexe (partie III, chapitre 1) figurent à titre indicatif et parce qu'ils s'inscrivent dans la méthodologie utilisée, les taux de durée de passage dans les pages « Index des pages » et « Parcours thématiques ». Ces taux sont définis à l'identique des précédents. Leurs valeurs étant très inférieures aux taux TDPCV, TDPCS et TDPM, nous ne les évoquerons pas de manière spécifique dans ce document.

2.3.2.2.Taux caractérisant le nombre d'écrans parcourus

A partir du nombre d'écrans vus ou survolés par chaque élève, nous avons défini les taux suivants, caractéristiques de chaque élève

- TECV : le Taux d'Ecrans « Contenu » Vus s'obtient, pour chaque élève, en divisant le nombre d'écrans «Contenu » vus par le nombre total d'écrans utilisés (Contenu, Menu etc.).

  Ce taux caractérise l'importance du nombre d'écrans «Contenu » sur lesquels a eu lieu un travail effectif, en pourcentage du nombre total d'écrans utilisés.

- TECS : le Taux d'Ecrans « Contenu » Survolés s'obtient, pour chaque élève, en divisant le nombre d'écrans «Contenu » survolés par le nombre total d'écrans utilisés.

  Ce taux caractérise l'importance du nombre d'écrans «Contenu » sur lesquels n'a eu lieu aucun travail effectif, en pourcentage du nombre total d'écrans utilisés.

- TEM : le Taux d'Ecrans « Menus » utilisés s'obtient, pour chaque élève, en divisant le nombre d'écrans «Menu » et « Sommaire » utilisés par le nombre total d'écrans utilisés.

  Ce taux caractérise l'importance du nombre d'écrans «Menu » et « Sommaire » qui ont été utilisés, en pourcentage du nombre total d'écrans utilisés.

Ces trois taux permettent de comparer, en pourcentage du nombre total d'écrans utilisés dans les deux sessions, le nombre d'écrans parcourus qui ont donné lieu à un travail effectif, le nombre d'écrans parcourus qui n'ont donné lieu à aucun travail effectif, et le nombre d'écrans «menus » et « sommaires» utilisés à des fins navigationnelles.

Dans le document annexe (partie III, chapitre 2) figurent à titre indicatif et parce qu'ils s'inscrivent dans la méthodologie utilisée, les taux caractérisant de la même manière le nombre d'écrans «Index des pages» et « Parcours thématiques » utilisés. Leurs valeurs étant très inférieures aux trois taux précédents TECV, TECS et TEM, nous ne les évoquerons pas de manière spécifique dans ce document.

2.3.2.3.Taux caractérisant le type de page vue

A partir du type de pages vues par chaque élève (Connaissances, Méthodes, Documents et Tests), nous avons défini, pour chacun d'entre eux des Taux de Pages Vues établis en divisant le nombre de pages d'un type particulier vues par l'élève par le nombre total de pages du type concerné dans REV.E.S..

Ces taux caractérisent donc, pour chaque élève, l'importance du nombre des pages vues d'un type particulier, en pourcentage de l'ensemble des pages de ce type dans REV.E.S.. Nous avons ainsi défini

- TPVC : Taux de Pages Vues de type « Connaissances » = Nombre de pages « Connaissances » vues / Nombre total de pages « Connaissances » dans REV.E.S. soit 22.
- TPVD : Taux de Pages Vues de type « Documents » = Nombre de pages « Documents » vues / Nombre total de pages « Documents » dans REV.E.S. soit 10.
- TPVM : Taux de Pages Vues de type « Méthodes » = Nombre de pages « Méthodes » vues / Nombre total de pages « Méthodes » dans REV.E.S. soit 11.
- TPVT : Taux de Pages Vues de type « Test » = Nombre de pages « Tests » vues / Nombre total de pages «Tests » dans REV.E.S. soit 25.

2.3.2.4.Taux caractérisant le mode d'accès à l'information

A partir du mode d'accès utilisé par chaque élève pour chacune des pages « Contenu » parcourues (lien arborescent ou réseau, lien établi à partir de l'index alphabétique des pages ou à partir des parcours thématiques), nous avons défini des Taux d'Accès pour chacun des élèves et chacun des modes d'accès :

- TAA : le Taux d'Accès Arborescent s'obtient en divisant le nombre d'écrans « Contenu » auxquels l'élève a accédé de manière arborescente par le nombre total d'écrans «Contenu» que l'élève a parcourus.

  Ce taux caractérise, pour chaque élève, l'importance du nombre d'accès arborescents, en pourcentage du nombre d'accès aux écrans «Contenu».

- TAR : le Taux d'Accès Réseau s'obtient en divisant le nombre d'écrans « Contenu » auxquels l'élève a accédé avec des liens réseau par le nombre total d'écrans «Contenu» que l'élève a parcourus.

  Ce taux caractérise, pour chaque élève, l'importance du nombre d'accès réseau, en pourcentage du nombre d'accès aux écrans «Contenu».

- TAI : le Taux d'Accès par Index alphabétique des pages s'obtient en divisant le nombre d'écrans « Contenu » auxquels l'élève a accédé avec l'index alphabétique par le nombre total d'écrans «Contenu » que l'élève a parcourus.

Ce taux caractérise, pour chaque élève, l'importance du nombre d'accès par l'index alphabétique, en pourcentage du nombre d'accès aux écrans « Contenu ».

– TAP : le Taux d'Accès par Parcours thématique s'obtient en divisant le nombre d'écrans « Contenu » auxquels l'élève a accédé en activant les liens linéaires des parcours thématiques par le nombre total d'écrans « Contenu » que l'élève a parcourus.

  Ce taux caractérise, pour chaque élève, l'importance, en pourcentage du nombre d'accès aux écrans « Contenu », du nombre d'accès par les liens linéaires des parcours thématiques.

Ces différents taux permettent de comparer l'importance des différents modes d'accès aux écrans d'information. Dans le document annexe (partie III, chapitre 3) figurent à titre indicatif et parce qu'ils s'inscrivent dans la méthodologie utilisée, les taux TAPP et TALP, caractérisant de la même façon le nombre d'écrans atteints par des liens «Page Précédente» ou par des liens établis à partir de la « Liste des Pages consultées ». Leurs valeurs étant très inférieures aux quatre taux précédents TAA, TAR, TAI et TAP, nous ne les évoquerons pas dans ce document.

2.3.3. Les variables utilisées pour l'analyse des résultats des deux séries de tests sur papier

Nous énonçons d'abord les variables caractérisant chaque élève dans chacun des huit domaines sur lesquels ont porté les questionnaires papier. Nous préciserons ensuite les valeurs moyennes de ces variables que nous avons utilisées.

2.3.3.1. TRAV : Taux de Réponses exactes AVant passage sur machine

Cette variable concerne la première série de tests. Sa valeur est obtenue en divisant le nombre de réponses exactes effectuées sur toutes les questions d'un domaine par le nombre total de questions du domaine. Elle caractérise pour un domaine donné, les performances d'un élève donné avant son passage sur machine.

2.3.3.2. TRAP : Taux de Réponses exactes APrès passage sur machine

Cette variable joue le même rôle que TRAV, mais concerne la deuxième série de tests. Sa valeur est obtenue en divisant le nombre de réponses exactes effectuées sur toutes les questions d'un domaine par le nombre total de questions du domaine. Elle caractérise pour un domaine donné les performances d'un élève donné après son passage sur machine.

2.3.3.3.ΔTR : Variation du Taux de Réponses exactes entre les deux séries de tests

Cette variable résulte directement de la différence TRAP - TRAV ; elle caractérise, pour un domaine donné, l'évolution des connaissances d'un élève donné entre les deux séries de tests. Sa valeur est comprise entre -1 et +1. Une valeur négative traduit une régression de l'élève, une valeur nulle traduit une stagnation de l'élève, une valeur positive traduit une progression de l'élève dans un domaine donné.

2.3.3.4.TPV : Taux de Pages Vues

A chacun des huit domaines que nous avons étudiés correspond dans REV.E.S. un certain nombre de pages d'information. TPV est défini comme le rapport entre le nombre de pages vues dans un domaine par un élève et le nombre de pages total du domaine.

2.3.3.5.Taux caractérisant le type de page vue

A partir du type des pages vues par chaque élève dans les huit domaines, nous avons défini, pour chacun d'entre eux des Taux de Pages Vues établis en divisant le nombre de pages d'un type particulier vues par l'élève par le nombre total de pages du type concerné. Ces taux caractérisent donc, pour un élève, l'importance des pages vues d'un type particulier, en pourcentage du nombre de pages de ce type dans les huit domaines étudiés. Nous avons ainsi défini :

- TPVC8D : Taux de Pages Vues de type « Connaissances » dans les 8 Domaines = Nombre de pages « Connaissances » vues / Nombre total de pages « Connaissances » dans les huit domaines étudiés, soit 13.
- TPVT8D : Taux de Pages Vues de type « Test » dans les 8 Domaines = Nombre de pages « Tests » vues / Nombre total de pages « Tests » dans les huit domaines étudiés soit 13.

TPVM8D (Taux de Pages Vues de type «Méthodes» dans les 8 Domaines), défini de la même manière, est proposé de manière indicative en annexe partie V, chapitre 1. Le nombre de pages «Méthodes» concernées étant faible (6), nous ne l'analyserons pas dans ce document.

2.3.3.6.Niveau : Niveau des élèves

Cette variable est différente des autres en ce sens que la valeur qu'elle prend pour chaque élève a été attribuée par les enseignants des deux classes, en fonction de la moyenne des élèves en électricité. Elle n'a que deux valeurs possibles : supérieur ou inférieur à la moyenne.

On sait l'aspect subjectif que cette attribution peut présenter, mais nous avons suivi la logique du système selon laquelle le professeur évalue, par la notation, le niveau de ses élèves. On trouvera cependant dans cette partie IV, au paragraphe 5.2 page 236, une comparaison entre les valeurs de la

variable Niveau et celles de la variable TRAV qui, d'une certaine façon, représente aussi le niveau des élèves avant passage sur machine. On constatera que le recouvrement entre les populations données par ces deux variables comme supérieures à la moyenne est de l'ordre de 75%, ce qui nous a paru suffisant pour exploiter les informations fournies par les deux variables en question.

2.3.3.7. Valeurs moyennes des variables

Nous avons aussi utilisé pour TRAV, TRAP, ΔTR et TPV des valeurs moyennes. Celles-ci ont été calculées tantôt sur l'ensemble des élèves pour un domaine donné, tantôt sur l'ensemble des domaines pour un élève donné, tantôt sur un ensemble d'élèves et l'ensemble des domaines, tantôt sur l'ensemble des élèves et l'ensemble des domaines. Nous préciserons donc à chaque fois sur quelles populations les valeurs moyennes ont été établies.

2.3.3.8. Le croisement des variables

Pour traiter les objectifs de l'expérimentation, nous avons été amenés fréquemment à « croiser » des variables, par exemple TPV et ΔTR, TPV et Niveau, ΔTR et Niveau, TRAV et TPV etc.

Nous avons au cours de ces croisements, déterminé des classes d'élèves, par exemple élèves ayant vu un domaine donné, élèves ayant besoin de voir un domaine donné. Nous avons dû décider les critères de répartition en classes. Par exemple, à partir de quand estimons-nous qu'un domaine est «vu » par un élève : quand celui-ci a consulté une seule page du domaine, deux pages du domaine, toutes les pages du domaine ?

Nous avons choisi de prendre à chaque fois la valeur 0.5 comme seuil: ainsi nous avons considéré que seuls les élèves ayant consulté au moins 50 % des pages d'un domaine ont effectivement «vu » le domaine en question. Nous avons considéré que seuls les élèves ayant répondu de manière satisfaisante à moins de 50 % des questions d'un domaine avaient besoin de consulter ce domaine. De manière générale, le taux de 0.50 a donc été privilégie comme seuil de détermination des classes d'élèves.

2.3.4. Dépouillement des résultats

2.3.4.1. Etude des parcours

Nous avons examiné les éléments livrés par la machine sur l'ensemble du travail réalisé par les élèves lors de chacune des sessions. Nous avons ainsi relevé les durées de travail, les informations parcourues et les modes d'accès utilisés. Nous avons ensuite traité ces informations en calculant et en analysant les valeurs des différentes variables que nous avons définies dans les paragraphes précédents. On trouvera dans le chapitre 3 de cette partie, page 167, le compte-rendu de ces analyses. Nous avons choisi de

commencer la présentation des résultats expérimentaux par cet aspect car il s'agit d'une approche globale du travail effectué.

2.3.4.2.Etude du travail des élèves sur chacun des huit domaines

Nous avons examiné et traité chacun des huit domaines l'un après l'autre. Pour chacun d'entre eux, nous avons examiné les résultats d'abord sous l'angle disciplinaire ou didactique en examinant les réponses fournies, en les commentant si nécessaire et en comptabilisant les réponses exactes. Dans un deuxième temps, nous avons fourni et analysé brièvement les valeurs prises par chacune des variables ayant servi au traitement. On trouvera dans cette partie, au chapitre 4 page 185, le compte-rendu de ces opérations

Enfin, pour donner une image synthétique et globale du travail sur l'ensemble des huit domaines qui nous permettra de répondre à certaines des pistes d'expérimentation, nous avons récapitulé et commenté, dans le chapitre 5 de cette partie, l'ensemble de ces éléments ainsi que les résultats des croisements effectués entre les différentes variables.

2.3.4.3.Valeurs numériques des variables et des effectifs de certaines classes

Au cours de l'étude, de nombreuses valeurs numériques seront données en pourcentage des échantillons utilisés (pourcentage du nombre d'élèves, du nombre de pages de REV.E.S....). Or, ces échantillons sont faibles: il y a seulement 54 élèves qui ont travaillé, 68 pages «Contenu » à consulter dans REV.E.S., 136 écrans qui ont été vus en moyenne par chaque élève... Il paraît important de ne pas perdre de vue, à leur lecture, les correspondances approchées suivantes : 2 % des élèves représentent un individu, 3 % des pages représentent 2 pages, 2 % des écrans vus représentent 3 écrans...

Par ailleurs, lorsque nous avons constitué les sous-ensembles des échantillons étudiés (classes d'élèves selon leurs performances, leur niveau..., groupes de pages selon leur type...), pour effectuer différents croisements, il ne nous a pas paru significatif de prendre en compte, dans les résultats numériques, les classes ou groupes représentant moins de 15 % de l'ensemble (8 élèves ou 10 pages par exemple). Les valeurs numériques relatives à ces sous-ensembles, quoique de taille réduite, sont cependant fournies dans le document annexe à titre indicatif. Pour être clairement isolées, elles sont en italique et décalées à droite dans les tableaux qui les présentent.

3. Etude des parcours

Conformément aux pistes d'expérimentation que nous avons retenues, nous allons analyser tour à tour les durées de travail, la nature des informations parcourues et les modes d'accès à cette information. Cette analyse concerne globalement l'ensemble du travail effectué sur machine. Tous les graphiques ou chiffres fournis dans ce chapitre sont basés sur les résultats expérimentaux rapportés de manière complète mais brute, dans la partie III du document annexe.

3.1. Analyse des durées de passage dans les différentes familles de pages

La Figure 88 illustre les valeurs moyennes, établies sur l'ensemble des élèves, des Taux de Durée de Passage (TDP) dans différentes familles de pages: pages « Menu » (TDPM), pages « Contenu » Vues effectivement (TDPCV), pages «Contenu » Survolées (TDPCS). Ces taux sont rapportés à la durée totale de la consultation de chaque élève.

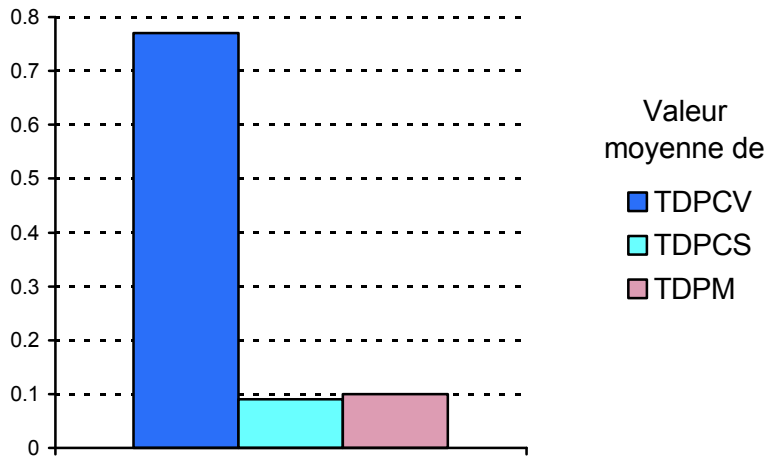


Figure 88: Valeurs moyennes des Taux de Durée de Passage (TDP) dans différentes familles de pages de REV.E.S..

On peut constater sur cette figure que les élèves passent en moyenne 78 % de leur temps d'utilisation de REV.E.S. en travail effectif sur des pages «Contenu ». Cela constitue a priori - car nous manquons de point de repère pour ce type d'appréciation - un pourcentage tout à fait satisfaisant, notamment dans la mesure où les élèves, lors du premier contact, ont dû aussi passer du temps à se repérer dans le produit.

Les élèves ont aussi passéen moyenne :

– 9 % de leur temps sur des pages «Contenu » sur lesquelles ils n'ont pas travaillé (pages survolées), ce qui reste faible;

– 10 % de leur temps dans les différents menus, pour effectuer des choix navigationnels de manière arborescente.

Le temps restant (3 % en moyenne) a été utilisé dans les pages «Parcours thématiques» et « Index alphabétique».

Ces valeurs moyennes, qui concernent l'ensemble des deux sessions sur machine, sont semblables dans chacune des sessions (à 1 ou 2 % près), ce qui montre une certaine stabilité de comportement.

L'analyse de la répartition des effectifs établie en fonction de la valeur obtenue aux différents taux par chaque élève montre une homogénéité des résultatsautour des valeurs moyennes :

– pour TDPCV dont la valeur moyenne est 78 % (écart-type 0.13): 82 % des élèves passent entre 70 et 96 % du temps d'utilisation de REV.E.S. en travail effectif ;
– pour TDPCS dont la valeur moyenne est 9 % (écart-type 0.06): 100 % des élèves passent entre 0 et 20 % de leur temps à survoler certaines pages;
– pour TDPM dont la valeur moyenne est 10 % (écart-type 0.10):97 % des élèves passent entre 0 et 20 % de leur temps dans les pages de la famille «Menu ».

En conclusion, on peut donc dire que l'ensemble des résultats précédents concernant la durée de passage par les différentes familles de pages montre que les élèves ont dans leur très grande majorité, occupé la majeure partie de leur temps (pratiquement 80 % en moyenne) à travailler de manière effective sur les pages d'information de REV.E.S..

3.2. Analyse des pages parcourues

Nous allons analyser les pages parcourues sous plusieurs angles: nombre d'écrans parcourus dans chaque famille, nombre de pages vues, nombre de consultations effectives de chaque page « Contenu », types des pages vues, pages vues lors des 15 premiers écrans parcourus. Ces informations ont été établies pour chaque élève et ont permis de calculer les différents taux que nous allons expliciter.

3.2.1. Analyse des taux caractérisant le nombre d'écrans parcourus par chaque élève

La Figure 89 illustre les valeurs moyennes, établies sur l'ensemble des élèves, des Taux d'Ecrans (TE) parcourus dans différentes familles de page: Ecrans Menu (TEM), Ecrans « Contenu » Vus effectivement (TECV), Ecrans « Contenu » Survolés (TECS). Ces taux sont rapportés aux nombre total d'écrans parcourus lors de la totalité de la consultation par chaque élève (en moyenne, ce nombre est de 136).

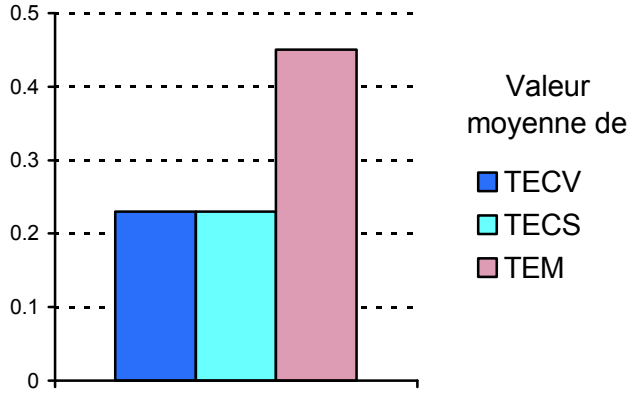


Figure 89 : Valeurs moyennes des taux d'écrans parcourus dans les pages des familles de REV.E.S..

Nous obtenons une vision très différente du travail des élèves en considérant, non plus la durée passée comme dans le chapitre précédent, mais le nombre d'écrans parcourus :

- seulement 23 % des écrans utilisés sont en moyenne l'objet d'un travail effectif portant sur des informations disciplinaires ; on peut donc dire que les élèves passent en moyenne 80 % de leur temps sur moins d'un quart des écrans parcourus ;
- 23 % des écrans utilisés sont des écrans « Contenus » survolés, soit pratiquement un quart d'entre eux. Il faut tout de même remarquer qu'un écran « survolé » n'est pas forcément un écran pour lequel la consultation n'a pas abouti faute d'intérêt pour le sujet ou pour la manière dont il est traité, ou encore en raison d'une erreur de navigation. Lorsque l'on utilise les liens réseau pour naviguer par exemple d'une page de type «Connaissances » à la page de type « Tests » associée, et que l'on utilise le même lien pour revenir en arrière, la page « Connaissances » est forcément survolée lors du deuxième passage. Lorsque l'on active un parcours thématique, il est possible de repasser par une page qui a déjà été consultée et donc naturel de la survoler.
- 45 % des écrans utilisés appartiennent en moyenne à la famille «Menu », ce qui traduit globalement une navigation arborescente significative (nous analyserons plus loin cet aspect des choses);

Les 9 % des écrans utilisés restants (soit 12 en valeur absolue) sont des écrans « Parcours thématiques » et/ou « Index alphabétique », ce qui traduit une faible utilisation globale de ce mode de navigation.

Les valeurs précédentes concernent l'ensemble des deux sessions. Si l'on examine les valeurs pour chacune des sessions, on constate qu'entre les deux sessions, le pourcentage moyen d'écrans survolés diminue de 9 %, le pourcentage moyen d'écrans de la famille « Menu » utilisés augmente de 11 %, les autres étant stables. Cela traduit à la fois une meilleure connaissance de l'architecture du produit, et une augmentation de la navigation arborescente.

L'analyse de la répartition des effectifs établie en fonction de la valeur obtenue aux différents taux par chaque élève montre une homogénéité des résultats :

- pour TECV dont la valeur moyenne est 23 % (écart-type 0.09): 91 % des élèves consultent de manière effective entre 10 et 40 % d'écrans utilisés ;
- pour TECS dont la valeur moyenne est 23 % (écart-type 0.09): 85 % des élèves survolent entre 10 et 40 % des écrans utilisés ;
- pour TECM dont la valeur moyenne est 45 % (écart-type 0.14) 82 % des élèves utilisent entre 30 et 60 % d'écrans de la famille « Menu » ;

Nous retiendrons donc qu'en moyenne, un quart des écrans utilisés a donné lieu à une consultation effective et que presque la moitié de ces écrans a servi à la navigation de type arborescent.

3.2.2. Analyse du pourcentage de pages vues dans REV.E.S. par chaque élève

Dans les conditions expérimentales utilisées, chaque élève a vu en moyenne 34 % des 68 pages de REV.E.S.. L'étude de la répartition de l'effectif suivant la valeur du pourcentage montre que les résultats sont homogènes: 89 % des élèves ont vu entre 20 et 50 % des pages, 50 % d'entre eux se situant entre 29 et 40 %, l'écart-type étant 0.09.

Le Tableau 7 page 170 donne les valeurs moyennes de ce pourcentage, établies sur deux populations d'élèves déterminées par la valeur de la variable Niveau. On peut constater que le comportement des deux classes d'élèves quant au pourcentage de pages vues est identique.

Type d'élèves	Pourcentage moyen
Niveau supérieur à la moyenne	0,35
Niveau inférieur à la moyenne	0,34
ENSEMBLE	0,34

Tableau 7: Valeurs moyennes du pourcentage de pages vues dans REV.E.S., établies sur deux populations déterminées par le niveau des élèves.

En résumé, on pourra retenir que les élèves ont vu au cours de leur travail une page sur trois environ et qu'il n'y a pas de différence de comportement, (en moyenne), sur le nombre de pages vues entre les élèves de niveau supérieur et de niveau inférieur à la moyenne.

3.2.3. Analyse des pages vues

Dans les conditions expérimentales proposées, chaque page a été vue en moyenne par 35 % des élèves. Cette moyenne cache des réalités différentes. En effet

– 83 % des élèves ont accédé à la page la plus consultée, 2 % seulement (soit un élève) à la page la moins consultée ;
– les quartiles sont situés à 19 %, 31 % et 48 %, ce qui traduit l'étalement des valeurs (l'écart-type est de 0.20);
– 21 % des pages ont été vues par plus de 50 % des élèves
– 32 % des pages ont été vues par moins de 20 % des élèves.

On pourra consulter le détail des résultats dans la partie III du document annexe, au chapitre 2. Nous donnons ci-après la liste des pages les plus consultées (le Tableau 8 page 171 donne la liste des 14 pages vues par plus de 50 % des élèves) et celle des pages les moins consultées (le Tableau 9 page 172 donne la liste des 22 pages consultées par moins de 20 % des élèves).

Liste des pages les plus consultées	Nombre d'élèves ayant réalisé la consultation (sur 54)	% de l'effectif ayant effectué la consultation
Loi des noeuds - test	45	83
I dans un circuit série	42	78
Amplificateur opérationnel - test	41	76
I dans un circuit série - test	39	72
Analyse d'un circuit	38	70
Association de R - test	38	70
Amplificateur opérationnel	35	65
Analyse d'un circuit - test	35	65
U dans un circuit - test	35	65
Résistances équivalente test	29	54
Loi d'Ohm	28	52
Utiliser un oscilloscope	28	52
Loi d'Ohm - test	27	50
Résistances en série	27	50

Tableau 8 : Pages les plus consultées par les élèves de l'échantillon (les pages de type « Tests » sont marquées en italique et décalées à droite).

On peut tout d'abord constater que plus de la moitié des pages les plus consultées sont des pages de type « Tests », les pages « Méthodes » et « Documents » étant absentes ou presque. On reviendra plus loin sur les types des pages consultées et l'on retrouvera cette tendance.

La plupart des pages les plus consultées peuvent être regroupées deux par deux suivant le domaine auxquelles elles appartiennent: on trouve deux pages sur l'intensité dans un circuit série, deux pages sur l'amplificateur opérationnel, trois pages sur l'association de résistances, deux pages sur la loi d'Ohm, deux pages sur l'analyse globale du fonctionnement d'un circuit, puis trois pages relatives à trois domaines différents, la loi des noeuds, la tension dans un circuit et l'oscilloscope.

On peut probablement établir un lien entre la consultation de ces pages et les difficultés vécues et identifiées par les élèves lors de la première série de tests, tous ces domaines étaient soumis à question dans cette série. Cette remarque vaut aussi pour les types de pages consultées, les questionnaires papier faisant explicitement référence à des connaissances ou des tests, et non à des méthodes ou des documents.

Pour ce qui concerne l'analyse globale du fonctionnement d'un circuit, c'est nous qui avons suggéré aux élèves de consulter ces pages, pensant que d'eux mêmes, ils n'iraient pas travailler sur un domaine aussi peu présent dans leur cours.

Liste des pages les moins consultées	Nombre d'élèves ayant réalisé la consultation (sur 54)	% de l'effectif ayant effectué la consultation
Générateur	11	20
Loi des tensions	11	20
Plasma	11	20
Volta	11	20
Appliquer la loi des tensions	10	19
Coulomb	10	19
Ordre de grandeur de R	10	19
Utiliser I = Q/t	10	19
Appliquer la loi des noeuds	9	17
Ohm	9	17
Utiliser un voltmètre - test	8	15
Courant électrique	7	13
Notion de tension	7	13
U dans un circuit	7	13
U valeur algébrique	7	13
Calcul de I dans circuit parallèle	6	11
Calcul de I dans circuit série	6	11
Ampère	5	9
Association de R	4	7
Potentiel électrique	2	4
Résistances variables	1	2
Tensions variables	1	2

Tableau 9 : Pages les moins consultées par les élèves de l'échantillon (les pages de type « Méthodes » ont été repérées en italique et décalées à droite). Nous rappelons qu'un élève représente 2 % de l'échantillon.

Si nous examinons maintenant les pages les moins consultées, on remarque qu'il n'y a aucune page de type « Tests », que de nombreuses pages « Documents » (8 sur 10) et « Méthodes » (6 sur 11) y figurent (ces dernières sont marquées en italique et décalées à droite dans le Tableau 9). Si cela peut paraître normal pour les documents, qui d'une certaine manière sont superflus pour les évaluations

faites en classe, il n'en est pas de même pour les méthodes qui sont des éléments que les élèves doivent maîtriser pour réussir. Ce comportement constitue peut-être le reflet d'un enseignement qui généralement ne formalise pas de manière aussi systématique les démarches utilisées.

Si on examine les domaines concernés, un tiers des pages les moins vues concernent la tension (pages « Loi des tension », « Appliquer la loi des tensions » « Notion de tension », « U dans un circuit », « U valeur algébrique », « Potentiel électrique » et « Tensions variables »). La maîtrise supposée d'un domaine prétendument familier ou à l'inverse l'aspect «difficile » de cette notion (qui empêche d'identifier ses manques) sont peut être parmi les raisons de cette désaffection, préjudiciable en tout cas au résultats obtenus dans les séries de tests comme nous pourrons le constater dans les chapitres suivants.

On peut donc remarquer que les pages les plus vues sont en relation avec les thèmes des questionnaires, que les pages de type « Tests » y sont les plus fréquentes, alors que les pages les moins vues par les élèves sont des pages consacrées aux méthodes et aux documents, ou des pages proposant des informations sur la tension.

3.2.4. Analyse des types de pages vues

Nous avons, en comptabilisant le nombre de pages vues par chaque élève, relevé le type de chacune d'entre elle. Cela nous a permis de définir, pour chacun des élèves, un taux de pages vues dans un type donné par rapport aux nombre total de pages de ce type (soit 22 pour le type Connaissances, 10 pour le type Documents, 11 pour le type Méthodes, 25 pour le type Tests).

TPVC représente le Taux de Pages Vues dans le type Connaissances, TPVD, TPVM et TPVT les Taux de Pages Vues dans les types Documents, Méthodes, et Tests.

Nous rappelons qu'un élève voit en moyenne 34 % des pages de REV.E.S. dans les conditions expérimentales utilisées (paragraphe 3.2.2 page 170). La Figure 90 page 174 traduit les valeurs moyennes des taux précédents, établies sur l'ensemble des élèves. On constate qu'en moyenne, un élève a vu

- 42 % des pages « Tests » à consulter, valeur supérieure à la moyenne d'ensemble de 34 % ;
- 37 % des pages « Connaissances » à consulter, soit un pourcentage du même ordre que la moyenne d'ensemble;
- 25 % des pages « Méthodes » et 17 % des pages « Documents », valeurs inférieures à la moyenne d'ensemble de 34 %.

En moyenne, les élèves privilégient donc le type «Tests », et le type « Connaissances» (aux dépends notamment du type «Méthodes »).

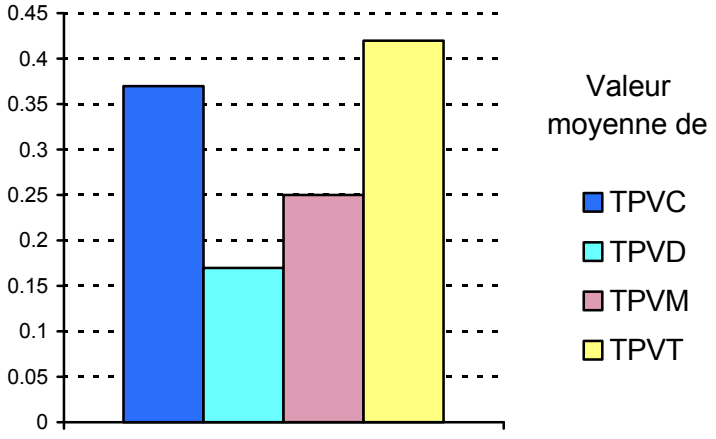


Figure 90 : Valeurs moyennes des taux propres à chaque type de page, TPVC, TPVD, TPVM et TPVT, établies sur l'ensemble des élèves.

L'analyse des valeurs individuelles des taux précédents montre une certaine dispersion de l'échantillon, qui empêche de réduire totalement le comportement de l'ensemble des élèves aux valeurs moyennes

- pour TPVC dont la valeur moyenne est de 37 % et l'écart-type 0.13, les valeurs extrémales sont de 0.09 et 0.68, les quartiles sont situés à 0.27 - 0.41 - 0.45 ;
- pour TPVD dont la valeur moyenne est de 17 % et l'écart-type 0.22, les valeurs extrémales sont de 0.00 et 0.80, les quartiles sont situés à 0.00 - 0.10 - 0.20 ;
- pour TPVM dont la valeur moyenne est de 25 % et l'écart-type 0.19, les valeurs extrémales sont de 0.00 et 0.90, les quartiles sont situés à 0.09 - 0.27 - 0.36 ;
- pour TPVM dont la valeur moyenne est de 42 % et l'écart-type 0.21, les valeurs extrémales sont de 0.00 et 0.92, les quartiles sont situés à 0.32 - 0.40 - 0.56.

En utilisant les valeurs moyennes établies sur deux populations d'élèves déterminées par la valeur de la variable Niveau (Tableau 10 page 175), on constate que les deux types d'élèves ont globalement un comportement sensiblement identique. Ils voient le même nombre de pages «Connaissances » et le même nombre de pages « Méthodes », et la différence constatée pour les pages « Documents » (8 %) et « Tests » (6 %) n'est pas significative (une page de différence environ dans chaque cas).

Type d'élèves	$\overline{TPVC}$	$\overline{TPVD}$	$\overline{TPVM}$	$\overline{TPVT}$
Niveau supérieur à la moyenne	0,38	0,12	0,24	0,46
Niveau inférieur à la moyenne	0,36	0,20	0,26	0,40
ENSEMBLE	0,37	0,17	0,25	0,42

Tableau 10 : Valeurs moyennes des taux TPVC, TPVD, TPVM, TPVT, établies sur deux population déterminées par la valeur de la variable Niveau.

Pour l'essentiel, on peut retenir que :

- en moyenne le type « Test » et le type « Connaissances » sont ceux qui en pourcentage ont été les plus vus, mais que les comportements des élèves à cet égard sont difficilement modélisables car très différents les uns des autres ;
- les comportements moyens des élèves dont le niveau est supérieur ou inférieur à la moyenne sont pratiquement identiques.

3.2.5. Analyse des 15 premiers écrans consultés lors de la première session de travail

Pour examiner le mode de prise en main du produit, nous avons analysé les 15 premiers écrans parcourus, qui représentent environ 10 % de l'ensemble de la consultation (136 écrans ont été utilisés en moyenne par chaque élève lors de l'ensemble de la consultation).

Le Tableau 11 page 175 montre qu'il n'y a pas de différence entre début et totalité de la consultation, pour ce qui concerne le pourcentage d'écrans « Contenu » vus ou parcourus : dans les deux cas, sur quatre écrans utilisés, pratiquement deux sont des écrans « Contenu », dont un a été vu.

Bilan en pourcentage	Début de la consultation	Totalité de la consultation
Nombre d'écrans « Contenu » vus / Nombre total d'écrans utilisés	0.22	0.23
Nombre d'écrans « Contenu » parcourus / Nombre total d'écrans utilisés	0.46	0.46

Tableau 11: Comparaison des pourcentages de consultation entre le début et l'ensemble du travail sur machine (valeurs calculées sur l'ensemble des élèves).

Le Tableau 12 page 176 récapitule les 10 pages les plus vues par l'ensemble des élèves lors des 15 premiers écrans utilisés :

- 5 d'entre elles figurent parmi les 10 pages les plus consultées sur l'ensemble de la consultation (Tableau 8 page 171) ;
- 9 d'entre elles figurent parmi les 20 pages les plus consultées sur l'ensemble de la consultation (voir le tableau en annexe, partie III, chapitre 2) ;

– 8 d'entre elles figurent parmi les 14 pages vues par plus des 50 % des élèves (Tableau 8 page 171).

On ne relève donc pas de différence fondamentale quant aux domaines de travail les plus pratiqués entre le début et l'ensemble de la consultation. Ceux-ci ayant été commentés page171, nous n'y reviendrons pas ici.

Liste des 10 premières pages vues lors des 15 premiers écrans utilisés	Nombre de consultations effectives
I dans un circuit série	15
Sens conventionnel	14
Définition de l'intensité	13
Loi des noeuds	12
I dans un circuit série - test	11
Loi d'Ohm	9
Loi des noeuds - test	9
U dans un circuit - test	8
Loi d'Ohm - test	7
Amplificateur opérationnel - test	6

Tableau 12 : Liste des 10 premières pages les plus vues lors des 15 premiers écrans utilisés.

Le Tableau 12 récapitule par type les écrans vus lors des 15 premiers écrans utilisés. Nous notons la prépondérance des écrans de type «Connaissances » sur tous les autres y compris les écrans de types «Test », majoritaires lorsque l'on considère l'ensemble de la consultation (voir l'analyse faite au paragraphe3.2.4 page 173). On peut penser que les élèves recherchent, en abordant le produit, des éléments connus comme le cours pour prendre la mesure du produit puis s'en détachent ensuite pour aller vers des éléments nouveaux comme les tests.

Type d'écran	Nombre d'écrans parcourus dans le type	Pourcentage du type sur l'ensemble des écrans « Contenu » vus
Connaissances	98	55
Documents	4	2
Méthodes	8	4
Test	69	39
Total	179	100

Tableau 13: Répartition des écrans « Contenus » vus dans les 15 premiers écrans utilisés, selon leur type.

En conclusion, on peut retenir qu'en dehors du type d'écran consulté, (majoritairement de type Connaissances »), il n'y a pas globalement de différence fondamentale entre le début et l'ensemble de la consultation quant aux informations consultées.

3.3. Analyse des modes d'accès à l'information

Nous analyserons qualitativement les modes d'accès à l'information d'abord sur la totalité de la consultation, puis sur les 15 premiers et 15 derniers écrans parcourus (soit environ 10 % du nombre moyen d'écrans consultés). En effet, nous avons pensé que la manière d'accéder aux 15 premiers écrans était significative d'une toute première prise en main. De même, nous avons estimé que les modes d'accès aux 15 derniers écrans étaient caractéristiques de la stratégie finale retenue pour la consultation. Nous terminerons en examinant globalement les stratégies utilisées par les élèves pour aboutir aux pages d'information.

3.3.1. Analyse des taux caractérisant le modes d'accès à l'information lors de la totalité de la consultation

Rappelons tout d'abord qu'en fonction de l'ensemble des liens que nous avons implantés dans REV.E.S., une page « Contenu » peut être atteinte suivant le cas par un lien de type hiérarchique (arborescent ou index), de type réseau, un lien linéaire au sein d'un parcours thématique, un lien « page précédente » ou établi à partir de la liste des pages déjà consultées.

Nous avons, pour chaque page « Contenu » parcourue par chaque élève, relevé et comptabilisé le type de lien activé pour y accéder. Cela nous a permis de définir pour chaque élève des taux d'accès pour chacun des modes établis : TAA, Taux d'Accès par Arborescence, TAR, Taux d'Accès Réseau, TAI et TAP, étant respectivement les Taux d'Accès par Index et Parcours thématique. Ces taux ont été établis par rapport au nombre d'écrans « Contenu » parcourus par chaque élève (en moyenne 63.5, dans les conditions expérimentales utilisées).

Nous n'évoquerons pas dans cette analyse les taux relatifs aux accès par l'icône « Page Précédente » et par l'intermédiaire de la liste des pages parcourues. Les valeurs correspondantes, très faibles comparativement à celles des autres taux, sont cependant mentionnées dans le document annexe (partie III chapitre 3), ces taux étant susceptibles d'être réutilisés dans une méthodologie semblable.

La Figure 91 fournit les valeurs moyennes des taux TAA, TAR, TAI et TAP, établies sur l'ensemble des élèves. On y constate la part prépondérante de l'accès arborescent (56 % des écrans « Contenu » sont atteints grâce à ce type de lien), la part moyenne des accès réseau et par parcours thématique (19 et 15 %) et la part très faible de l'accès à partir de l'index (6 % représentant environ 4 écrans).

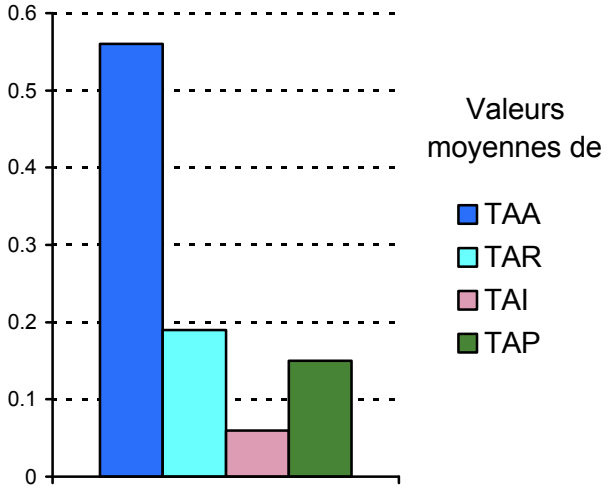


Figure 91: Valeurs moyennes des différentes taux caractérisant le mode d'accés à l'information (TAA, TAR, TAI, TAP).

Cependant, l'étude de la répartition de l'effectif selon la valeur de TAA, TAR ou TAP montre que le comportement des élèves n'est pas uniforme. On constate par exemple que :

- pour TAA dont la valeur moyenne est de 56 % et l'écart-type 0.24, les valeurs extrémales sont de 0.13 et 0.98, les quartiles sont situés à 0.31 - 0.60 - 0.70 ;
- pour TAR dont la valeur moyenne est de 19 % et l'écart-type 0.16, les valeurs extrémales sont de 0.00 et 0.60, les quartiles sont situés à 0.05 - 0.12 - 0.30 ;
- pour TAP dont la valeur moyenne est de 15 % et l'écart-type 0.16, les valeurs extrémales sont de 0.00 et 0.55, les quartiles sont situés à 0.00 - 0. 07 - 0.25.

Si les valeurs moyennes des taux caractérisant les mode d'accès représentent globalement la réalité, individuellement, les comportements sont donc sensiblement différents.

Le Tableau 14 page 179 présente les valeurs moyennes des taux TAA, TAR, TAI, TAP établies sur deux populations déterminées par la valeur de la variable Niveau. On y constate que le comportement des deux classes d'élèves est sensiblement identique.

On peut juste remarquer que les élèves dont le niveau est supérieur à la moyenne utilisent un peu plus l'accès à partir de l'index alphabétique (pour 10 % des écrans au lieu de 2 % pour leurs camarades), et un peu moins les parcours thématiques (10 % des écrans au lieu de 16 %). Cela traduit probablement une confiance plus grande qui leur permet de chercher à accéder par le plus court chemin à l'information (index alphabétique) en utilisant moins le guidage figé des parcours, mais les différences sont minimes, ramenées aux 63.5 écrans « Contenu » vus en moyenne par chaque élève.

Type d'élèves	$\overline{TAA}$	$\overline{TAR}$	$\overline{TAI}$	$\overline{TAP}$
supérieur à la moyenne	0.52	0.19	0.10	0.10
inférieur à la moyenne	0.56	0.19	0.02	0.16
ENSEMBLE	0.56	0.19	0.06	0.15

Tableau 14 : Valeurs moyennes des taux caractérisant les modes d'accès aux informations établies sur deux populations déterminées par le niveau des élèves.

A titre informatif, nous avons souhaité croiser le mode d'accès à l'information avec l'évolution des connaissances entre les deux séries de questionnaires auxquels les élèves ont été soumis. L'évolution des connaissances sera étudiée dans les deux chapitres suivants 4 et 5 et est représentée par la variable ΔTR. Nous utiliserons ici sans commentaires les résultats établis un peu plus loin dans cette partie, au paragraphe 5.1.4 page 232, concernant la valeur moyenne de cette variable calculée pour chaque élève sur l'ensemble des huit domaines étudiés.

Nous avons constitué trois classes d'élèves, en fonction des résultats obtenus pour $\overline{\Delta TR}$: ceux qui ont régressé (ou stagné) entre 0 et 13%, ceux qui ont progressé entre 1 et 15 %, ceux qui progressé entre 16 et 33 %. Nous avons calculé pour ces trois classes les valeurs moyennes des taux correspondants aux différents modes d'accès aux informations. Le Tableau 15 donne le résultat obtenu pour les deux classes extrémales (la première comportant 13 % de l'échantillon soit 7 élèves).

$\overline{\Delta TR}$	Fréquence	$\overline{TAA}$	$\overline{TAR}$	$\overline{TAP}$
de -0.13 à 0.00	13%	0.50	0.16	0.25
de 0.16 à 0.33	37%	0.57	0.23	0.12
ENSEMBLE	100%	0.56	0.19	0.15

Tableau 15 : Valeurs moyennes des taux TAA, TAR, TAP établies sur deux populations déterminées par la valeur moyenne de ΔTR.

On peut y constater que les élèves qui ont le plus progressé dans les huit domaines étudiés ont le plus fort taux d'accès arborescent et réseau, et le plus faible taux d'accès par parcours thématique linéaire, exactement à l'inverse de ceux qui ont régressé.

Une partie de l'explication réside sûrement dans le fait que la plupart des parcours thématiques ont été peu suivis de consultation effective, comme nous le soulignerons au paragraphe 3.3.3.4 page 183, et donc sont peu générateurs de progression dans les connaissances. Par ailleurs, ces parcours ne conduisent pas à des pages « Test », dont nous montrerons plus loin au paragraphe 5.3.5 page 242 l'importance pour l'évolution des connaissances. L'utilisation plus importante des accès arborescents et réseau (7 % dans chaque cas) traduit aussi probablement une meilleure aptitude à se représenter l'architecture du produit, qui a peut-être une influence sur les résultats. Cependant, ici encore les

différences sont peu importantes, ramenées aux 63.5 écrans consultés en moyenne par chaque élève.

On retiendra de ce chapitre :

- l'usage prépondérant, des liens arborescents, l'utilisation significative de liens réseau et des liens des parcours thématiques, l'utilisation tout à fait marginale des autres types de liens;
- le comportement sensiblement identique des élèves de niveau supérieur et inférieur à la moyenne, les premiers utilisant un peu plus l'index et un peu moins les parcours thématiques;
- la plus grande progression dans les huit domaines étudiés des élèves qui globalement ont le plus utilisé les accès arborescents et réseau et le moins utilisé les accès par parcours thématiques.

3.3.2. Comparaison des modes d'accès lors des 15 premiers et 15 derniers écrans parcourus

Nous avons relevé et comptabilisé, pour l'ensemble des élèves, les modes d'accès aux écrans « Contenu » lors des 15 premiers et 15 derniers écrans des sessions de travail. La Figure 92 illustre l'évolution des différents modes utilisés au début et à la fin du travail, en pourcentage du nombre d'écrans «Contenu» parcourus.

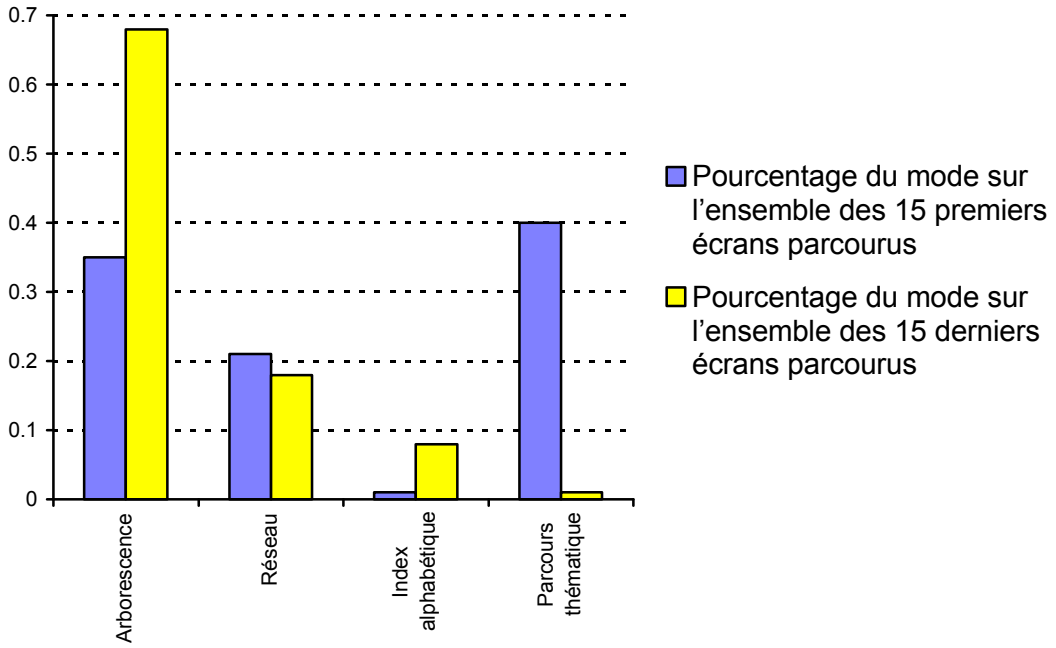


Figure 92 : Evolution des modes d'accès entre les 15 premiers et les 15 derniers écrans de la consultation en pourcentage du nombre d'écrans «Contenus» parcourus.

On peut distinguer les 3 modes utilisés de manière significative

- le mode arborescent qui a été nettement plus utilisé en fin de travail (progression de 35 à 68 %);

– le mode réseau qui a été utilisé de manière sensiblement identique au début et à la fin du travail (autour de 20 %) ;

– le mode « parcours thématiques » qui a été nettement moins utilisé en fin de parcours (baisse de 40 à 1 %).

Les stratégies de consultation ont donc évolué entre début et fin de consultation, avec un fort renforcement des accès arborescents qui deviennent le mode de navigation privilégiée et un effondrement des accès par les parcours thématiques en fin de parcours.

3.3.3. Analyse des stratégies utilisées pour accéder à l'information dans l'ensemble de la consultation

Après avoir remarqué au paragraphe précédant que le mode d'accès à l'information a évolué au cours du travail, il nous a paru intéressant d'affiner notre étude en analysant quelles stratégies globales de consultation se dégagent pour l'ensemble de la consultation.

Pour ce faire, nous avons généralisé à chaque fois sur la stratégie la plus largement majoritaire utilisée pour l'accès à un certain nombre d'écrans. Par exemple, lorsque nous précisons que des élèves ont utilisé à un certain moment une navigation arborescente, cela n'exclut pas totalement l'utilisation d'un autre mode d'accès mais celui-ci est alors largement minoritaire.

Nous présenterons d'abord la répartition des élèves suivant le nombre et le type des stratégies utilisées, puis nous en ferons une analyse globale. Pour décrire ces stratégies, les abréviations utilisées sont les mêmes que précédemment: A = Arborescence, R = Réseau, P = Parcours thématique, I = Index alphabétique des pages.

3.3.3.1. Utilisation d'une stratégie unique

La moitié des élèves utilisent une stratégie unique du début à la fin de la consultation (Tableau 16 page 182) :

– navigation arborescente : les pages « Contenu » sont atteintes uniquement par des liens arborescents à partir des pages proposant un sommaire (navigation de type A, pour 15 % des élèves, soit 8 individus) ;
– navigation en réseau : les pages contenu sont atteintes par un lien arborescent pour la première, par des liens réseau pour les 3 ou 4 suivantes (navigation de type ARRR ou ARRRR, pour 4 % des élèves, soit 2 individus) ;
– navigation combinant régulièrement des liens arborescents et réseau: à une, deux ou trois pages atteintes de manière arborescente à partir des sommaires divers succèdent une ou deux pages atteintes par un lien réseau (navigation de type AAAR(R), AAR(R), AR(R) pour 31 % des élèves).

Stratégies	Fréquence
Utilisation de liens arborescents (Navigation de type A)	15%
Utilisation de liens réseau (Navigation de type ARRR ou ARRRR)	4% 2 élèves
Combinaison de liens arborescents et de liens réseau (Navigation de type AAAR(R), AAR(R), AR(R))	31%
TOTAL	50 %

Tableau 16 : Liste des stratégies utilisées de manière unique par 50 % des élèves lors de la consultation de REV.E.S..

3.3.3.2.Utilisation de deux stratégies successives

Un tiers des élèves utilise deux stratégies au cours de la consultation (Tableau 17 page 182), la première étant généralement une stratégie d'exploration (22 % des élèves), la deuxième étant une des stratégies déjà évoquées au paragraphe précédent ou une des deux stratégies suivantes:

- navigation à partir des parcours thématiques: deux, trois, quatre, cinq pages sont atteintes successivement dans un ordre prédéfini à partir du choix d'un parcours dans la page « Parcours thématiques » (navigation de type P) ;
- navigation à partir de l'index alphabétique: chaque page « Contenu » est atteinte à partir de la page « Index alphabétique », à laquelle on retourne après consultation, pour en consulter une nouvelle (navigation de type I)

Stratégies	Fréquence
1. Exploration de divers modes (P, A, R) 2. Utilisation de liens arborescents (Navigation de type A)	9% 5 élèves
1. Exploration de divers modes (P, A, R) 2. Utilisation de liens réseau (Navigation de type ARRR ou ARRRR)	2% 1 élève
1. Exploration de divers modes (P, A, R) 2. Utilisation de l'index alphabétique des pages (Navigation de type I)	4% 2 élèves
1. Exploration de divers modes (P, A, R) 2. Combinaison de liens arborescents et réseau (Navigation de type AAAR(R), AAR(R), AR(R))	7% 4 élèves
1. Utilisation des liens des parcours thématiques (Navigation de type P) 2. Utilisation de liens arborescents (Navigation de type A)	11% 6 élèves
TOTAL	33 %

Tableau 17 : Liste des deux stratégies utilisées de manière successive par 33 % des élèves lors de la consultation de REV.E.S..

3.3.3.3.Utilisation de trois stratégies successives

17 % des élèves utilisent successivement trois stratégies de navigation dans REV.E.S., 8 % d'entre eux réalisant à un moment une exploration des différentes possibilités offertes. Les stratégies utilisées ont déjà été décrites dans les deux paragraphes précédents.

Stratégies	Fréquence
1. Exploration de divers modes (P, A, R) 2. Utilisation des liens des parcours thématiques (Navigation de type P) 3. Utilisation de liens arborescents (Navigation de type A)	4% 2 élèves
1. Utilisation des liens des parcours thématiques (Navigation de type P) 2. Exploration de divers modes (P, A, R) 3. Utilisation de liens arborescents (Navigation de type A)	4% 2 élèves
1. Combinaison de liens arborescents et réseau (Navigation de type AAR(R), AR(R)) 2. Utilisation de liens arborescents (Navigation de type A) 3. Utilisation de l'index alphabétique des pages (Navigation de type I)	5% 3 élèves
1. Utilisation des liens des parcours thématiques(Navigation de type P) 2. Utilisation de l'index alphabétique des pages (Navigation de type I) 3. Utilisation de liens arborescents (Navigation de type A)	4% 2 élèves
Total	17%

Tableau 18 : Liste des trois stratégies utilisées de manière successive par 17 % des élèves lors de la consultation de REV.E.S..

3.3.3.4.Analyse d'ensemble

Plusieurs éléments peuvent être remarqués:

- 50 % des élèves ont pris rapidement leurs marques et trouvé un mode de travail adapté à leurs préférences, ce qui constitue un taux important;
- 26 % des élèves ont réalisé une exploration préalable des différents modes, ce qui a permis à 22 % d'entre eux de trouver rapidement un mode adapté ; ce sont donc en tout 72 % des élèves qui ont trouvé rapidement leurs marques de manière satisfaisante dans la navigation du produit.
- 19 % des élèves ont choisi de commencer par le mode «Parcours », 4 % (2 élèves) l'ayant utilisé en second dans le travail. Tous soit 23 %. l'ont abandonné ensuite. L'abandon pourrait paraître normal puisque ce mode permet d'atteindre une petite partie seulement des pages de REV.E.S. et non la totalité mais la plupart des pages atteintes par ce mode ont été uniquement survolées. On peut donc dire que ce mode a suscité chez

certains élèves un espoir en partie déçu, puisque les consultations n'ont pas abouti à un travail concret.

- Sur les 50 % qui ont adopté plusieurs stratégies, 32 % ont terminé sur une stratégie arborescente, 9 % sur de liens de type index, 2 % (1 élève) sur des liens spécifiquement réseau et 7 % (4 élèves) sur une combinaison de liens « réseau » et arborescents.
- En examinant l'ensemble des parcours, nous avons constaté une seule perte de contrôle dans la navigation due à une utilisation importante des liens de type « Page précédente ».
- Si on admet que les stratégies finales sont celles qui ont été préférées par les élèves, on pourra retenir, comme stratégie préférentielle de navigation dans REV.E.S. :
  - une navigation arborescente pour 47 % des élèves ;
  - une navigation réseau pour 6 % des élèves (3 individus) ;
  - une navigation combinant les liens arborescents et réseau pour 38 % des élèves ;
  - une navigation de type index alphabétique pour 9 % des élèves (5 individus).

De cette analyse, plusieurs éléments sont à souligner

- une prise en main rapide du produit,
- l'utilisation préférentielle de deux structures de navigation (arborescence et combinaison arborescence - réseau),
- l'intérêt d'offrir plusieurs structures aux usagers qui peuvent ainsi faire un choix approprié à leurs souhaits,
- l'absence de perte de contrôle au cours de la navigation,
- un problème avec la structure « Parcours thématiques » qui n'a pas donné satisfaction aux élèves.

4. Analyse des réponses aux questionnaires

Les éléments de ce chapitre reposent sur le travail réalisé par les élèves dans les deux séries de tests « papier » proposés avant et après l'utilisation de REV.E.S.. Les questionnaires correspondants sont fournis dans leur intégralité dans la partie II du document annexe, aux chapitres 1 et 2. Ces deux séries comportant des questions quasiment similaires, même si elles sont relatives à des situations légèrement différentes (circuits orientés différemment, comportant des dipôles différents), nous avons choisi de n'évoquer dans ce chapitre, pour chacun des thèmes, que les situations proposées dans la deuxième série, pour éviter toute redondance inutile.

Nous présenterons tour à tour les informations relatives à chacun des huit domaines étudiés : « Propriété de l'intensité dans un circuit série », « Valeurs particulières de la tension », « Lecture de schémas », « Analyse globale du fonctionnement d'un circuit», « Nature du courant », « Lois de l'électrocinétique », « Tensions variables », « Amplificateur opérationnel».

Pour chacun de ces domaines, après description des situations de travail et des résultats bruts dont nous ferons, s'il y a lieu, une analyse didactique, nous préciserons les valeurs prises par les différentes variables TRAV, TRAP, ΔTR et TPV[10], ainsi que la répartition de l'effectif des élèves en fonction de ces valeurs. Tous les tableaux numériques servant de base à cet exposé sont rapportés dans la partie IV du document annexe.

Celle-ci contient aussi les résultats des croisements entre les variables utilisées que nous ne commentons pas dans ce chapitre. En effet, il nous a semblé préférable de les présenter globalement sur l'ensemble des huit domaines, au chapitre 5 dans cette partie, pour avoir une vue d'ensemble nous permettant de travailler sur les pistes d'expérimentation.

4.1. Propriété de l'intensité dans un circuit série

Trois situations qui ont été proposées dans le questionnaire concernent directement la propriété de l'intensité dans un circuit série, la quatrième situation concernant la non-accumulation d'électrons dans le circuit. Chacun des ces deux types de situation est accompagné de la représentation graphique des résultats aux questions posées et de leur commentaire.

[10] TPV est une variable liée à l'activité menée dans REV.E.S. et non pas au travail sur les questionnaires. Mais comme nous avons présenté pour chacun des domaines l'ensemble des autres variables, il nous a paru à la fois judicieux et pratique d'y joindre celle de TPV.

4.1.1. Questions, résultats bruts et première analyse

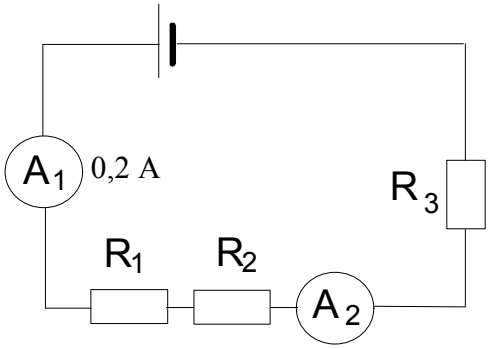
Dans le schéma ci-contre, on a $R_1 > R_2 > R_3$, De plus A_1 indique 0.2 A.

Selon vous, le fait que l'ampèremètre A_2 indique une valeur de 0.1 A :

est possible ❑
est impossible ❑
je ne sais pas ❑

Justifiez la réponse.

[A_2 ne peut indiquer 0.1A : l'intensité est identique en tout point d'un circuit série]

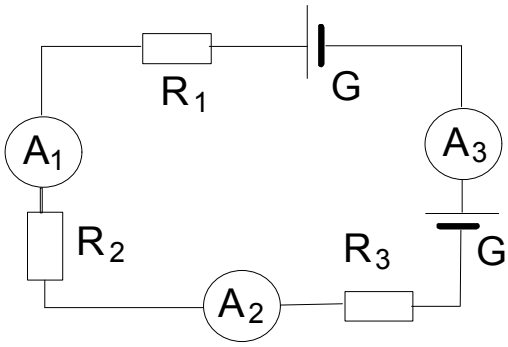


Situation 1 : Première question sur le caractère identique de l'intensité en tout point d'un circuit série.

Dans le circuit ci-contre, les résistances sont telles que $R_1 > R_2 > R_3$ et les générateurs sont identiques. L'ampèremètre A_3 indique 0.3 A.

On demande à un élève d'évaluer l'ordre de grandeur de l'intensité indiquée par les autres ampèremètres ; il propose environ 0.2 A pour A_1 et environ 0.1 A pour A_2. Commentez cette réponse.

[A_1 et A_2 indiquent 0.3 A : l'intensité est identique en tout point d'un circuit série]

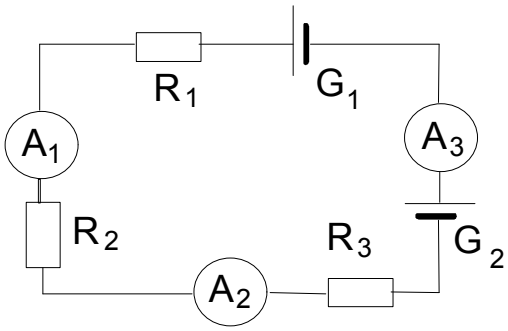


Situation 2 : Deuxième question sur le caractère identique de l'intensité en tout point d'un circuit série.

Dans le circuit ci-contre, les résistances sont telles que $R_1 > R_2 > R_3$ et les générateurs sont différents. L'ampèremètre A3 indique 0.2 A.

Indiquez selon vous, la valeur (supérieure, égale ou inférieure à 0.2 A) mesurée par chacun des autres ampèremètres. Justifier.

[A_1 et A_2 indiquent 0.2 A: l'intensité est identique en tout point d'un circuit série]



Situation 3 : Troisième question sur le caractère identique de l'intensité en tout point d'un circuit série.

Le taux d'échec aux questions de la Situation 1 à la Situation 3 est important, notamment lors de la première série de tests, ce qui peut surprendre. En effet, le nombre moyen de réponses exactes par élève sur la première série de tests, établi sur l'ensemble de l'effectif, est seulement de 0.64 (sur 3) : 60 % des élèves n'ont aucune réponse exacte, 26 % en ont une seule. Les résultats sont meilleurs dans la deuxième série de tests dans lequel le nombre moyen de réponses exactes est de 1.94 (sur 3). Mais encore un tiers des élèves ne donne qu'une réponse exacte ou aucune réponse.

Nous avons analysé les justifications proposées et remarqué que deux types de problèmes apparaissaient de façon majoritaire, liées au représentations des élèves :

– le modèle circulatoire avec consommation de courant est encore fortement présent dans de nombreuses explications des élèves. Sur la Figure 93 page 187, on constate sur les trois questions posées, qu'en moyenne un tiers des élèves utilise ce modèle avant passage sur machine, cette proportion chutant à 15 % après le travail sur machine. Dans la situation 1 par exemple, il est arrivé à plusieurs reprises de trouver une réponse du type «l'intensité est partout la même dans un circuit série, mais là, la résistance retient le courant et la valeur mesurée par le deuxième ampèremètre est donc plus faible que celle mesurée par le premier ampèremètre ». Des réponses proposées dans d'autres situations des tests permettent, comme dans celle-ci, d'affirmer que la formulation « l'intensité est identique en tout point d'un circuit série » est connue des élèves. Mais son application à une situation particulière moins classique est difficile et remet en question cet acquis établi dans une situation simple.

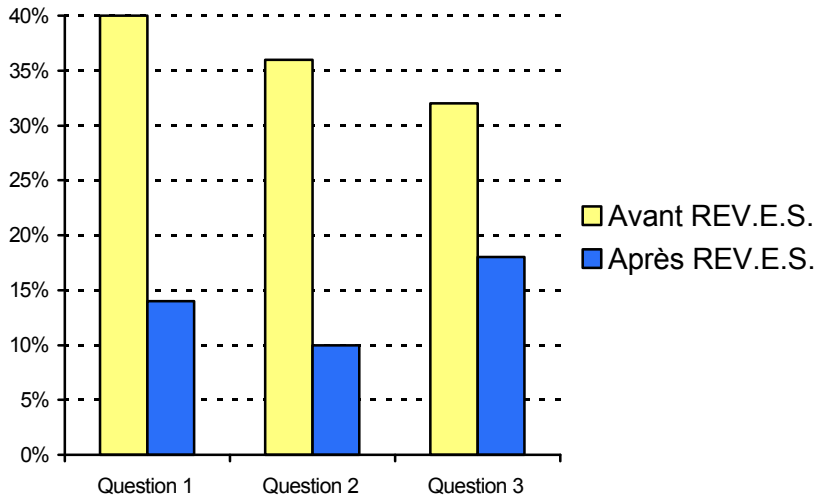


Figure 93 : Pourcentage de l'effectif total utilisant le modèle circulatoire avec consommation du courant pour répondre aux questions sur la propriété de l'intensité dans un circuit série.

– la présence de deux générateurs dans le circuit est un facteur qui induit de nombreuses réponses erronées, surtout pour les valeurs de l'intensité entre les deux générateurs, et notamment si ceux-ci sont différents. Pour certains élèves, l'intensité est conçue comme étant «régénérée » (plus importante) entre les générateurs ; cette tendance est plus forte lorsque les générateurs sont différents (voir la Figure 94 page 188, dans laquelle on constate que 56 % des élèves sont dans ce cas dans la première série de tests et 26 % dans la deuxième, alors que les mêmes pourcentages quand les générateurs sont identiques sont seulement de 30 % et 18 %). Certains élèves (10 % environ, soit 6 individus) écrivent que l'intensité entre les générateurs est égale à la somme des intensités indiquées par les ampèremètres du circuit en dehors de la

portion contenant les deux générateurs. Peut-être s'agit-il d'une confusion avec la tension aux bornes des deux générateurs, égale dans un circuit série à la somme des tensions aux bornes des composants du circuit.

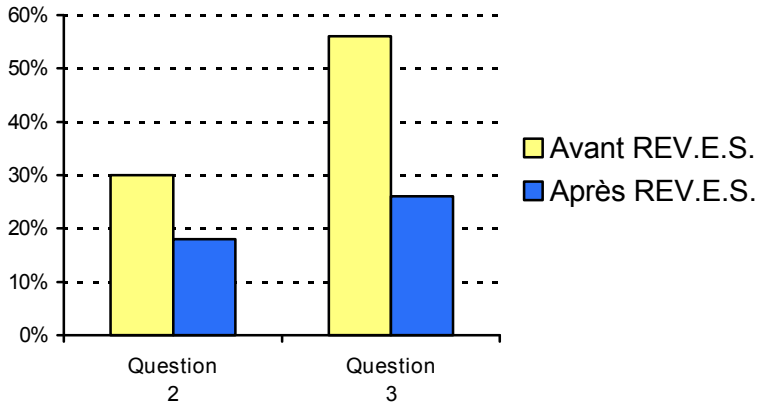


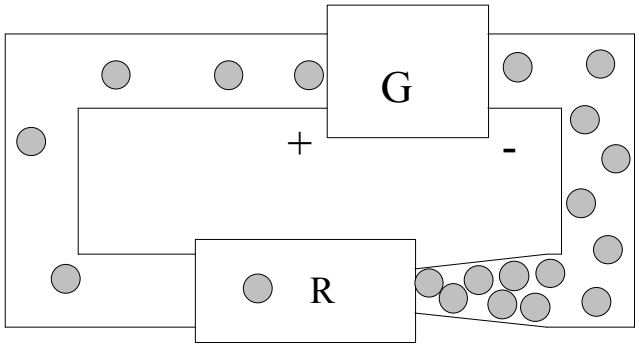
Figure 94 : Pourcentage de l'effectif total pour lequel l'existence de 2 générateurs dans le circuit pose problème pour répondre aux questions sur la propriété de l'intensité dans un circuit série.

Toujours est-il que, pour les élèves de notre échantillon et dans ce domaine, les réinvestissements de connaissances établies dans une situation classique et simple s'opèrent mal vers des situations à peine plus complexes.

Une animation se propose de montrer la circulation des électrons dans un circuit élémentaire dont un des conducteurs présente un rétrécissement. On fige à un instant donné l'animation et on obtient le dessin ci-contre, dans lequel les cercles représentent les électrons.

Quels commentaires vous inspire-t-il ?

[L'intensité étant identique en tout point d'un circuit série, il ne peut y avoir accumulation de charges en un point de ce circuit. L'animation proposée est incorrecte]



Situation 4 : Question sur la non-accumulation d'électrons dans un circuit série.

La Situation 4 concerne la non-accumulation des électrons dans un circuit série. 100 % des élèves au cours de la première série de tests ont répondu de manière erronée à cette question, et 92 % à la deuxième série. En examinant les justifications fournies dans chacune des deux séries, on constate sur laFigure 95 que :

– des élèves (34 %) se contentent d'un simple descriptif du circuit et ne s'étonnent en rien de l'accumulation proposée ;

– des élèves (45 % environ) fournissent une explication à l'accumulation présentée dans le schéma, soit en argumentant sur le rétrécissement du circuit,

soit sur la présence d'une résistance, l'un ou l'autre empêchant les électrons de s'écouler régulièrement dans le circuit ;

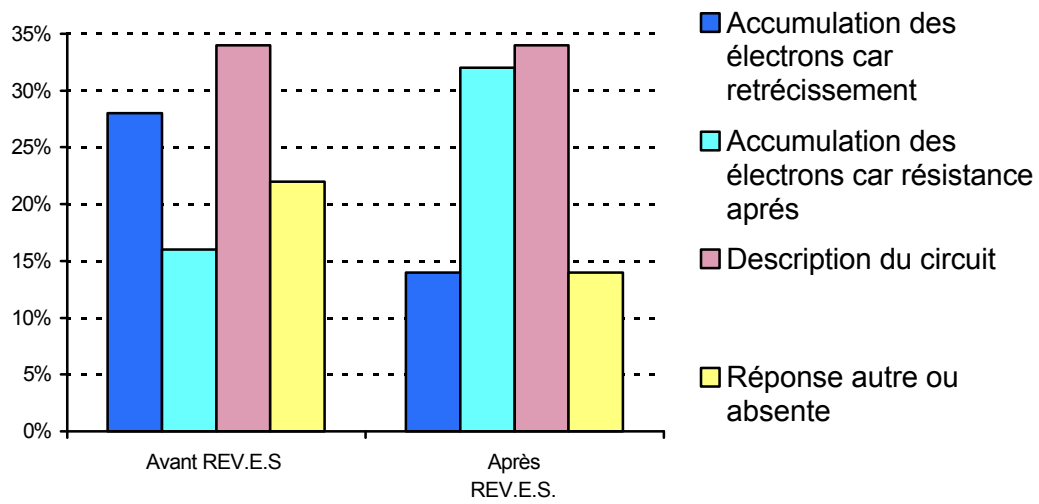


Figure 95 : Répartition de l'effectif suivant le type de réponse fournie à la question sur la non-accumulation d'électrons dans un circuit série (les 8 % d'élèves - 4 élèves - fournissant une réponse exacte après utilisation de REV.E.S. ne figurent pas dans le graphique).

Le fort taux d'échec à cette question peut probablement s'expliquer au moins par trois facteurs :

- les élèves n'ont pas de représentation physique très nette de la circulation du courant dans un circuit, ce que montrent les résultats de la partie sur la nature du courant (voir le paragraphe 4.5 page 211). Ils acceptent facilement celle qui leur est proposée dans le test en considérant qu'elle est correcte.
- Les élèves raisonnent essentiellement de manière locale lorsqu'ils analysent un circuit (voir le chapitre 4.4 page 204). Aussi centrent-ils leur analyse sur un seul point du circuit (résistance ou rétrécissement) sans prendre en compte la globalité du phénomène.
- Cette question implique de faire un lien entre la réalité physique (circulation de charges électriques dans un circuit, et plus particulièrement leur «débit») et la notion qui la représente (intensité).

On peut remarquer aussi au travers de ces résultats que, ni l'animation, ni l'analogie du train électrique proposées dans REV.E.S. n'ont eu beaucoup d'influence sur le résultat de cette question pour les élèves qui les ont vues. Dans les deux cas il est vrai, le circuit utilisé ne présentait aucun rétrécissement.

En conclusion, on peut dire que, même si les résultats se sont largement améliorés lors de la deuxième série de tests, le fait que l'intensité soit identique en tout point d'un circuit série n'est pas évident pour notre échantillon. Les difficultés apparaissent tant au niveau opératoire pour son utilisation dans un circuit que dans la représentation physique du phénomène. Il semble aussi que le modèle avec consommation du courant soit fortement utilisé dés que les élèves

sont en présence d'une situation un peu plus originale que celle qui a servi en cours.

4.1.2. Valeurs des variables et répartition des effectifs

Nous avons regroupé les résultats relatifs à ces 4 situations pour calculer pour chaque élève le Taux de Réponses exactes AVant passage sur machine (TRAV) et APrès (TRAP), puis en déduire ΔTR = TRAP- TRAV.

TRAV varie de 0.00 à 0.75. Sa valeur moyenne pour le domaine, établie sur l'ensemble des élèves est de 0.16 (écart-type 0.22). 58 % de l'effectif est tel que TRAV = 0.

TRAP varie de 0.00 à 1.00. Sa valeur moyenne pour le domaine, établie sur l'ensemble des élèves est de 0.50 (écart-type 0.29). 65 % de l'effectif est tel que TRAP = 0.50 ou TRAP = 0.75

Les valeurs moyennes de TRAV et TRAP traduisent une progression de l'effectif, ce que confirme l'étude de ΔTR (Figure 96 page 190).

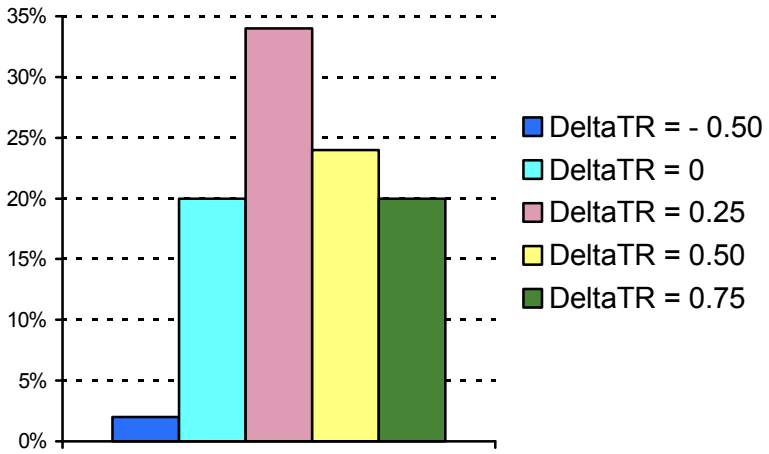


Figure 96 : Répartition de l'effectif selon la valeur de la variation du taux de réponses exactes entre les deux séries de tests.

- 78 % des élèves ont progressé (ΔTR > 0) ;
- 20 % des élèves n'ont ni progressé, ni régressé (ΔTR = 0) ;
- 2 % des élèves - soit un individu - ont régressé (ΔTR < 0) ;
- un tiers de l'effectif a progressé de 0.25. La valeur moyenne de ΔTR est de 0.34, la dispersion étant importante (valeurs extrêmes -0.50 et +0.75, écart-type 0.28).

Nous avons aussi relevé et comptabilisé les pages en relation avec ce domaine qui ont été vues dans REV.E.S. par chaque élève, pour calculer le taux de pages vues (TPV). En analysant ce taux, on constate que 62 % des élèves ont vu plus de la

moitié des pages de ce domaine qui en comporte 3, le taux moyen pour l'ensemble des élèves se situant à 0.52.

4.2. Valeurs particulières de la tension dans un circuit

Les situations mises en jeu dans le domaine des «valeurs particulières de la tension dans un circuit» concernent la tension aux bornes de deux dipôles en parallèle, la tension aux bornes d'un interrupteur ouvert dans un circuit alimenté, la tension aux bornes d'un dipôle dans un circuit ouvert, la tension aux bornes d'un dipôle dans un circuit série et enfin la tension dans un circuit comprenant un court-circuit. Chaque situation est accompagnée de la présentation des résultats aux questions posées et de leur analyse.

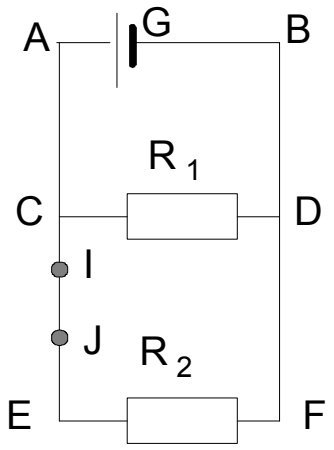
4.2.1. Questions, résultats bruts et première analyse

4.2.1.1. Tension aux bornes de dipôles en parallèle

Le circuit ci-contre comporte un générateur G, un interrupteur fermé IJ, et deux résistances telles que $R_1 > R_2$. Une mesure de tension montre que $U_{AB} = 6$ V.

On compare les tensions U_{CD} et U_{EF}. Indiquez ci-dessous le résultat que vous prévoyez et justifiez le.

[$U_{CD} = U_{EF}$, les deux dipôles étant en parallèle]



Situation 5 : Question sur la tension aux bornes de deux dipôles en parallèle.

Il y a un fort taux d'échec à la question de la Situation 5 apparemment anodine (70 % de réponses fausses lors de la première série de tests et 40 % lors de la seconde). En analysant les justifications proposées, nous avons constaté que deux raisonnements induisent les erreurs majoritaires :

- l'intensité est considérée identique dans les deux branches du circuit dérivé, sans qu'il soit réellement possible de dire pourquoi. $R_1 > R_2$ entraîne $R_1I > R_2I$, et en conséquence $U_{CD} > U_{EF}$.
- une probable confusion entre le courant et la tension amène les élèves à affirmer que plus la résistance est importante, plus elle «retient» ou « réduit » la tension. En conséquence $R_1 > R_2$ implique $U_{CD} < U_{EF}$.

On constate sur la Figure 97 page 192 que plus du tiers des élèves de ces deux classes utilise l'un de ces raisonnements après passage sur machine (contre la moitié avant). Le fait que la tension soit identique aux bornes de deux résistances en dérivation est pourtant connu par les élèves au moins au

niveau de la formulation. Il ne semble cependant pas suffisamment intégré pour que ceux-ci puissent dépasser la difficulté introduite par l'usage de deux résistances différentes ($R_1 > R_2$) dans le circuit.

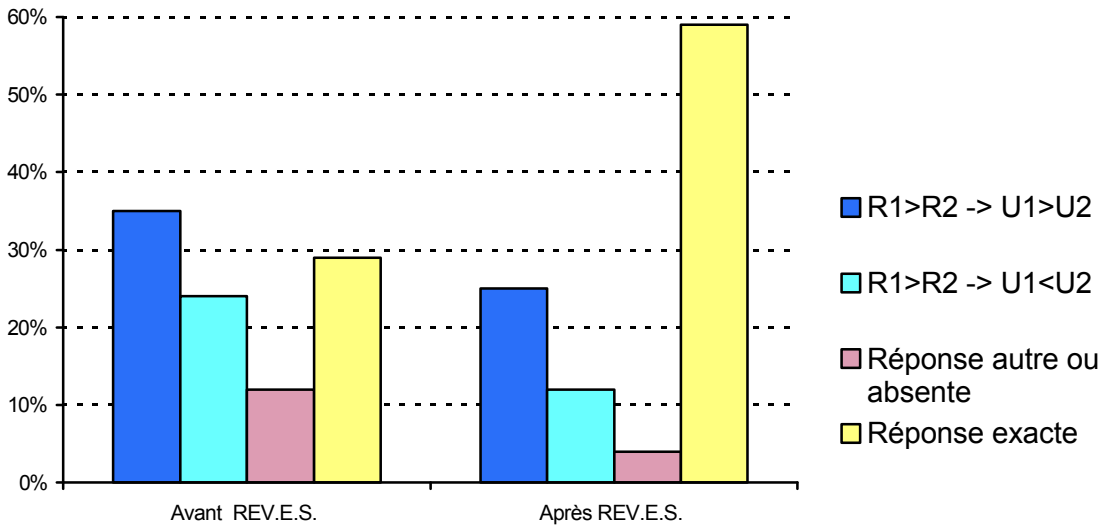


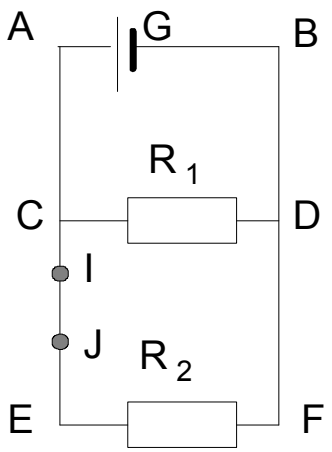
Figure 97 : Répartition de l'effectif en fonction des différentes justifications proposées sur la tension aux bornes de deux dipôles en parallèle, avant et après l'utilisation de REV.E.S..

4.2.1.2.Tension aux bornes d'un interrupteur ouvert

Le circuit ci-contre comporte un générateur G, un interrupteur fermé IJ, et deux résistances telles que $R_1 > R_2$. Une mesure de tension montre que $U_{AB} = 6$ V.

On ouvre l'interrupteur IJ ; quelle est alors selon vous la valeur de la tension U_{IJ} ? Justifiez votre réponse.

[Aucun courant ne circule dans la portion de circuit : on retrouve aux bornes de l'interrupteur la tension mesurée aux bornes du générateur]



Situation 6 : Question sur la tension aux bornes d'un interrupteur ouvert.

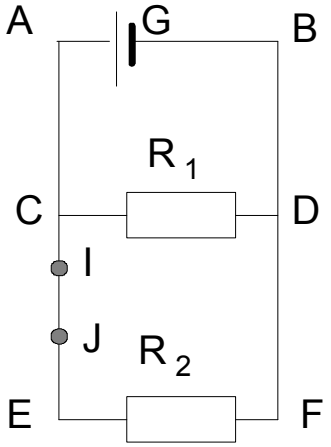
Il semble y avoir là une difficulté importante (65 et 80 % de réponses erronées avant et après REV.E.S. lors de la Situation 6) pour les élèves de l'échantillon, qui pensent majoritairement (pour 60 % environ d'entre eux) que l'absence de courant implique l'absence de tension. Peu d'élèves ont d'ailleurs consulté cette partie de REV.E.S. (voir l'analyse de TPV à la fin du chapitre), ce qui semble montrer qu'ils n'ont pas pris conscience de leurs difficultés sur ce point. Il paraît donc important de ne pas le négliger en classe de seconde.

4.2.1.3.Tension aux bornes d'un dipôle dans un circuit ouvert

Le circuit ci-contre comporte un générateur G, un interrupteur fermé IJ, et deux résistances telles que $R_1 > R_2$. Une mesure de tension montre que $U_{AB} = 6$ V.

On ouvre l'interrupteur IJ. Quelle est alors selon vous la valeur de la tension U_{EF} ? Justifiez votre réponse.

[$U_{EF} = 0$: le circuit étant ouvert, il ne circule aucun courant et la tension est nulle aux bornes d'un dipôle]



Situation 7 : Question sur la tension aux bornes d'un dipôle dans un circuit ouvert.

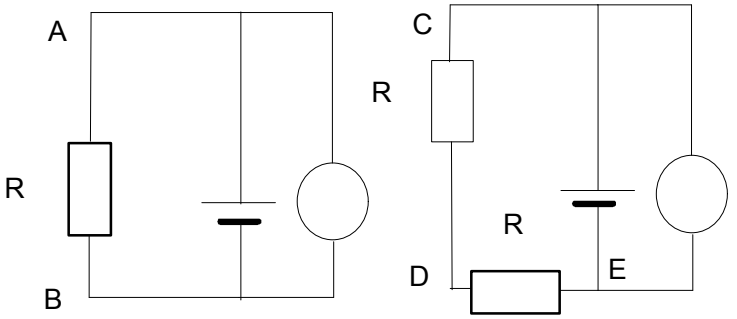
L'analyse des réponses à la question de la Situation 7 (80 % de réponses justes avant et après utilisation de REV.E.S.) indique que cette situation ne semble pas poser de problèmes à la majorité des élèves. Nous n'y apporterons donc aucun commentaire particulier.

4.2.1.4.Tension aux bornes d'un dipôle dans un circuit série

Dans les circuits ci-contre, les résistances R_1, R_2 et R_3 sont identiques, les voltmètres indiquent tous 6 V. Choisissez parmi les propositions ci-dessous celle qui vous paraît appropriée et justifiez votre choix.

$U_{AB} > U_{CD}$; $U_{AB} = U_{CD}$; $U_{AB} < U_{CD}$

[$U_{AB} > U_{CD}$: les résistances étant identiques, $U_{CD} = U_{AB} / 2$]



Situation 8 : Question sur la tension aux bornes d'un dipôle dans un circuit série.

La question de la Situation 8, qui pouvait apparaître simple, provoque une forte proportion de résultats erronés (55 % lors du premier questionnaire et 57 % lors du second). Les justifications fournies par les élèves à leur réponse sont de quatre types (voir la répartition Figure 98 page 194) :

– « les résistances étant identiques et dans la même position sur le circuit, la tension à leurs bornes est identique ». Cette justification peut être interprétée, sans certitude, au travers d'une confusion intensité-tension associée à un raisonnement séquentiel : la tension (= courant) en sortant du générateur arrive sur la même résistance dans les deux circuits, et sa valeur sera donc la même ;

– « la tension étant la même dans un circuit série, la tension est la même aux bornes des deux lampes ». On peut penser que ce type de réponse est induit par une confusion avec la formulation «l'intensité est la même en tout point d'un circuit série» ;

– « les deux résistances R_1 et R_2 sont en parallèle, et en conséquence la tension à leurs bornes est identique ». Il est clair que cette réponse est induite par une erreur de lecture du schéma ; elle disparaît d'ailleurs dans la deuxième série de tests;

– « l'intensité est constante dans un circuit série, et en conséquence elle est identique dans les deux circuits, qui sont tous deux des circuits série. Les résistances étant identiques, la loi d'Ohm permet d'en déduire que la tension aux bornes des deux résistances est identique ». Cette vision pour le moins extensive de la propriété de l'intensité dans un circuit série a été rencontrée à plusieurs reprises au cours de ces tests;

L'augmentation forte dans la deuxième série de l'effectif de la classe « Réponses autres ou absentes » (Figure 98) est surtout due à l'absence de justification.

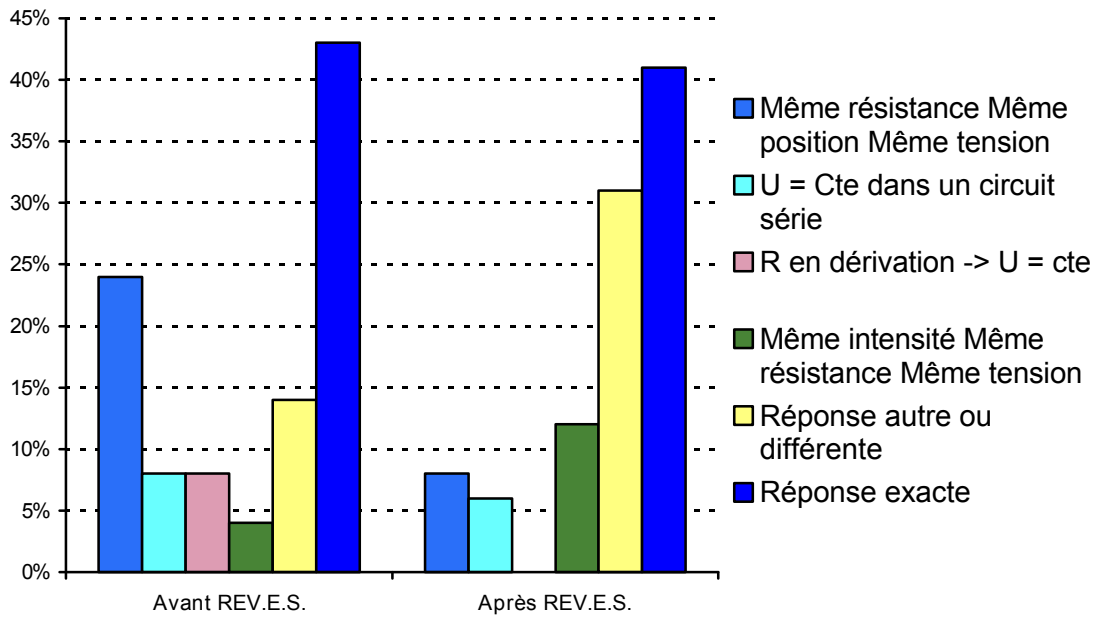


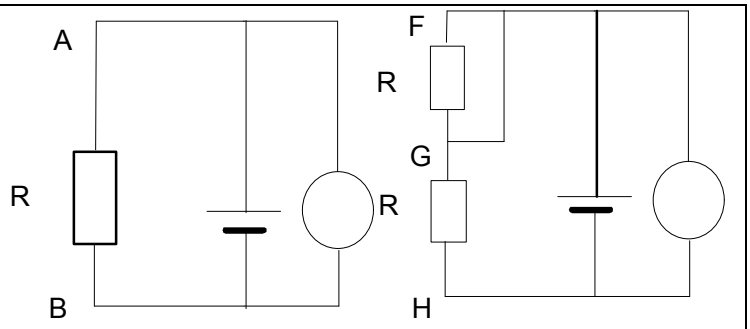
Figure 98 : Répartition de l'effectif suivant la justification fournie à la question sur la tension aux bornes d'un dipôle dans un circuit série.

4.2.1.5.Tension dans un circuit série contenant un court-circuit

Dans les circuits ci-contre, les résistances R_1, R_4 et R_5 sont identiques, les voltmètres indiquent tous 6 V. Choisissez parmi les propositions ci-dessous celle qui vous paraît appropriée et justifiez votre choix.

$U_{AB} > U_{GH}$; $U_{AB} = U_{GH}$; $U_{AB} < U_{GH}$

[$U_{AB} = U_{GH}$ parce que $U_{FG} = 0$, FG étant en court-circuit]



Situation 9 : Question sur la tension dans un circuit série contenant un court-circuit.

La majorité des réponses erronées à la question de la Situation 9 (69 % lors de la première série de tests puis 49 % lors de la seconde) est due à la non-perception du fil entraînant un court-circuit, ou au fait que son rôle par rapport à la tension dans le circuit (tension nulle aux bornes de la résistance R_4) n'a pas été compris.

4.2.1.6.Conclusion

Les erreurs sur la tension aux bornes d'un interrupteur ouvert étaient prévisibles sinon attendues. Il n'en est pas de même pour celles qui concernent le circuit dérivé et le circuit série. Le caractère (faiblement) original de la situation (deux résistances différentes en parallèle pour la Situation 5 et une résistance sur une branche inhabituelle d'un circuit série pour la Situation 8) a visiblement perturbé les élèves. Ceux-ci ont alors réutilisé des modèles « archaïques » dont on peut supposer qu'ils sont encore fortement présents chez eux.

4.2.2.Valeurs des variables et répartition de l'effectif

Nous avons regroupé les résultats relatifs à ces 5 situations pour calculer pour chaque élève le Taux de Réponses exactes AVant passage sur machine (TRAV) et APrès (TRAP), puis en déduire ΔTR = TRAP- TRAV.

TRAV varie de 0.00 à 1.00. Sa valeur moyenne pour le domaine, établie sur l'ensemble des élèves est de 0.44 (écart-type 0.28). 52 % de l'échantillon est tel que TRAV = 0.40 ou TRAV = 0.60.

TRAP varie de 0.00 à 1.00. Sa valeur moyenne pour le domaine, établie sur l'ensemble des élèves est de 0.50 (écart-type 0.29). 62 % de l'échantillon est tel que TRAP = 0.40 ou 0.60

Les valeurs moyennes de TRAV et TRAP traduisent une légère progression de l'effectif, ce que confirme l'étude de ΔTR (Figure 99 page 196).

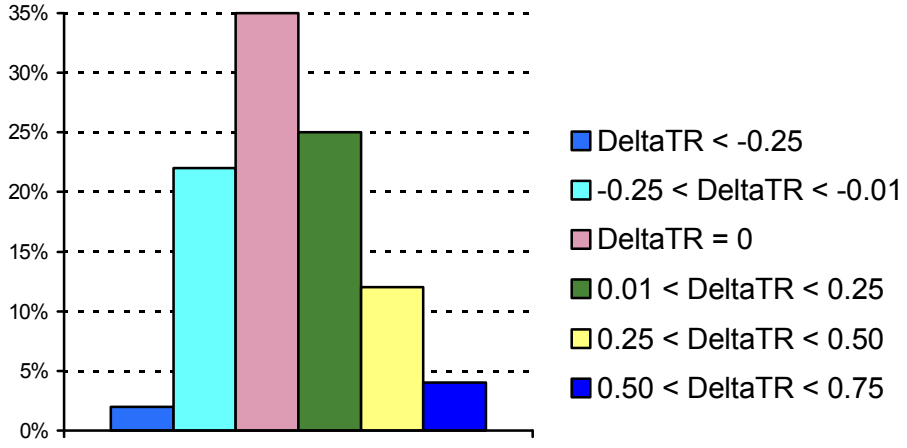


Figure 99 : Répartition de l'effectif selon la valeur de la variation du taux de réponses exactes entre les deux séries de tests.

- 35 % des élèves n'ont ni régressé ni progressé ($\Delta TR = 0$) ;
- 25 % des élèves ont régressé ($\Delta TR < 0$) ;
- 40 % des élèves ont à l'inverse progressé ($\Delta TR > 0$) ;
- la majeure partie de l'effectif (82 %) est tel que $-0.25 < \Delta TR < +0.25$;
- la valeur moyenne de ΔTR, établie sur l'ensemble des élèves est de 0.07, les deux valeurs extrêmes de cette variation se situant entre -0.60 et +0.60. Cette faible moyenne est due à l'effectif important d'élèves ayant stagné dans leurs résultats.

Nous avons aussi relevé et comptabilisé les pages en relation avec ce domaine qui ont été vues dans REV.E.S. par chaque élève, pour ensuite calculer le taux de pages vues (TPV). En analysant la répartition de l'effectif suivant la valeur de TPV, on constate que la moitié des élèves environ n'a consulté aucune des deux pages relatives au domaine (TPV = 0), l'autre moitié en ayant consulté une seule (TPV = 0.5). La moyenne du taux de pages vues pour l'ensemble des élèves se situe à 0.26. Cela explique aussi probablement en partie la faible progression des élèves sur ce domaine.

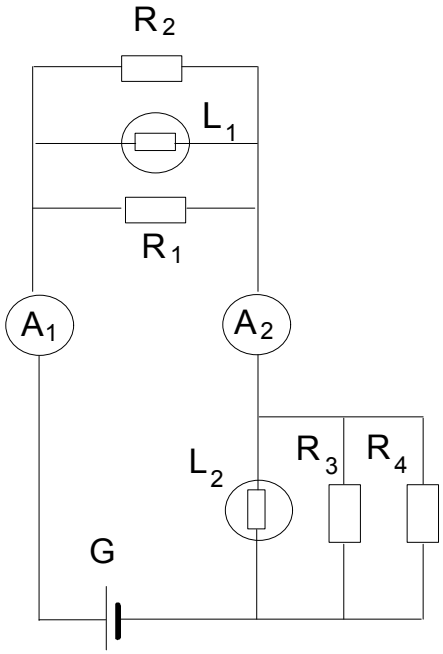
4.3. Lecture de schémas

Des situations diverses ont été proposées pour évaluer l'aptitude des élèves à la lecture de schémas, notamment pour la reconnaissance de l'association de dipôles en parallèle et en série, qui constitue une des bases de toute analyse de circuit. Nous allons décrire tour à tour chacune d'entre elles puis analyser les résultats obtenus.

4.3.1. Questions, résultats bruts et première analyse

Dans le circuit ci-contre, A_2, L_2, G, A_1 et R_1 et sont-ils en série ? Justifier.

[A_2, L_2, G, A_1 et R_1 ne sont pas en série : R_1 et L_2 sont en parallèle avec d'autres composants]



Situation 10 : Première question sur la lecture de schémas.

En analysant les réponses à la question de la Situation 10, on constate des erreurs que nous avons regroupées sous la même appellation de «composants en série dans le circuit principal ». Il s'agit de réponses du type «les dipôles se suivent », « les composants sont reliés par un même fil de jonction » ou encore « les composants sont sur la même branche du circuit principal ». Ces explications s'articulent autour d'une représentation que nous appellerons «représentation du circuit principal » selon laquelle le circuit étudié est composé d'un circuit principal contenant des éléments en série, sur lequel viennent s'ajouter en dérivation des composants supplémentaires. Les composants rajoutés sont considérés en dérivation sur un élément du circuit principal, sans que l'ensemble des dipôles correspondants soient perçus en parallèle. Dans la situation proposée, certains élèves considèrent que R3 et R4, qui sont selon eux «en dérivation sur le circuit principal », sont en parallèle ; L2 qui « fait partie du circuit principal » est considéré en série dans ce circuit.

On peut constater sur la Figure 100 page 198 à la fois le nombre important d'élèves ayant ce type de représentation et le faible pourcentage d'élèves fournissant des réponses exactes, avant ou après utilisation de REV.E.S.. Cela traduit les difficultés des élèves devant ce type de situation.

L'augmentation de l'effectif de la catégorie «Réponse autre ou absente» après utilisation de REV.E.S. est due à une tentative malheureuse d'utilisation de la définition de deux dipôles en série. De nombreux élèves justifient le fait que les dipôles sont en série en disant qu'ils «ont une borne commune » sans remarquer qu'elle est souvent commune à plusieurs dipôles. REV.E.S. a apporté un souci de

rationalisation de la définition de deux éléments en série qui n'existait pas auparavant, mais la définition a été mal assimilée par les élèves.

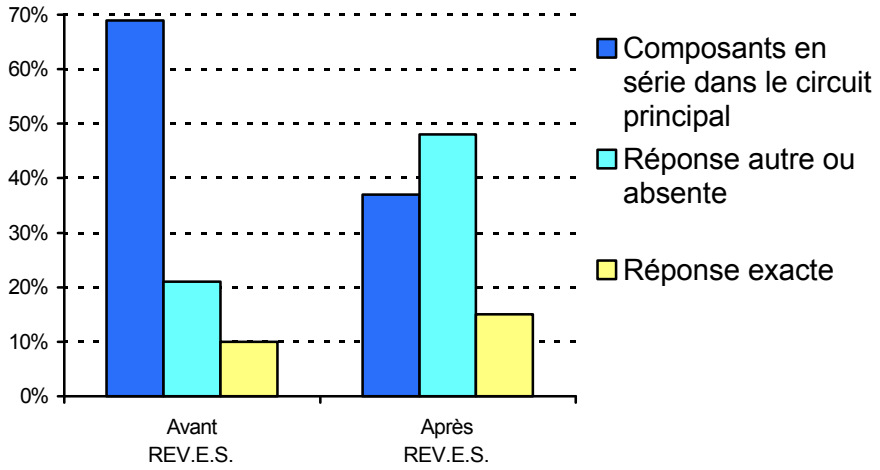
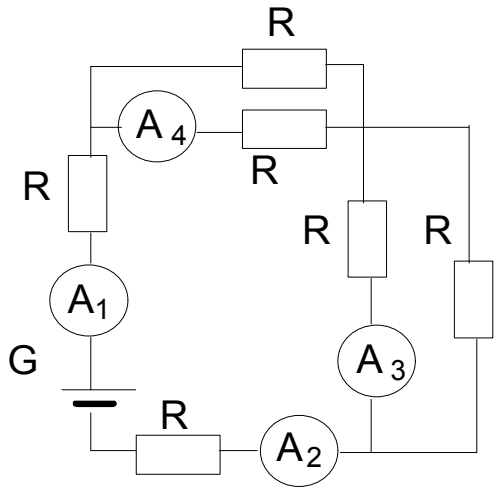


Figure 100 : Répartition de l'effectif selon les réponses fournies à la question précédente (Situation 10).

Dans le circuit ci-contre, les résistances sont toutes identiques. Les ampèremètres A_1, A_2, A_3, A_4 indiquent-ils la même valeur? Justifier.

[A_1, A_2, A_3, A_4 n'indiquent pas la même valeur. Si A_1, et A_2 sont en série, A_3 et A_4 sont situés dans une portion de circuit comportant deux dipôles en parallèle]



Situation 11 : Deuxième question sur la lecture de schémas.

L'examen des réponses apportées par les élèves à la question de la Situation 11 fait apparaître qu'un nombre important de l'effectif affirme que «les ampèremètres indiquent tous la même valeur car placés en série dans le circuit principal». Il s'agit là de la même représentation que celle évoquée dans les paragraphes précédents. Cet effectif augmente entre les deux séries de tests comme le montre la Figure 101. Cela est dû à la présentation du schéma qui a changé : elle est devenue beaucoup plus «carrée» dans la deuxième série de tests (voir dans la partie II du document annexe le chapitre 3 et le chapitre 6 pour comparer les deux schémas). Cela rend moins évidentes à lire les parties comprenant des dipôles en parallèle et favorise probablement ainsi l'utilisation de la représentation «circuit principal».

On relève aussi sur cette figure le faible effectif d'élèves répondant de manière exacte à ce type de question.

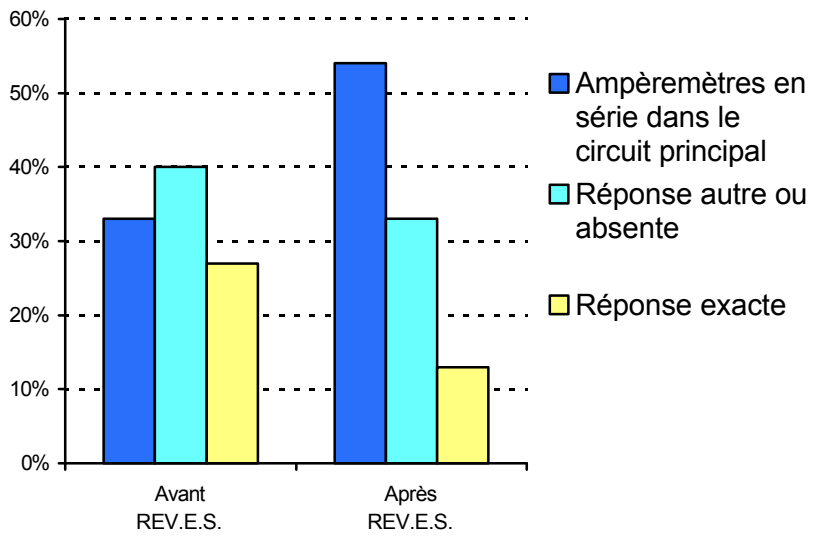
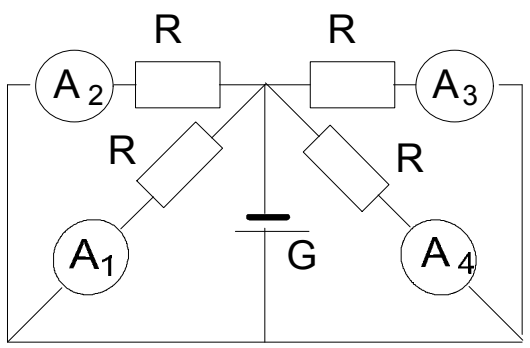
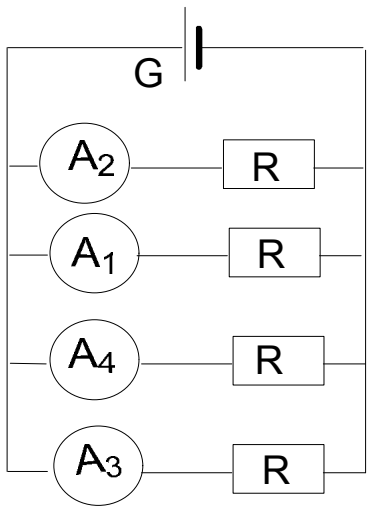


Figure 101 : Répartition de l'effectif suivant les justifications fournies à la question précédente (Situation 11).





Les circuits ci-contre sont-ils identiques? Justifiez.

[Les circuits sont identiques. Dans chacun des cas, partant de la borne + du générateur, on parcourt une portion de circuit en traversant un ampéremètre et un dipôle avant de retourner à la borne - du générateur]

Situation 12 : Troisième question sur la lecture de schémas.

Un effectif important répond de manière exacte à la question de la Situation 12 nettement plus simple que les précédentes (58 % de réponses exactes lors de la première série de tests, 80 % lors de la seconde). En effet, il s'agit simplement ici de reconnaître l'identité de deux circuits comportant un seul type d'association de dipôles.

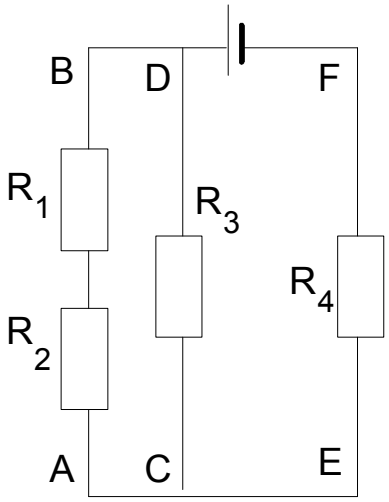
Cochez parmi les propositions ci-dessous celles qui vous paraissent appropriées.

Question a)
R_4 est en parallèle avec R_3 *q*
R_4 n'est pas en parallèle avec R_3 *q*
je ne sais pas *q*

Question b)
R_4 est en parallèle avec $R_1 + R_2$ *q*
R_4 n'est pas en parallèle avec $R_1 + R_2$ *q*
je ne sais pas *q*

Justifiez à chaque fois votre choix.

[R_4 n'est pas en parallèle avec R_3 ni avec $R_1 + R_2$. R_4 a en effet une seule borne commune avec ces résistances, l'autre étant commune avec le générateur]



Situation 13 : Quatrième et cinquième questions sur la lecture de schémas.

Avant utilisation de REV.E.S., lors de la Situation 13, on retrouve encore une fois la représentation « circuit principal » pour 30 % des élèves qui affirment que « les résistances R_3 et R_4 ne sont pas en parallèle parce qu'elles sont en série dans le circuit principal » (Figure 102 page 200). D'ailleurs, c'est aussi l'occasion de signaler que certains élèves pensent que les dipôles sont forcément ou en parallèle ou en série : s'ils ne sont pas en parallèle, ils sont donc en série, et vice-versa.

La justification « circuit principal » est absente après utilisation de REV.E.S. parce que les élèves répondent généralement en utilisant à bon escient (81 %) la définition de deux dipôles en parallèle : « les deux résistances ont seulement une borne commune et ne sont donc pas en parallèle ». C'est aussi l'application de cette définition qui explique l'amélioration des résultats (77 % de réponses exactes à la deuxième série de tests, contre 53 % à la première) à la question b) de la Situation 13, même s'il reste encore 23 % de réponses erronées.

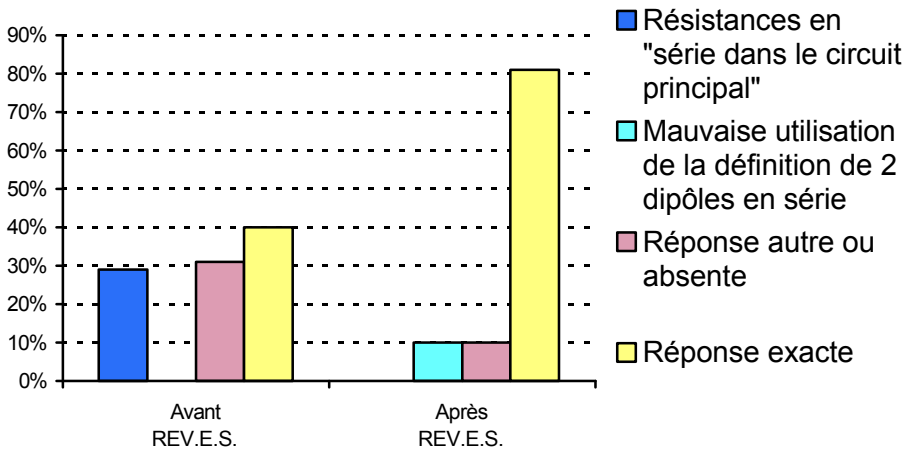


Figure 102 : Répartition de l'effectif suivant les justifications fournies à la question a) (Situation 13).

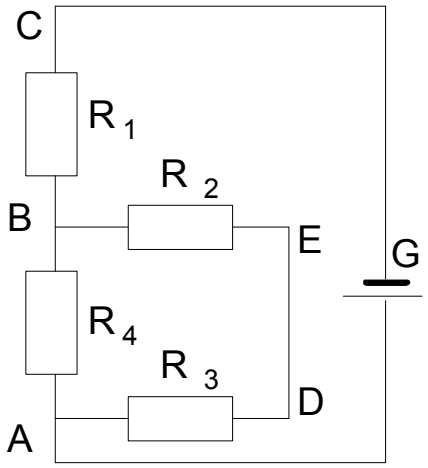
Le circuit ci-contre comporte des résistances différentes. Cochez parmi les propositions ci-dessous celles qui vous paraissent appropriées.

Question a)
R_2 et R_3 sont en parallèle ❑
R_2 et R_3 ne sont pas en parallèle ❑
je ne sais pas ❑

Question b)
R_1 et R_4 sont en série ❑
R_1 et R_4 ne sont pas en série ❑
je ne sais pas ❑

Justifiez à chaque fois votre choix.

[R_2 et R_3 ne sont pas en parallèle: seule une de leur borne est commune. R_1 et R_4 ne sont pas en série, leur borne commune étant aussi commune à R_2]



Situation 14 : Sixième et septième questions sur la lecture de schémas.

Dans la configuration de la Situation 14, on constate (Figure 103) que la notion de dipôle en parallèle (question a) est maîtrisée par une majorité d'élèves (71 % après utilisation de REV.E.S.), les réponses erronées étant en fait majoritairement des réponses non fournies.

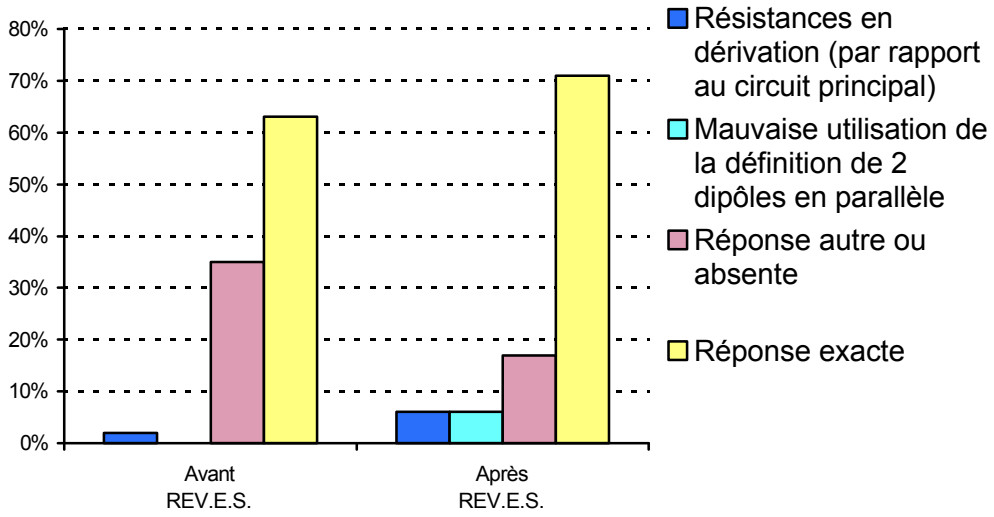


Figure 103 : Répartition de l'effectif suivant les justifications fournies, question a) de laSituation 14.

Il n'en est pas du tout de même pour la notion de dipôle en série toujours dans la même Situation 14 (question b). La Figure 104 page 202 récapitule ces résultats. Si on peut y remarquer que le nombre de réponses exactes augmente entre les deux séries de tests (passage de 8 % à 33 %), celui-ci reste tout de même faible.

On trouve en analysant les réponses plusieurs types d'erreur :

– « les résistances sont en série parce qu'elles se suivent » (50 % de l'effectif à la première série de tests, 17 % à la deuxième) ;
– « les résistances sont en série parce que elles sont dans le circuit principal » (8 puis 15 % de l'effectif) ;
– « les résistances sont en série parce qu'elles ont une borne commune » (4 puis 15 % de l'effectif n'intègre pas que cette borne ne doit pas être commune à un troisième dipôle).

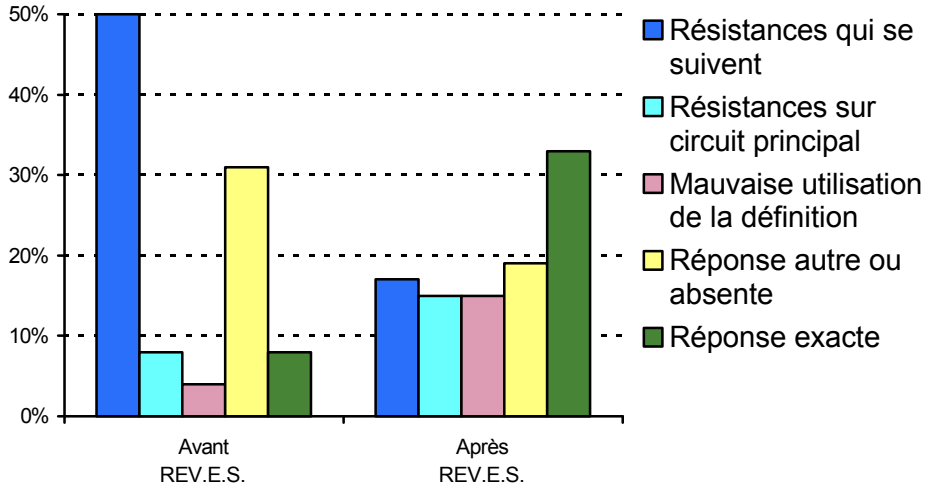
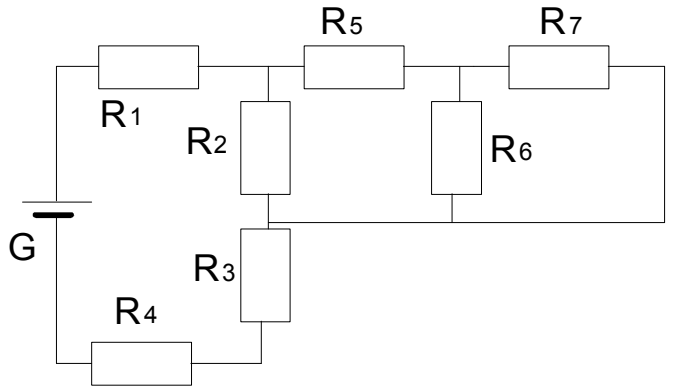


Figure 104 : Répartition de l'effectif suivant les justifications fournies, question b) de la Situation 14.



Ces affirmations sont elles exactes?

a) Les résistances R_4 et R_3 sont en série
b) Les résistances R_1, R_5, et R_7 sont en série
c) Les résistances R_7 et R_6 sont en parallèle
d) Les résistances R_2 et R_6 sont en parallèle
e) Si on déplace le générateur entre R_4 et R_3 cela ne modifie pas le circuit
f) Si on déplace le générateur ente R5 et R7 cela modifie le circuit

[a) R_4 et R_3 sont en série ; b) R_1, R_5, et R_7 ne sont pas en série ; c) R_7 et R_6 sont en parallèle ; d) R_2 et R_6 ne sont pas en parallèle ; e) Si on déplace le générateur entre R_4 et R_3, cela ne modifie pas le circuit ;f) Si on déplace le générateur ente R_5 et R_7, cela modifie le circuit]

Situation 15 : Questions sur la lecture de schémas.

La Figure 98 page 194 représente le pourcentage de l'effectif ayant fourni des réponses exactes aux questions de la Situation 15.

On constate une hausse des performances entre les deux séries de tests pour les questions c, e, et f, qui est de 30 % environ pour les deux dernières. Cela montre que les conséquences de la localisation du générateur dans le fonctionnement d'un circuit sont mieux perçues après REV.E.S... On observe aussi une

diminution des performances pour la questions b et d et une stagnation des performances pour la question a.

Pour ce qui concerne la question b, on retrouve là une des difficultés déjà apparues dans la Situation 14 où « les résistances qui se suivent sont en série ». Pour ce qui concerne la question d, c'est probablement une confusion classique entraînée par le parallélisme géométrique des résistances qui explique le faible taux de réponse exactes (autour de 40 % puis 17 %). Quant à la question a qui est plus simple que les autres, il n'y a pas de problème particulier, le niveau de réponses exactes restant voisin de 100%.

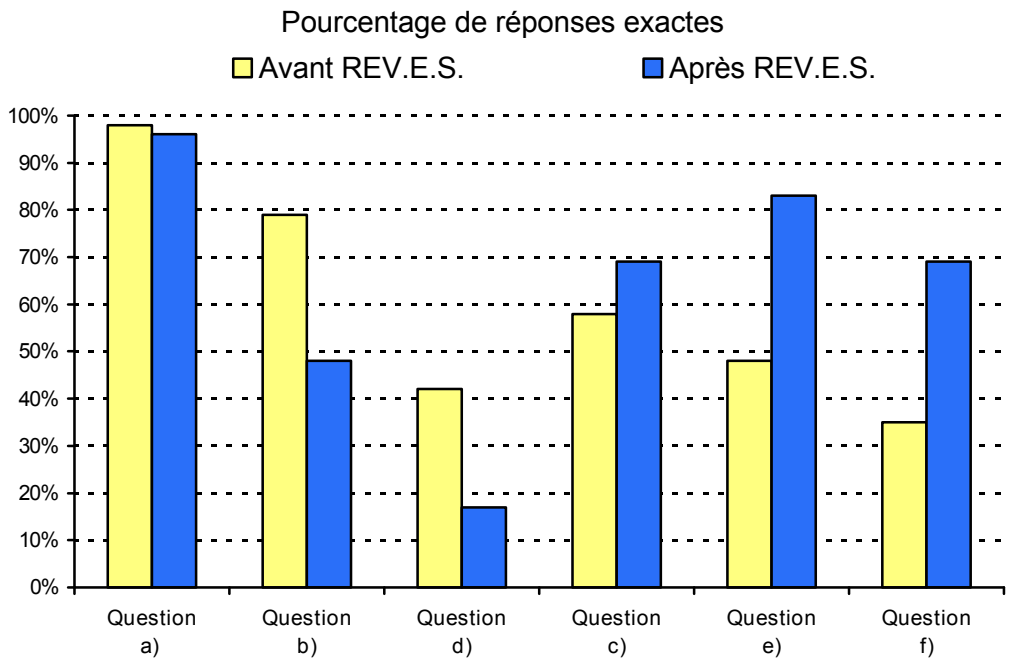


Figure 105 : Pourcentage de l'effectif ayant fourni une réponse exacte aux questions de la Situation 15 portant sur les dipôles en série.

En conclusion, nous retiendrons surtout ici les difficultés apparues autour de la notion de « circuit principal » et autour de la définition de dipôles en série, souvent interprétée de manière approximative.

4.3.2. Valeurs des variables et répartition de l'effectif

Nous avons regroupé les résultats relatifs à ces 13 questions pour calculer pour chaque élève le Taux de Réponses exactes AVant passage sur machine (TRAV) et APrès (TRAP), puis en déduire ΔTR = TRAP- TRAV.

TRAV varie de 0.08 à 1.00. Sa valeur moyenne pour le domaine, établie sur l'ensemble des élèves est de 0.48 (écart-type 0.19). Les quartiles sont situés à 0.38 - 0.46 - 0.62.

TRAP varie de 0.23 à 1.00. Sa valeur moyenne pour le domaine, établie sur l'ensemble des élèves est de 0.58 (écart-type 0.17). Les quartiles sont situés à 0.46 - 0.54 - 0.62.

Les valeurs moyennes de TRAV et TRAP traduisent une progression de l'effectif, ce que confirme l'étude de ΔTR (Figure 106 page 204)

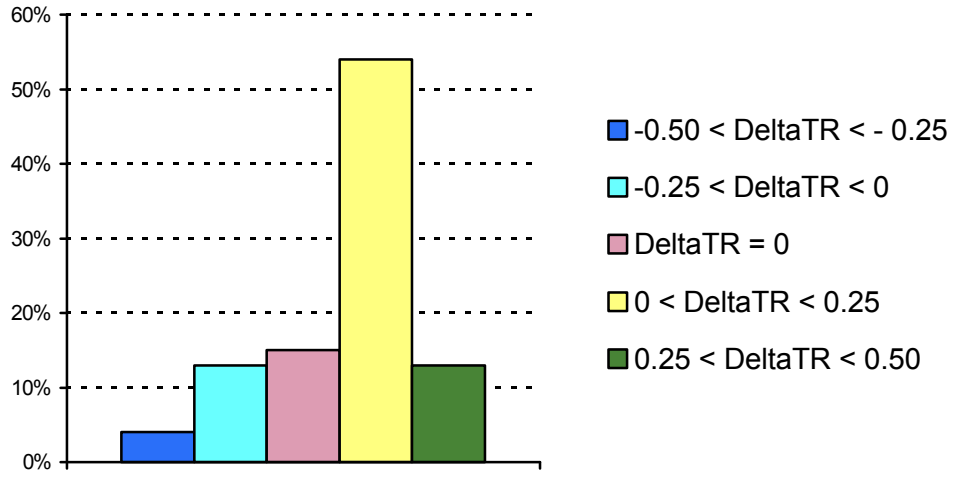


Figure 106 : Répartition de l'effectif selon la valeur de la variation du taux de réponses exactes entre les deux séries de tests.

- 67 % des élèves ont progressé (ΔTR > 0) ;
- 15 % des élèves n'ont ni progressé, ni régressé (ΔTR = 0) ;
- 17 % des élèves ont régressé (ΔTR < 0) ;
- la majeure partie de l'échantillon (54 %) a progressé de 0 à 25 % (quartiles: 0.00 ; 0.15 ; 0.23)
- la valeur moyenne de ΔTR est de 0.10 (valeurs extrêmes de cette variation 0.46 et - 0.38, écart-type 0.17).

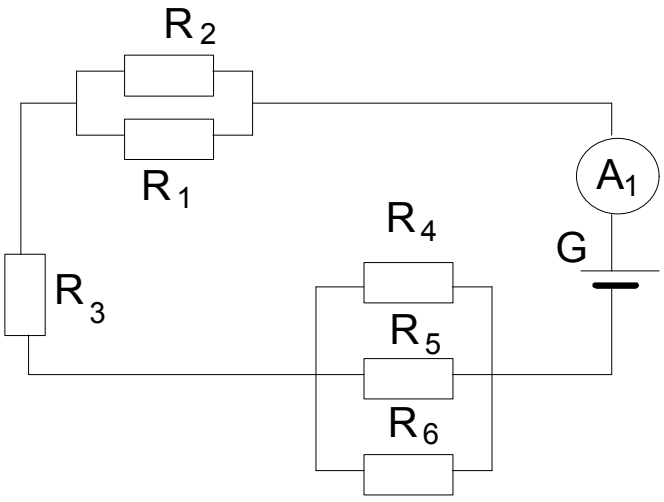
Nous avons aussi comptabilisé les pages en relation avec ce domaine qui ont été vues dans REV.E.S. par chaque élève pour calculer le taux de pages vues (TPV). L'analyse de TPV révèle que 51 % des élèves ont vu plus de la moitié des pages du domaine, qui en comporte 3. Le taux moyen établi sur l'ensemble des élèves se situe à 0.53 (écart-type 0.33).

4.4. Analyse globale du fonctionnement d'un circuit

Des situations diverses ont été proposées pour évaluer l'aptitude des élèves à analyser globalement le fonctionnement d'un circuit électrique. Nous allons décrire tour à tour chacune d'entre elles et analyser les résultats obtenus.

4.4.1. Questions, résultats bruts et première analyse

Dans le circuit ci-dessus, les résistances R_1 et R_2 sont identiques. Les résistances R_4, R_5 et R_6 sont identiques, mais différentes de R_1 et R_2. R_3 est différente de toutes les autres. L'ampèremètre indique 0,6 A et la tension délivrée par le générateur est de 6 V. Dans le circuit de départ, on supprime R_3.



Cochez pour chacune des propositions ci-dessous les cases qui vous paraissent appropriées :

a) L'intensité traversant R_1 a changé

q Vrai q Faux q je ne sais pas

b) L'intensité traversant R_4 a changé

q Vrai q Faux q je ne sais pas

Justifiez vos réponses

[L'intensité traversant R_1 et celle qui traverse R_4 ont changé : une modification locale du circuit entraîne une modification globale de son fonctionnement]

Situation 16 : Questions sur la modification des valeurs de l'intensité après suppression d'un dipôle.

Nous avons identifié trois grands types de réponses erronées fournies aux questions de la Situation 16, en plus de celles qui sont difficiles à interpréter ou trop peu nombreuses pour être mentionnées. Leur répartition est fournie Figure 107 et Figure 108 page 206.

- Indépendance des parties série et dérivées du circuit
  Les élèves signalent que la modification ayant eu lieu seulement dans la partie série du circuit, elle ne peut pas avoir affecté le fonctionnement des dipôles en parallèle qui n'ont pas été modifiés. Ces élèves font donc une lecture éminemment locale du circuit.

- Invariance de l'intensité dans un circuit série
  Le schéma tel qu'il est proposé fait apparaître trois «blocs» de dipôles en série ; pour ces élèves, un circuit série a une intensité constante et la conserve quelles que soient les modifications ultérieures de celui-ci. L'intensité serait pour ces élèves une sorte de propriété intrinsèque du circuit. Nous avons d'ailleurs constaté la présence de cette représentation au cours d'autres questions, sans toutefois que l'effectif en jeu soit aussi important.

- Raisonnement séquentiel avec épuisement du courant
  Ce type de réponse est, si l'on peut dire plus classique ; ces élèves pensent dans ce cas qu'avant le lieu ou a été effectuée la modification (suppression de R3) il n'y a aucun changement d'intensité, alors qu'après, le circuit devenant différent en raison de l'absence d'une résistance, l'intensité ne peut plus avoir la même valeur.

Entre les deux séries de tests, on peut constater une amélioration des résultats, qui demeurent malgré tout très faibles (passage de 2 à 23% de réponses exactes) ;

l'effectif des élèves raisonnant de manière séquentielle ou locale reste stable alors que l'effectif des élèves pensant que l'intensité reste constante quelles que soient les modifications dans le circuit série est en baisse après la deuxième série de tests.

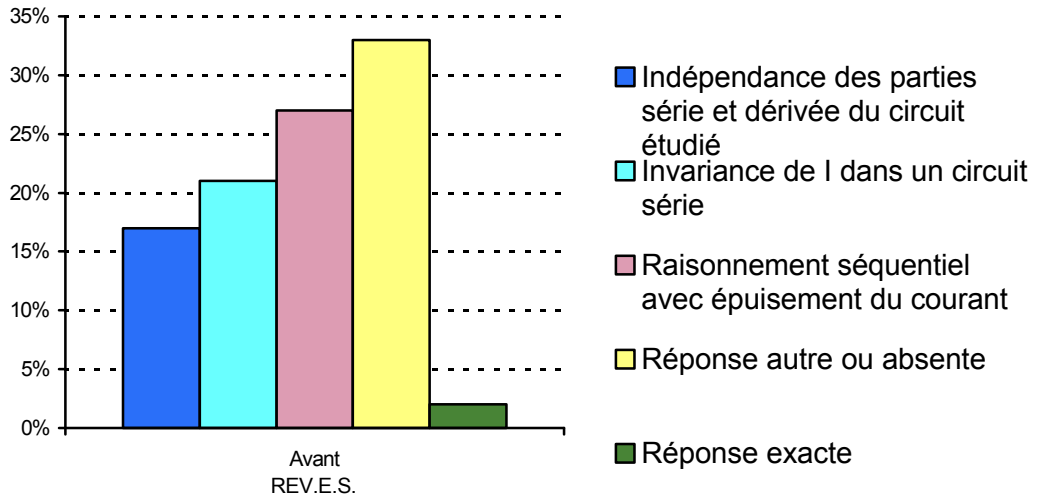


Figure 107 : Répartition de l'effectif selon les réponses fournies avant utilisation de REV.E.S., à la question sur la modification des valeurs de l'intensité après suppression d'un dipôle (Situation 16).

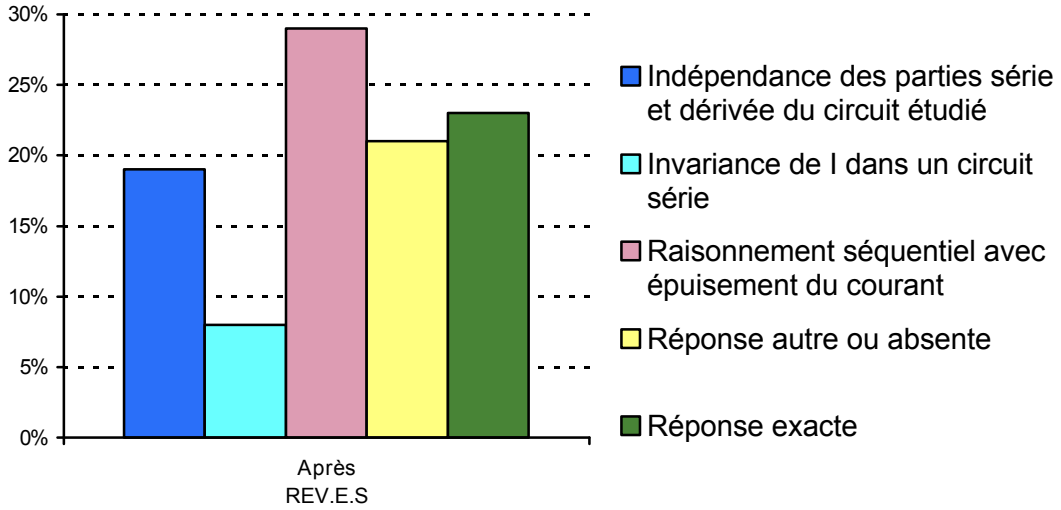


Figure 108 : Répartition des effectifs selon les réponses fournies après utilisation de REV.E.S., à la question sur la modification des valeurs de l'intensité après suppression d'un dipôle (Situation 16).

Dans le circuit ci-contre, les résistances R_1 et R_2 sont identiques. Les résistances R_4, R_5 et R_6 sont identiques, mais différentes de R_1 et R_2. R_3 est différente de toutes les autres. L'ampèremètre indique 0,6 A et la tension délivrée par le générateur est de 6 V.

On remplace le générateur de 6 V par un générateur de 9 V.

Cochez pour chacune des propositions ci-dessous les cases qui vous paraissent appropriées. Justifiez vos réponses

a) L'intensité traversant R_1 a changé

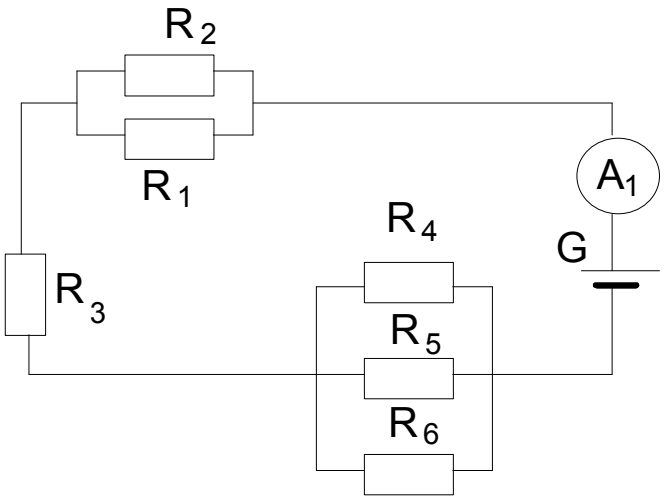
q Vrai q Faux q je ne sais pas

b) L'intensité traversant R_4 a changé

q Vrai q Faux q je ne sais pas

c) L'intensité traversant R_3 a changé

q Vrai q Faux q je ne sais pas



[Toutes les intensités du circuit changent : une modification locale du circuit entraîne une modification globale de son fonctionnement]

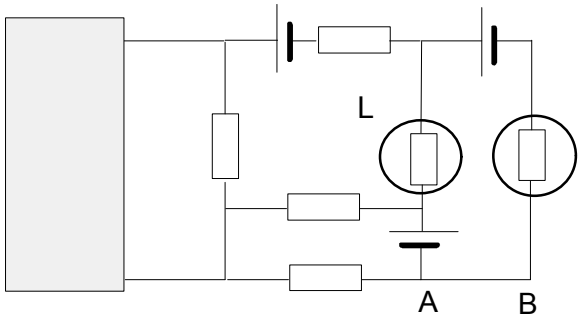
Situation 17 : Questions sur la modification des valeurs de l'intensité après modification du générateur.

Nous n'avons pas isolé d'interprétation particulière pour les réponses erronées à aux questions de la Situation 17, celles-ci présentant des formes diverses desquelles n'émergeait pas de regroupement significatif. Les réponses exactes, qui ont augmenté nettement entre les deux sessions de tests (de 46 à 65 %) étaient justifiées pour la plupart par la loi d'Ohm. Il faut bien remarquer que celle-ci n'était pas appliquée à un dipôle particulier mais proposée dans toute sa généralité pour signifier l'existence d'une relation entre tension et intensité dans un circuit.

Le circuit ci-contre inclut une partie sous forme de boite noire qui comporte plusieurs résistances, un générateur et une lampe. On se propose d'introduire une résistance supplémentaire au sein de la boite noire.

L'éclat de la lampe L sera-t-il affecté par cette modification ? Justifiez votre réponse.

[l'éclat de la lampe L est affecté : une modification locale d'un circuit entraîne une modification du fonctionnement de l'ensemble du circuit]



Situation 18 : Questions sur la modification des valeurs de l'intensité après modification d'un dipôle dans un circuit complexe.

Les réponses erronées à la question de la Situation 18, très nombreuses même après la deuxième série de tests, sont plus variées que dans les questions précédentes. On y relève tout de même des raisonnements de type séquentiel et

d'autres faisant état d'une indépendance entre le circuit «boite noire» et le circuit « visible » (Figure 109). Après la deuxième série de tests, même si les performances se sont améliorées, moins d'un élève sur trois fournit une réponse satisfaisante à cette question.

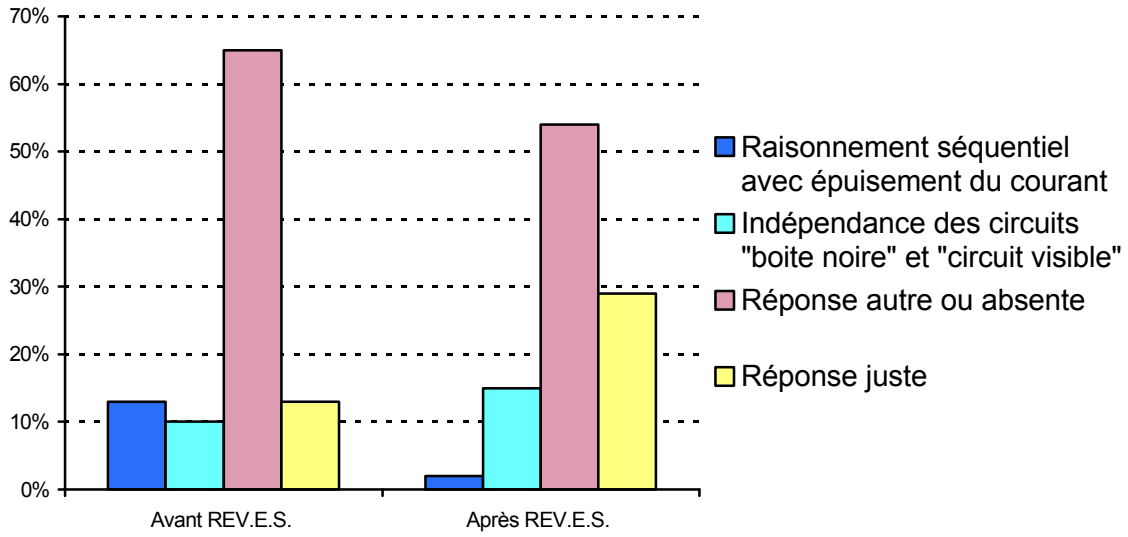
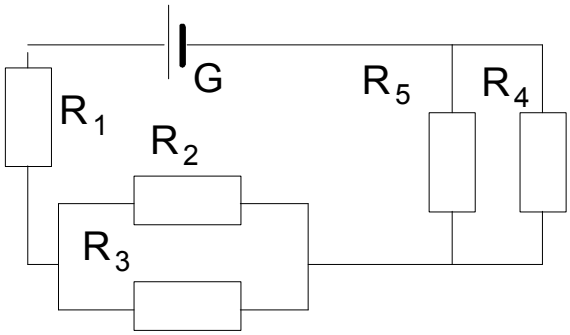


Figure 109 : Répartition de l'effectif suivant la nature des réponses fournies avant utilisation de REV.E.S. à la question sur la modification des valeurs de l'intensité après modification d'un dipôle dans un circuit complexe (Situation 18).

Dans le circuit ci-contre, les résistances sont toutes différentes les unes des autres. On supprime la résistance R_3. Cochez pour chacune des propositions ci-dessous la case qui vous paraît appropriée. Justifiez à chaque fois votre choix.



a) La tension aux bornes de R_2 change
q Vrai q Faux q je ne sais pas

b) La tension aux bornes de R_1 change
q Vrai q Faux q je ne sais pas

c) La tension aux bornes de R_5 change
q Vrai q Faux q je ne sais pas

[Toutes les valeurs des tensions changent, une modification locale d'un circuit entraînant la modification du fonctionnement de l'ensemble du circuit]

Situation 19 : Questions sur la modification des valeurs de la tension après suppression d'un dipôle dans un circuit.

Parmi les réponses erronées aux questions de la Situation 19, nous avons identifié quatre types de justification différents, dont la répartition est donnée Figure 110 page 209 et Figure 111 page 210.

– Indépendance des parties du circuit
  La suppression introduite fait varier localement la tension aux bornes de la résistance restante, alors que la tension ne varie pas dans les autres parties du circuit puisque aucun changement n'y a été effectué.

– Raisonnement séquentiel
  Il n'y a pas de modification avant le lieu de la suppression de la résistance ; par contre il y a modification locale de la valeur de la tension, ainsi que modification de la tension après le lieu de la suppression.

– Pas de modification locale de la tension, modification de la tension ailleurs dans le circuit
  Selon ces élèves, il n'y a pas de modification locale de la tension parce que la « tension est constante aux bornes d'un circuit dérivé » ; celle-ci n'est donc pas susceptible de varier si on modifie les dipôles en dérivation. Par contre ailleurs, la tension varie parce que dans le circuit, «on a supprimé une résistance » et donc le circuit est différent.

– Aucune modification de tension dans le circuit
  Selon ces élèves, la tension reste aussi constante aux bornes d'un circuit dérivé ; si celle-ci ne change pas, il n'y aucun changement de tension dans le circuit en vertu de la loi des tensions dans un circuit série.

Ces quatre interprétations représentent 76 % des réponses lors de la première série de tests et 56 % des réponses après la deuxième série de tests. Le nombre d'élèves fournissant des réponses exactes progresse de 0 à 27 % entre les deux séries.

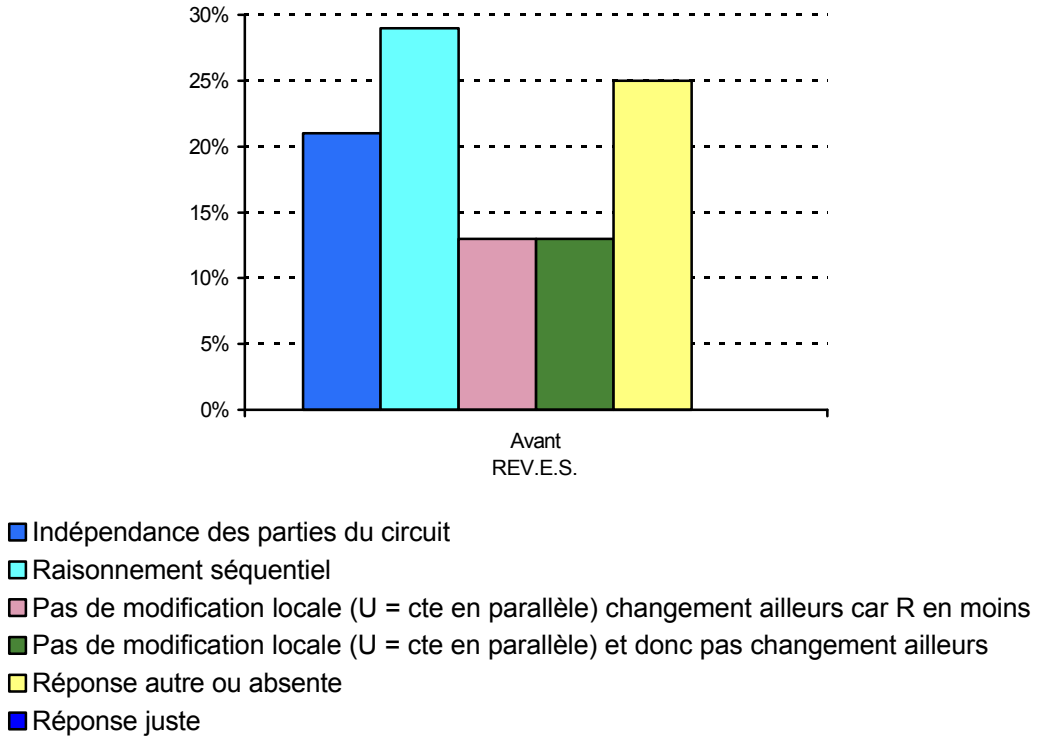


Figure 110 : Répartition de l'effectif suivant la nature des réponses fournies avant utilisation de REV.E.S. aux questions sur la modification de la tension après suppression d'un dipôle dans un circuit (Situation 19).

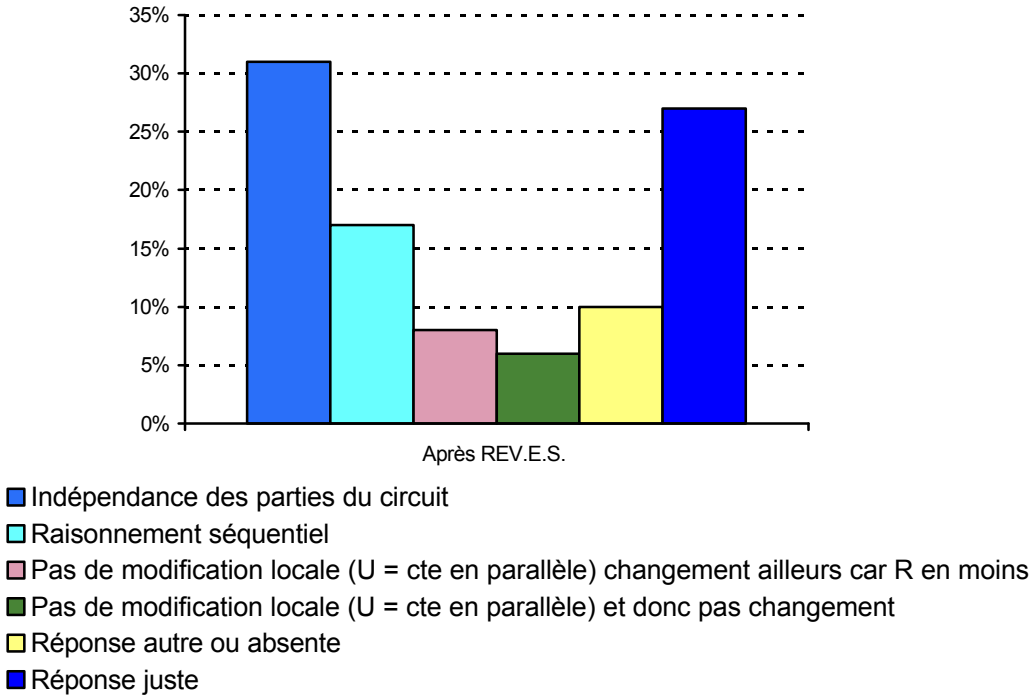


Figure 111 : Répartition de l'effectif suivant la nature des réponses fournies après utilisation de REV.E.S. aux questions sur la modification de la tension après suppression d'un dipôle dans un circuit (Situation 19).

En résumé, on peut retenir que les résultats se sont améliorés de manière systématique de 20 % environ lors de la deuxième série de tests. Cependant, il faut noter que le pourcentage d'élèves répondant de manière satisfaisante après la deuxième série de tests reste très faible (respectivement 23 %, 65 %, 29% et 27 % pour chacune des quatre situations proposées). L'analyse globale d'un circuit reste donc une aptitude difficile à maîtriser pour un grand nombre d'élèves de notre échantillon

4.4.2. Valeurs des variables et répartition de l'effectif

Nous avons regroupé les résultats relatifs à ces 4 situations pour calculer pour chaque élève le Taux de Réponses exactes AVant passage sur machine (TRAV) et APrès (TRAP), puis en déduire ΔTR = TRAP- TRAV.

TRAV varie de 0.00 à 0.50. Sa valeur moyenne pour le domaine, établie sur l'ensemble des élèves est de 0.15 (écart-type 0.16). 92 % de l'effectif est tels que TRAV = 0.00 ou TRAV = 0.25.

TRAP varie de 0.00 à 1.00. Sa valeur moyenne pour le domaine, établie sur l'ensemble des élèves est de 0.36 (écart-type 0.26). 69 % de l'effectif est tel que TRAP = 0.25 ou TRAP = 0.50.

Les valeurs moyennes de TRAV et TRAP traduisent une progression de l'effectif, ce que confirme l'étude de ΔTR (Figure 112 page 211).

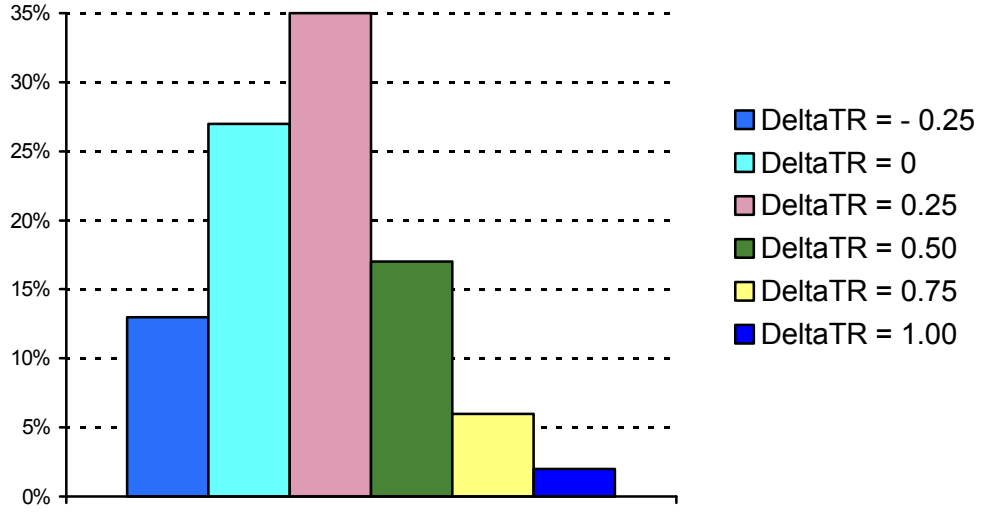


Figure 112 : Répartition de l'effectif selon la valeur de la variation du taux de réponses exactes entre les deux séries de tests (par tranches de 0.25)

- 60 % des élèves ont progressé ($\Delta TR > 0$) ;
- 27 % des élèves n'ont ni progressé, ni régressé ($\Delta TR = 0$) ;
- 13 % des élèves ont régressé ($\Delta TR < 0$) (soit 6 élèves);
- 52 % des élèves ont une valeur de ΔTR de 0.25 ou 0.50, 8 % (soit 4 élèves) une valeur de ΔTR de 0.75 ou 1;
- la valeur moyenne de ΔTR est de 0.21 (valeurs extrêmes de la variation: -0.25 et + 1.00, écart-type 0.29).

Nous avons aussi comptabilisé les pages en relation avec le domaine concerné qui ont été vues dans REV.E.S. par chaque élève, pour calculer le taux de pages vues (TPV). En l'analysant, on constate que 17 % des élèves n'ont vu aucune page du domaine, 56 % des élèves en ayant vu la totalité, le taux moyen pour l'ensemble des élèves se situant à 0.70.

4.5. Nature du courant

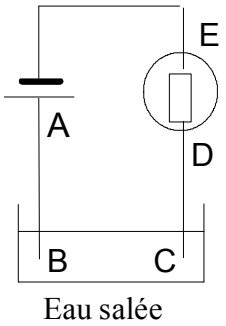
Une seule situation a été proposée concernant la nature du courant ; elle comporte deux questions, dont nous allons maintenant analyser les réponses.

4.5.1. Les questions, résultats bruts et première analyse

Un enfant teste si l'eau salée, (contenant des ions Na^+ et Cl^-) conduit le courant en réalisant le circuit ci-contre ; dans ce circuit comportant des fils dénudés immergés dans l'eau salée, l'ampoule s'allume.

a) Indiquez sur le schéma le sens conventionnel du courant dans le circuit.

b) Précisez la nature de tous les porteurs de charge responsables du courant dans les portions AB, BC et DE du circuit, ainsi que leur sens de déplacement.



[Le courant dans les portions AB et CD est dû aux électrons. Ils se déplacent de D vers C et de B vers A ; Dans l'eau salée, les anions se déplacent vers B, les cations vers C : ils sont responsables du courant dans la solution]

Situation 20 : Questions sur la nature du courant.

Le sens conventionnel du courant (question a de la Situation 20) ne semble pas poser de problèmes particuliers aux élèves, même si les résultats sont légèrement moins bons lors de la deuxième série de tests (86 % de réponses exactes contre 92 % lors de la première série). Cette convention est utilisée régulièrement dans le cours et les problèmes, si bien qu'il n'y a là aucune surprise.

La Figure 113 page 213 présente les résultats concernant la nature des porteurs de charge qui assurent le passage du courant dans un conducteur ou un électrolyte et leur sens de circulation (question b de la Situation 20). Si les résultats sont légèrement meilleurs lors de la deuxième série de tests, on constate aussi que la maîtrise du phénomène de conduction reste relative pour notre échantillon. S'il y a en effet de l'ordre de 60 % de réponses exactes pour la nature des porteurs de charge, il y a seulement environ 25 % des élèves qui fournissent un sens de circulation correct pour les électrons et 30 % pour les ions.

En conclusion, on peut dire que, comme nous avons pu le constater dans d'autres domaines, les élèves de notre échantillon ont beaucoup de mal à donner une signification physique aux phénomènes qu'ils traitent. Cela peut expliquer une partie de leurs difficultés, par exemple pour analyser l'intensité dans un circuit série.

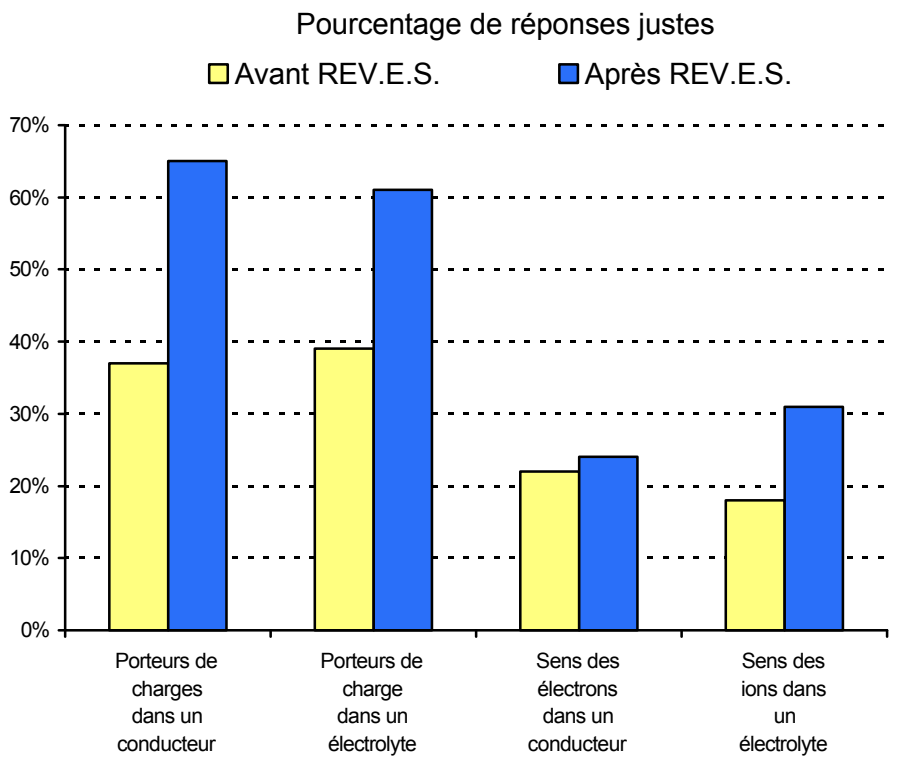


Figure 113 : Pourcentage de l'effectif fournissant une réponse exacte à la question sur les porteurs de charge dans un conducteur et un électrolyte avant et après l'utilisation de REV.E.S..

4.5.2. Valeurs des variables et répartition de l'effectif

Nous avons regroupé les résultats relatifs à ces 5 questions pour calculer pour chaque élève le Taux de Réponses exactes AVant passage sur machine (TRAV) et APrès (TRAP), puis en déduire ΔTR = TRAP- TRAV.

TRAV varie de 0.00 à 1.00. Sa valeur moyenne pour le domaine, établie sur l'ensemble des élèves est de 0.42 (écart-type 0.27). 63 % de l'effectif est tel que TRAV = 0.20 ou TRAV = 0.40.

TRAP varie de 0.00 à 1.00. Sa valeur moyenne pour le domaine, établie sur l'ensemble des élèves est de 0.53 (écart-type 0.32). 49 % de l'effectif est tel que TRAP = 0.60 ou TRAP = 0.80.

Les valeurs moyennes de TRAV et TRAP traduisent une légère progression de l'effectif. En étudiant ΔTR (Figure 114 page 214), on constate que, globalement, la population des élèves qui progressent est sensiblement la même que celle des élèves qui stagnent. En effet :

- 44 % des élèves ont progressé (ΔTR > 0) ;
- 39 % des élèves n'ont ni progressé, ni régressé (ΔTR = 0) ;
- 16 % des élèves ont régressé (ΔTR < 0) ;

– la valeur moyenne de ΔTR établie sur l'ensemble des élèves, est de 0.12, les deux valeurs extrêmes de cette variation étant -0.48 et +0.80 (écart-type 0.28).

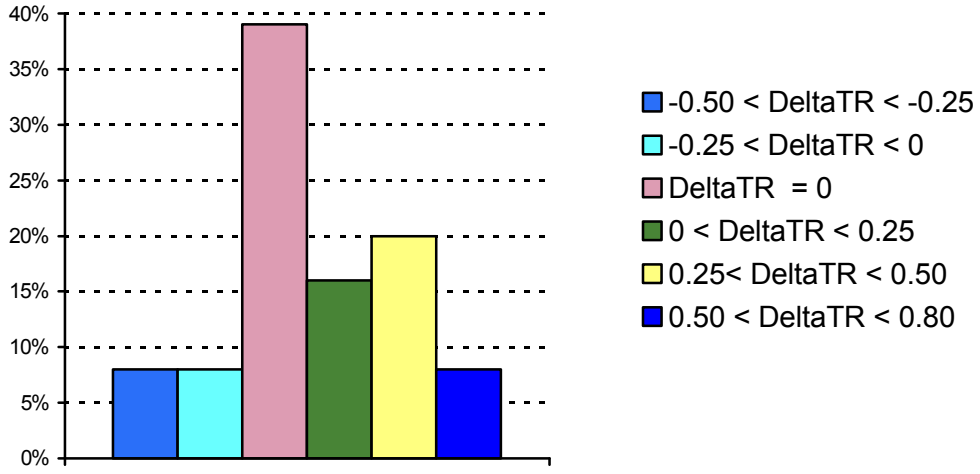


Figure 114 : Répartition de l'effectif suivant la valeur de la variation du taux de réponses exactes entre les deux séries de tests.

Nous avons aussi comptabilisé les pages en relation avec ce domaine qui ont été vues dans REV.E.S. par chaque élève. Cela nous a permis de calculer le taux de pages vues (TPV). En l'analysant, on constate que 66 % des élèves ont vu moins de la moitié des pages du domaine. Le taux moyen pour l'ensemble des élèves se situe à 0.39 (écart-type 0.37).

4.6. Lois de l'électrocinétique

Des situations diverses ont été proposées pour évaluer la maîtrise des lois de l'électrocinétique par les élèves (loi des tensions, loi des noeuds, loi d'association des dipôles) et leur aptitude à les utiliser dans un circuit. Nous allons décrire tour à tour chacune d'entre elles et analyser les résultats obtenus, avant de traiter ces derniers de façon globale.

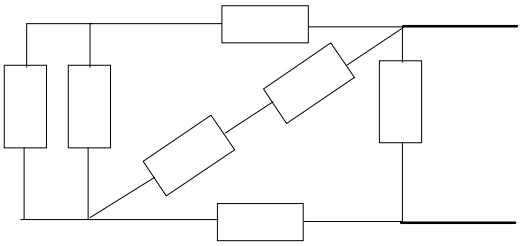
Il convient de remarquer dés à présent que les «pages» de REV.E.S. relatives à ce domaine ont été très peu parcourues par les élèves. Nous le constaterons ultérieurement en analysant le taux de pages vues, mais on peut garder en mémoire cet aspect des choses pour interpréter une partie au moins de la dégradation des résultats entre la première série de tests et la seconde qui va apparaître tout au long des paragraphes suivants.

4.6.1. Questions, résultats bruts et première analyse

La portion de circuit ci-contre comporte différents dipôles.

On donne U_{AB} = 3 V, U_{BE} = - 2 V, U_{DC} = 6 V et U_{AD} = 3 V.

Représentez ces tensions par des flèches sur le schéma et calculez U_{DE}, puis U_{BC}.



Situation 21 : Question sur la loi des tensions.

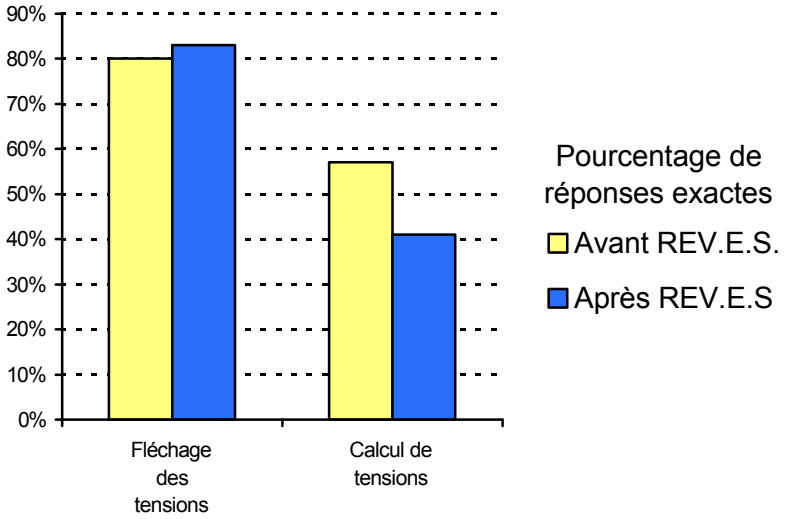


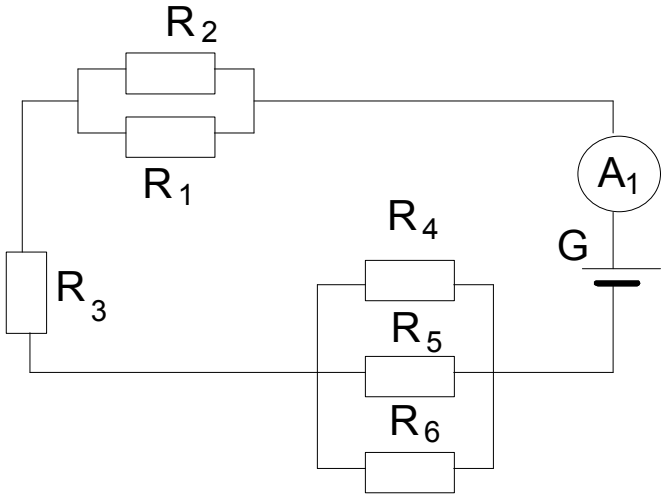
Figure 115 : Pourcentage de l'effectif répondant de manière exacte à la question sur la loi des tensions.

La représentation graphique des tensions par une flèche (Situation 21) est correctement traitée par environ 80 % des élèves (Figure 115 page 215). Cette proportion n'évolue pas après utilisation de REV.E.S.. Par contre, l'application de la loi des tensions semble poser plus de problèmes, l'effectif qui y réussit diminuant de 57 % à 41 % lors de la deuxième série de tests. En analysant la manière de conduire les calculs, on constate que la majeure partie des erreurs vient de l'utilisation (inverse) des flèches représentant les tensions pour écrire la loi des tensions. Les élèves qui écrivent directement la loi sous la forme $U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}$ se trompent très rarement. Il y a peut-être là des conseils à donner aux élèves en ce sens, d'autant plus qu'ils ont des difficultés.

Dans le circuit ci-dessus, les résistances R_1 et R_2 sont identiques. Les résistances R_4, R_5 et R_6 sont identiques, mais différentes de R_1 et R_2. R_3 est différente de toutes les autres. L'ampèremètre indique 0,6 A et la tension délivrée par le générateur est de 6V.

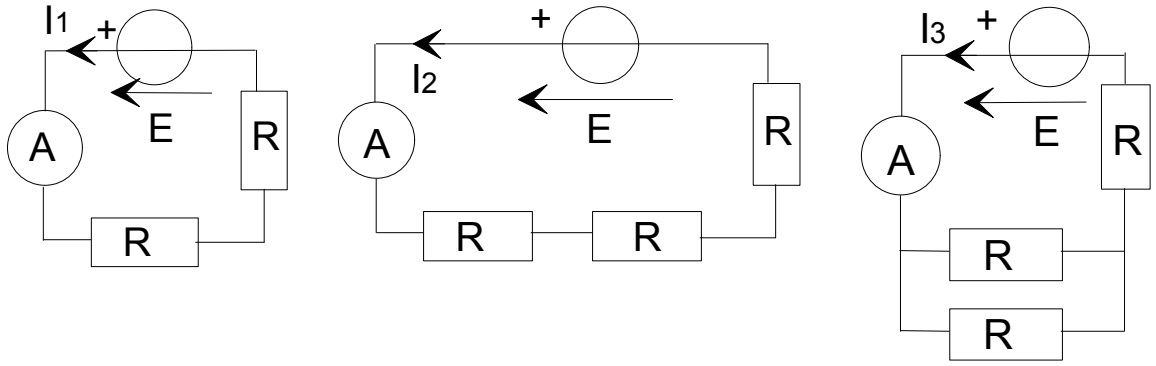
Calculer l'intensité dans R_1, R_3 et R_4.

[L'intensité traversant R_1 est de 0.3 A, celle traversant R_3 est de 0.6 A, celle traversant R_4 est de 0.2 A]



Situation 22 : Question sur la loi des noeuds.

Le nombre de réponse exactes à la question de la Situation 22 dans la première série de tests reste très moyen (50 %) et ce résultat se dégrade lors de la deuxième série de tests (33 % de réponses exactes). Cette détérioration est semble-t-il à corréler avec de nombreuses tentatives de mathématiser à outrance la situation en faisant intervenir notamment la loi d'Ohm, ce qui n'était pas le cas lors de la première série de tests, cette loi n'étant pas encore vue par les élèves. La mathématisation cache probablement la difficulté pour ces élèves d'appliquer, avant tout traitement numérique, une analyse physique au circuit étudié, pourtant schématisé de manière très traditionnelle.



Circuit 1 Circuit 2 Circuit 3

$R_{éq1}$, $R_{éq2}$ et $R_{éq3}$ sont respectivement les valeurs des résistances équivalentes à l'ensemble des résistances des circuits 1, 2 et 3. Classez ces valeurs par ordre croissant. Justifiez la réponse.

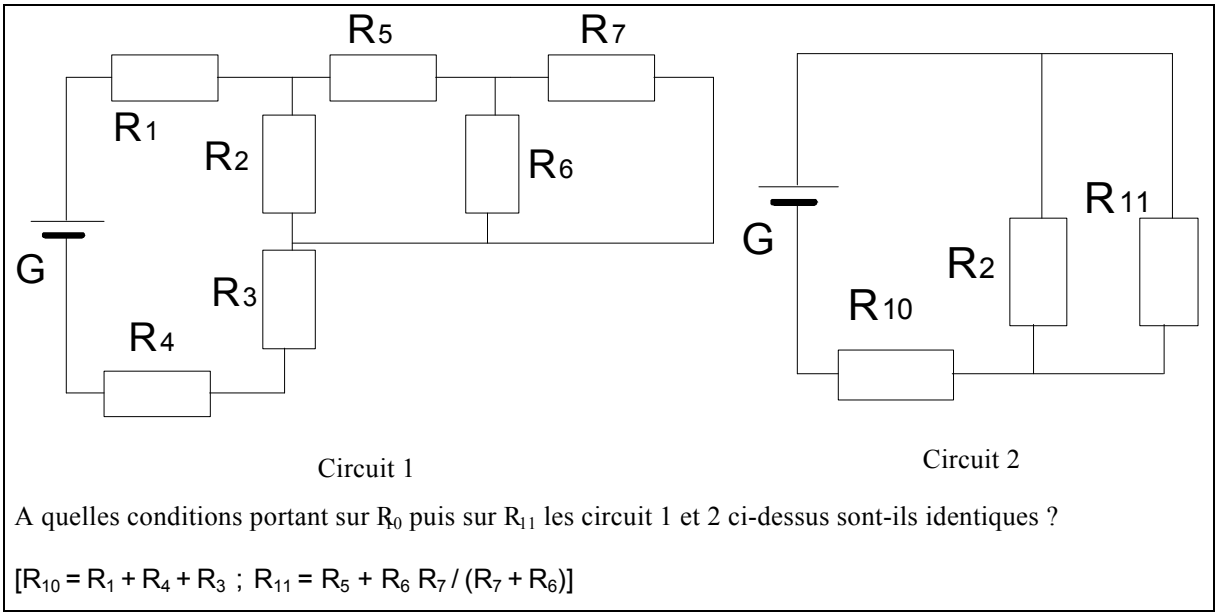
[$R_{éq1} = 2\ R$; $R_{éq2} = 3R$; $R_{éq3} = R + R / 2$; $R_{éq3} < R_{éq1} < R_{éq2}$]

Situation 23 : Première question sur l'association de dipôles.

On dispose de plusieurs résistances de 30 ohms, et on souhaite réaliser par association une portion de circuit dont la résistance équivalente est égale à 45 ohms. Schématisez le montage à réaliser.

[Deux résistances en parallèle sont associées en série avec une troisième résistance]

Situation 24 : Deuxième question sur l'association de dipôles.



A quelles conditions portant sur R_{10} puis sur R_{11} les circuit 1 et 2 ci-dessus sont-ils identiques ?

[$R_{10} = R_1 + R_4 + R_3$; $R_{11} = R_5 + R_6 R_7 / (R_7 + R_6)$]

Situation 25 : Troisième et quatrième questions sur l'association de dipôles.

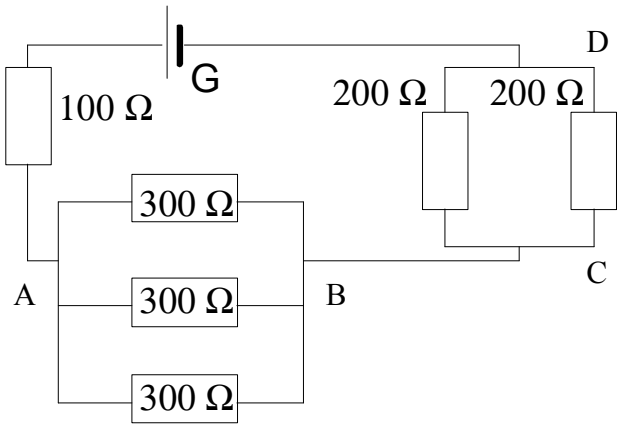
Sur les quatre questions relatives à l'association de dipôles (Situation 23 à Situation 25), 47 % des élèves ont un nombre de réponses exactes supérieur ou égal à 2 lors de la première session contre 54 % lors de la deuxième session de tests. Cette petite amélioration (pour 4 élèves) est confirmée par l'augmentation du nombre moyen de réponses exactes établies sur l'ensemble des élèves (1.47 à 1.54). Il est vrai aussi que c'est sur ce « sous-domaine » que le taux moyen de pages vues est le plus important, même s'il n'atteint pas la moyenne. La Situation 25 est celle qui a posé le plus de problèmes avec une réponse fréquente sous forme de l'addition pure et simple des résistances R_5, R_6 et R_7.

Dans le circuit ci-contre, le générateur délivre une tension de 6 V.

Calculez U_{AB}.

Calculez l'intensité du courant dans la portion CD.

[$U_{AB} = 2$ V ; $I_{CD} = 0.01$ A]



Situation 26 : Calcul d'intensité et de tension.

Notre échantillon est en grande difficulté face à la question de la Situation 26 : plus de 90 % des élèves ont fourni une réponse erronée ou n'ont pas répondu du tout lors des deux séries de tests. Ici encore, une absence d'analyse physique du circuit préalablement à tout traitement mathématique peut expliquer une partie du

résultat. C'est particulièrement vrai pour les élèves qui ont répondu de manière exacte aux questions de la Situation 23 et/ou de la Situation 24 et qui ont donc intégré les lois d'association des résistances.

En résumé, on peut dire que si les lois classiques sont connues dans l'absolu, si les élèves supposent qu'ils les maîtrisent suffisamment au point de ne pratiquement pas consulter les pages correspondantes, leur application à des situations un peu différentes de celles vues en cours montre que leur intégration n'est que superficielle

4.6.2. Valeurs des variables et répartition de l'effectif

Nous avons regroupé les résultats relatifs à ces 8 questions pour calculer pour chaque élève le Taux de Réponses exactes AVant passage sur machine (TRAV) et APrès (TRAP), puis en déduire ΔTR = TRAP- TRAV.

TRAV varie de 0.00 à 0.89. Sa valeur moyenne pour le domaine, établie sur l'ensemble des élèves est de 0.37 (écart-type 0.19). 57 % de l'effectif est tel que 0.25 < TRAV < 0.55.

TRAP varie de 0.00 à 0.89. Sa valeur moyenne pour le domaine, établie sur l'ensemble des élèves est de 0.36 (écart-type 0.18). 63 % de l'effectif est tel que 0.25 < TRAV < 0.55.

Les valeurs moyennes de TRAV et TRAP traduisent une très légère régression de l'effectif.

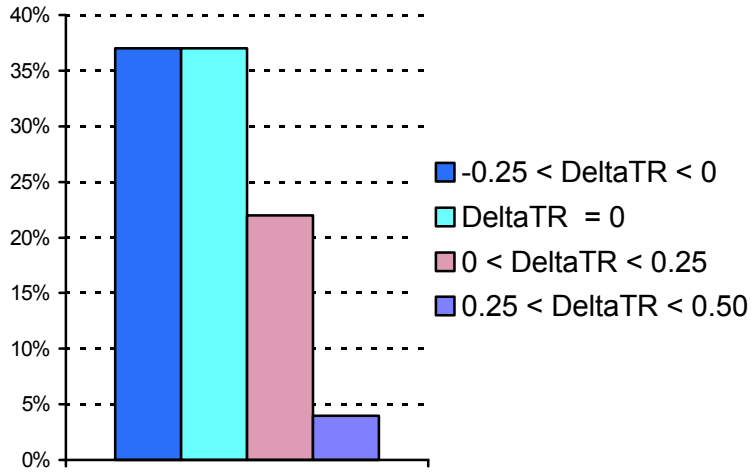


Figure 116 : Répartition de l'effectif suivant la valeur de la variation du taux de réponses exactes entre les deux séries de tests.

En étudiant ΔTR (Figure 116 page 218), on constate que

- 26 % des élèves ont progressé (ΔTR > 0) ;
- 37 % des élèves n'ont ni progressé, ni régressé (ΔTR = 0) ;

– 37 % des élèves ont régressé ($\Delta TR < 0$) ;

– la valeur moyenne de ΔTR, établie sur l'ensemble des élèves, est de 0.01 (valeurs extrêmes de cette variation -0.22 et +0.33, écart-type 0.14).

Nous avons aussi relevé et comptabilisé les pages en relation avec ce domaine qui ont été vues dans REV.E.S. par chaque élève. Nous en avons déduit le taux de pages vues (TPV). En l'examinant, on constate que 76 % des élèves ont vu moins de 40 % des pages du domaine, 96 % des élèves en ayant vu moins de la moitié, le taux moyen pour l'ensemble des élèves se situant à 0.30 (écart-type 0.13). Ce domaine qui comporte 13 pages a donc été peu consulté.

4.7. Propriétés des tensions variables

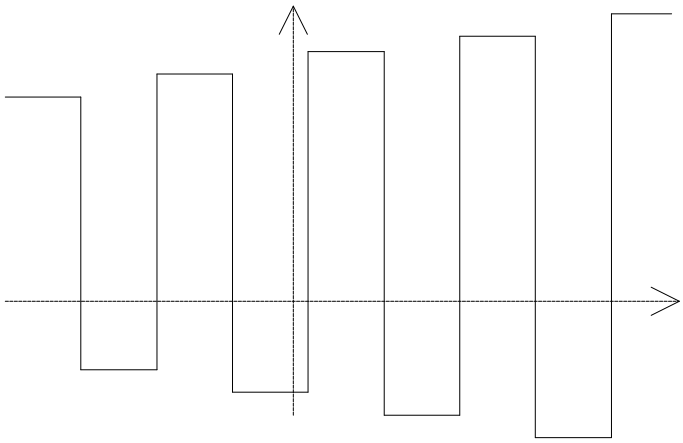
Des situations diverses ont été proposées pour évaluer la maîtrise des propriétés des tensions variables par les élèves et leur aptitude à utiliser un oscillogramme. Nous allons décrire tour à tour chacune d'entre elles et analyser les résultats obtenus, avant de traiter ces derniers de façon globale.

4.7.1. Questions, résultats bruts et première analyse

En visualisant la tension aux bornes d'un dipôle, on obtient l'oscillogramme ci-contre.

La tension visualisée est-elle :
a) variable ?
b) alternative ?
c) toujours positive?
d) périodique ?
e) sinusoïdale ?

[La tension est variable et alternative. Elle n'est pas toujours positive, n'est ni périodique ni sinusoïdale]



Situation 27 : Questions sur l'analyse d'un oscillogramme.

Les résultats obtenus aux deux séries de tests pour les questions de la Situation 27 sont illustrés à la Figure 117 page 220. On peut y constater généralement une légère progression des performances lors de la deuxième série de tests. Si, toujours de façon générale, les questions ne semblent pas poser de problèmes aux élèves, on peut constater (question d) que la tension étudiée est majoritairement perçue comme périodique. On peut faire deux hypothèses quant à ce résultat

– les élèves s'intéressent moins à l'amplitude qu'à la période lorsqu'ils définissent un phénomène périodique ;

– il est peut-être plus facile de lire sur le graphe proposé les informations horizontales liées à la période que les informations verticales liées à l'amplitude.

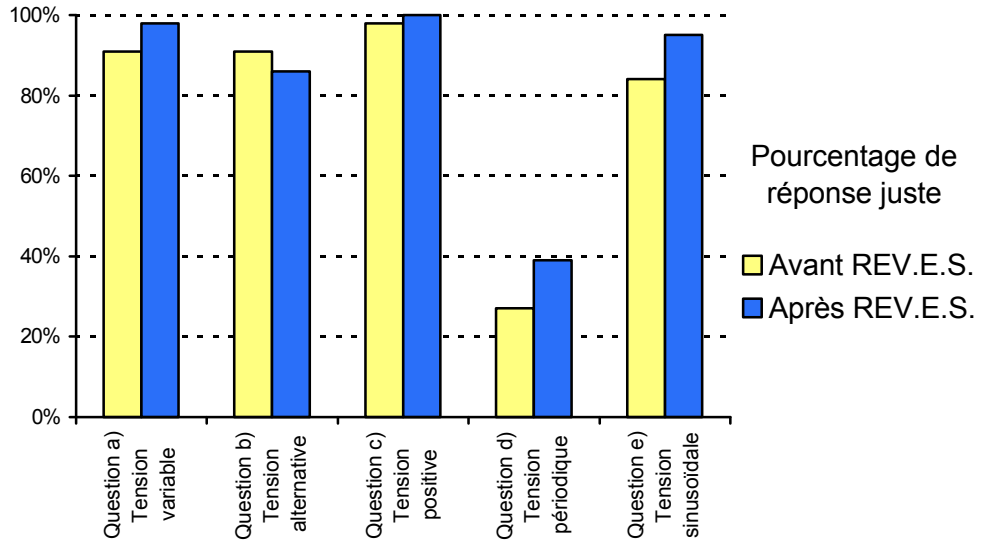


Figure 117: Pourcentage de l'effectif ayant fourni une réponse exacte aux questions de la Situation 27.

Précisez pour chacune des propositions ci-dessous si celles-ci vous paraissent :

- toujours vraies
- vraies dans certains cas seulement
- jamais vraies.

a) Une tension continue est une tension périodique [jamais vrai]
b) Une tension variable est une tension périodique [parfois vrai]
c) Une tension sinusoïdale est une tension variable [toujours vrai]
d) Une tension sinusoïdale est une tension périodique [toujours vrai]
e) Une tension périodique est une tension sinusoïdale [parfois vrai]
f) Une tension variable est une tension alternative. [parfois vrai]

Situation 28 : Questions sur les propriétés des tensions variables.

On trouvera les résultats des relatifs aux questions de la Situation 28 Figure 118 page 221. Trois items semblent poser des problèmes aux élèves.

On constate que 22 % des élèves (1ère série de tests) et 32 % des élèves (2ième série de tests) répondent de manière erronée à la question a sur les relations entre une tension continue et une tension périodique. Ce résultat peut paraître surprenant dans la mesure où les tensions continues sont manipulées par les élèves depuis la classe de quatrième.

Le taux d'échec est beaucoup plus important pour la question d sur la tension sinusoïdale qui est vue comme périodique dans certains cas (60 % des élèves lors de la deuxième série de tests). Les tensions sinusoïdales et leurs propriétés sont simplement évoquées lors de la classe de seconde, ce qui peut expliquer ce résultat.

Les difficultés sur les relations entre tensions variable et alternative semblent plus normales (question f) Les élèves ont en effet rarement eu l'occasion de visualiser des tensions variables qui ne soient pas alternatives.

De manière générale, on peut tout de même remarquer que les oppositions classiques au niveau de la tension entre les termes «variable » et « continu » ne facilitent pas la tâche aux élèves ; elles ne correspondent pas en effet au vocabulaire courant dans lequel «variable» s'oppose à «constant» et « continu » à « discontinu ».

Si on note une faible progression à 4 questions sur les six posées lors de deuxième série de tests, on peut remarquer aussi que les résultats sont globalement moins bons que pour les questions de la Situation 27 (page 219) pour lesquelles plus de 90 % des élèves répondaient de manière satisfaisante. L'absence d'oscillogrammes (Situation 28) permettant une réflexion sur un support concret rend les réponses plus difficiles et peut expliquer cette différence.

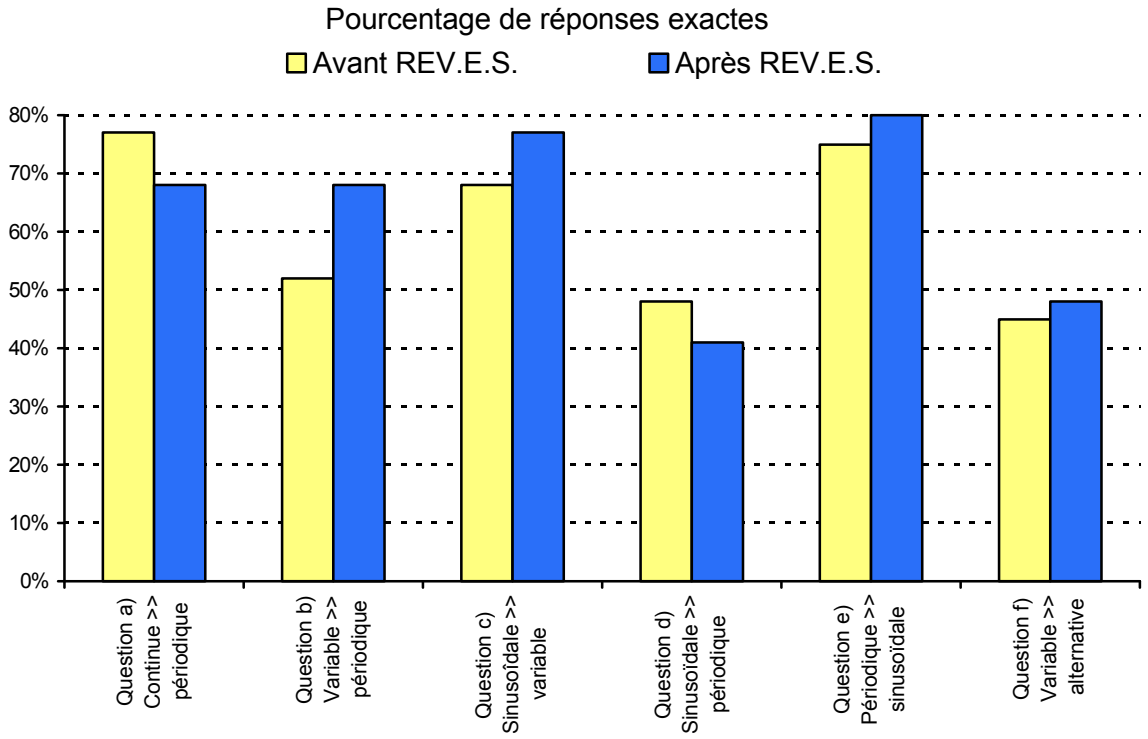
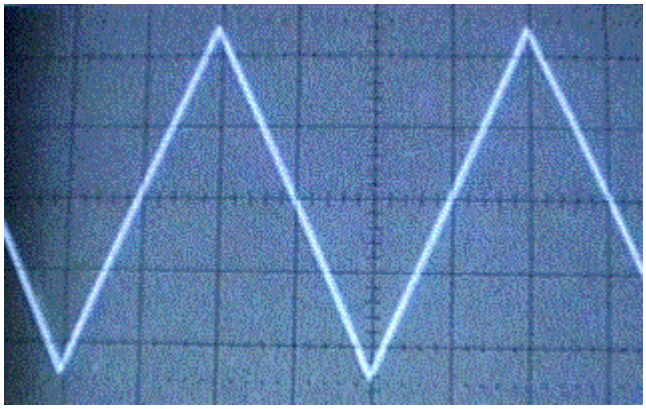


Figure 118 : Pourcentage de l'effectif ayant fourni une réponse exacte aux questions de la Situation 28.

Sur l'écran d'un oscilloscope, on obtient l'oscillogramme ci-dessous. Les coefficients de déviation sont de 2 V/div et de 0,5 ms/div.

Déterminez la tension maximale et la fréquence du signal.

[U_{max} = 4.5 V ; f = 500 Hz]



Situation 29 : Questions sur la lecture d'un oscillogramme.

Les résultats relatifs aux questions de la Situation 29 (voir la Figure 119 page 222) se sont améliorés lors de la deuxième série de tests ; ils révèlent cependant les difficultés des élèves aussi bien pour la mesure d'une fréquence (41 % de succès seulement lors de la deuxième série de tests) que pour la mesure de l'amplitude maximale (61 % de succès lors de la deuxième série de tests), difficultés que l'on peut probablement attribuer à un manque de pratique.

Pour le calcul de la fréquence, la mesure de la période constitue un premier obstacle, mais le plus important réside dans la manipulation des unités (transformation des millisecondes en secondes). Pour la mesure de l'amplitude maximale, les erreurs naissent d'une mauvaise lecture des divisions par pas de 0.1 division au lieu de 0.2. On retrouve à nouveau, ici comme dans d'autres domaines, des difficultés à opérationaliser des connaissances existantes.

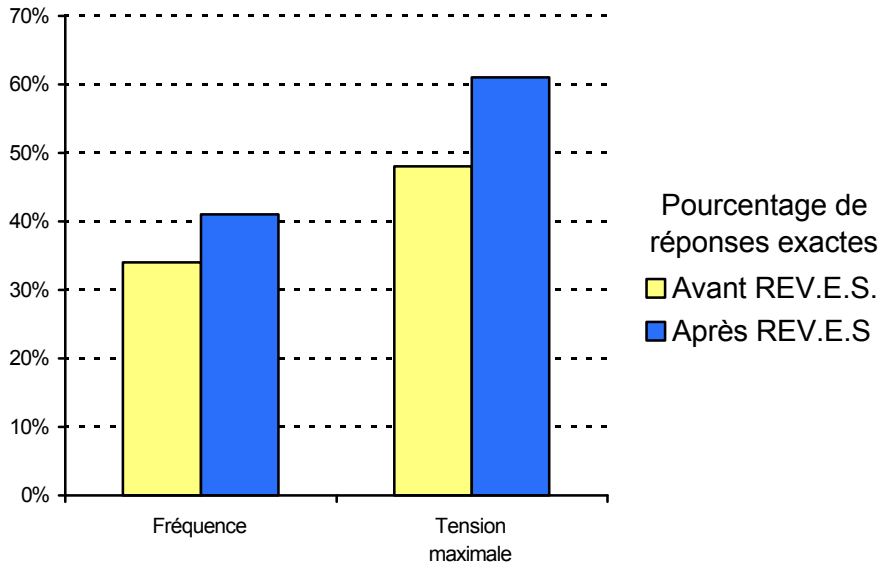


Figure 119 : Pourcentage de l'effectif ayant répondu de manière exacte aux questions de la Situation 29.

En résumé, on peut dire globalement que les résultats se sont légèrement améliorés lors de la deuxième série de tests, faible progression que nous mettrons en relation avec le faible taux de pages vues dans ce domaine dans les paragraphes suivants. De façon globale aussi, ils ne révèlent pas, pour ces élèves, d'obstacle important comme nous en avions relevé pour l'échantillon utilisé lors de la pré-expérimentation. Ils confirment par contre la difficulté de certains élèves à opérationaliser des connaissances, probablement en raison d'un manque suffisant de pratique sur ce domaine, essentiellement nouveau pour eux.

4.7.2. Valeurs des variables et répartition de l'effectif

Nous avons regroupé les résultats relatifs à ces 13 questions pour calculer pour chaque élève le Taux de Réponses exactes AVant passage sur machine (TRAV) et APrès (TRAP), puis en déduire ΔTR = TRAP- TRAV.

TRAV varie de 0.23 à 0.77. Sa valeur moyenne pour le domaine, établie sur l'ensemble des élèves est de 0.58 (écart-type 0.19). 57 % de l'effectif est tel que 0.45 < TRAV < 0.65.

TRAP varie de 0.00 à 0.89. Sa valeur moyenne pour le domaine, établie sur l'ensemble des élèves est de 0.69 (écart-type 0.18). 50 % de l'effectif est tel que 0.60 < TRAP < 0.80.

Les valeurs moyennes de TRAV et TRAP traduisent une progression de l'effectif. Ces résultats sont aussi confirmés par l'étude de la variation du taux de réponses exactes ΔTR (Figure 120 page 223).

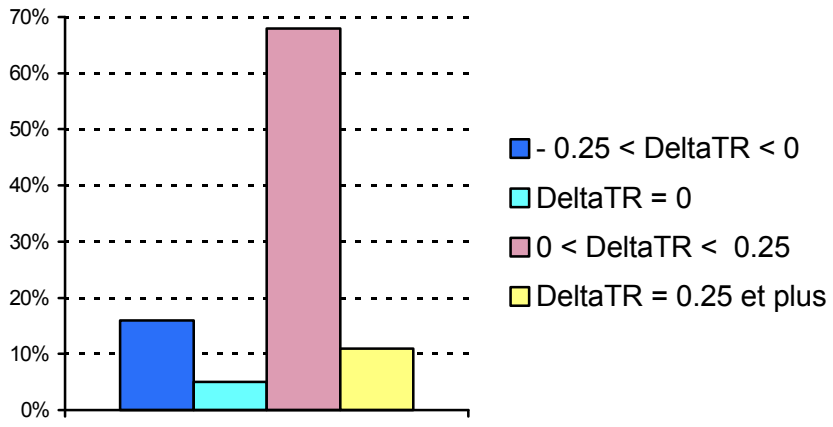


Figure 120 : Répartition de l'effectif selon la valeur de la variation du taux de réponses exactes entre les deux séries de tests (par tranches de 0.25)

En effet :

- 79 % des élèves ont progressé (ΔTR > 0) ;
- 5 % des élèves (2 individus) n'ont ni progressé, ni régressé (ΔTR = 0) ;
- 16 % des élèves ont régressé (ΔTR < 0) ;
- 68 % des élèves ont une valeur de progression ΔTR comprise entre 0 et 0.25;
- la valeur moyenne de ΔTR établie sur l'ensemble des élèves est de 0.11 (valeurs extrêmes de cette variation -0.23 et + 0.38, écart-type 0.13).

Nous avons aussi relevé et comptabilisé parmi les quatre pages en relation avec ce domaine, celles qui ont été vues par chaque élève. Nous en avons déduit le taux de pages vues (TPV). En l'analysant, on constate que 78 % des élèves ont vu 0 ou 25 % des pages du domaine, aucun élève n'en ayant vu plus de la moitié. Le taux moyen pour l'ensemble des élèves se situe à 0.29.

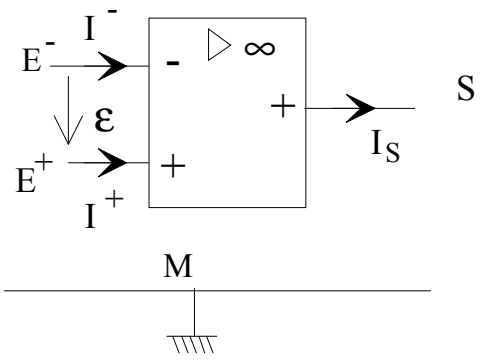
4.8. L'amplificateur opérationnel

Des situations diverses ont été proposées pour évaluer la maîtrise des propriétés de l'amplificateur opérationnel par les élèves et leur aptitude à les utiliser dans un circuit.

Nous allons décrire tour à tour chacune d'entre elles et analyser les résultats obtenus, avant de traiter ces derniers de façon globale.

4.8.1. Questions, résultats bruts et première analyse

Sur l'amplificateur opérationnel ci-contre, I^- est l'intensité du courant circulant sur l'entrée inverseuse, I^+ l'intensité du courant circulant sur l'entrée non inverseuse. ε est la tension entre l'entrée inverseuse et l'entrée non inverseuse. I_S est l'intensité circulant à la sortie de l'amplificateur opérationnel.



a) Dans quel cas peut-on écrire $I^- \cong I^+ \cong 0$ et $\varepsilon \cong 0$?
b) Sur le schéma précédant, comme il est d'usage, ne figure pas une portion de circuit pourtant indispensable au fonctionnement de l'amplificateur opérationnel. De quoi s'agit-il ?
c) la tension que l'on souhaite amplifier peut-elle être appliquée, selon le cas, en plusieurs points différents ?

[(a) On a $I^- \cong I^+ \cong 0$ pour un amplificateur opérationnel idéal et $\varepsilon \cong 0$ lorsque l'amplificateur fonctionne en régime linéaire. b) il manque le circuit d'alimentation de l'amplificateur opérationnel. c) la tension à amplifier peut être appliquée sur l'entrée inverseuse ou sur l'entrée non-inverseuse]

Situation 30 : Questions sur les propriétés de l'amplificateur opérationnel.

La question a de la Situation 30 a été formulée différemment dans la première série de tests. Il s'agissait à l'inverse de la question rapportée ici de donner la relation entre les courants d'entrée ainsi que la valeur de la tension ε lorsque l'amplificateur est considéré comme idéal et fonctionne en régime linéaire. Il est donc difficile de comparer directement les résultats entre les deux séries de tests.

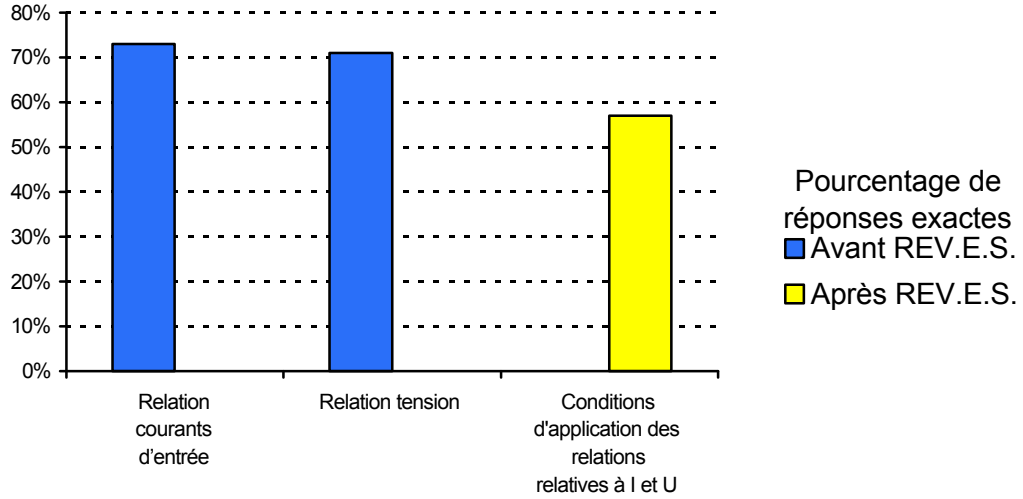


Figure 121 : Pourcentage de l'effectif répondant de manière exacte aux questions sur la propriété des courants d'entrée et sur celles de la tension entre les deux entrées de l'amplificateur opérationnel, puis sur les conditions d'établissement de ces propriétés (Question a) de la Situation 30).

On peut cependant remarquer en examinant la Figure 121 que, pour ces élèves, il est plus difficile de donner les conditions d'application des relations (55% de

réussite lors de la deuxième série de tests) que les relations elles-mêmes (70 % de réussite lors de la première série de tests). Il est vrai que généralement, les élèves donnent la priorité aux aspects opératoires, et donc aux relations elles-mêmes. Cette remarque est à rapprocher de l'application des lois de l'électrocinétique à un circuit sans analyse physique préalable de ce circuit.

La Figure 122 montre les progrès réalisés lors de la deuxième série de tests quant à l'existence d'un circuit d'alimentation et la possibilité d'utiliser deux entrées d'un amplificateur opérationnel.

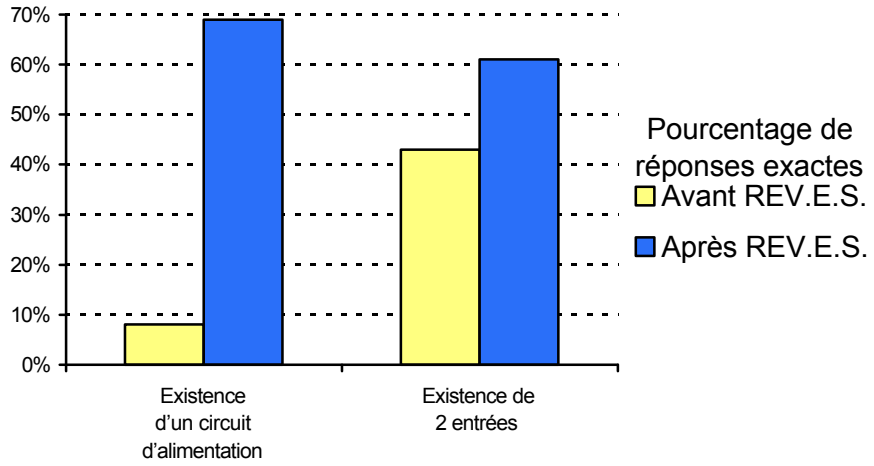
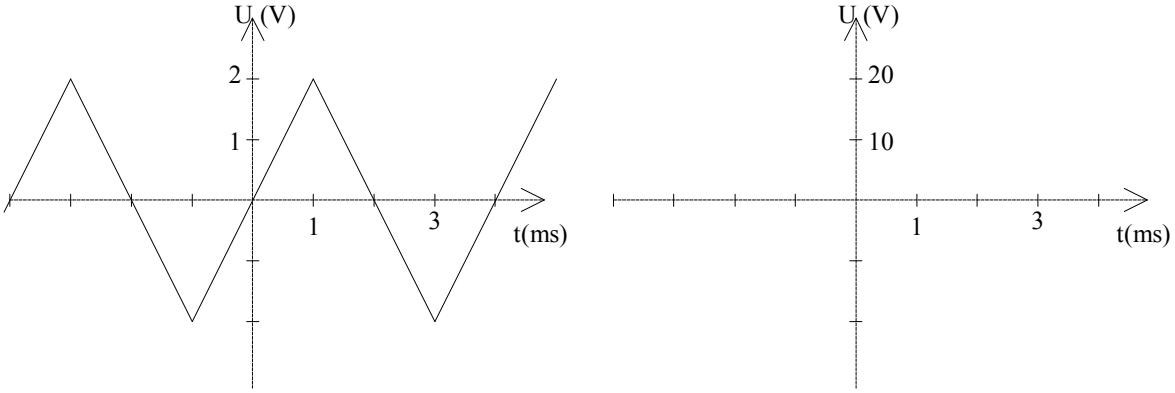


Figure 122 : Pourcentage de l'effectif répondant de manière exacte aux questions b et c (Situation 30).

On réalise un montage amplificateur non inverseur alimenté par un générateur +15 V / - 15 V.
a) on applique à ce montage une tension d'entrée de 1 V ; on mesure en sortie une tension de -10 V. Quelle est la valeur du coefficient d'amplification (gain) ?
b) En augmentant dans le montage précédant la valeur du coefficient d'amplification, peut-on obtenir une tension de sortie voisine de - 20 V ?
c) On applique maintenant une tension d'entrée visualisée dans l'oscillogramme ci-dessous. Tracer l'oscillogramme correspondant à la tension de sortie.



[a) Gain = -10 ; b) on ne peut obtenir une tension de sortie voisine de -20 V en raison du phénomène de saturation ; c) il faut tenir compte du gain négatif et du phénomène de saturation pour tracer le graphe représentant la tension de sortie]

Situation 31 : Questions sur l'amplification d'une tension.

L'analyse des résultats montre que la relation entre tensions et gain (question a Situation 31) est connue par pratiquement 70 % des élèves. Il n'y pas

d'amélioration sensible lors de la deuxième série de tests. Les réponses erronées sont dues soit à l'inversion du rapport donnant le gain qu'on peut probablement attribuer encore une fois à un manque d'interprétation physique du phénomène soit à l'absence de réponse.

La Figure 123 montre l'amélioration des résultats lors de la deuxième série de tests sur l'existence d'une tension de saturation et le tracé de l'oscillogramme d'une tension de sortie (questions b et c Situation 31). Cependant, moins de la moitié des élèves trace cet oscillogramme de manière correcte, très majoritairement parce que le phénomène de saturation n'est pas intégré : l'existence d'une tension de saturation est donc mieux connue (69 % des élèves répondent à cette question de manière exacte) mais cette connaissance n'est pas encore opératoire pour certains de ces élèves (43 % des élèves répondent de manière correcte à cette question).

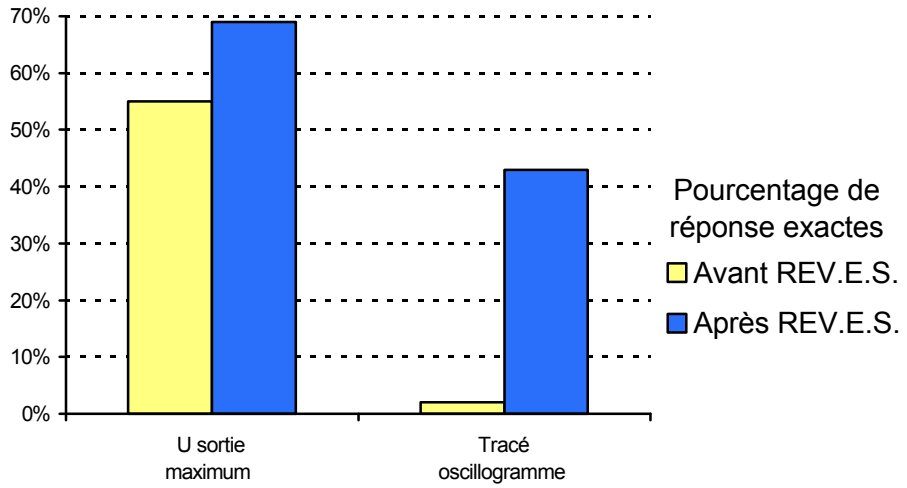
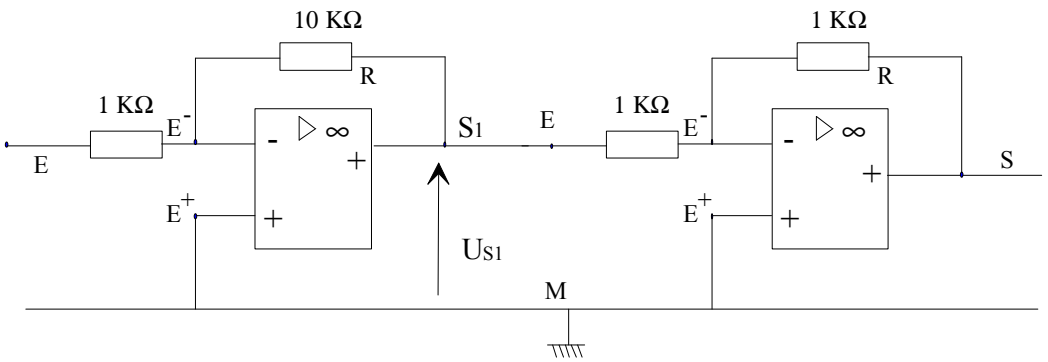


Figure 123 : Pourcentage de l'effectif ayant répondu de manière exacte aux questions b et c de la Situation 31.



a) Positionnez sur le montage précédent la tension d'entrée Ue et la tension de sortie Us.
b) Ce montage comporte deux circuits amplificateurs inverseurs. Isolez-les en entourant chacun d'entre eux sur le schéma précédent.
c) La tension d'entrée est de 1 V. Donnez la valeur de U_{S1}.
d) Calculez maintenant la tension de sortie du montage global. Pourquoi ce montage peut-il être appelé « montage amplificateurnon inverseur » ?
[c) U_{S1} = - 10 V ; d) Us = 10 V ; on a 1 V en entrée et 10 V en sortie, d'où le nom du montage]

Situation 32 : Questions sur un montage amplificateur de tension.

On constate sur la Figure 124 la très nette amélioration des performances des élèves lors de la deuxième série de tests pour ce qui est de la lecture fonctionnelle du schéma contenant les deux amplificateurs opérationnels du montage de la Situation 32 (pratiquement 100 % de réponses exactes aux questions a et b). Par contre, le taux de succès aux calculs de tension reste faible, même s'il triple presque lors de la deuxième série de tests. Quelques élèves utilisent la formule du gain relative à un montage amplificateur inverseur, mais la plupart préfèrent ne pas répondre à la question.

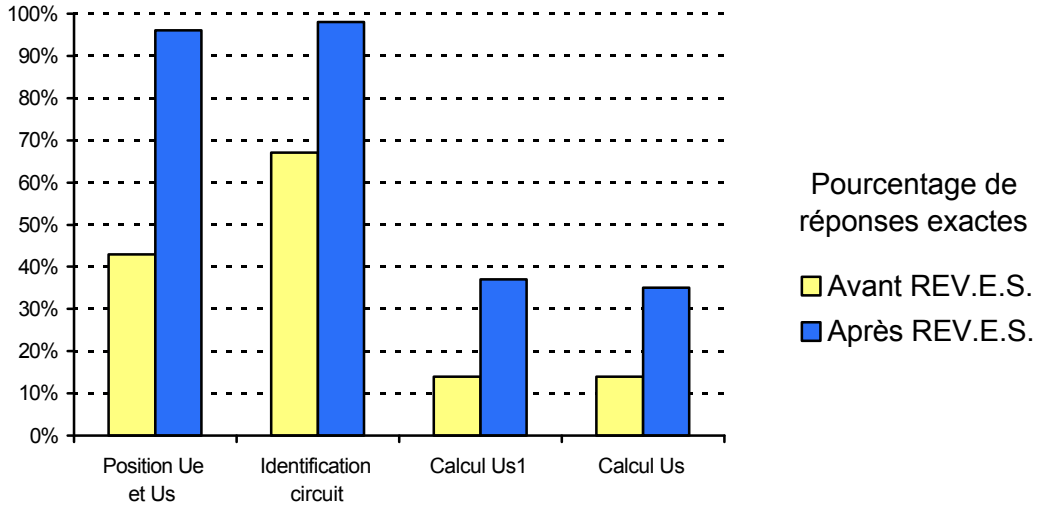


Figure 124 : Pourcentage de l'effectif ayant fourni une réponse exacte aux questions sur le montage amplificateur de tension (Situation 32).

En résumé, on peut retenir que les résultats se sont améliorés de manière systématique lors de la deuxième série de tests. Cependant, certaines connaissances restent peu opératoires (tension de saturation et calcul du gain dans un circuit un peu complexe).

4.8.2. Valeur des variables et répartition des effectifs

Nous avons regroupé les résultats relatifs à ces 11 questions (10 pour la deuxième série) pour calculer pour chaque élève le Taux de Réponses exactes AVant passage sur machine (TRAV) et APrès (TRAP), puis en déduire ΔTR = TRAP-TRAV.

TRAV varie de 0.00 à 0.91. Sa valeur moyenne pour le domaine, établie sur l'ensemble des élèves est de 0.40 (écart-type 0.23). 49 % de l'effectif est tel que 0.25 < TRAV < 0.55.

TRAP varie de 0.10 à 1.00. Sa valeur moyenne pour le domaine, établie sur l'ensemble des élèves est de 0.63 (écart-type 0.23). 45 % de l'effectif est tel que 0.45 < TRAV < 0.75.

Les valeurs moyennes de TRAV et TRAP traduisent une progression de l'effectif. Ces résultats sont aussi confirmés par l'étude de la variation du taux de réponses exactes ΔTR (Figure 125 page 228).

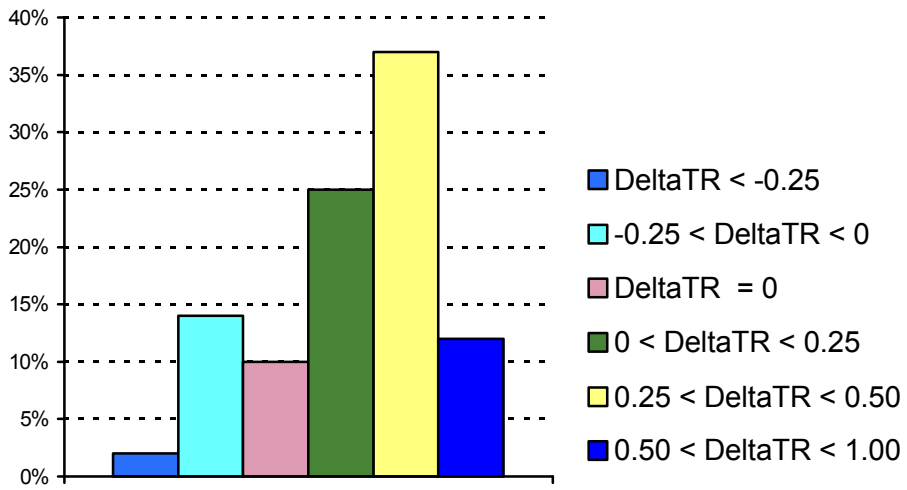


Figure 125 : Répartition de l'effectif suivant la valeur de la variation du taux de réponses exactes entre les deux séries de tests (par tranches de 0.25).

En effet

- 74 % des élèves ont progressé (ΔTR > 0) ;
- 10 % des élèves n'ont ni progressé, ni régressé (ΔTR = 0) ;
- 16 % des élèves ont régressé (ΔTR < 0) ;
- 62 % des élèves ont une valeur de progression ΔTR comprise entre 0 et 0.50, 12 % entre 0.50 et 0.80(quartiles 0.06 ; 0.24 ; 0.42) ;
- la valeur moyenne de ΔTR est de 0.24 (valeurs extrêmes de cette variation 0.80 et - 0.34, écart-type 0.32).

Nous avons aussi relevé et comptabilisé, parmi les cinq pages en relation avec ce domaine, celles qui ont été vues par chaque élève. Nous en avons déduit le taux de pages vues (TPV). En étudiant TPV, on constate que 35 % des élèves ont vu moins de 40 % des pages du domaine, 51 % des élèves en ayant vu plus de 60 %, le taux moyen pour l'ensemble des élèves se situant à 0.51 (écart-type 0.33).

5. Analyse du travail mené par les élèves sur l'ensemble des huit domaines étudiés

Nous analysons dans ce chapitre, sur l'ensemble des domaines, les variables décrites dans le chapitre 4 et surtout les relations qu'elles entretiennent les unes avec les autres, ce que nous n'avons pas fait dans l'étude de chaque domaine. Cette analyse est bâtie sur un récapitulatif de l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus dans chacun des domaines étudiés, proposés dans la partie V du document annexe.

5.1. Analyse des variables utilisées

Nous avons utilisé dans l'étude des huit domaines les variables suivantes, que nous commenterons tour à tour :

- Niveau des élèves;
- Taux de Réponses exactes AVant passage sur machine (TRAV);
- Taux de Réponses exactes APrès passage sur machine (TRAP);
- Variation du Taux de Réponses exactes (ΔTR) ;
- Taux de Pages Vues dans un domaine (TPV);
- Taux de Pages Vues de chaque type dans l'ensemble des huit domaines (TPVC8D, TPVM8D, TPVT8D).

5.1.1. Niveau des élèves

Nous avons choisi d'affecter uniquement deux valeurs à cette variable (supérieur et inférieur à la moyenne) pour deux raisons. La première tient à son caractère partiellement subjectif puisque ce sont les enseignants, qui en fonction d'un jugement basé sur la moyenne des élèves en physique, leur ont affecté un niveau. La deuxième s'explique par le souci de ne pas parcelliser inutilement l'échantillon, compte-tenu de la nature de l'effectif. Nous rappelons en effet ici que seulement 19 élèves sur 54 soit 35 % ont un niveau supérieur à la moyenne.

5.1.2. Taux de Réponses exactes AVant passage sur machine (TRAV)

En se référant au tableau des valeurs de cette variable pour chaque domaine et chaque élève, on peut faire plusieurs constatations :

- Les valeurs moyennes établies pour chaque élève sur les huit domaines s'étalent de 0.15 à 0.78, la moyenne globale pour l'ensemble des élèves et l'ensemble des domaines se situant à 0.38 (écart-type 0.14). Les quartiles sont situés à 0.27, 0.35, 0.42. 42 % des élèves ont des résultats supérieurs à la

valeur moyenne, 19 % ayant des résultats supérieurs à 0.50. Ces valeurs sont cohérentes avec le profil des deux classes (plutôt faibles) et avec la nature généralement non canonique des situations proposées au cours des tests (en partie déconcertante pour les élèves).

– Les valeurs moyennes de TRAV établies pour chacun des domaines sur l'ensemble des élèves sont fournies à la Figure 126. On y observe que « Propriété de l'intensité dans un circuit série» et « Analyse globale du fonctionnement d'un circuit » sont les deux domaines où la valeur moyenne de TRAV est la plus faible. Cela traduit les difficultés des élèves sur ces deux problèmes et confirme - s'il en était besoin - les analyses faites par les chercheurs en didactique. Contrairement au groupe avec lequel nous avons mené la pré-expérimentation, il apparaît que le domaine «Tensions variables » ne semble pas poser de problèmes importants à notre effectif : la valeur moyenne de TRAV y est la plus importante. En dehors de ces trois domaines, on peut constater une certaine homogénéité des résultats avant passage sur machine, les valeurs moyennes de TRAV dans chacun des sept autres domaines étant regroupées autour de la valeur moyenne globale de 0.38.

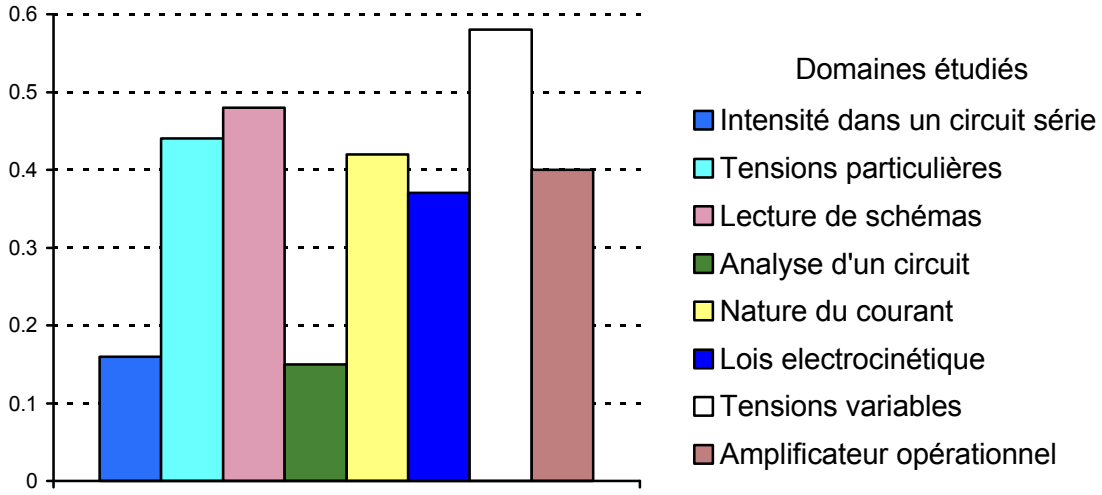


Figure 126 : Valeurs moyennes de la variable TRAV établies sur l'ensemble des élèves pour chacun des domaines.

L'ensemble de ces remarques nous conduisent à dire que les tests proposés constituent un ensemble présentant un degré de pertinence satisfaisant pour évaluer les connaissances des élèves de seconde dans les domaines précédents. Les valeurs obtenues, étalées sur une très grande partie de l'échelle, sont en relation avec les éléments établis (difficultés didactiques) ou constatés (niveau des classes - voir l'analyse faite au paragraphe 5.2 page 236).

5.1.3. Taux de Réponses exactes APrès passage sur machine (TRAP)

L'analyse des valeurs prises par cette variable n'a réellement de sens que par rapport à celles de TRAV pour étudier la variation des taux de réponses exactes au cours des deux sessions de tests. Celle-ci sera faite au paragraphe suivant lors de l'étude de la variable ΔTR. Aussi, nous nous contenterons de quelques remarques chiffrées, sous forme de constatations.

– Les valeurs moyennes établies pour chacun des élèves sur l'ensemble des huit domaines s'étalent de 0.19 à 0.94, la moyenne globale pour l'ensemble des élèves et l'ensemble des domaines se situant à 0.52 (écart-type 0.16). Les quartiles sont situés à 0.40, 0.50 et 0.61. 46% élèves ont des résultats supérieurs à la valeur moyenne, 52 % ayant des résultats supérieurs à 0.50.

– La Figure 127 représente les valeurs moyennes de TRAP, établies sur l'ensemble des élèves pour chacun des huit domaines étudiés. On peut constater que les valeurs de trois domaines « détonnent » par rapport à l'ensemble :

- celles qui sont relatives aux domaines « Analyse globale du fonctionnement d'un circuit » et « Lois de l'électrocinétique » sont nettement plus basses que la valeur moyenne de 0.52, mais on peut expliquer la première par la difficulté du domaine ($\overline{TRAV} = 0.15$) et la seconde par le faible nombre d'élèves (4 %) ayant consulté plus de la moitié de ce domaine ($\overline{TRAV}$ et $\overline{TRAP}$ y étant pratiquement identiques);
- celle concernant le domaine « Tensions variables » est plus élevée, ce qui peut s'expliquer par le fait que les élèves de l'échantillon maîtrisaient déjà les connaissances du domaines avant de travailler sur REV.E.S. ($\overline{TRAV} = 0.58$).

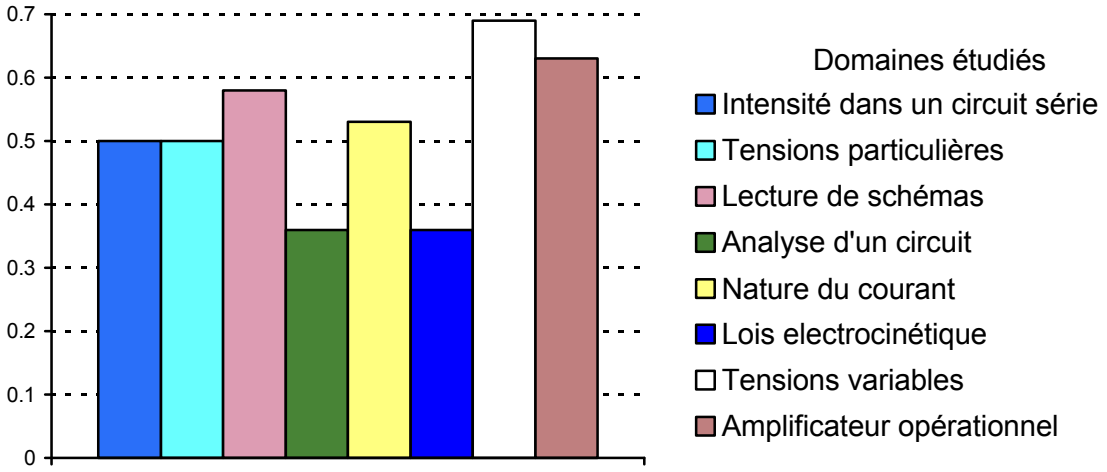


Figure 127 : Valeurs moyennes de la variable TRAP établies pour chacun des domaines sur l'ensemble des élèves.

5.1.4. Variation du Taux de Réponses exactes ΔTR après le passage sur machine

L'étude de cette variable est importante puisqu'elle traduit l'évolution des élèves entre les deux séries de tests. Utilisée seule, elle ne permet pas de dire si l'évolution est due au travail sur machine et à l'utilisation de REV.E.S. ou à des facteurs extérieurs. Ce sont les relations de cette variable avec le Taux de Pages Vues (TPV) qui donneront des informations sur cet aspect des choses. Au vu des tableaux récapitulatifs fournis en annexe, on peut faire les constatations suivantes.

– Les valeurs moyennes de ΔTR établies pour chaque élève sur l'ensemble des huit domaines s'étalent de - 0.13 à + 0.33, leur moyenne pour l'ensemble des élèves se situant à 0.15.

  On retiendra donc que, si l'on considère l'ensemble des élèves et l'ensemble des domaines, les performances de l'effectif sont en hausse moyenne de 15 %.

– 13 % des élèves ont une valeur moyenne de ΔTR établie sur l'ensemble des huit domaines qui est négative ou nulle et 87 % une valeur qui est positive ; un partie importante de l'effectif (39 %) se situe, pour cette valeur, dans la tranche comprise entre 10 et 20 % (Figure 128 page 232). Les quartiles sont situés à 0.06, 0.13, et 0.20.

  On retiendra donc que la très grande majorité des élèves de notre effectif (87 %) a, en moyenne sur l'ensemble des domaines, progressé entre les deux séries de tests.

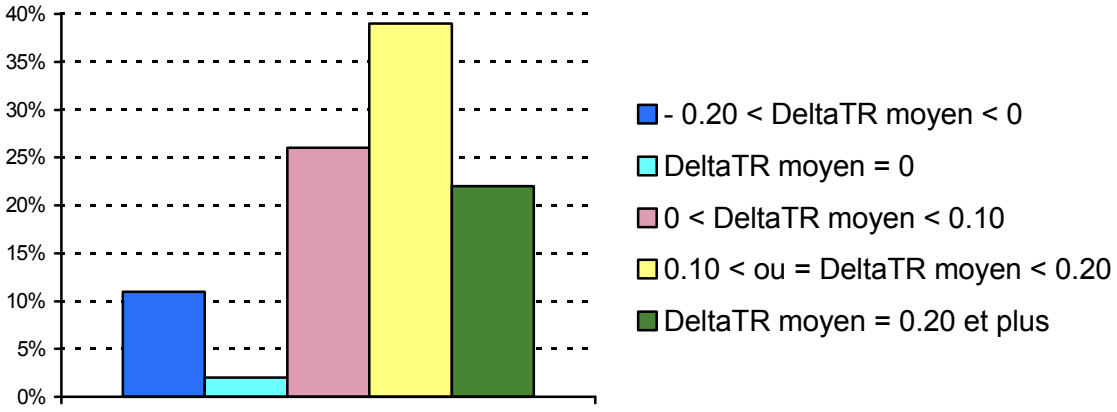


Figure 128 : Répartition de l'effectif en fonction de la valeur moyenne de la variable ΔTR, établie sur l'ensemble des huit domaines étudiés et l'ensemble des élèves.

– La Figure 129 page 233 représente les valeurs moyennes de ΔTR établies, pour chaque domaine, sur l'ensemble des élèves. On peut classer les domaines en trois groupes :

- le domaine « Lois de l'électocinétique » où les élèves ont régressé (1 %) ; on peut mettre cette valeur en relation avec l'effectif réduit (4 %) à avoir consulté plus de la moitié des pages de ce domaine.
- les domaines « Tensions particulières », « Lecture de schémas » « Nature du courant » et « Tensions variables », où la progression des élèves de l'ordre de 10 %, est légèrement inférieure à la valeur moyenne globale de 15 % ;
- les domaines « Propriétés de l'intensité dans un circuit série» « Analyse globale du fonctionnement d'un circuit» et « Amplificateur opérationnel » où la progression moyenne des élèves est de l'ordre de 20 à 35 %, donc supérieure à 15 %.

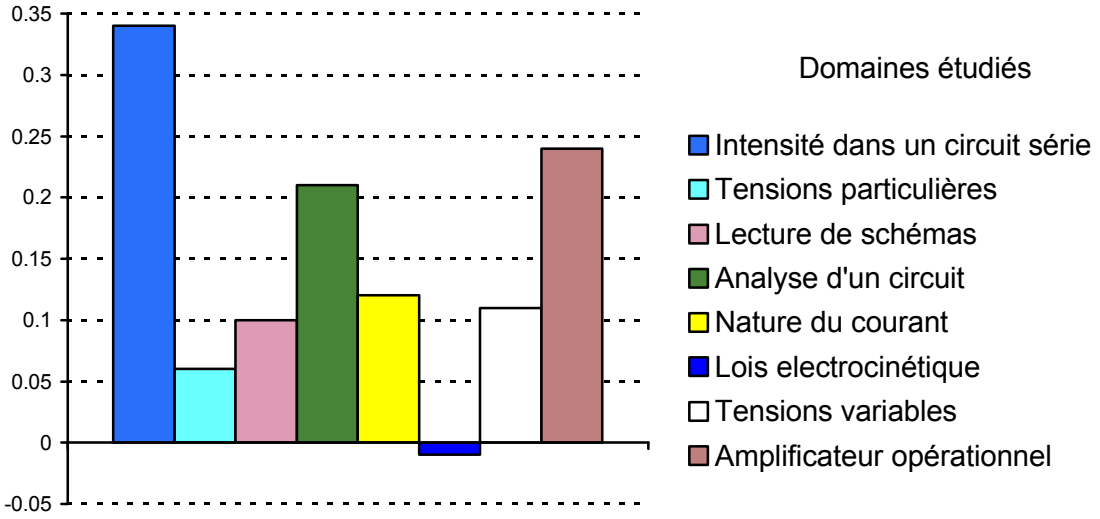


Figure 129 : Valeurs moyennes de la variable ΔTR établies sur l'ensemble des élèves pour chacun des domaines.

– La Figure 130 page 234 représente en pourcentage les effectifs ayant progressé ou régressé entre les deux séries de tests. On peut constater que

  - le pourcentage de l'effectif ayant progressé dans chacun des domaines (ΔTR > 0) est toujours nettement supérieur à celui qui a régressé (ΔTR < 0) à une exception près (Lois de l'électrocinétique);
  - dans trois des domaines (« Tensions particulières », Nature du courant » et « Lois de l'électrocinétique », le pourcentage des élèves ayant progressé est inférieur à 50 %;

  En moyenne, il y a 59 % des élèves qui ont progressé sur un domaine et 18 % des élèves qui ont régressé.

  En moyenne, une majorité d'élèves a donc progressé sur chacun des domaines, alors qu'une minorité a régressé.

On retiendra globalement qu'une majorité d'élèves a progressé (59 % en moyenne sur chaque domaine) et que sur l'ensemble des domaines, l'ensemble des élèves a amélioré ses performances de 15 % en moyenne

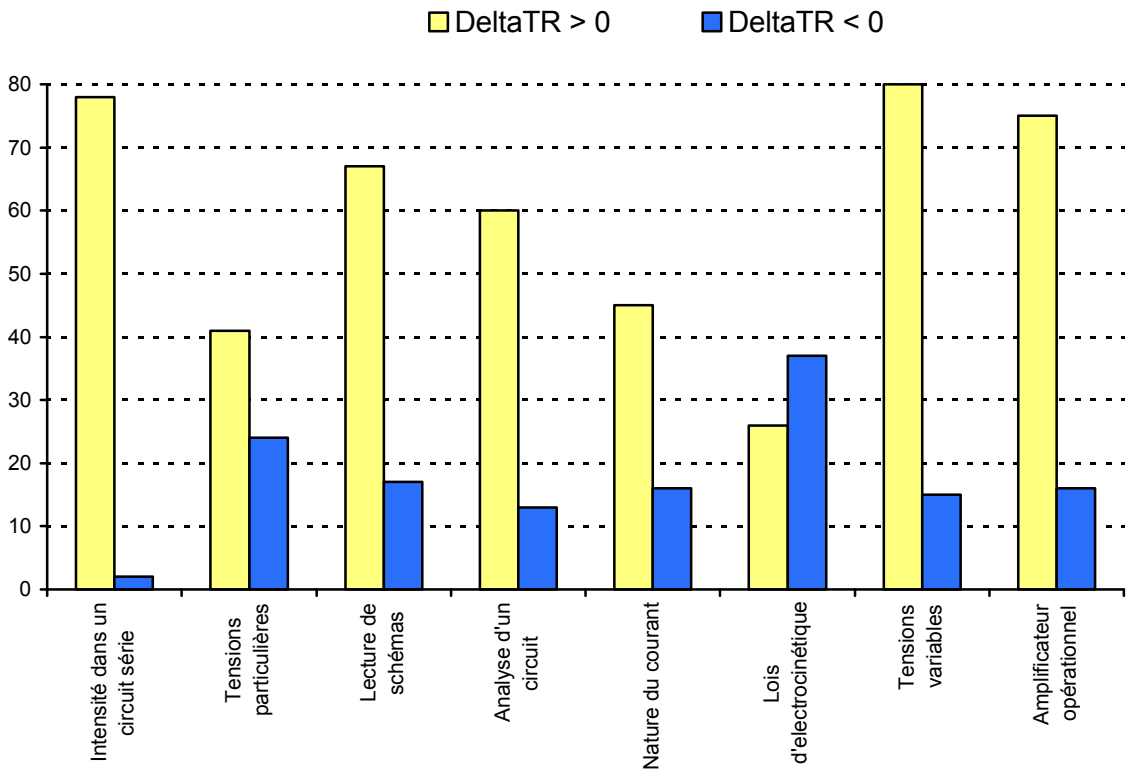


Figure 130 : Pourcentage des élèves ayant progressé ou régressé entre les deux séries de tests pour chacun des domaines.

5.1.5. Taux de pages Vues dans REV.E.S.

Le taux de pages vues est une variable plus intéressante à analyser en la croisant avec les autres, que seule en tant que telle. Cependant, on peut tout de même faire quelques remarques.

- Les valeurs moyennes du Taux de Pages Vues établies pour chaque élève sur l'ensemble des huit domaines s'étalent de 0.11 à 0.68, leur moyenne sur l'ensemble des élèves se situant à 0.44 (écart-type 0.14). Les quartiles sont situés à 0.32, 0.44, 0.54.
- Sur la Figure 131 (page 235) qui représente les valeurs moyennes de TPV pour chacun des domaines, on constate que 4 des domaines ont $\overline{TPV} < 0.50$, et parmi eux figurent les trois domaines pour lesquels le pourcentage des élèves ayant progressé entre les deux séries de tests est inférieur à 50 % («Tensions particulières », « Nature du courant », « Lois de l'électrocinétique » (Figure 129 page 233).
- Dans chacun des domaines (Figure 131), le pourcentage des élèves ayant vu plus de la moitié des pages varie de 4 % (Lois de l'électrocinétique) à 83 % (Analyse globale du fonctionnement d'un circuit). Dans trois des domaines (« Nature du courant », « Lois de l'électrocinétique », « Tensions variables »), ce pourcentage est inférieur à 50 %. Sa valeur moyenne établie sur les huit

domaines est de 46 % : presque un élève sur deux a donc vu en moyenne plus de la moitié des pages dans chacun des domaines.

On retiendra donc que les élèves ont, en moyenne, abordé un domaine de manière partielle plutôt qu'exhaustive.

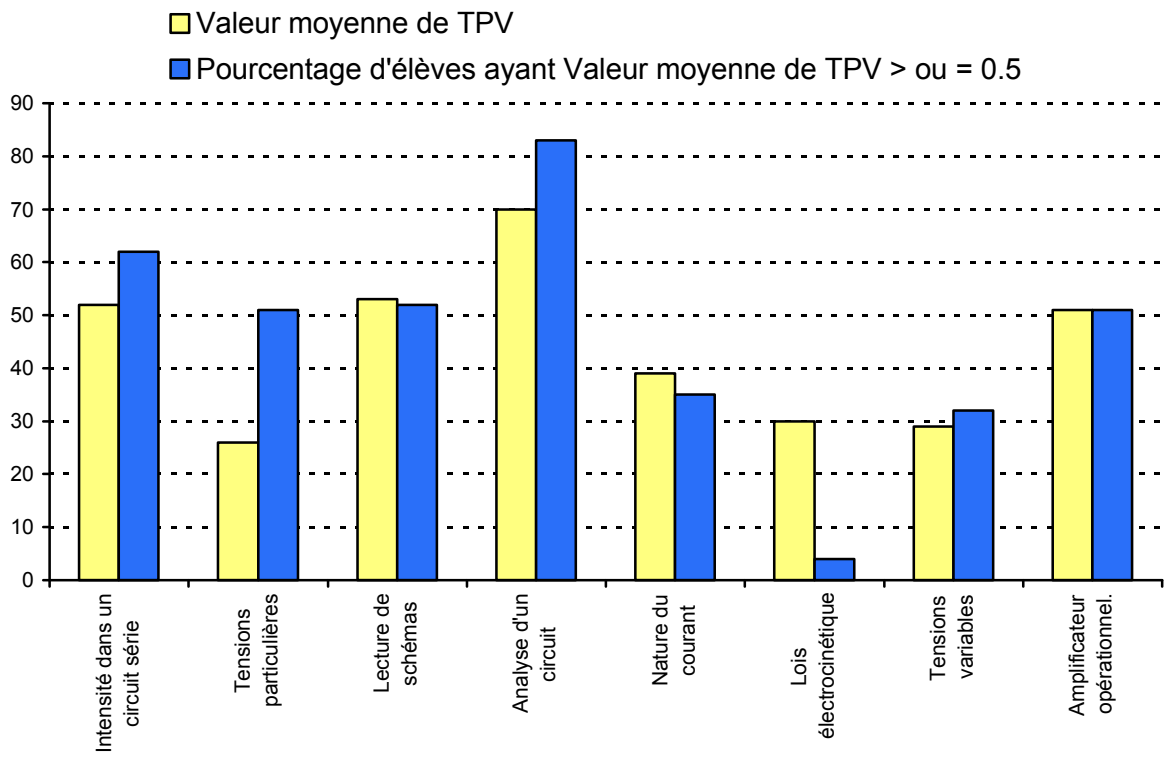


Figure 131 : Valeurs moyennes de TPV pour chacun des domaines et pourcentage de l'effectif ayant une valeur de TPV supérieure ou égale à 0.50.

5.1.6. Taux de pages vues par types de page

Les taux de pages vues dans les types « Connaissances » et « Tests », respectivement TPVC8D, TPVT8D, ont été calculés pour chaque élève par rapport au nombre de pages de chaque type dans les huit domaines étudiés. Le Tableau 19 donne leurs valeurs moyennes établies sur l'ensemble des élèves. Il propose de plus les valeurs moyennes des mêmes taux calculés pour l'ensemble des domaines de REV.E.S., TPVC et TPVT. Les huit domaines étudiés comportaient aussi des pages « Méthodes » mais en nombre trop réduit (6) pour qu'une étude même indicative soit significative. Cependant, TPVM8D, construit de la même manière que TPVC8D et TPVT8D, parce qu'il s'intègre à la méthodologie est donné dans le document annexe partie V chapitre 1.

$\overline{TPVC8D}$	$\overline{TPVT8D}$	$\overline{TPVC}$	$\overline{TPVT}$
0.40	0.57	0.37	0.42

Tableau 19 : Valeurs moyennes des taux TPVC8D, TPVT8D, TPVC et TPVT établies sur l'ensemble des élèves.

On y constate une répartition assez semblable, avec une prédominance beaucoup plus marquée des pages « Tests », type pour lequel prés de 60 % des pages ont été vues en moyenne sur les huit domaines, alors que ce taux n'est que de 42 % si on considère l'ensemble du travail.

Comme pour les valeurs moyennes de TPVC et TPVT, analysés au paragraphe 3.2.4 page 173, les valeurs moyennes de TPVC8D et TPVT8D cachent des comportements différents des élèves.

Pour TPVC8D, dont la valeur moyenne est de 0.40, les valeurs extrémales sont de 0.08 et 0.77, l'écart-type de 0.17. Les quartiles sont situés à 0.31, 0.38 et 0.54.

Pour TPVT8D, dont la valeur moyenne est de 0.57, les valeurs extrémales sont de 0.08 et 0.92, l'écart-type de 0.22. Les quartiles sont situés à 0.46, 0.62 et 0.69.

On peut tout de même dire que dans les huit domaines étudiés, les élèves ont davantage centré leur consultation sur les pages « Tests ». Travailler prioritairement sur les exercices est une attitude fréquente des élèves lorsqu'ils révisent. Cette attitude a probablement été renforcée ici en raison de l'existence des questionnaires sur papier auxquels ils avaient répondu auparavant et auxquels ils savaient devoir répondre à nouveau.

5.2. Relation entre le niveau des élèves (Niveau) et le taux de réponses exactes avant passage sur machine (TRAV)

Il est intéressant de voir si il y a une relation entre le niveau des élèves proposé par les enseignants et la variable TRAV qui traduit en quelque sorte le niveau des élèves, établi à partir des réponses aux tests.

Les enseignants ont proposé de répartir l'effectif en 19 élèves de niveau supérieur à la moyenne et 35 élèves de niveau inférieur à la moyenne. Si nous considérons les valeurs moyennes de TRAV établies pour chaque élève sur l'ensemble des domaines, les 19 meilleurs élèves sont tels que $\overline{\text{TRAV}} > 0.40$. La valeur moyenne de TRAV établie sur l'ensemble des domaines et l'ensemble des élèves étant de 0.38, nous pouvons considérer que ces 19 élèves ont un niveau établi à partir des tests «supérieur à la moyenne».

Sur ces 19 élèves « supérieurs à la moyenne » d'après les tests, 14 d'entre eux font partie des élèves « supérieurs à la moyenne » proposés par les enseignants, soit un taux de recouvrement de 74 % entre les deux populations. Ce taux nous paraît témoigner d'une cohérence satisfaisante entre le jugement des enseignants et le verdict livré par les tests proposés, et assurer une légitimité supplémentaire aux variables Niveau et TRAV.

5.3. Relations entre le taux de pages vues (TPV) et la variation du taux de réponses exactes (ΔTR)

5.3.1. Valeur moyenne de ΔTR pour chaque classe d'élèves établie à partir des valeurs de TPV

La Figure 132 représente la valeur moyenne de ΔTR établie pour chaque domaine sur l'ensemble des élèves tels que TPV≥ 0.5 puis TPV < 0.5.

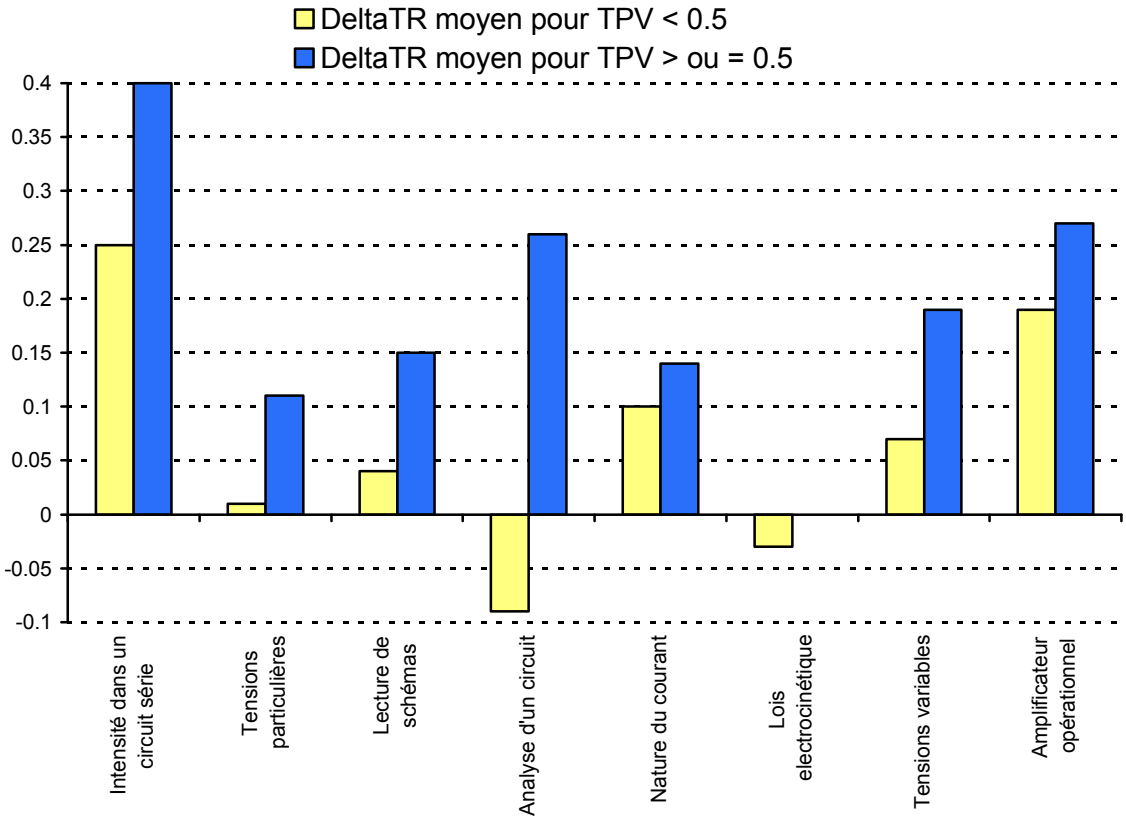


Figure 132 : Valeurs moyennes de ΔTR établies pour chaque domaine sur l'ensemble des élèves tels que TPV < 0.5 puis TPV ≥ 0.5. (Une valeur est absente en raison de l'effectif de la classe correspondante, inférieur à 15 % de l'effectif total).

Le plus grand écart entre les deux classes d'élèves (0.35) est observé pour le domaine « Analyse du fonctionnement d'un circuit », qui est totalement nouveau pour les élèves et où la consultation de REV.E.S. est primordiale pour progresser.

A l'inverse, le plus faible écart (0.04) est observé pour le domaine «Nature du courant » : il ne suffit donc pas de consulter ce domaine pour progresser et on peut penser qu'il y a là un problème, que ce soit pour les notions mises en jeu, ou pour leur mise en forme dans REV.E.S..

On peut constater aussi que $\overline{\Delta TR}$ pour TPV < 0.5 est toujours inférieure à $\overline{\Delta TR}$ pour TPV ≥ 0.5 pour chacun des 7 domaines où l'on peut effectuer une comparaison ; cela montre l'influence de la consultation sur la progression des élèves.

Le Tableau 20 page 238 qui propose les valeurs moyennes établies sur l'ensemble des élèves tels que TPV < 0.5 puis TPV≥ 0.5 résume bien cet état de fait : il y a, en moyenne sur un domaine, une différence de 15 % dans la variation du taux de réponses exactes en faveur des élèves qui ont parcouru plus de la moitié des pages de ce domaine.

	$\overline{\Delta TR}$ pour TPV < 0.5	$\overline{\Delta TR}$ pour TPV ≥ 0.5	Ecart entre les deux classes
Moyennes établies sur l'ensemble des domaines	0,07	0,22	0.15

Tableau 20 : Valeurs moyennes de ΔTR établies sur les deux classes d'élèves déterminées par les valeurs de TPV.

5.3.2. Valeur moyenne de TPV pour chaque classe d'élèves établies à partir de ΔTR

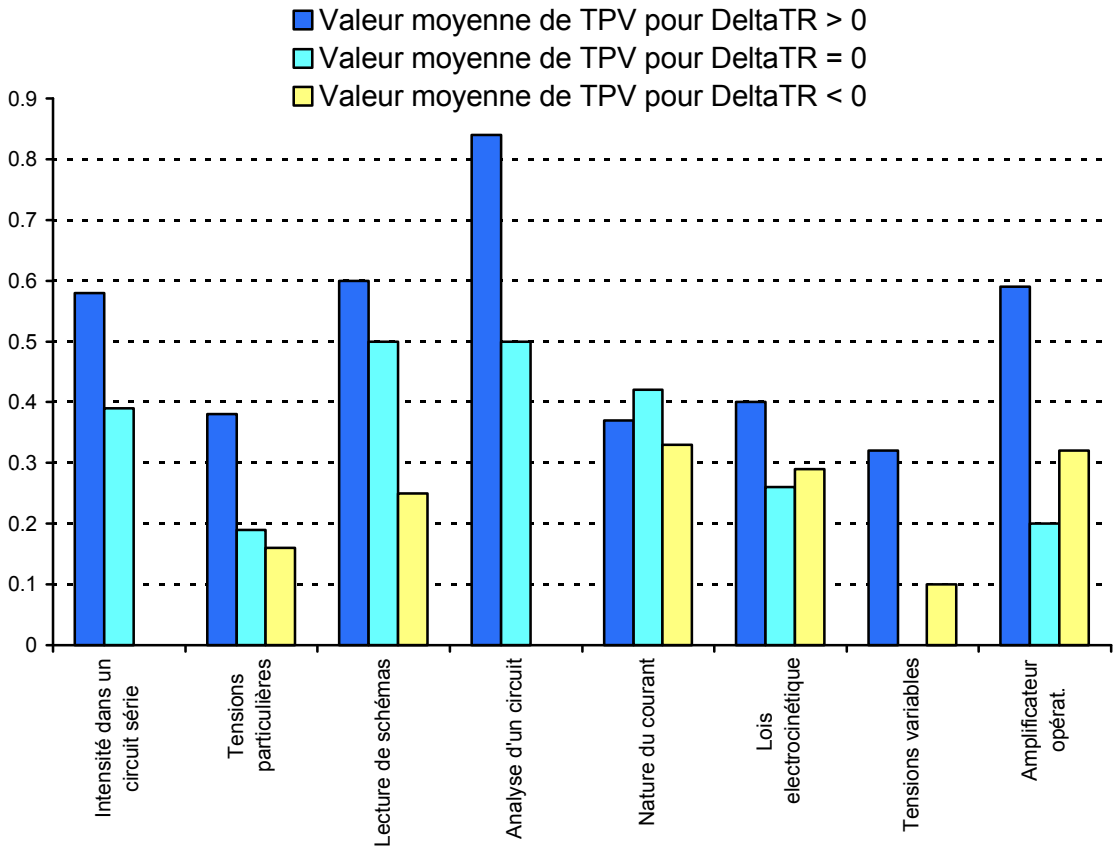


Figure 133 : Valeurs moyennes de TPV établies sur chaque domaine sur les trois classes d'élèves telles que ΔTR < 0, ΔTR = 0 et ΔTR > 0. (Certaines valeurs sont absentes en raison de l'effectif des classes correspondantes, inférieur à 15 % de l'effectif total).

La Figure 133 page 238 illustre pour chacun des domaines les valeurs moyennes de TPV établies pour trois classes d'élèves telles que ΔTR > 0, ΔTR = 0 et ΔTR < 0. On constate qu'à une exception près (domaine «Nature du courant»)

les valeurs moyennes de TPV sont plus grandes pour les élèves qui ont progressé ($\Delta TR > 0$) que pour les élèves qui ont stagné ($\Delta TR = 0$), et généralement plus grandes pour les élèves qui ont stagné que pour les élèves qui ont régressé ($\Delta TR < 0$).

Le Tableau 21 page 239 propose aussi la valeur moyenne de TPV établie sur les huit domaines pour chacune des trois classes que l'on vient d'évoquer. On peut y observer la même tendance, la valeur moyenne du taux de pages vues diminuant de concert avec les performances des élèves.

	$\overline{TPV}$ pour $\Delta TR > 0$	$\overline{TPV}$ pour $\Delta TR = 0$	$\overline{TPV}$ pour $\Delta TR < 0$
Moyenne établie sur l'ensemble des domaines	0,51	0,35	0,24

Tableau 21 : Valeurs moyennes de TPV établies sur les trois classes d'élèves déterminées par les valeurs de ΔTR et sur l'ensemble des domaines.

5.3.3. Analyse des effectifs ayant progressé, stagné ou régressé dans deux classes d'élèves déterminées en fonction des valeurs de TPV

Nous avons pu constater dans plusieurs cas dans les paragraphes précédents l'existence d'une relation entre $\overline{\Delta TR}$ et $\overline{TPV}$. Pour compléter cette étude, nous allons établir, pour chaque domaine, une comparaison entre l'effectif d'élèves ayant respectivement progressé, stagné ou régressé parmi ceux dont $TPV < 0.5$ et l'effectif d'élèves ayant respectivement progressé, stagné ou régressé parmi ceux dont $TPV \geq 0.5$.

L'analyse montre (Figure 134 page 240) que l'effectif des élèves ayant progressé parmi ceux qui ont $TPV \geq 0.5$ est toujours plus important que l'effectif des élèves qui ont progressé parmi ceux qui ont $TPV < 0.5$, et ce, généralement de manière nette. A l'inverse, on constate (Figure 135 page 240) que l'effectif des élèves ayant stagné parmi ceux qui ont $TPV \geq 0.5$ est quasiment toujours moins important que l'effectif des élèves qui ont stagné parmi ceux qui ont $TPV < 0.5$. Il en est de même pour les élèves ayant régressé, sur les 5 domaines où les échantillons sont suffisants pour établir une comparaison.

On remarquera ici aussi les difficultés avec le domaine «Nature du courant» (41% des élèves qui ont consulté plus de la moitié des pages du domaine ont stagné). En même temps, on peut noter pour le domaine «Tensions particulières» que 27 % des élèves qui ont un $TPV \geq 0.5$ ont stagné. Les cas où la tension prend des valeurs particulières étant nombreux, nous n'avons pas pour ce domaine, multiplié pour chacun d'entre eux les situations proposées, comme nous l'avons fait dans les autres domaines. Ces chiffres en sont probablement une des conséquences.

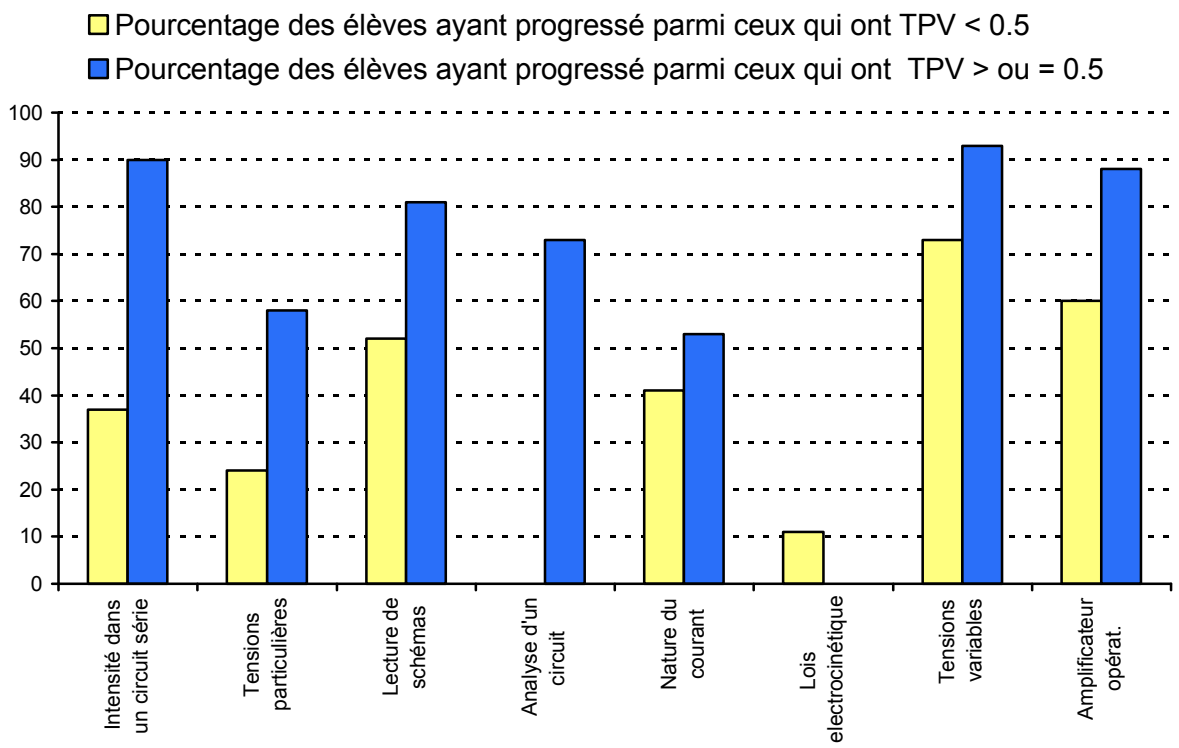


Figure 134 : Comparaison du pourcentage de l'effectif ayant progressé parmi les élèves ayant TPV < 0.5 avec le pourcentage de l'effectif ayant progressé parmi les élèves ayant TPV ≥ 0.5. (Une valeur est absente en raison de l'effectif de la classe correspondante, inférieur à 15 % de l'effectif total).

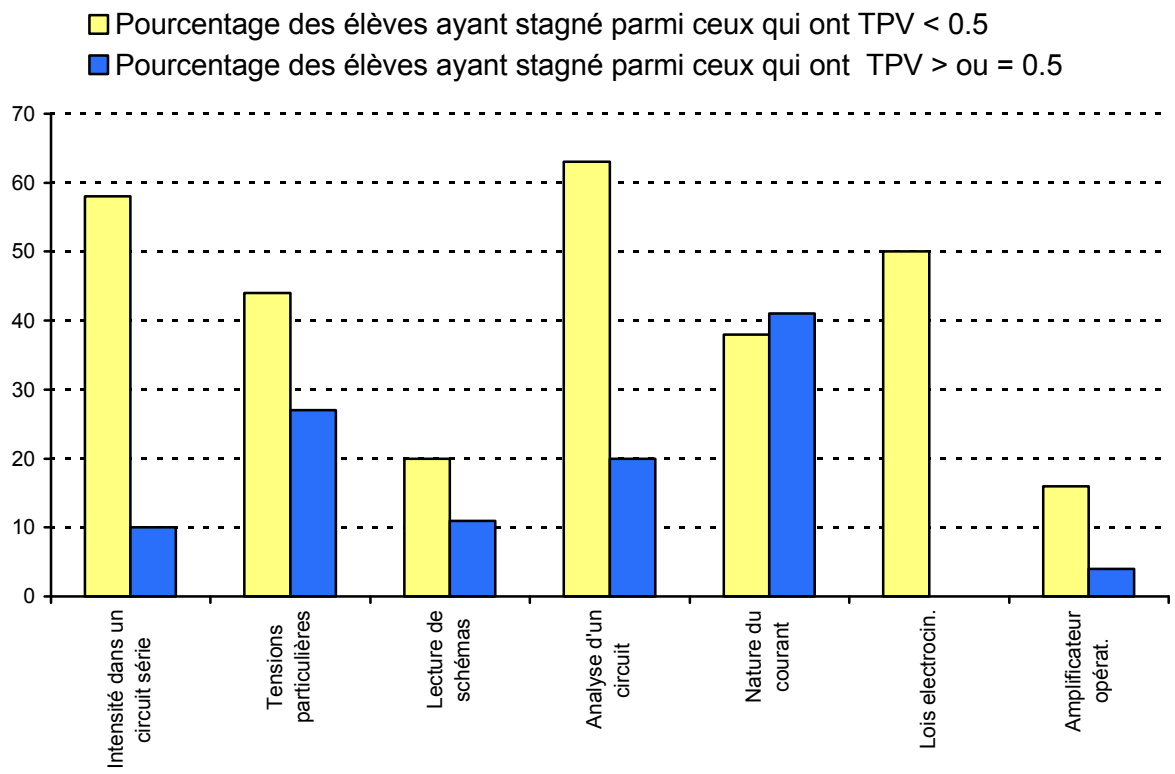


Figure 135 : Comparaison du pourcentage de l'effectif ayant stagné parmi les élèves ayant TPV < 0.5 avec le pourcentage de l'effectif ayant stagné parmi les élèves ayant TPV ≥ 0.5. (Certaines valeurs sont absentes en raison de l'effectif des classes correspondantes, inférieur à 15 % de l'effectif total).

Le Tableau 22 (page 241) qui récapitule les moyennes des effectifs précédents établies sur l'ensemble des huit domaines, fait bien sûr apparaître les mêmes conclusions, ce qui n'est pas surprenant, étant donné leur caractère systématique dans chacun des domaines. On peut toutefois noter la valeur significative des écarts entre les pourcentages moyens (40, 22 et 18 %) établis pour chacune des classes d'élèves, ainsi que la répartition révélatrice de l'effectif des élèves ayant TPV ≥ 0.5 : en moyenne 77% ont progressé et 9 % ont régressé.

	% des élèves dont TPV < 0.5 ayant progressé	% des élèves dont TPV ≥ 0.5 ayant progressé	% des élèves dont TPV < 0.5 ayant stagné	% des élèves dont TPV ≥ 0.5 ayant stagné	% des élèves dont TPV < 0.5 ayant régressé	% des élèves dont TPV ≥ 0.5 ayant régressé
Moyenne établie sur l'ensemble des domaines	37%	77%	41%	19%	27%	9%
Ecart entre les deux populations	40%		22%		18%	

Tableau 22 : Valeurs moyenne sur les huit domaines en pourcentage des effectifs ayant progressé, stagné et régressé parmi les élèves ayant TPV< 0.5 puis parmi les élèves ayant TPV≥ 0.5.

5.3.4. Valeurs moyennes du pourcentage de pages vues par un élève établies pour des classes d'élèves déterminées par $\overline{\Delta TR}$

Le pourcentage de pages vues par chaque élève sur l'ensemble de la consultation a été commenté dans cette partie du document au paragraphe 3.2.2 page 170. Nous avons calculé la valeur moyenne de ce pourcentage pour deux classes d'élèves construites à partir des valeurs moyennes de ΔTR commentées dans cette partie, au paragraphe 5.1.4 page 232. Nous avons retenu la classe des élèves qui, en moyenne sur les huit domaines, ont régressé ou stagné, et la classe des élèves qui ont progressé.

$\overline{\Delta TR}$	Fréquence	$\overline{\text{Pourcentage}}$
de -0.13 à 0.00	13%	0.27
de 0.16 à 0.33	37%	0.36
ENSEMBLE	100%	0.34

Tableau 23: Valeurs moyennes du pourcentage de pages vues par chaque élève pour trois classes d'élèves établies d'après la valeur moyenne de ΔTR obtenue pour chacun d'entre eux.

Le Tableau 23 page 241 donne les valeurs moyennes de ce pourcentage pour ces deux classes d'élèves (dont l'une ne comprend que 13 % de l'effectif). On peut constater que les élèves qui ont le plus progressé sont ceux qui globalement, sur l'ensemble de la consultation ont vu le plus de page chacun (36 % en moyenne). A l'inverse, ceux qui ont régressé entre les deux séries de tests sont ceux qui en

ont vu le moins (27 % en moyenne). Cette différence de 9 % (soit 6 pages) laisse à penser que les informations vues dans d'autres domaines en plus de ceux que nous avons étudiés ont été profitables aux élèves pour leur travail dans ces huit domaines, et ce, d'autant plus qu'elles étaient plus nombreuses.

5.3.5. Valeurs moyennes de TPVC8D et TPVT8D pour deux classes d'élèves établies à partir de $\overline{\Delta TR}$

Le Tableau 24 page 242 donne les valeurs moyennes des taux correspondants aux différents types de pages vues dans les 8 domaines étudiés, TPVC8D et TPVT8D, pour deux classes d'élèves établies d'après la valeur obtenue pour chacun d'entre eux à $\overline{\Delta TR}$ (cf. paragraphe 5.1.4 page 232). Nous avons retenu la classe des élèves qui, en moyenne sur les huit domaines, ont régressé ou stagné, et la classe des élèves qui ont progressé.

$\overline{\Delta TR}$	Fréquence	$\overline{TPVC8D}$	$\overline{TPVT8D}$
de -0.13 à 0.00	13%	0.35	0.41
de 0.01 à 0.33	87%	0.41	0.59
ENSEMBLE	100%	0.40	0.57

Tableau 24 : Valeurs moyennes des taux TPVC8D, TPVT8D établies sur deux populations déterminées par la valeur moyenne de ΔTR.

On peut noter la différence significative pour les pages «Tests » entre les élèves qui, en moyenne, ont progressé sur les huit domaines et ceux qui ont régressé (différence de 18 %). Cette constatation peut paraître normale en remarquant une certaine similitude dans les attitudes et les raisonnements mis en jeu pour travailler dans les pages de type «Tests » et les questionnaires papier, beaucoup plus que lors du travail sur les pages de type «Connaissances » ou « Méthodes ». Il est donc naturel que les élèves qui l'ont compris aient davantage progressé que leurs camarades.

5.3.6. Conclusion

Nous avons montré dans les paragraphes précédents, à partir de diverses analyses, l'existence d'une corrélation tant entre $\overline{\Delta TR}$ et $\overline{TPV}$ qu'entre les divers effectifs conduisant à ces valeurs moyennes.

On peut donc dire que la progression des élèves entre les deux séries de tests semble être liée, en moyenne, à la quantité d'informations parcourues, particulièrement sur les huit domaines concernés (et notamment les pages de type « Tests »), mais aussi sur l'ensemble du produit, et donc au travail sur REV.E.S..

Bien sûr, rien ne nous permet de dire que la progression d'ensemble n'est due qu'à ce facteur, mais les relations montrées nous laissent supposer qu'il représente une part importante.

5.4. Relation entre le niveau des élèves (Niveau) et le taux de pages vues (TPV)

Il nous a paru intéressant d'observer si les élèves dont le niveau est supérieur à la moyenne se comportaient différemment de leurs camarades pour ce qui concerne la quantité d'informations consultées dans les huit domaines, parce qu'on peut penser qu'ils travaillent plus vite et que cela peut avoir une influence sur leurs performances globales.

5.4.1. Valeurs moyennes de TPV pour chacune des classes d'élèves établies à partir de leur niveau

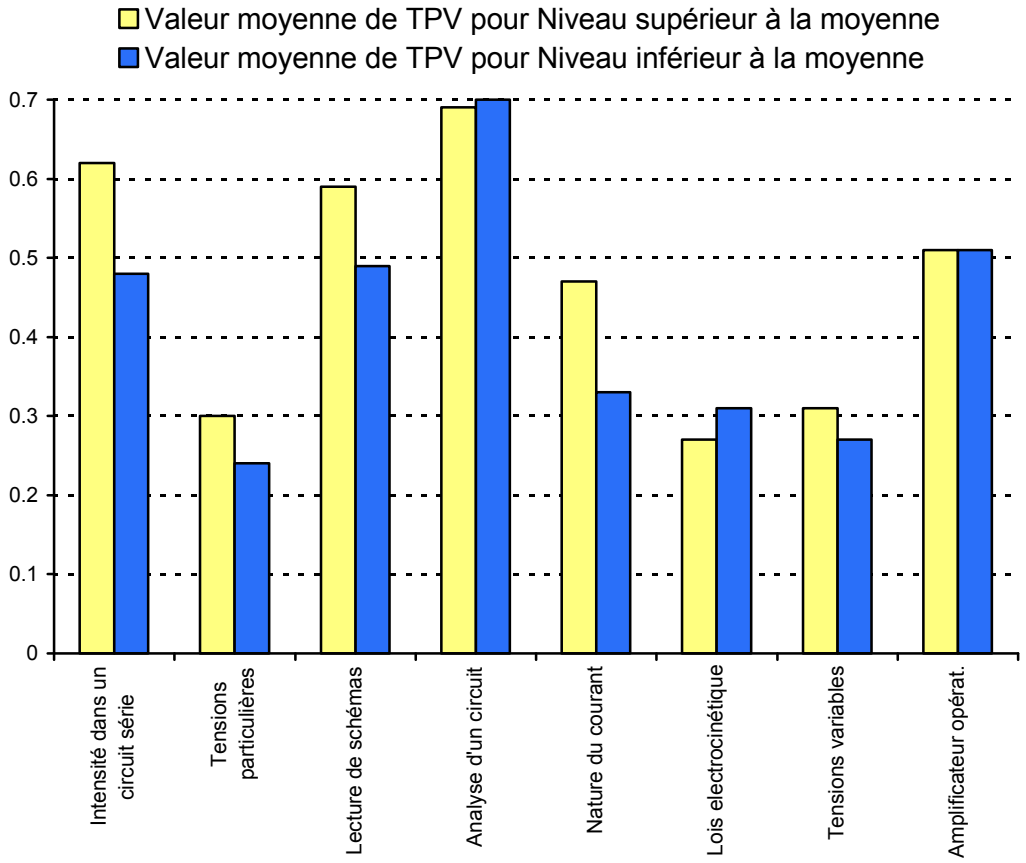


Figure 136 : Valeurs moyennes de TPV établies pour chaque domaine sur les deux classes d'élèves dont le niveau est supérieur puis inférieur à la moyenne.

La Figure 136 (page 243) montre que pour 5 domaines sur 8, les élèves dont le niveau est supérieur à la moyenne consultent légèrement plus d'informations que ceux dont le niveau est inférieur à la moyenne. Le Tableau 25 (page 244) montre que cette tendance reste en moyenne peu marquée, la différence entre les

moyennes des deux classes d'élèves étant de 5 % (soit de l'ordre de 2 pages) pour des écarts variant de - 4 à + 14 % suivant les domaines.

	$\overline{TPV}$ pour Niveau > moyenne	$\overline{TPV}$ pour Niveau < moyenne
Moyenne établie sur l'ensemble des domaines	0,47	0,42

Tableau 25 : Valeurs moyennes de TPV établies sur les deux classes d'élèves dont le niveau est supérieur et inférieur à la moyenne, sur l'ensemble des domaines.

5.4.2. Analyse des effectifs ayant TPV ≥ 0.5 dans deux classes d'élèves déterminées à partir de leur niveau

La Figure 137 (page 244) montre qu'il y a, de manière générale, plus d'élèves en pourcentage, qui ont dans un domaine donné TPV≥ 0.5, parmi les élèves dont le niveau est supérieur à la moyenne que parmi ceux dont le niveau est inférieur à la moyenne. Le Tableau 26 page 245 montre cependant que cette tendance reste faible, la différence entre les pourcentages moyens des deux classes d'élèves étant de 9 %, pour des écarts allant de 2 à 14 % suivant les domaines.

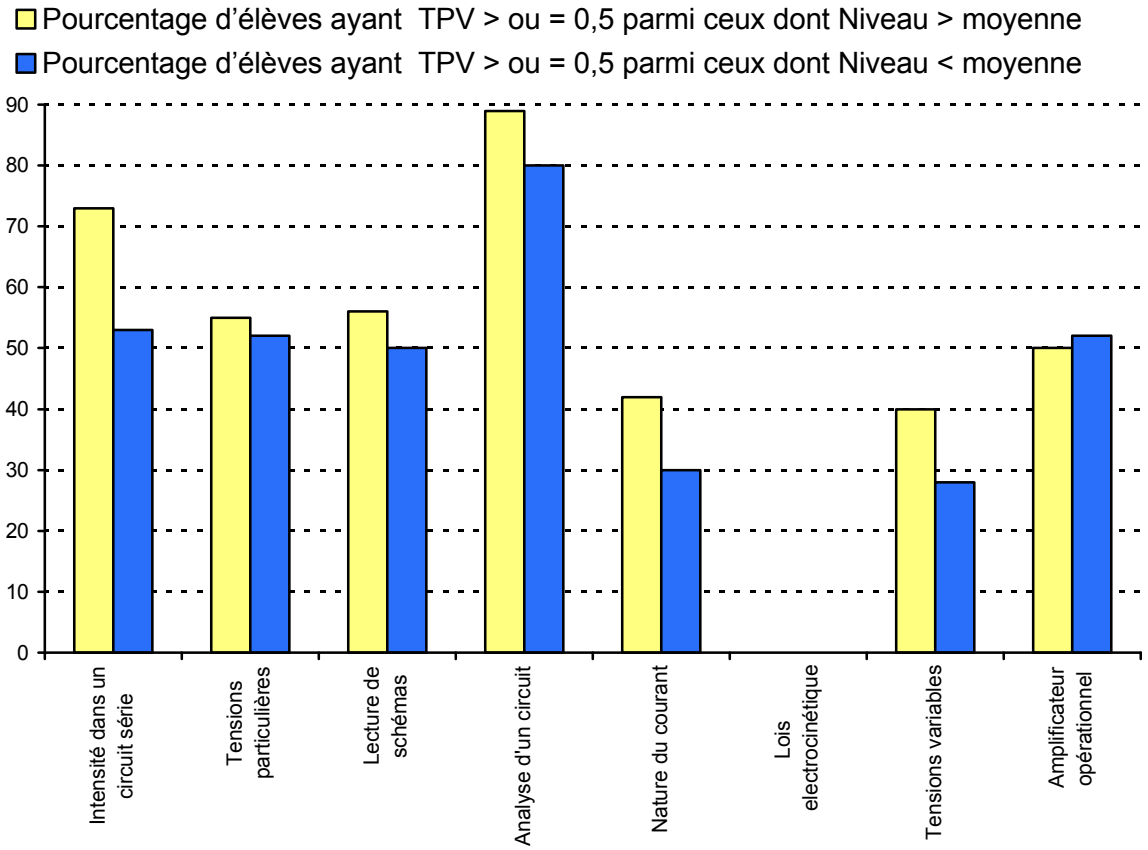


Figure 137 : Effectifs dont le niveau est supérieur puis inférieur à la moyenne ayant TPV ≥ 0.5. (Certaines valeurs sont absentes en raison de l'effectif des classes correspondantes, inférieur à 15 % de l'effectif total).

	% d'élèves ayant TPV≥ 0.5 parmi ceux dont Niveau > moyenne	% d'élèves ayant TPV≥ 0.5 parmi ceux dont Niveau < moyenne
Moyenne établie sur l'ensemble des domaines	58	49

Tableau 26 : Valeurs moyennes des effectifs établies sur les deux classes d'élèves déterminées par le niveau parmi les élèves ayant TPV≥ 0.5.

5.4.3. Conclusion

Nous avons montré que les élèves dont le niveau est supérieur à la moyenne ont vu plus d'informations que leurs camarades (tant pour $\overline{TPV}$ que pour le pourcentage de l'effectif ayant TPV ≥ 0.5), mais cette tendance reste peu marquée (de 5 à 9 % suivant ce que l'on considère).

Dans le cadre de cette expérimentation, le niveau des élèves n'est donc que peu discriminant quant à la quantité d'informations vues.

5.5. Relations entre le niveau des élèves (Niveau) et la variation du taux de réponses exactes (ΔTR)

Suivant l'analyse faite, en général de manière tout à fait subjective, l'usage des nouvelles technologies pour l'éducation aggrave ou réduit les inégalités face à l'acquisition des connaissances. Il nous a donc paru intéressant d'observer ce qu'il en était pour les classes avec lesquelles nous avons travaillé. Ce sont ces résultats que nous présentons ci-après.

5.5.1. Valeurs moyennes de ΔTR pour chacune des classes d'élèves établies à partir de leur niveau

La Figure 138 page 246 traduit pour chaque domaine les valeurs moyennes de ΔTR pour chacune des classes d'élèves établies à partir de leur niveau. Si pour cinq des domaines, les élèves de niveau supérieur ont une valeur $\overline{\Delta TR}$ plus grande que leurs camarades, on constate que l'écart entre les deux classes est faible, (de 0.06 à -0.08 suivant les domaines), à l'exclusion du domaine « Analyse du fonctionnement d'un circuit» où il atteint 0.25.

C'est aussi ce que montre le Tableau 27 page 246 qui propose les valeurs moyennes de ΔTR établies sur l'ensemble des domaines pour les deux classes d'élèves. Celles-ci sont quasiment équivalentes (4 % de différence entre les deux populations).

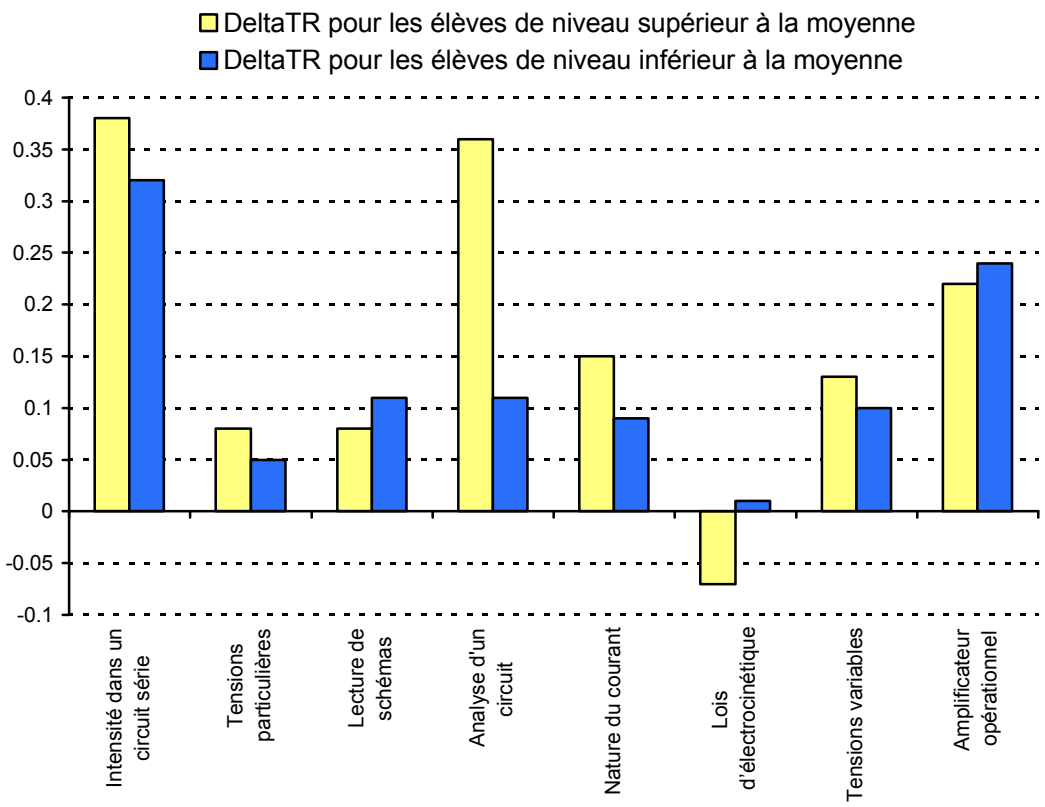


Figure 138 : Valeurs moyennes de ΔTR pour chacun des domaines, établies sur deux classes d'élèves déterminées par le niveau.

	$\overline{\Delta TR}$ pour Niveau > moyenne	$\overline{\Delta TR}$ pour Niveau < moyenne	Ecart entre les deux niveaux
Moyenne établies sur l'ensemble des domaines	0,17	0,13	0.04

Tableau 27 : Valeurs moyennes de ΔTR établies sur l'ensemble des domaines et pour les deux classes d'élèves dont le niveau est supérieur et inférieur à la moyenne.

5.5.2. Analyse des effectifs ayant progressé, stagné ou régressé dans deux classes d'élèves déterminées à partir de leur niveau

La Figure 139 page 247 représente les pourcentages des élèves de niveau supérieur puis inférieur à la moyenne ayant progressé entre les deux séries de tests. On peut constater qu'il n'y a pas de tendance nette qui se dégage, le pourcentage des élèves de niveau supérieur à la moyenne ayant progressé étant plus grand dans quatre des domaines et plus petit dans les quatre autres. Nous n'avons pas représenté graphiquement la même analyse pour les élèves ayant régressé entre les deux séries de tests, mais les résultats sont du même type.

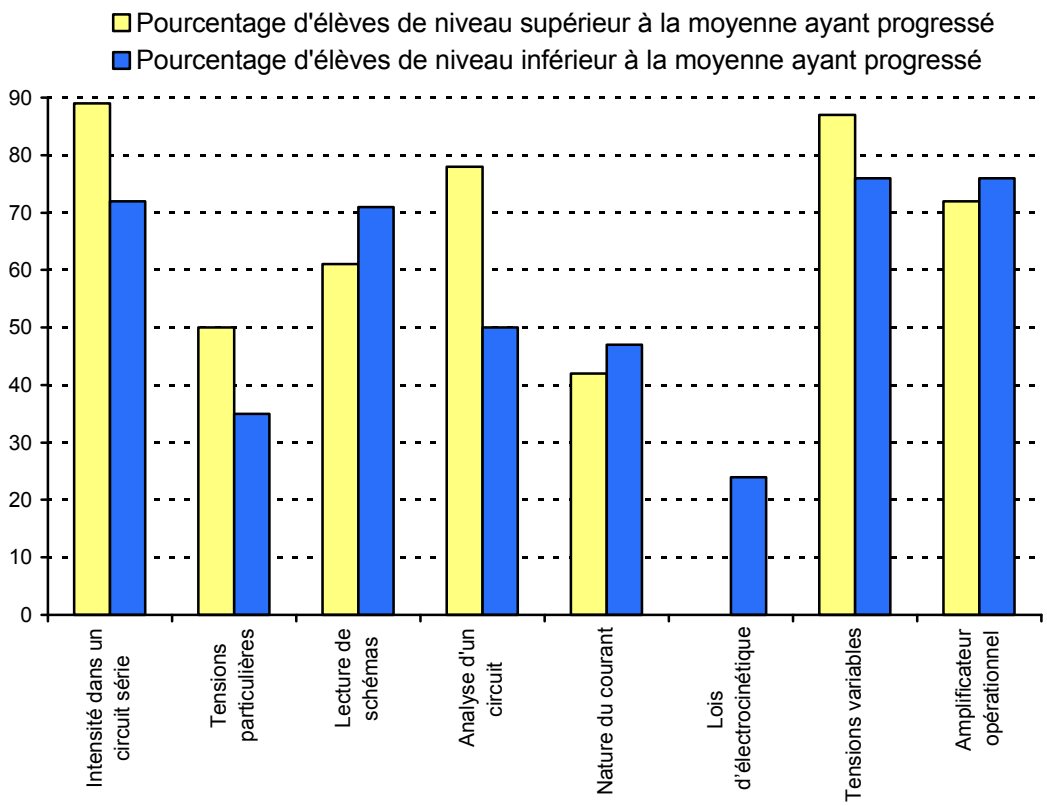


Figure 139 : Pourcentage de l'effectif des élèves de niveau supérieur et inférieur à la moyenne ayant progressé.

Le Tableau 28 page 247 récapitule les valeurs moyennes des différents pourcentages d'élèves ayant progressé ou régressé parmi les deux classes d'élèves. On constate qu'ils sont pratiquement identiques (de 3 à 6 % prés) pour les élèves dont le niveau est supérieur à la moyenne ou ceux dont le niveau est inférieur à la moyenne.

	Moyenne établies sur l'ensemble des domaines
% élèves ayant progressé parmi ceux dont Niveau = sup. Moyenne	60
% élèves ayant progressé parmi ceux dont Niveau = inf. moyenne	56
% élèves ayant stagné parmi ceux dont Niveau = sup. moyenne	24
% élèves ayant stagné parmi ceux dont Niveau = inf. moyenne	30
% élèves ayant régressé parmi ceux dont Niveau = sup. moyenne	23
% élèves ayant régressé parmi ceux dont Niveau = inf. moyenne	20

Tableau 28 : Valeurs moyennes en pourcentage de l'effectif ayant progressé, stagné et régressé parmi les élèves dont le niveau est supérieur ou inférieur à la moyenne.

5.5.3. En conclusion

Nous venons de montrer que les élèves dont le niveau est supérieur à la moyenne tirent profit de leur passage sur REV.E.S. de manière sensiblement identique à celle des élèves dont le niveau est inférieur à la moyenne, tant pour les valeurs moyennes de ΔTR (+ 4 % pour les élèves dont le niveau est supérieur à la moyenne) que pour les effectifs ayant progressé ou régressé dans les deux classes.

On peut donc dire que dans le cadre de notre expérimentation, l'utilisation d'un produit sur ordinateur ne fait pas évoluer de manière sensible l'écart entre les meilleurs élèves et les moins bons.

Il faut bien sûr relativiser cette conclusion en la référant au contexte ; en effet, les élèves ont peu ou pas l'habitude de travailler avec ce type de produit. Ni les uns ni les autres n'ont eu le temps en quelques heures (trois à cinq), de mettre en place des stratégies d'utilisation. Par ailleurs, les résultats sont aussi étroitement liés à l'investissement personnel des élèves. Nous avons pu constater avec enseignants que le travail a été important chez certains élèves faibles qui ont peut-être trouvé là une occasion d'apprendre différemment, alors que de bons élèves ont fait peu d'efforts, se sentant en quelque sorte «à l'abri du besoin».

Cette réserve étant faite, on peut aussi lire ces résultats d'une autre manière en remarquant que plus d'un élève dont le niveau est inférieur à la moyenne sur deux a progressé, ce qui constitue un résultat encourageant.

5.6. Analyse de l'adéquation entre les pages vues et les besoins révélés par les tests

Le produit laissant toute liberté de navigation, les élèves ont choisi de consulter préférentiellement certaines informations. Nous avions à l'origine pensé que les cartes d'objectifs que constituent les menus et les réponses proposées par la machine aux tests permettraient aux élèves de repérer leurs besoins d'approfondissement et par là même détermineraient en partie les consultations à effectuer (voir dans ce document la partie III, au paragraphe 1.7 page 102). Le but de cette analyse est donc d'étudier dans quelle mesure cette hypothèse est pertinente au vu des faits.

Nous proposons une analyse en deux temps.

- Nous analyserons pour chaque domaine le pourcentage d'élèves ayant consulté ce domaine parmi les élèves qui auraient dû réaliser la consultation. Cet effectif constitue, pour faire court, les élèves qui «ont identifié leurs besoins dans un domaine donné », formule que nous retiendrons dans la suite de l'exposé, même si elle n'est pas tout fait exacte dans la mesure où on peut avoir identifié ses propres besoins sans pour autant avoir réalisé la consultation correspondante, faute de temps par exemple.

– En récapitulant l'ensemble des résultats obtenus sur chaque domaine pour chacun des élèves, nous analyserons le pourcentage de domaines qu'un élève donné a vu parmi ceux qu'il aurait dû voir. Nous analyserons donc ici l'aptitude pour un élève à consulter l'ensemble des domaines qu'il doit réviser.

Dans les deux cas, nous avons considéré, comme dans l'ensemble de l'analyse, qu'un élève a consulté un domaine lorsque le taux de pages qu'il a vues sur ce domaine est tel que TPV ≥ 0.5. Nous avons considéré qu'il doit réviser un domaine lorsque le taux de réponses exactes à ce domaine avant passage sur machine (première série de tests) est tel que TRAV < 0.5. Les résultats portent sur sept des huit domaines, le pourcentage d'élèves ayant TPV ≥ 0.5 dans le domaine « lois de l'électrocinétique » étant seulement de 6 % de l'effectif.

5.6.1. Effectif ayant identifié ses besoins dans un domaine donné

La Figure 140 page 249 donne pour chacun des domaines le pourcentage des élèves qui ont identifié les besoins de consultation, le pourcentage moyen établi sur l'ensemble des domaines étant de 51 %.

On remarque deux domaines où les pourcentages sont nettement plus faibles (« Nature du courant » et « Lois de l'électrocinétique »), ces valeurs expliquant pour partie les remarques que nous avons faites à leur propos dans les paragraphes précédents. Nous avons déjà eu l'occasion de dire que nous avons incité les élèves à consulter le domaine « Analyse du fonctionnement d'un circuit » si bien que la valeur de 84 % n'est pas uniquement significative de leur propre choix. Les valeurs du pourcentage d'élèves ayant identifié les besoins pour les autres domaines sont homogènes et varient peu autour de la valeur moyenne de 51 %.

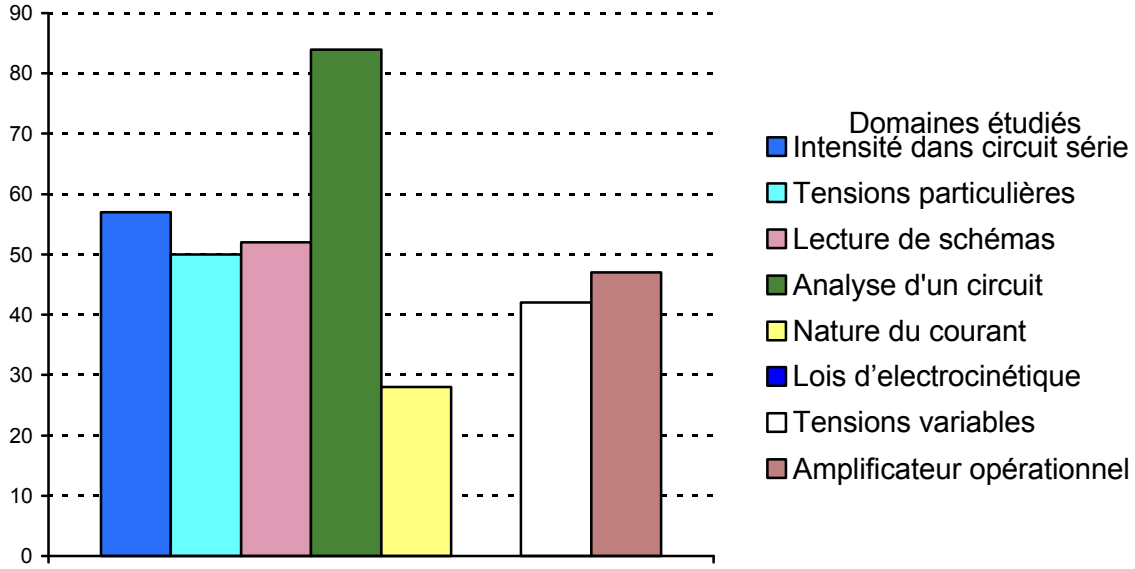


Figure 140 : Pourcentage d'élèves ayant identifié leurs besoins de consultation dans un domaine donné, parmi ceux qui avaient besoin de revoir ce domaine. (Une des valeurs est absente en raison de l'effectif de la classe correspondante, inférieur à 15 % de l'effectif total).

Le Tableau 29 page 250 propose la valeur moyenne sur les huit domaines des pourcentages d'élèves de niveau supérieur puis de niveau inférieur à la moyenne ayant identifié leurs besoins. On constate que ces valeurs sont identiques, montrant encore une fois le peu d'influence de la variable Niveau dés que l'on raisonne sur l'ensemble des élèves et l'ensemble des domaines.

	Pourcentage moyen d'élèves ayant identifié leurs besoins dans un domaine donné parmi les élèves dont le niveau est supérieur à la moyenne	Pourcentage moyen d'élèves ayant identifié leurs besoins dans un domaine donné parmi les élèves dont le niveau est inférieur à la moyenne
Moyenne établie sur l'ensemble des domaines	54	51

Tableau 29 : Valeurs moyennes des pourcentages d'élèves ayant identifié leurs besoins de consultation dans un domaine donné, parmi ceux qui avait besoin de revoir ce domaine, pour les deux classes d'élèves, déterminées par le niveau.

5.6.2. Aptitude moyenne d'un élève à consulter l'ensemble des domaines qu'il doit réviser

La Figure 133 page 238 visualise l'effectif des élèves réparti suivant le pourcentage de domaines consultés, établi sur les domaines à consulter. On y constate que les élèves sont à peu près également répartis, une majorité d'élèves (voisine d'un tiers) ayant cependant consulté entre 40 et 60 % des domaines qui, en fonction de leurs résultats à la première série de tests, étaient à réviser. En moyenne, un élève consulte 52 % des domaines qu'il a à réviser.

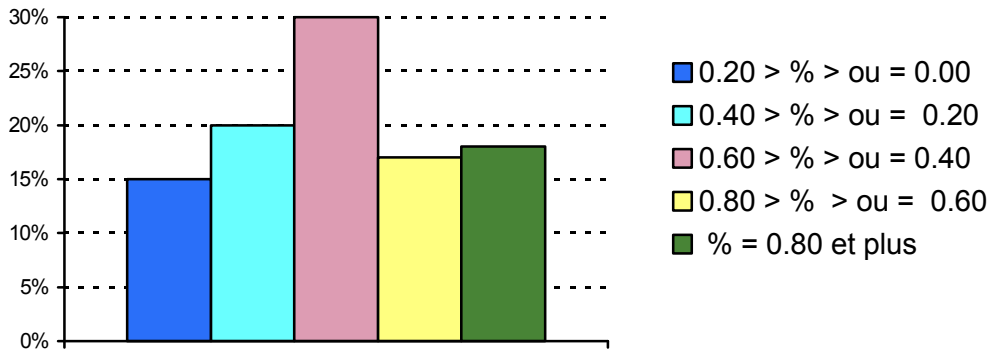


Figure 141 : Répartition des élèves en cinq classes selon le pourcentage des domaines vus parmi ceux qui auraient dû être vus.

Le Tableau 30 page 251 montre que 52 % des élèves ont vu plus de la moitié des domaines qu'ils devaient réviser, alors que le Tableau 31 page 251 donne les pourcentages extrémaux. On y constate que 17 % d'élèves (soit 9 individus) ont vu 100 % des domaines à réviser ; parmi eux trois-quarts ont un niveau supérieur à la moyenne et obtiennent, en moyenne sur les huit domaines, un taux

de réponses exactes avant et après passage sur REV.E.S. de 0.62 (TRAV) et 0.78 (TRAP), ce qui montre que ce sont d'excellents élèves. A l'inverse, 7 % des élèves (soit 4 individus) n'ont vu aucun des domaines qu'ils auraient dû voir.

Pour compléter cette analyse, nous indiquons, au Tableau 32 page 251, la répartition des élèves en fonction du pourcentage de domaines vus et de leur niveau. On y remarque que 63 % des élèves dont le niveau est supérieur à la moyenne ont consulté plus de la moitié des domaines qu'ils devaient revoir, contre 46 % des élèves dont le niveau est inférieur à la moyenne.

Il semble donc, au vu de ces chiffres que le niveau des élèves influe sur l'aptitude à choisir l'ensemble des domaines à consulter.

Pourcentage de domaines vus parmi ceux qui étaient à voir	Effectif correspondant
% ≥ 0.50	52 %
% < 0.50	48 %

Tableau 30 : Répartition des élèves en deux classes selon le pourcentage des domaines vus parmi ceux qui étaient à voir

Pourcentage extrémaux de domaines vus parmi ceux qui étaient à voir	Effectif correspondant
1.00	17 %
0.00	7 %

Tableau 31 : Répartition des élèves dont le pourcentage de domaines vus parmi ceux qui étaient à voir a des valeurs extrémales.

Pourcentage de domaines vus parmi ceux qui étaient à voir	Effectif correspondant parmi les élèves dont le niveau est supérieur à la moyenne	Effectif correspondant parmi les élèves dont le niveau est inférieur à la moyenne
% ≥ 0.50	63 %	46 %
% < 0.50	37 %	54 %

Tableau 32 : Répartition des élèves en deux classes selon le pourcentage des domaines vus parmi ceux qui étaient à voir, pour les élèves dont le niveau est supérieur puis inférieur à la moyenne.

5.6.3. En conclusion

Nous avons montré dans les analyses précédentes qu'en moyenne,la moitié des élèves consultaient un domaine qu'ils avaient besoin de réviser. En moyenne, le niveau des élèves ne semble pas intervenir pour identifier le besoin de consulter un domaine donné.

Nous avons aussi montré qu'en moyenne, un élève identifie la moitié des domaines qu'il a besoin de consulter. Dans ce cadre global de choix portant sur l'ensemble des domaines, le niveau des élèves intervient, les meilleurs élèves étant par exemple capables de déterminer 100 % des domaines qu'ils ont à

réviser. On peut expliquer cette différence dans le rôle de la variable «niveau » par le fait que dans le premier cas, il s'agit d'identifier la nécessité ou non de consulter un seul domaine donné, alors que dans le deuxième cas, il s'agit d'identifier l'ensemble des domaines à consulter, ce qui peut paraître plus difficile. Il semble logique de trouver que seuls, les meilleurs élèves y parviennent en totalité.

L'hypothèse selon laquelle les élèves sont capables, avec les indications fournies dans REV.E.S., de faire les choix pertinents pour ce qui concerne les éléments à consulter est donc «à moitié» vérifiée.

6. Appréciations des élèves et des enseignants sur le produit

Nous avons souhaité, pour compléter l'analyse, recueillir de manière indicative l'opinion des usagers du produit que sont à la fois les élèves et leurs enseignants.

Un questionnaire, que l'on trouvera dans la partie II de l'annexe au chapitre 9, a été remis aux élèves. Il portait sur l'accès aux informations, la forme du produit, l'intérêt des différentes parties et l'appréciation d'ensemble sur le produit. Nous évoquerons tour à tour ces éléments dans ce court paragraphe, en nous référant aux résultats numériques rassemblés dans la partie VI de l'annexe.

Une interview des deux enseignantes a été réalisée, notamment en commentant les résultats obtenus dans l'étude des huit domaines, commentaires auxquels s'ajoutent des considérations sur la forme du produit, la place du texte, notamment dans les réponses fournies aux tests par la machine. Ce sont les éléments que nous évoquerons pour clôturer cette courte analyse.

6.1. Appréciations des élèves

6.1.1. Accès à l'information

Les élèves reconnaissent n'avoir pas connu de grandes difficultés dans la recherche d'information au sein de REV.E.S:

- 81 % d'entre eux affirment avoir facilement trouvé l'information recherchée;
- 95 % affirment ne s'être jamais perdus, ou rarement, en recherchant de l'information;
- 95 % estiment que les indices de repérages (titres des pages, indications sur la fonction des icones etc.) sont suffisants.

Cette appréciation confirme l'analyse des parcours dans lesquels nous n'avions pas noté, à une exception prés, de navigation erratique.

REV.E.S. semble être, pour les élèves qui l'ont utilisé, un produit facile à prendre en main dans lequel la structure et les indices proposés sont suffisamment explicites même pour des usagers néophytes. Cependant, nous pouvons nuancer légèrement ce propos en remarquant que 17 % des élèves ont utilisé 3 stratégies différentes de consultation au cours des deux sessions sur machine (voir le chapitre3.3.3 page 181).

6.1.2. Présentation de l'information

Nous avons conçu un produit dans lequel la structuration locale de l'information au sein de la page se fait généralement à partir d'un scénario impliquant plusieurs médias, scénario activé par l'utilisateur et se déroulant à son gré. 70 % des élèves en sont satisfaits, les 30 % restants n'ayant pas d'avis sur la question.

Nous avons aussi questionné les élèves sur l'utilisation des différents médias dans REV.E.S. LaFigure 142 traduit les réponses. On constate que:

- peu d'élèves considèrent qu'un média est utilisé de manière excessive (à l'exception des schémas pour lesquels ils sont 22 % à avoir l'avis contraire, mais il est vrai que les schémas sont nombreux) ;
- une majorité d'élèves (de 54 à 76 %) juge que les médias sont utilisés normalement, à l'exception du son pour lequel le pourcentage de satisfaits chute à 22 %, 70 % trouvant par contre ce média trop peu utilisé.
- une quantité significative d'élèves (35 et 38 %) aurait aimé avoir plus d'animations et plus de vidéo.

Cependant, pour que ces remarques prennent tout leur sens, il faudrait les objectiver en comparant la place occupée dans le produit par les différents médias, ce qui reste très difficile. Pour synthétiser brièvement les appréciations des élèves concernant les différents médias, on peut donc retenir qu'ils souhaitent un peu plus d'animations et de vidéo, et beaucoup plus de son.

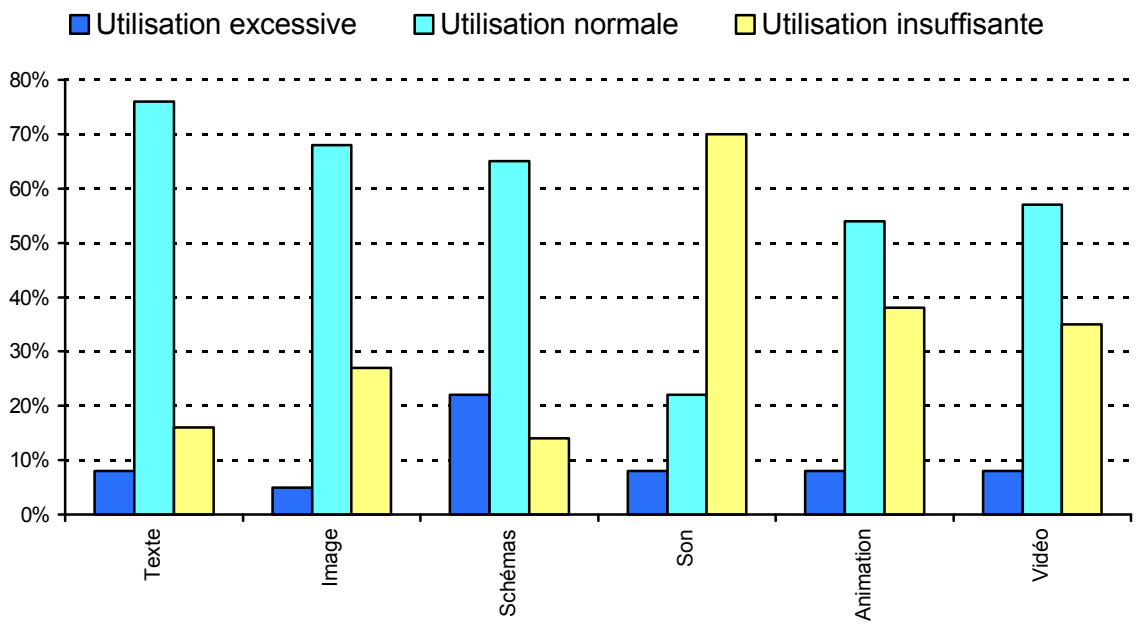


Figure 142: Répartition des élèves suivant leur opinion sur l'utilisation excessive, normale ou insuffisante des différents médias dans REV.E.S..

6.1.3. Analyse des différentes parties

L'existence des différents types de pages ne semble pas remise en cause par une large majorité d'élèves, même s'ils consultent peu certains d'entre eux, comme nous l'avons montré dans cette partie IV au paragraphe 3.2.4 page 173, dans l'étude de leurs parcours au sein de REV.E.S. Ainsi

- 87 % des élèves trouvent les pages « Connaissances » utiles pour réviser le cours ;
- 95 % des élèves jugent les pages «Tests de connaissances» utiles ;
- 54 % des élèves trouvent utile la description de méthodes expérimentales, malgré l'absence de matériel réel pour expérimenter(35 % la trouvant inutile) ;
- 70 % des élèves jugent que les pages « Documents » sont intéressantes pour compléter le cours.

En interrogeant les élèves sur les «Tests de connaissances», il apparaît que :

- un nombre significatif d'élèves (54 %) utilisent les tests comme élément permettant de contrôler la navigation (vérification de l'acquisition des notions avant de réviser les connaissances correspondantes), alors que 43 % s'en servent comme exercice d'application supplémentaire ;
- la forme multimédia des réponses aux tests, bien que sans aspect ludique, satisfait 78 % des élèves, mais 30 % des élèves jugent insuffisantes les réponses proposées pour comprendre la solution ; par ailleurs si 54 % des élèves sont satisfaits du nombre de questions proposées, 35 % souhaiteraient en avoir davantage.

On peut donc retenir que les élèves ne souhaitent amputer REV.E.S. d'aucune des ses quatre grandes parties, même si dans la réalité, ils consultent peu deux d'entre elles (méthodes et documents). Par contre un nombre significatif (30 %) souhaite voir améliorer la qualité des réponses fournies aux questions posées.

6.1.4. Appréciation d'ensemble

Les élèves sont manifestement séduits par le type de produit utilisé et ils sont prêts à 95 % à réutiliser un produit semblable pour réviser la suite du cours, ce qui constitue un plébiscite. Même si l'aspect novateur influe probablement pour une bonne part dans ce jugement, l'analyse faite par les élèves sur les aspects qui les ont le plus séduits montre qu'il y a tout de même d'autres considérations qui rentrent en ligne de compte. Cette analyse qui fait suite à une question ouverte, et dont les items sont donc totalement à l'initiative des élèves, porte sur

- le mode d'utilisation du produit : 11 % des élèves disent apprécier la liberté offerte par REV.E.S. (choix des items, temps passé etc.) ;

- la forme du produit : 11 % des élèves disent avoir été séduits par la simplicité d'accès du produit, 5 % par le mode de présentation, 3 % par la possibilité de revoir l'information plusieurs fois, 14 % par la présence de son, 5 % par les animations, 5 % par les schémas, 3 % par les vidéos;
- le contenu du produit : si 5 % apprécient les explications fournies, 3 % la liste des éléments à connaître avec les tests associés et 3 % l'aspect complet du produit, les autres suffrages vont aux différentes parties du produit: 8 % apprécient la partie « Tests », 3 % la partie « Connaissances » et 3 % la partie « Tests ».

Plus que la faible valeur de certains pourcentages dus à une question ouverte dépourvue d'items suggérés - et donc du nombre d'individus concernés -, il faut retenir ici les éléments soulignés par les élèves dans leur diversité et remarquer que la plupart ont servi de base à la conception du produit.

Pour ce qui concerne les aspects ayant le plus dérangé les élèves (question présentée toujours de manière ouverte), on peut remarquer que 51 % des élèves n'ont pas répondu, ce qui signifie pour eux qu'aucun élément n'a été suffisamment négatif pour devoir être signalé. 5 % mentionnent d'ailleurs cette opinion de manière explicite. Parmi les éléments relevés par les élèves, 3 % trop de schémas, 5 % trop de texte, 3 % l'aspect peu ludique bien qu'attrayant. Enfin, de 5 à 3 % des élèves ont été dérangé par la présence de l'une ou l'autre des parties « Connaissances » « Méthodes » « Tests » et « Documents » de REV.E.S..

Globalement, on peut dire que le grande majorité des élèves adhère manifestement à ce type de produit, chacun pour des raisons diverses, ce qui montre l'intérêt à la fois de varier les médias, les structures et les types d'information proposées.

6.2. Quelques remarques des enseignantes des deux classes

6.2.1. Progression des élèves après utilisation de REV.E.S.

La progression moyenne de 15 % évaluée d'après les tests papier est notable pour les deux enseignantes. Elle justifie le travail effectué. Elle est corroborée de façon totalement subjective par le discours de certains élèves affirmant avoir « compris des choses » en travaillant sur machine.

6.2.2. Questions des tests « papier »

Les questions posées dans les tests papier étaient intéressantes (notamment celles concernant l'intensité dans un circuit série et la lecture de schémas) selon les enseignantes, même si certains aspects comme ceux relatifs à l'analyse globale d'un circuit ne sont pas traités en cours. Toujours selon elles, le degré d'originalité des tests est compatible avec le travail effectué en classe de seconde,

mais elles signalent les difficultés habituellement éprouvées par leurs élèves à sortir des situations ordinaires, et pensent qu'ils expliquent une partie des échecs. C'est d'ailleurs une analyse que nous avons faite nous même.

6.2.3. Représentation physique des phénomènes

Nous avons souligné plusieurs fois dans nos remarques la difficulté des élèves à se représenter physiquement un phénomène proposé à l'analyse, et déploré de voir parfois cette représentation supplantée par une mathématisation excessive de la situation étudiée. Interrogées sur cet élément, les professeurs ont confirmé qu'elles ne sont pas parvenues en cours d'année à intéresser les élèves avec les représentations physiques, l'une d'entre elle concluant avec une phrase édifiante mais confirmée par notre propre analyse «ils savent U = RI, et avec ça ils en ont pour la vie ! ».

6.2.4. Influence du niveau des élèves sur leurs résultats

Nous avons montré régulièrement que le niveau des élèves intervenait faiblement (aux environs de 5 %) sur les divers résultats. Interrogées sur ce sujet, les deux enseignantes ont corroboré notre analyse selon laquelle le temps d'utilisation de REV.E.S. avaient été trop court pour que les meilleurs élèves mettent réellement en place des stratégies plus efficaces que leurs camarades.

Elles ont cependant fait remarquer que les résultats sont aussi liés à l'investissement personnel des élèves, et que dans le cas d'espèce, certains élèves faibles ont travaillé beaucoup plus sérieusement que d'autres qui ont, par moments, simplement feuilleté le produit.

Il s'agit là d'une remarque intéressante quant à la motivation des différents types d'élèves et à l'impact que peut avoir un tel produit sur des élèves qui connaissent des difficultés scolaires.

6.2.5. Ouverture du produit

Les enseignantes pensent que la valeur moyenne du taux de pages vues dans chaque domaine (44 %), relativement faible, s'explique en partie par la grande ouverture du produit. Il y a selon elles, trop de possibilités au bas de chaque page pour quitter le travail en cours et en recommencer un autre différent. De façon générale, elles souhaitent un environnement plus fermé, et l'idée de pouvoir suggérer, voire imposer à l'élève un certain parcours leur paraît séduisante.

6.2.6. Part du texte

Selon les professeurs, il est nécessaire de réduire au maximum dans un tel produit la part du texte, notamment dans les réponses fournies par la machine aux questions proposées dans les tests. De façon générale, selon elles, les élèves ne lisent pas les informations textuelles, même si celles-ci les concernent

étroitement. Dans un produit utilisable en autonomie, notamment pour le type d'élèves qui en constitue une des cibles potentielles, il leur paraît important de renforcer, lorsqu'on présente des informations, la part sonore au détriment de la part textuelle.

6.2.7. Conclusion

Outre des explications sur le comportement des élèves et leurs résultats, on retiendra le désir des ces professeurs de garder une certaine maîtrise du travail des élèves, par exemple sous forme de suggestion de parcours dans le cadre d'une relation d'aide au choix des informations à réviser, et leur avis concernant la part des informations textuelles dans ce type de produit.

Partie V - Conclusion

1. Bilan du travail mené..... page 260

2. Nouvelles perspectives de travail..... page 272

Nous faisons dans cette partie un bilan du travail réalisé puis nous précisons ensuite les perspectives qu'il offre, tant dans l'évolution du produit que dans l'ouverture de nouvelles pistes de recherche.

1. Bilan du travail mené

En récapitulant l'ensemble des conclusions auxquelles nous sommes parvenus et en les commentant, nous ferons le point tour à tour sur les aspects notionnels, sur la manière dont les élèves ont utilisé le produit REV.E.S. et sur les caractéristiques que nous avons choisi de lui donner lors de la conception. Nous terminerons ce bilan en faisant le point sur la méthodologie utilisée.

1.1. Aspects didactiques

Le travail des élèves sur les deux questionnaires a été pour nous l'occasion de faire le point sur les difficultés des élèves de notre échantillon par rapport aux situations que nous avons proposées. Nous allons d'abord en faire une synthèse rapide. Nous commenterons ensuite certaines spécificités de REV.E.S. liées d'une certaine manière aux remarques faites dans cette synthèse.

1.1.1. Difficultés des élèves

Il apparaît que les difficultés « classiques » comme l'utilisation d'un modèle circulatoire avec consommation du courant ou la lecture de schémas existent toujours au niveau de la classe de seconde. Il apparaît aussi que ces difficultés s'atténuent, même si elles ne disparaissent pas complètement, lorsque l'on soumet à la réflexion des élèves des situations variées. Ceci nous amène à penser que la classe de seconde pourrait être un lieu privilégié pour stabiliser les connaissances en la matière.

Par contre, les résultats que nous avons obtenus concernant la perception systémique d'un circuit nous laissent penser que la difficulté pour les élèves est cette fois plus grande, tout comme il est difficile pour eux de traiter des situations non canoniques mêmes simples, qu'il s'agisse d'appliquer des lois de l'électrocinétique, de donner les valeurs prises par la tension dans des cas particuliers ou encore de dessiner la forme d'une tension variable à la sortie d'un amplificateur opérationnel. Les connaissances qu'ils utilisent apparaissent liées à un cas d'espèce et un détail qui pourrait paraître anodin les perturbe complètement. Il suffit par exemple de mettre deux résistances différentes en parallèle pour que certains élèves s'interrogent sur l'identité de la tension à leurs bornes.

Par ailleurs, et cela va certainement de pair avec toutes les remarques précédentes, les élèves ont beaucoup de mal à interpréter physiquement les phénomènes qui leur sont proposés, comme par exemple préciser la nature du courant, comprendre qu'il n'y a pas d'accumulation d'électrons en un point d'un circuit, utiliser correctement la définition du gain lors de l'amplification d'une tension ou encore analyser un circuit simple. Les élèves ne cherchent pas à

comprendre le phénomène proposé, à en obtenir une représentation permettant ensuite de travailler, mais préfèrent dés que cela est possible, mathématiser la situation.

Il est possible que ces constations soient inhérentes à notre échantillon, encore que nous ayons fait des observations sensiblement identiques lors de la pré-expérimentation avec une classe plus performante. Elles posent en tout cas le problème aux enseignants de physique, du traitement des difficultés mentionnées pour permettre à ces élèves d'intégrer les éléments essentiels du programme de seconde. Il existe des stratégies, des outils à leur disposition, encore faut-il qu'ils aient le loisir de les utiliser dans le cadre horaire et le contenu qui leurs sont imposés.

1.1.2. Situations variées et interactivité

Nous avons signalé dans le paragraphe précédent, comme du reste dans la pré-expérimentation, la difficulté que rencontrent les élèves à travailler en dehors des situations explorées en cours. Cela nous conforte dans l'idée que nous avons eue de varier les situations proposées dans les tests, notamment en faisant réfléchir encore davantage les élèves sur des situations non canoniques. En montrant à l'apprenant « différents contextes fonctionnels d'utilisation d'une même connaissance », en montrant « que deux contextes sont fonctionnellement identiques quand à l'utilisation de telle ou telle connaissance, qu'un ensemble de contextes constitue une catégorie de problèmes » (Tricot et Bastien [1996]), nous pensons l'avoir aidé à fonctionnaliser ses connaissances pour les rendre utilisables dans des situations futures.

Ces deux caractéristiques propres à REV.E.S. (variété des situations et situations non-canoniques), associées à une réelle interactivité permettant de faire varier différents paramètres dans le cadre des simulations (interactivité de type «actif» selon la classification de Viel et Lefevre [1989]), nous paraissent à l'observation des éléments déterminants pour la progression des élèves et l'évolution de leurs représentations dans certains secteurs. On peut citer par exemple les évolutions constatées sur la propriété de l'intensité dans un circuit série, sur la lecture de schémas ou à un degré moindre sur l'analyse du fonctionnement d'un circuit. Ainsi, les élèves utilisaient encore beaucoup le modèle circulatoire avec consommation du courant lors de la première série de tests, alors que nous avons noté une progression intéressante lors du deuxième questionnaire dans lequel le nombre moyen de réponses exactes atteint un sur deux.

1.1.3. Interprétation physique des phénomènes et analogies

Mais l'amélioration que nous venons de signaler reste souvent au niveau de la formulation des lois, et réside dans l'élargissement de leur champ d'application à des situations plus nombreuses et plus variées : les élèves savent par exemple que l'intensité est identique en tout point d'un circuit série; reconnaissant un circuit série, et quelques soient les composants qui en font partie, ils affirment après

usage de REV.E.S. que les indications des ampèremètres de ce circuit sont les mêmes. Les difficultés persistent, comme nous l'avons aussi signalé au paragraphe précédent,dès qu'il s'agit d'interpréter physiquement la situation.

Ce passage à l'interprétation physique est une des clés de l'utilisation rationnelle des lois, et par là, à notre avis un enjeu important. C'est la raison pour laquelle nous avions développé dans REV.E.S. à la fois des animations pour traduire le modèle circulatoire du courant et des pages d'information centrées sur des analogies

Il est difficile de dire si les animations ont eu beaucoup d'influence sur les élèves qui les ont vues, mais elles étaient de toute manière trop frustres et non interactives. Nous ferons des propositions dans l'évolution du produit tendant à renforcer ce secteur qui nous paraît toujours important et constitue à notre avis un apport notoire par rapport aux propositions des manuels scolaires.

Les analogies n'ont par contre pratiquement pas été consultées. Les élèves n'ont peut-être pas reconnu en les voyant, des situations du cours, et n'ont pas jugé utile de les réviser. Peut-être aussi ont elles été, pour certaines, considérées comme peu importantes parce que placées dans la partie «Documents». Nous avions prévu une évaluation spécifique pour les élèves ayant parcouru ces pages, que nous n'avons pas pu mener faute d'un échantillon significatif. De toutes manières, les analogies, rarement utilisées dans l'enseignement, nécessitent probablement d'être introduites et accompagnées de manière beaucoup plus progressive que celle prévue dans REV.E.S. à l'heure actuelle, pour être acceptées et intégrées par les élèves.

L'étude de l'impact d'une présentation multimédia de certaines analogies ainsi que l'étude de l'impact des animations interactives sur l'évolution des représentations physiques des élèves reste donc à mener, et il nous semble important de le faire

1.2. Usage de REV.E.S.

Nous avions décidé d'observer trois éléments lors de l'utilisation de REV.E.S. par les élèves, les aspects cognitifs, la nature de l'information consultée et les modes d'accès retenus. Nous rappelons ci-après dans cet ordre les résultats obtenus.

Auparavant, nous soulignons que nous avons beaucoup utilisé dans cette expérimentation, les valeurs moyennes pour dégager des tendances d'ensemble, et ce sont ces valeurs que nous évoquerons dans les conclusions suivantes. Elles occultent bien sûr les spécificités de chacun des élèves, mais dans cette étude exploratoire, il nous a paru plus intéressant d'examiner les comportements dans leur globalité plutôt que dans leur individualité.

1.2.1. Aspects cognitifs

Pour ce qui concerne les aspects cognitifs, nous avons mis en évidence une progression des élèves et montré qu'elle était liée à l'utilisation de REV.E.S..

En effet, nous avons montré par exemple :

- que les performances de chaque élève se sont améliorées de 15 % en moyenne et que 87 % d'entre eux ont progressé entre les deux séries de questionnaires, si l'on tient compte du travail sur l'ensemble des domaines ;
- que dans sept des huit domaines étudiés, les élèves ont en moyenne progressé, et que l'effectif de ceux qui ont progressé est toujours plus important que l'effectif de ceux qui ont régressé, souvent de manière nette (le huitième domaine n'a pas donné lieu à un travail significatif dans REV.E.S.).

Nous avons aussi souligné de différentes manières les liens entre évolution des connaissances et consultation; pour mémoire on peut rappeler par exemple que

- la progression moyenne des élèves qui ont vu dans chacun des domaines plus de la moitié des pages est toujours supérieure, dans tous les domaines, à celle des élèves qui en ont vu moins de la moitié. L'écart moyen de performances entre les deux classes est de 15 %.
- la quantité d'informations vue dans REV.E.S par les élèves qui ont progressé est toujours supérieure, dans chacun des huit domaines étudiés, à la quantité d'informations vue par les élèves qui ont régressé. L'écart moyen entre les deux populations est de 28 %.

Cette progression a eu lieu dans des conditions expérimentales voisines d'une activité de révision, c'est à dire avec des élèves en autonomie, travaillant de manière individuelle ou par groupe de deux, sans qu'il y ait de consignes spécifiques de travail. Cette expérimentation montre donc qu'il est possible de renforcer des acquis de manière significative, avec un produit hypermédia, dans une situation de révision en autonomie.

Nous avons aussi montré que le niveau des élèves semble avoir peu d'influence sur l'évolution des connaissances, dans les conditions de l'expérimentation:

- les élèves dont le niveau est supérieur à la moyenne ont progressé en moyenne sur l'ensemble des domaines de 4 % de plus que leurs camarades, ce qui reste faible ;
- le pourcentage des élèves ayant progressé entre les deux séries de tests est sensiblement le même dans les deux populations (60 et 56 %), de même que le pourcentage des élèves ayant régressé (19 et 16 %).

Cette constatation est probablement liée au contexte expérimental, comme nous l'avons signalé dans notre étude, notamment au manque de pratique des deux populations sur ce type de produit, et à la grande motivation de certains des

élèves plus faibles. Elle peut paraître en partie surprenante et mériterait donc d'être réexaminée sur une durée d'usage plus longue.

On peut aussi exploiter le résultat précédent sans chercher à comparer les deux populations en remarquant que les élèves de niveau inférieur à la moyenne ont progressé de manière notable (13 % en moyenne sur l'ensemble des domaines et l'ensemble des élèves).

Ces résultats sont donc encourageants pour l'avenir y compris pour les élèves qui ont un niveau faible. Il est à noter que cette évolution des performances des élèves a été obtenue avec un produit à « large spectre » puisqu'il concerne l'ensemble du programme d'électricité. On peut supposer qu'un produit de ce type centré spécifiquement sur une difficulté ciblée, traitée de manière graduée avec des situations plus nombreuses et donc plus variées, entraînerait des évolutions plus importantes pour les élèves. Ce sera d'ailleurs une des directions de recherches que nous proposerons pour poursuivre ce travail.

1.2.2. Nature de l'information consultée

1.2.2.1. Adéquation entre la consultation réalisée et les besoins de l'élève

L'analyse de l'adéquation entre la consultation réalisée et les besoins de l'élève constitue l'élément le plus important de cette partie de l'étude. En effet, à la conception, nous avons choisi de laisser à l'élève le soin de déterminer lui-même les informations à voir, et il est important d'examiner s'il y est parvenu.

Nous avons montré qu'en moyenne sur l'ensemble des domaines étudiés, un domaine est consulté par 51 % des élèves qui ont besoin de le faire, et ce, quelque soit son niveau. De la même façon nous avons montré qu'un élève consulte 52 % des domaines qu'il a besoin de voir. Les meilleurs élèves se comportent mieux cette fois-ci que leurs camarades (63 % d'entre eux consultant plus de la moitié des domaines qui leur sont utiles contre 46 % des élèves de niveau inférieur à la moyenne).

On peut donc dire qu'en moyenne, un élève sur deux est capable d'utiliser REV.E.S. seul et de manière pertinente et qu'il y parvient un peu mieux si son niveau est supérieur à la moyenne. Compte-tenu du niveau d'ensemble des élèves, ce résultat peut déjà à notre avis être considéré comme positif.

Il n'en demeure pas moins que l'on ne peut s'en contenter et qu'il faut faire évoluer le produit pour permettre à l'ensemble des élèves d'en tirer partie. Nous proposerons un peu plus loin des modifications en ce sens.

1.2.2.2. Consultation des domaines étudiés

Notre étude fait apparaître qu'en moyenne, chacun des domaines étudiés a été consulté à raison d'une page sur deux (44 %), c'est à dire de manière

non exhaustive. Cette observation, qui s'est avérée être très peu liée au niveau des élèves, peut être interprétée de différentes manières.

On peut penser qu'un bref passage dans le domaine permet à l'élève de réaliser qu'il n'a pas besoin de poursuivre la consultation en cours; il passe alors au domaine suivant.

On peut aussi penser que les pages relatives au même domaine de connaissances ne sont pas forcément perçues comme faisant partie d'une même thématique dans la mesure où elles sont réparties dans les partie « Connaissances », « Documents », « Méthodes » et « Tests ». En effet, si les liens vers les autres pages du domaine existent et sont disponibles à partir des icones situés au bas de chaque page d'information, ils ne sont pas différenciés des liens vers les pages des autres domaines, si bien qu'il est très aisé de changer de domaine, même par inadvertance. C'est en grande partie l'hypothèse que nous retiendrons pour faire évoluer le produit.

1.2.2.3.Caractéristiques des pages consultées

Nous avons montré que les pages les plus consultées ont un contenu en relation avec les questionnaires papier (que les élèves avaient à disposition, comme tous leurs autres documents au cours des sessions de travail sur REV.E.S.).

Cela se comprend dans la mesure où les élèves savaient qu'ils auraient à répondre à nouveau à un questionnaire similaire, mais cela témoigne de leur part d'une certaine compétence pour adapter le travail de révision fourni à un besoin identifié, et confirme que certains d'entre eux sont tout à fait capables de construire eux-mêmes un parcours de révision cohérent avec leurs besoins. Cela confirme aussi, d'une certaine manière, que le diagnostic peut acquérir le « statut d'intervention pédagogique » (Dillembourg [1994]) et incite donc à une certaine prudence quant au caractère des conclusions qui en découlent.

Nous avons aussi montré que parmi les pages les moins consultées figurent la majorité des pages relatives à la tension. On sait que ce concept apparaît peu opératoire aux élèves, et la difficulté qu'il recèle est probablement un obstacle pour les élèves qui ont du mal à repérer leurs manques dans ce domaine.

Par ailleurs, il est apparu dans l'étude menée que les élèves ont, en moyenne, essentiellement travaillé en consultant les pages de type « Test » (42 % des pages de ce type ont été consultées) et « Connaissances » (37 % des pages de ce type on été consultées), ces dernières étant utilisées de manière prépondérante au début du travail. Les pages des type « Documents » et « Méthodes ont par contre été très peu consultées.

Cela pose le problème de la localisation dans la partie «Documents» de certaines informations intéressantes pour la progression des élèves, par exemple les analogies. Cela nous interroge aussi sur la manière la plus efficace de valoriser la partie «Méthodes», pourtant importante, notamment pour les élèves les plus en difficulté.

Nous avons aussi noté la préférence des élèves pour la partie «Tests» et relevé que certains souhaitaient bénéficier de questions plus nombreuses. Nous avons nous même d'ailleurs soulevé qu'il fallait étoffer en ce sens certains domaines (comme «Valeurs particulières de la tension»), et mis l'accent sur l'intérêt d'avoir des situations variées et nombreuses. Il nous paraît donc intéressant de retenir cette option en remarquant qu'il sera alors nécessaire de donner des indications sur les objectifs propres à chaque test pour permettre aux élèves de faire éventuellement un choix.

Pour terminer, nous avons constaté que les élèves ne remettent pas en cause l'organisation de l'information autour des quatre types de pages.

1.2.3. Mode d'accès à l'information

Si l'on considère le mode d'accès à chaque écran d'information sur l'ensemble de la consultation, les élèves ont utilisé de façon majoritaire les liens arborescents (56 % des écrans «Contenu» ont été atteints par ce mode) et de façon significative les liens réseau et les liens linéaires des parcours thématiques (pour 15 à 20 % des écrans).

Le niveau des élèves intervient très peu sur les résultats, les meilleurs élèves utilisant simplement un peu plus les accès directs à l'information à partir de l'index et un peu moins l'accès linéaire et figé des parcours thématiques.

Ces derniers ne sont d'ailleurs pas générateurs de progression dans les connaissances, les élèves les ayant le plus utilisé étant ceux qui ont le moins progressé sur l'ensemble de leur travail.

Si l'on analyse de manière plus globale la stratégie de navigation utilisée par chaque élève à la fin de la consultation, donc à un moment où les stratégies ont été affinées, il apparaît que le mode arborescent est toujours majoritaire (il est utilisé par 47 % des élèves). Mais l'accès à l'information par une combinaison de liens arborescents et des liens réseau est aussi une stratégie largement utilisée (par 38 % des élèves). Par contre, l'utilisation exclusive de liens réseau ou de liens de type index reste plus marginale (6 et 9 %), et l'utilisation des liens linéaires (parcours thématiques) a totalement disparu.

L'utilisation importante des accès arborescents n'a, à notre avis, rien de surprenant. Le faible nombre de niveaux (3), des options à chaque fois faciles à identifier après avoir suivi le cours, rendent ce mode d'accès performant, rapide et souvent pertinent pour obtenir rapidement une information. Il est bien adapté à une tâche de révision d'items du programme relatifs à des notions variées. Sa

combinaison avec les accès réseau, lorsqu'on a une représentation de l'organisation de la base accélère encore la recherche d'information. L'utilisation de l'index est plus délicate. Elle met sur le même plan l'ensemble des pages et détruit en quelques sorte l'organisation mise en place et les repères qu'elle donne. Elle nécessite de bien identifier ce que l'on cherche, auquel cas l'accès à l'information est instantané. Il nous paraît normal que ce mode soit utilisé par les seuls meilleurs élèves.

Au vu de ces résultats et de nos commentaires, il nous paraît donc important de maintenir une structure hiérarchique (arborescence et index) et une structure réseau dans un tel produit. Elles répondent à des logiques de travail différentes, qui selon l'objectif de l'élève ou tout simplement ses préférences, sont rendues possibles par la multiplicité des modes d'accès.

L'accès par la « liste des pages déjà vues » se justifierait si la navigation réseau était très importante et si aucune organisation hiérarchisée ne permettait à l'élève de retrouver rapidement une information déjà consultée. Cette non-utilisation nous paraît in fine normale et nous proposons en conséquence de supprimer ce mode.

Il en est de même pour les accès à partir des «parcours thématiques» pour lesquels deux éléments nous paraissent avoir été préjudiciables à leur exploitation par les élèves. Le premier réside dans une circulation «en aveugle» dans la mesure où le contenu du parcours (liste des pages concernées) n'est pas précisé aux utilisateurs. Le deuxième réside dans le fait que des pages du parcours peuvent déjà avoir été vues par les élèves, entraînant une certaine démobilisation à leur rencontre, voire l'abandon pur et simple du parcours au milieu de celui-ci.

1.3. Caractéristiques de REV.E.S

Nous avons souhaité donner à REV.E.S. certaines caractéristiques, que nous allons commenter à la lumière de l'expérimentation menée.

1.3.1. Individualisation et autonomie du travail

Nous avons, tout au long de l'analyse, constaté la variétés des thèmes et des types d'informations consultées, la variété des modes d'accès utilisés, la variété des taux de consultation d'un domaine donné etc. Chaque élève a pu consulter les informations qu'il a voulues, avec le mode d'accès qui lui a paru le plus pertinent, au rythme qui lui est propre, ce que certains ont d'ailleurs apprécié.

D'un point de vue technique, les élèves n'ont eu aucune difficulté à prendre en main le produit et ont pu adapter, au cours du travail, leur mode de consultation. Ils ne se sont jamais « égarés » dans REV.E.S. et sont parvenus seuls à trouver l'information qu'ils recherchaient (selon 95 % des usagers). Le produit est apparu simple d'utilisation, notamment grâce à une interface utilisateur comportant pour la navigation des repères adaptés. Le temps de travail effectif sur des pages

d'informations a été tout à fait significatif (en moyenne 78 % du temps d'utilisation du produit).

On peut donc dire que REV.E.S. a permis, comme nous en avions émis l'hypothèse, une réelle individualisation du travail dans une situation d'autonomie d'usage.

1.3.2. Navigation à l'initiative de l'élève

Nous avons souhaité que la navigation reste à l'initiative de l'élève et avons doté REV.E.S. d'indices qui devaient lui permettre de choisir l'information à revoir (carte d'objectifs et tests à caractère formatif).

Nous avons rappelé au paragraphe 1.2.2.1 page 264 que ce choix ne s'était révélé pertinent pour notre échantillon qu'à raison d'un élève sur deux. On ne peut donc en être satisfait, d'autant plus que les élèves en difficulté semblent avoir ici des compétences moins affichées que leurs camarades au vu de l'étude faite. Cependant, les indices proposés, notamment les tests, ont été tout de même utilisés par un peu plus de la moitié des élèves selon leurs affirmations (54 %). En même temps, nous croyons toujours important de conduire l'élève à plus d'autonomie dans son travail. Cela passe par la « valorisation des stratégies d'apprentissage engageant l'apprenant dans une démarche d'évaluation du manque (ce qu'il doit savoir), d'identification des ressources potentielles et de leur organisation puis dans une stratégie d'acquisition » (Le Meur cité par Bruillard et de La Passardière [1994]). La première étape de cette stratégie, qui fait en quelque sorte, de la recherche d'informations une méthode pédagogique, est bien l'identification des éléments que l'élève maîtrise et en conséquence des besoins qu'il a. Il est bien sûr difficile de conduire cette identification si on ne la pratique jamais.

C'est pour cette raison que nous souhaitons maintenir la possibilité pour l'élève de choisir lui-même les informations à consulter, comme une option parmi d'autres. Il reste tout de même à voir si les élèves, régulièrement confrontés à des choix navigationnels finissent par progresser dans la pertinence des sélections opérées. C'est là aussi une piste de recherche à explorer.

1.3.3. Architecture du produit

Deux éléments caractérisent l'architecture : le découpage de l'information au niveau local et au niveau global et la nature des liens logiques mis en place pour y accéder.

Nous avons découpé localement l'information en unités élémentaires véhiculées par différents médias dont l'articulation autour d'une sorte de scénario permet de produire du sens. Même si cela n'a pas semblé poser de problèmes aux élèves, on peut tout de même faire quelques remarques.

Nous avons souhaité utiliser autant que possible le (ou les) média(s) le(s) plus adapté(s) au message. Mais la « mise en médias » d'une information scientifique ne nous est apparue ni simple ni innée. Elle résulte à la fois d'une réflexion de nature pédagogique et d'une connaissance des spécificités de chaque média. Elle constitue une véritable écriture, d'un nouveau mode, aux règles encore non établies, que nous avons pratiquée de manière empirique, en étant limité par le manque de références en la matière et par les possibilités techniques à notre disposition (tant au niveau du développement informatique que de l'élaboration matérielle des différentes médias). L'ensemble du produit est donc de ce point de vue à la fois inégal, puisque nous avons « appris en faisant », et très largement perfectible. Par exemple, la demande des enseignants et des élèves d'avoir plus de son est un exemple d'amélioration qui nous paraît pertinent. Les difficultés rencontrées autour de la représentation physique de la notion de courant électrique nous paraissent pouvoir être traitées en partie en utilisant une écriture médiatique beaucoup plus sophistiquée.

Le découpage global de l'information en quatre types « Connaissances », « Méthodes », « Documents » et « Test » qui a permis aux élèves de repérer très rapidement la nature de l'information fournie, nous semble, comme nous l'avons déjà dit, toujours pertinent. On retrouve d'ailleurs là l'idée défendue par Tricot et Bastien [1996] pour une organisation rationnelle d'un corpus d'informations de manière relativement indépendante du contenu. Pour conserver ce découpage, il conviendra cependant de ne placer dans la partie «Documents » que des informations à caractère facultatif, et de valoriser les informations de type « Méthodes », un peu délaissées (voir dans cette partie, le paragraphe 1.2.2.3 page 265).

Nous avons déjà évoqué (voir le paragraphe 1.2.3 page 266) les structures qui avaient été utilisées ou non et celles qui nous paraissaient devoir être conservées (structures hiérarchiques et réseau). Nous compléterons cette analyse par quelques remarques.

– Nous avons écrit de différentes manières au début de ce document, que l'utilisation de connaissances architecturées en réseau au sein d'un hypermédia favorise leur structuration chez l'apprenant par l'établissement progressif de liens inter-notionnels, sans toutefois en faire une réelle hypothèse de travail. Nous pensions en effet que la nature de la tâche, centrée sur la révision ciblée de connaissances, favoriserait peu l'usage systématique de cette structure, et que par ailleurs la faible durée d'utilisation ne permettrait pas des résultats significatifs. Toutefois, nous avions mis en place un dispositif léger pour observer cet aspect des choses, que le faible nombre d'élèves ayant utilisé spécifiquement la structure réseau (6 % soit 3 individus) nous a empêché d'exploiter. Une étude sur ce sujet reste cependant importante à nos yeux; elle nous paraît, à la lumière de notre expérience, devoir être menée dans un premier temps avec un produit où l'information est fortement structurée en « réseau », avec un corpus de connaissances plus large, et plutôt dans le cadre d'une activité de révision largement ultérieure aux cours dispensés par

l'enseignant (par exemple révision des programmes de seconde et première avant les activités de la classe terminale).

- La multiplicité des modes d'accès proposés n'a pas nui à la prise en main du produit. En effet, la majorité des élèves (72 %) a rapidement trouvé ses marques soit directement, soit après une courte phase d'exploration, et a conservé jusqu'à la fin la stratégie de navigation utilisée, 95 % des élèves affirment ne s'être jamais perdus dans le produit ou rarement, 78 % du temps de travail a été consacré en moyenne à une consultation effective.

- Les enseignants ont attribué à une trop grande ouverture du produit le fait que les élèves n'aient pas consulté de manière systématique l'ensemble des pages d'un domaine. Même si nous avons déjà implicitement proposé de supprimer certains modes d'accès à l'information, nous souhaitons, pour les raisons que nous avons indiquées (structuration des connaissances, développement de l'autonomie, respect de l'initiative individuelle dans le travail de révision) maintenir au moins à titre d'option possible l'ouverture du produit, et donc la possibilité, à partir d'une page d'en consulter directement plusieurs autres. Par contre, nous proposerons dans l'évolution du produit de mieux baliser les informations que nous considérons appartenir au même domaine notionnel

1.4. Méthodologie utilisée

La méthodologie utilisée pour la conception de REV.E.S. a donné satisfaction. Par contre, mais cela ne surprendra personne, c'est bien sûr sa mise en œuvre par une seule personne qui pose le plus de problèmes. Concevoir un produit du type de REV.E.S nécessite des compétences très diverses qu'il convient de fédérer au sein d'un projet menée par une équipe bien structurée.

La méthodologie mise en place pour l'évaluation du produit a permis d'explorer de manière satisfaisante les pistes proposées à l'expérimentation, à partir d'une étude menée à la fois globalement et par domaines notionnels. Toutefois, dans les conditions expérimentales où nous étions placés, on peut relever des éléments «limitants» qui empêchent une généralisation des résultats obtenus

- la taille des échantillons était réduite, qu'il s'agisse du nombre d'élèves ou du nombre de pages, et ce facteur a certainement été un des plus critiques;
- nous n'avons pas pris en compte l'environnement dans lequel se trouvaient les élèves avant REV.E.S., notamment les exigences habituelles des professeurs qui ont pu conditionner certains des comportement de leurs élèves;
- nous n'avons pas isolé le fonctionnement individuel du fonctionnement en dyade dans l'étude réalisée;
- le temps était limité, à la fois pour le travail sur machine et pour répondre aux questionnaires;

- même si un élève a passé du temps à consulter certaines pages, rien ne garantit qu'il ait fourni à cette occasion un travail effectif;
- nous avons dû déterminer des seuils pour constituer des classes d'élèves, que nous avons choisis de prendre à 50 %;
- nous avons choisi de déterminer le niveau des élèves à partir de leur moyenne en électricité ;
- nous avons, dans les deux séries de questionnaires, utilisé des situations extrêmement voisines, mais non semblables.

Nous pensons tout de même qu'en affinant les conditions expérimentales, le cadre général que nous avons exploité peut être réinvesti avec profit dans un contexte similaire (produit disciplinaire à «large spectre», destiné à la révision).

2. Nouvelles perspectives de travail

Ces nouvelles perspectives concernent d'une part le produit lui-même et son évolution, d'autre part les pistes de recherche qui nous paraissent devoir être exploitées.

2.1. Evolutions du produit REV.E.S.

L'ensemble des remarques faites au cours du bilan précédent permettent de suggérer quelques évolutions dans REV.E.S., dans la mise en forme des informations, dans leur organisation, dans le contrôle de la navigation ou encore dans l'existence de modules complémentaires favorisant le travail de révision.

2.1.1. Mise en forme des informations

On peut de manière générale, chercher à améliorer la présentation de l'ensemble des informations, à la lumière de l'expérience acquise en matière d'écriture multimédia.

Cependant, certaines pages doivent être traitées en priorité, comme les pages proposant une interprétation physique des phénomènes (par exemple «Nature du courant » ou encore , « Intensité dans un circuit série » et « Loi des noeuds - test » dans lesquelles il est question de la non-accumulation des électrons dans un circuit), ou les pages proposant des analogies. Nous mettons en effet quelques espoirs sur un meilleur traitement multimédia des informations pour faire évoluer les représentations des élèves.

On peut par exemple imaginer, pour présenter le modèle circulatoire du courant, une alliance entre animation, simulation et vidéo. L'animation permettrait de matérialiser le mouvement des électrons et/ou des ions dans un circuit, un peu à l'image de celle que nous avons déjà réalisée de manière très frustre. La simulation sur cette animation permettrait de faire évoluer les caractéristiques du circuit, tout en matérialisant les conséquences de cette évolution : changement de générateur, modification de la charge dans le circuit, ouverture du circuit etc. Des vidéogrammes très brefs, associés à quelques une des possibilités de la simulation permettraient de visualiser les effets concrets, perceptibles au niveau macroscopique (indications de l'ampèremètre, électrolyse etc.).

Pour ce qui concerne les analogies, il nous paraît intéressant de passer du statique au dynamique. Par exemple, pour l'analogie du train, on peut réaliser une comparaison animée avec le modèle de circulation du courant en montrant les limites du domaine de validité de l'analogie.

Nous avons vu que les élèves et les enseignants souhaitaient plus de son et que certains élèves étaient peu satisfaits par les réponses fournies aux questions des

tests. Ce sont là aussi des domaines sur lesquels un travail est à conduire pour améliorer le produit.

2.1.2. Organisation des informations

S'il ne nous paraît pas utile de revenir sur le découpage global de l'information, nous avons tout de même signalé précédemment la nécessité de faire apparaître l'unité des informations propres à un domaine notionnel. En même temps, nous avons dit vouloir conserver les liens de type hiérarchique et réseau et supprimer les liens établis à partir de la « liste des pages parcourues » ainsi que les liens constituant les parcours thématiques.

Nous proposons de modifier les liens réseau en remplaçant les quatre types de liens actuellement implémentés (liens vers les pages «Connaissances », « Méthodes », « Documents » et « Tests » associées à la page en cours de consultation) par deux types de liens : les liens avec les pages du même domaine notionnel, et les liens avec les pages des autres domaines. Chaque type de lien doit être activé à partir d'un icone spécifique ouvrant un cadre présentant la liste des pages auxquelles on peut accéder. L'intitulé de la page doit permettre à l'élève d'identifier le type de la page (Tests, Connaissances etc.). Il doit aussi lui permettre de repérer si la page a déjà été consultée ou non.

Un élève peut compléter l'information présente sur une page d'un domaine notionnel par la consultation d'une page d'un autre domaine (par exemple en étant sur la page « montage ampli inverseur », il peut vouloir s'informer sur les notions de tension et de masse). S'il poursuit alors la consultation dans ce deuxième domaine sans avoir parcouru l'ensemble des pages du premier, nous proposons qu'un message l'informe qu'il quitte l'activité entamée sur le premier domaine et lui propose soit de confirmer cette volonté soit de choisir une des pages non-vues du premier domaine. Une autre idée proposée par Bruillard et de La Passardière [1994] consiste à indiquer par une empreinte de couleur (que nous pourrions appliquer aux boutons des menus «Connaissances, Méthodes etc.) le « degré de consultation » d'un domaine donné : claire elle pourrait indiquer que le domaine auquel appartient la page a été à peine consulté, beaucoup plus sombre elle indiquerait que le domaine a été entièrement parcouru, avec les nuances intermédiaires.

Nous pensons ainsi favoriser la consultation de l'ensemble des pages d'un même domaine notionnel (et inciter ainsi à consulter systématiquement les pages « Méthodes »), tout en laissant la possibilité aux élèves d'effectuer une consultation dans d'autres domaines s'ils le souhaitent, en utilisant les liens réseau ou hiérarchiques. Ces éléments vont nous semble-t-il vers une meilleure adaptation de la base à la tâche de révision que nous lui avons assignée.

2.1.3. Contrôle de la navigation

Nous avons signalé à plusieurs reprises la difficulté éprouvée par certains élèves pour adapter la consultation à leurs besoins. Plusieurs solutions sont possibles pour les aider. On peut dans REV.E.S., évaluer les réponses faites aux tests, signifier le résultat de cette évaluation à l'élève et l'inciter ou l'obliger à consulter l'ensemble des pages du domaine. Si cette solution est simple à mettre en oeuvre informatiquement pour toutes les questions de type «vrai-faux » ou « QCM », il n'en est pas de même pour les questions ouvertes donnant lieu à une réponse textuelle ou sous forme de schéma, pour lesquelles l'analyse est difficile.

Par ailleurs, l'obligation de consultation paraît peu compatible avec l'apprentissage d'une autonomie de l'élève et une stratégie de révision dans laquelle, traditionnellement, celui-ci conserve sa liberté. En même temps, les réponses sont suffisamment claires pour que l'élève, en comparant avec celles qu'il a fournie, établisse lui-même «son score ».

Aussi, nous proposons une autre voie qui vise à compléter le produit par un module à destination de l'enseignant, permettant à celui-ci, s'il le souhaite, d'indiquer à l'élève les pages qu'il a à consulter. Ces indications peuvent être matérialisées dans le produit par une couleur spécifique des boutons conduisant à ces pages. L'élève a la possibilité de suivre ou non les suggestions faites par son professeur. De la sorte, nous pensons que l'enseignant conserve le rôle d'aide et de conseil qu'il peut avoir traditionnellement dans ce type d'activité et que l'élève conserve sa liberté d'apprendre, en dehors de tout carcan et de toute contrainte imposée par une machine.

2.1.4. Outils complémentaires

Une activité de révision traditionnelle s'accompagne souvent d'une prise de notes, de la rédaction d'une fiche, permettant à l'élève de garder une trace synthétique de son travail. Les élèves avec lesquels nous avons expérimenté REV.E.S. n'ont pas utilisé ce type de stratégie, pris qu'ils étaient par leur consultation.

Il nous paraît intéressant de faire évoluer cette pratique en intégrant directement à REV.E.S. la possibilité de constituer son propre résumé sur un bloc-note multimédia permettant de rédiger quelques phrases, d'y copier des schémas ou du texte issus de REV.E.S., la possibilité d'imprimer tout ou partie de ce bloc-note ou de REV.E.S., et la possibilité d'extraire des informations vers d'autres logiciels du commerce. Outre l'intérêt qu'il y a à conserver des traces du travail effectué, nous pensons en effet que l'incitation à sélectionner la partie de l'information que l'élève juge essentielle pour satisfaire ses besoins ne peut que renforcer sa vigilance et l'impact de son activité.

Cet ensemble d'outils (bloc-notes, impression, extraction d'informations) doit à la fois favoriser la matérialisation du travail de révision qui a fait défaut dans l'expérimentation, et renforcer son efficacité.

Nous proposons là en quelque sorte un ensemble a minima pour rester réaliste, dans la mesure où les pratiques d'utilisation de ces outils complémentaires restent encore confidentielles. Cependant, des recherches actuelles (Stiegler [1995]) contribuent à développer cet aspect des choses, avec l'idée d'insérer sur les ouvrages électroniques des formes diverses d'annotations personnelles, qui dépasseraient largement, de part les possibilités de traitement informatique, les classiques annotations manuscrites qu'un lecteur dispose sur un ouvrage pour mieux s'approprier son contenu.

2.2. Pistes de recherche

Nous avons mentionné dans le bilan précédent des directions de recherche que nous n'avons pu exploiter, faute de conditions expérimentales appropriées, ou de nouvelles directions suggérées par les résultats obtenus ou les analyses faites. Ce sont des études exploratoires qu'il nous paraît utile d'effectuer, pour compléter la vue d'ensemble que nous proposons sur l'utilisation d'un produit hypermédia destiné à la révision de connaissances.

C'est le cas par exemple de l'étude de l'influence de l'utilisation d'un produit hypermédia sur la structuration des connaissances des élèves. Cela permettra d'orienter le développement des produits à vocation didactique en renforçant ou non la structure réseau et en cernant mieux les types de liens à privilégier en fonction du thème concerné et des usagers. Il s'agit là d'un travail de longue haleine si l'on veut parvenir à des résultats significatifs.

C'est aussi le cas de l'étude de l'influence du niveau des élèves sur le travail de révision effectué. Nous l'avons commencée, mais il nous paraît nécessaire de la prolonger dans le temps pour avoir des conclusions plus affirmées. L'idée est bien sûr de pouvoir ainsi affiner les secteurs sur lesquels les élèves ont des difficultés notoires pour améliorer les stratégies utilisées et les aider au mieux.

C'est encore le cas d'une étude sur l'évolution dans le temps de la pertinence des choix navigationnels faits par les élèves dans un contexte non directif s'ils sont régulièrement placés dans ce type de situation, ainsi que sur les aides les plus efficaces pour qu'ils aient une meilleure représentation de leurs connaissances.

Il serait aussi utile d'observer les comportements des élèves lorsqu'ils sont seuls ou à deux devant le produit, notamment pour étudier les différences dans la manière de traiter l'information, et les conséquences qu'elles induisent sur les acquisitions cognitives effectuées.

Enfin, l'utilisation de ce produit, moyennant quelques modifications sur les situations proposées, dans un contexte non plus de révisions mais d'acquisition de connaissances, est une perspective certes plus large mais intéressante aussi à examiner.

Au-delà de ce complément à notre exploration, il devient maintenant nécessaire de travailler sur des champs plus restreints. Nous avons montré en effet que les élèves pouvaient tirer un certain profit de ce type de produit pour améliorer leurs

connaissances. Il s'agit à présent, point par point, de savoir comment on peut optimiser le processus.

Par exemple, il s'agit d'étudier spécifiquement comment on peut faire évoluer, transformer certaines représentations des élèves, comment on peut dépasser certains obstacles à partir de situations didactiques mettant en jeu un dispositif multimédia. Il s'agit de voir au cas par cas s'il existe des mises en forme optimales de l'information permettant une meilleure construction des connaissances. Il est possible que le corpus d'études ainsi constitué permette de dégager à terme des règles d'écriture plus générales, utilisables pour la conception de produits scientifiques multimédias.

De manière plus générale, ces recherches, centrées sur des problèmes précis, devraient contribuer à donner aux concepteurs de produits multimédias des indications permettant d'en faire de réels outils d'aide aux apprentissages complétant la panoplie de ceux que possèdent déjà les enseignants de physique.

2.3. Un travail à poursuivre...

Cette activité de recherche a démarré il y a plus de trois ans, mais elle nous paraît aujourd'hui encore plus d'actualité qu'à ses débuts. En effet, depuis, le multimédia est devenu un phénomène de société et son développement ne cesse de croître. Depuis, les besoins de formation apparaissent toujours plus importants, toujours plus individuels.

En examinant globalement la conception et l'usage d'un produit hypermédia pour réviser en autonomie un cours de seconde, nous avons juste initié un travail qui nous paraît devoir être poursuivi et approfondi, notamment suivant certaines des pistes que nous avons proposées, mais aussi dans des contextes d'utilisation différents (introduction d'une notion nouvelle, aide à l'expérimentation, support de travaux dirigés etc.).

Nos premières conclusions, très modestes, sont tout de même encourageantes. Nous sommes sur la piste de nouveaux outils pour apprendre dont la majeure partie est à inventer. Pour cela, il est nécessaire de rassembler des compétences dans des domaines très différents parmi lesquels on peut citer la didactique de la physique bien sûr mais aussi la psychologie cognitive pour tout ce qui concerne la représentation des connaissances et leur acquisition, la communication pour tout ce qui concerne la présentation des messages, l'informatique pour le développement matériel etc. Plus que jamais, réaliser un outil d'enseignement adapté à son contexte d'utilisation ne pourra être fait qu'en équipe.

Le succès de l'entreprise nous parait constituer un enjeu important pour l'avenir de notre société. Dans le monde qui est le nôtre, la qualité de la formation scientifique que nous donnons aujourd'hui à un lycéen conditionne en effet pour partie la qualité du citoyen qu'il sera demain.

Partie VI - Bibliographie

AGOSTINELLI, S. (1996). Multimédia et transmission des connaissances. Technologies et approches nouvelles en formation, Education permanente, 127, 49-59.

ALLEVARD, M., CARRON, R., MARTIN, D., COLONNA, A-M., MARQUIS, E., TOURNIER, G., CHAMPAGNON, B. et TRIBOLLET, B. (1991). Les erreurs en électrocinétique : identification et analyse. Bulletin de l'Union des Physiciens, 730, 145-158.

ARTIGUE, M. (1990). Ingénierie didactique. Recherches en Didactique des Mathématiques, 913, 281-307.

ASTOLFI, J-P. (1993). Trois paradigmes pour les recherches en didactique. Revue française de pédagogie, 103, 5-18.

ASTOLFI, J-P. (1996). Le paradoxe pédagogique. Sciences humaines, 12, 8-12.

AURIC, F., CLEMENTE, M., DUPIN, J-J. et JOHSUA, S. (1989). Une autre introduction des circuits électriques en classe de seconde. Bulletin de l'Union des Physiciens, 711, 161-175.

BALPE, J-P., (1990).Hyperdocuments, hypertextes, hypermédias Paris : Eyrolles.

BARON, G-L. et BRUILLARD, E. (1996). L'informatique et ses usagers dans l'éducation. Paris : PUF.

BEAUFILS, A., (1996). Appropriation de réseaux de navigation hypermédias par des élèves de collège : résultats d'une expérimentation et perspectives. in E. Bruillard, J-M. Baldner et G-L. Baron : Hypermédias et Apprentissages, Actes des troisièmes journées scientifiques, Chatenay-Mallabry, 9-11 mai 1996 (pp. 225-236). Paris: INRP.

BEAUFILS, D., DUREY, A. et JOURNAUX, R. (1987-a). L'ordinateur en sciences physiques, quelles simulations ? Communication présentée aux IXèmes journées sur l'éducation scientifique, Université Paris VII, Paris

BEAUFILS, D., DUREY, A. et JOURNAUX, R. (1987-b). La simulation sur ordinateur dans l'enseignement des sciences physiques, quelques aspects didactiques. Communication présentée aux IXèmes journées sur l'éducation scientifique, Université Paris VII, Paris

BEAUFILS, D. et SALAME, N. (1989). Quelles activités expérimentales avec les ordinateurs dans l'enseignement des sciences ? ASTER, 8, 55-79.

BELISLE, Cl. et LINARD, M. (1996). Quelles nouvelles compétences des acteurs de la formation dans le contexte des TIC ? Technologies et approches nouvelles en formation, 127, 19-47.

BENSEGHIR, A. (1988). Formation des concepts d'électrocinétique : un point de vue historique. Technologies, Idéologies, Pratiques, VII (2), 7-21.

B.O.E.N. (1987). Sciences physiques et chimiques. Bulletin Officiel de l'Education Nationale, Numéro spécial 3 du 9 juillet 87, 67-83.

B.O.E.N. (1992). Physique et Chimie. Bulletin Officiel de l'Education Nationale, Numéro hors série du 24 septembre 92, 74-102.

BOYER, R. et TIBERGHIEN, A. (1989). Des opinions de professeurs et d'élèves sur l'enseignement des sciences physiques au lycée. Bulletin de l'Union des Physiciens, 712, 305-321.

BRUILLARD, E. et de La PASSARDIERE, B. (1994). Hypermédias et éducation: des repères. Sciences et techniques éducatives, 1, 1, 17-38.

CAILLOT, M. (1988). Circuits électriques : schématisation et résolution de problèmes. Technologies, Idéologies, Pratiques,VII (2), 7-21.

CALMETTES, B. (1992). Acquis en électrocinétique à courant continu. Mémoire de DEA. Toulouse: Université Paul Sabatier.

CANAL, J-L. (1996). Courant, tension, résistance et énergie : essai de conceptualisation des grandeurs fondamentales en électricité. Doctorat d'université. Toulouse : Université Paul Sabatier.

CAUZENILLE-MARMECHE, E. et MATHIEU, J. (1984). Le raisonnement expérimental des élèves, in Astolfi et al., Expérimenter, sur les chemins de l'explication scientifique. Privat : Toulouse.

CAUZENILLE-MARMECHE, E. et MATHIEU, J. (1988). Concevoir des systèmes d'EIAO qui reposent sur une modélisation du fonctionnement cognitif de l'élève. Technologies, Idéologies, Pratiques,VII (2), 7-21.

CLOSSET, J-L. (1983-a). Le raisonnement séquentiel en électrocinétique. Thèse de 3ème cycle. Paris : Université de Paris 7.

CLOSSET, J-L. (1983-b). D'où proviennent certaines erreurs rencontrées chez les élèves et les étudiants en électrocinétique ? Peut-on y remédier ? Bulletin de l'Union des Physiciens, 657, 81-102.

CLOSSET, J-L. (1988). Une possible méthodologie pour la recherche sur le raisonnement naturel en physique : problématique et résultats dans le cas de la physique. Technologies, Idéologies, Pratiques,VII (2), 7-21.

CLOSSET, J-L. (1989). Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique.Bulletin de l'Union des Physiciens, 716, 931-949.

COSTE, J-P (1993). Hypertextes : représentations et transferts.Revue de l'EPI, 70, 67-69.

De LA PASSARDIERE, B. et DUFRESNE, A., (1992). Adaptative navigator tools for educationnal hypermédia, in ICCA'L 92, Lectures notes in computer science. Berlin : Springer Verlag.

DELPRAT, Cl. (1996). Des savoirs théoriques sur «apprendre » : pour quoi faire dans la pratique ?. Document MAFPEN Toulouse- à paraître.

DEPOVER, Ch., QUINTIN, J-J., et De LIEVRE, B., (1993). Eléments pour un modèle pédagogique adapté aux possibilités d'un environnement hypermédia, in G-L. Baron, J. Baudé, B. de La Passardière : Hypermédias et Apprentissages, Actes des deuxièmes journées scientifiques, Lille, 24-25 mars 1993 (pp. 49-62). Paris : INRP.

DERYCKE, A. (1991). Hypermédia et apprentissage coopératif, in B. de La Passardière et G-L. Baron : Hypermédias et Apprentissages, Actes des premières journées scientifiques, Chatenay-Malabry, 24-25 sept 1991 (pp.77-88). Paris : INRP.

DEVELAY, M. (1989). Sur la méthode expérimentale. ASTER, 8, 3-15.

DILLENBOURG, P. (1994). Evolution épistémologique en EIAO. Sciences et techniques éducatives, 1, 1, 39-51.

DUFRESNE, A. (1991). Ergonomie cognitive, hypermédias et apprentissages, in B. de La Passardière et G-L. Baron : Hypermédias et Apprentissages, Actes des premières journées scientifiques, Chatenay-Malabry, 24-25 sept 1991 (pp.121-132). Paris : INRP.

DUPIN J-J. et JOHSUA, S. (1986). L'électrocinétique du collège à l'université : évolution des représentations des élèves et impact de l'enseignement sur ces représentations. Bulletin de l'Union des physiciens, 683, 779-799.

DUPIN J-J. et JOHSUA, S. (1988). Conceptions en électrocinétique : permanences géographiques et évolution dans le temps. Technologies, Idéologies, Pratiques, VII (2), 7-21.

DURANDEAU, J-P., DURPTHY, A., BRAMAND, P., DURUPHTY, O., FAYE, Ph., GIACINO, M., JAUBERT, A., MARTEGOUTES, R., SAHUN, R., THOMASSIER, G., (1993). Physique et chimie de seconde. Paris : Hachette.

GENTRIC, R., DAHRINGER, F., ETIENNE, M., LE HETET-GUIHEUX, G., MARIGNY, F., POULLAIN, L. (1993). Physique et chimie de seconde. Paris : Hatier.

GIORDAN, A. et De VECCHI, G. (1990). Les origines du savoir. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.

GIORDAN, A. (1996). Les conceptions des apprenants. Sciences humaines, 12, 48-50.

HERBE, L. (1996). L'autoformation. Sciences humaines, 12, 74.

HOUNDE, O. et WINNYKAMEN, F. (1992). Les apprentissages cognitifs individuels et interindividuels. Revue française de pédagogie, 98, 83-101.

INSPECTION GENERALE DE l'EDUCATION NATIONALE (1992). Etude sur les réseaux locaux, informatique et audiovisuels et sur l'utilisation des CD-ROM dans les établissements scolaires. Paris : Ministère de l'Education Nationale.

JACOBI, D. (1987). Textes et images de la vulgarisation scientifique. Berne : Peter Lang.

JACQUINOT, G. (1995). Supprimer l'absence. Educations, 1, 14-17.

JOHSUA, S. (1983). La "métaphore du fluide" et le "raisonnement en courant" in Recherches en Didactique de la physique (pp. 321-330). Paris: CNRS.

JOHSUA, S. (1989). Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire. ASTER, 8, 29-59.

JOHSUA, S. et DUPIN, J-J. (1993). Using modelling analogy to teach Basic Electricity : a critical analysis, in M. Caillot Learning electricity and electronics with advanced educationnal technology. Berlin : Springer Verlag.

KESSLER, P. (1992). Un hypertexte à la portée de tous. Revue de l'EPI, 65, 203-220.

LECARDONNEL J-P., PROUST, B., BOULAND, A., CAUWET, J., FAY, J., PAUL, J-Cl. (1993). Physique Chimie, classe de seconde. Paris : Bordas.

LECLERCQ, D. (1991). Hypermédias et tuteurs intelligents, in B. de La Passardière et G-L. Baron : Hypermédias et Apprentissages, Actes des premières journées scientifiques, Chatenay-Malabry, 24-25 sept 1991 (pp.19-36). Paris : INRP.

LEVY, P. (1993). Les technologies de l'intelligence. Paris : La Découverte.

LINARD, M. (1994). La distance en formation : une occasion de repenser l'acte d'apprendre. Communication présentée aux journées « Open and distance learning : critical succes factors ». Genève.

LINARD, M. (1996). Des machines et des hommes - Apprendre avec les nouvelles technologies. Paris : L'Harmattan.

M.E.N. (1994). Le nouveau contrat pour l'école, 158 décisions. Ministère de l'Education nationale : Paris.

MOREIRA, A. (1991). Didactique et hypermédias en situation de résolution de problèmes : principes de conception des didacticiels hypermédia, in B. de La Passardière et G-L. Baron : Hypermédias et Apprentissages, Actes des premières journées scientifiques, Chatenay-Malabry, 24-25 sept 1991 (pp.37-46). Paris : INRP.

NANARD, M. (1995). Les hypertextes, au-delà des liens, la connaisance. Sciences et techniques éducatives, 2, 1, 31-60.

PAPERT, S. (1981). Le jaillissement de l'esprit. Paris : Flammarion :.

PAPERT, S. (1994). L'enfant et la machine à connaître. Paris : Dunod.

PLAISANT, C. (1993). Principes de réalisation d'hypertextes : quelques règles et expériences, in G-L. Baron, J. Baudé, B. de La Passardière : Hypermédias et Apprentissages, Actes des deuxièmes journées scientifiques, Lille, 24-25 mars 1993. Paris : INRP.

POCHON, L-O., (1993). Hypertextes pour apprendre in Recherches, 93-104. Neuchâtel : Institut Romand de Recherches et de Documentation Pédagogique.

RHEAUME, J. (1991). Hypermédias et stratégies pédagogiques, in B. de La Passardière et G-L. Baron : Hypermédias et Apprentissages, Actes des premières journées scientifiques, Chatenay-Malabry, 24-25 sept 1991(pp.45-58). Paris : INRP.

RHEAUME, J. (1993). L'enseignement des hypermédias pédagogiques, in G-L. Baron, J. Baudé, B. de La Passardière : Hypermédias et Apprentissages, Actes des deuxièmes journées scientifiques, Lille, 24-25 mars 1993(pp. 139-152). Paris: INRP.

RICHARD, J-F. (1995). Les activités mentales : comprendre, raisonner, trouver des solutions. Paris : Armand Colin.

ROUET, J-F. (1994). Naviguer sans se perdre : lecture et acquisition de connaissances à l'aide des hypertextes. Revue de l'EPI, 75, 97-107.

ROUET, J-F. et TRICOT, A. (1995). Recherche d'informations dans les hypertextes : des représentation de la tâche à un modèle de l'activité cognitive. Sciences et techniques éducatives, 2, 3, 307-332.

SCHNEIDER, D., BORCIC, B., DILLEMBOURG, P., HILARIO, M. et MENDELSOHN, P. (1993). Intégration d'un hypertexte dans un environnement d'apprentissage à initiative mixte, in G-L. Baron, J. Baudé, B. de La Passardière : Hypermédias et Apprentissages, Actes des deuxièmes journées scientifiques, Lille, 24-25 mars 1993 (pp. 13-20). Paris : INRP.

STIEGLER, B. (1995). Annotation, navigation, édition électronique: vers une géographie de la connaissance, in E. Bruillard, G-L. Baron, B. de La Passardière: Actes du séminaire Hypermédias, Education et Formation 1995, (pp. 27-38). Créteil : IUFM, Paris : Université Curie, Paris: INRP.

TOMASINO, A., PENIGAUD, A. (1993). Physique en seconde. Paris : Nathan.

TIBERGHIEN, A. (1983). Revue critique sur les recherches visant à élucider le sens des notions de circuit électrique pour les élèves de 8 à 20 ans in Recherches en Didactique de la physique (pp. 55-135). Paris : CNRS éditeur.

TOOLBOOK, (1991). Guide d'utilisation de Toolbook, Guide d'utilisation d'Open-Script et Using Multimédia Toolbook. Bellevue Asymétix.

TRICOT, A. (1993). Stratégies de navigation et stratégies d'apprentissages : pour l'approche expérimentale d'un problème cognitif, in G-L. Baron, J. Baudé, B. de La Passardière : Hypermédias et Apprentissages, Actes des deuxièmes journées scientifiques, Lille, 24-25 mars 1993(pp. 21-98). Paris : INRP.

TRICOT, A. (1994). A quels types d'apprentissages les logiciels hypermédia peuvent-ils être utiles ? Un point sur la question en 1994. Revue de l'EPI, 76, 97-112.

TRICOT, A. et BASTIEN Cl. (1996). La conception d'hypermédias pour l'apprentissage : structurer des connaissances rationnellement ou fonctionnellement? in E. Bruillard, J-M. Baldner et G-L. Baron : Hypermédias et Apprentissages, Actes

des troisièmes journées scientifiques, Chatenay-Mallabry, 9-11 mai 1996(pp. 57-72). Paris : INRP.

VAUTIER, S. et GUILLEVIC Ch. (1996). Hypermédias et difficultés d'apprentissage d'adultes de bas niveau scolaires, in E. Bruillard, J-M. Baldner et G-L. Baron : Hypermédias et Apprentissages, Actes des troisièmes journées scientifiques, Chatenay-Mallabry, 9-11 mai 1996. Paris: INRP.

VENTURINI, P. (1993). Etude de l'écriture filmique de quelques films scientifiques à intention didactique. Mémoire de DEA, Université P. Sabatier : Toulouse.

VENTURINI, P. et VIEL, L. (1996-a).Constitution et évaluation d'une base de données hypermédia sur le programme de seconde en électricité in Septièmes journées nationales : Informatique et pédagogie des sciences physiques, Bordeaux, 8-10 février 1996 (pp. 183-188). INRP: Paris.

VENTURINI, P. et VIEL, L. (1996-b).Description d'une base de données hypermédia destinées à la révision du programme de seconde en électricité (atelier) in Septièmes journées nationales : Informatique et pédagogie des sciences physiques, Bordeaux, 8-10 février 1996(pp. 285-286). INRP: Paris.

VENTURINI, P. et VIEL, L. (1996-c). Réalisation d'un base de données hypermédia sur l'électrocinétique de seconde. Communication présentée à la Troisième Biennale de l'éducation et de la formation, Paris la Sorbonne, 18-21 avril 1996. Actes à paraître sur Cédérom.

VENTURINI, P. et VIEL, L. (1996-d). Base de données hypermédia pour le programme de seconde en électricité, in E. Bruillard, J-M. Baldner et G-L. Baron : Hypermédias et Apprentissages, Actes des troisièmes journées scientifiques, Chatenay-Mallabry, 9-11 mai 1996(pp. 211-224). Paris: INRP.

VEZIN, J-F. et VEZIN L. (1988). Illustration, schématisation et activité interprétative. Bulletin de psychologie, XLI-386, 655-666

VIEL, L. et LEFEVRE, R. (1989). L'interactivité, ressource de l'aide pédagogique in A. Giordan, J-L. Martinand et Cl Souchon (eds) : Les aides didactiques pour la culture et la formation scientifique et technique, Actes des XI Journées Internationales sur l'Education Scientifique, 24-26 janvier 89 (pp.61-67).

WEIL-BARAIS, A. (1993)L'homme cognitif Paris : Presses Universitaires de France.

WEIL-BARAIS, A. (1994). Les apprentissages en sciences physiques, in G. Vergnaud : Apprentissages et didactiques, où en est-on ? (pp. 98-126) Paris : Hachette Education.