



HAL
open science

**Une étude didactique de la vie de l’Energie dans
l’enseignement de la Physique, en France et au
Vietnam.Des décalages entre savoirs à enseigner au
Lycée et savoirs de la formation universitaire peuvent-ils
être source de difficultés pour les enseignants ?**

Khanh-Hang Bui-Thi

► **To cite this version:**

Khanh-Hang Bui-Thi. Une étude didactique de la vie de l’Energie dans l’enseignement de la Physique, en France et au Vietnam.Des décalages entre savoirs à enseigner au Lycée et savoirs de la formation universitaire peuvent-ils être source de difficultés pour les enseignants ?. domain_stic.educ. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2005. Français. NNT : . tel-00012001

HAL Id: tel-00012001

<https://theses.hal.science/tel-00012001>

Submitted on 21 Mar 2006

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.

**UNIVERSITE JOSEPH FOURIER – GRENOBLE 1
UNIVERSITE DE PEDAGOGIE DE HO CHI MINH VILLE -VIETNAM**

**THESE EN COTUTELLE
Pour obtenir le grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE JOSEPH FOURIER
et DE DOCTEUR DU VIETNAM**

Ecole doctorale de Mathématiques et Informatique - Sciences et Technologies
de l'Information

Spécialité: DIDACTIQUE DE LA PHYSIQUE

Présentée et soutenue publiquement par

BÙI THỊ Khánh Hằng

Le 21 décembre 2005

Une étude didactique de la vie de l'Energie dans l'enseignement de la Physique, en France et au Vietnam

*Des décalages entre savoirs à enseigner au Lycée et savoirs de la
formation universitaire, peuvent-ils être source de difficultés pour les
enseignants?*

Composition du jury:

Président	:	M. Jean-Luc DORIER
Rapporteurs	:	Mme. Andrée TIBERGHIE M. ĐỖ Xuân Hội
Examineur	:	Mme. LÊ THỊ Hoài Châu Mme. Herminia BETTEGA M. TRẦN Văn Tấn
Directeurs	:	Mme. Claire WAJEMAN M. NGUYỄN Trần Trác Mme. Annie BESSOT

Thèse préparée au sein des équipes :
SEED, Laboratoire Leibniz-IMAG
Formation de Troisième cycle, Université de Pédagogie de Hochiminh ville

REMERCIEMENTS

Je pense tout d'abord à madame Claire Wajeman et madame Annie Bessot, et je les remercie d'avoir accepté de diriger ma thèse. Claire m'a soutenue tout au long du travail par ses conseils, ses encouragements, souvent avec son sourire. Annie en tant qu'expert a beaucoup contribué à ce travail. Toutes les deux n'ont cessé de me prodiguer idées et aides dans la rédaction, ce qui m'a permis de mener cette recherche à son terme. Je tiens à leurs exprimer ma profonde gratitude pour leur soutien sans faille et leur grande disponibilité.

Je pense à monsieur Nguyen Tran Trac, co-directeur de ma thèse pour les conseils avisés qu'il a su dispenser, en particulier pour mon expérimentation au Vietnam.

Je pense aussi à madame Herminia Bettega et monsieur Tran Van Tan qui ont accepté d'être dans l'encadrement de ma thèse, une thèse en cotutelle.

Je remercie également madame Andrée Tiberghien et monsieur Do Xuan Hoi de s'être rendus disponibles en acceptant d'être rapporteurs de ma thèse. Leurs commentaires sur mon travail m'encouragent à poursuivre dans la voie de la recherche.

Je remercie monsieur Jean-Luc Dorier d'avoir accepté de présider le jury de thèse, j'ai bien apprécié sa remarque concernant tous mes "encadrants" : " c'est une thèse sur l'Energie qui a besoin de beaucoup d'énergie".

Je remercie aussi madame Le Thi Hoai Chau d'avoir accepté de faire partie du jury.

Je remercie tout particulièrement madame Madeleine Eberhard pour sa disponibilité, son aide tout au long de la rédaction de la thèse. Je garde en mémoire ses efforts pour comprendre l'histoire et l'évolution de l'énergie.

Je pense aussi à madame Claude Comiti pour son amitié, son soutien sans condition bien qu'elle n'ait pas été responsable de ma thèse.

Un grand merci à tous les membres de l'équipe SEED qui, dès le premier jour, m'ont accueillie avec générosité et gentillesse au sein du laboratoire LIDSET, puis Leibniz. Merci pour votre soutien sans faille. Je ne vous oublierai jamais: Claire Wajeman, Herminia Bettega, Isabelle Girault. Et Isabelle Joncour, Patricia Marzin, Cédric D'ham, ma GRANDE – Ayse, Mustafa, Ahmet, Sami et Xaya. Je pense aussi aux autres personnes du LIDSET: Guy Robardet et Jean-Claude Guillaud qui étaient mes responsables de DEA, Florence Charbonnier, Daniel Lacroix, Jean Dufayard, Eric Triquet.

J'adresse mes remerciements aux enseignants et aux étudiants français et vietnamiens qui ont contribué à la réussite de mon expérimentation.

Je tiens aussi à remercier toutes les personnes du laboratoire Leibniz pour leurs précieux conseils et les nombreux services qu'ils m'ont rendus.

Je remercie chaleureusement mes amies françaises qui m'ont aidé pour mon français: Danièle, Marielle.

A mes parents et à toute ma famille qui ont tout fait pour que j'arrive là où je suis arrivée. Sans l'affection et le soutien de mes parents, je ne crois pas que j'aurai pu passer ces sept années en France.

Enfin, j'exprime ma profonde gratitude à mes deux hommes, mon mari, Tien, et mon petit garçon, Tien Thinh, qui ont partagé avec moi tous les moments de joie et de peine et qui m'ont insufflé l'énergie pour que mes études sur l'Energie aboutissent.

RESUME DE LA THESE EN VIETNAMIEN	9
PRESENTATION DE LA THESE EN FRANCAIS	27
Introduction	29
PARTIE A	
Problématique	31
Chapitre A.1	
Travaux antérieurs. Une proposition: deux "approches" de l'Energie	33
I. Un thème complexe dans l'enseignement : l'Energie.....	33
I.1. Un concept important dans l'enseignement.....	33
I.2. Un concept transversal.....	34
I.3. Un concept abstrait.....	34
II. Travaux antérieurs sur l'enseignement et l'apprentissage de l'Energie.....	35
II.1. Difficultés, conceptions et obstacles relatifs à l'Energie.....	36
II.2. Des projets d'enseignement.....	39
Conclusion : la synthèse de l'Energie.....	40
III. Point de vue historique et épistémologique sur l'Energie.....	41
III.1. Repères historiques.....	41
III.2. Principe de conservation de l'énergie : une « super loi », base de la synthèse de l'Energie.....	43
IV. Deux approches de l'Energie : Approche Universelle et Approche Particulière.....	45
IV.1. Approche Particulière (AP).....	45
IV.2. Approche Universelle (AU).....	46
IV.3. Discussion des dénominations choisies.....	46
IV.4. Examen d'exemples en termes d'approches.....	48
V. Conclusion.....	49
Chapitre A.2	
Enseignement de l'Energie dans les classes scientifiques du lycée, en France et au Vietnam. L'évolution des programmes, hypothèse et questions	51
I. En France.....	51
I.1. Nos choix pour une étude, des années 1950 à nos jours.....	51
I.1.1. Découpage en périodes : les programmes considérés.....	51
I.1.2. Méthode d'analyse.....	52
I.2. Les programmes.....	53
I.2.1. Période 1, des années 1950 à 1979 : avant la rénovation de la fin des années 1970.....	53
I.2.2. Période 2, 1979 – 1992 : l'après Commission Lagarrigue.....	54
I.2.3. Période 3, 1992 – 2000 : le temps de la rénovation drastique.....	56
I.2.4. Période contemporaine : depuis 2000, le temps des ajustements.....	58
I.3. Bilan de l'étude des programmes.....	59
I.3.1. Description synthétique de l'évolution.....	59
I.3.2. Les changements relatifs à l'approche de l'Energie : éléments d'explication.....	60
II. Au Vietnam (de 1975 à nos jours).....	63
II.1. Découpage en périodes : les programmes considérés.....	63
II.2. Les programmes.....	63
II.1.1. Période 1 (1975 - 1992).....	63
II.1.2. Période 2 (1992 à nos jours).....	64
II.1.3. Période 3 (un programme à l'essai depuis 2002).....	65
II.3. Bilan de l'étude des programmes.....	65
III. Conclusion.....	66
III.1. Réflexion à propos des réformes.....	67
III.2. Hypothèse et questions initiales.....	68
Chapitre A.3	
Cadre théorique	69
I. Délimitations du terrain de l'étude.....	69
I.1. Délimitation relative à la formation de l'enseignant.....	70
I.1.1. Formation des enseignants en France.....	70

I.1.2. Formation des enseignants au Vietnam	70
I.2. Délimitation relative aux domaines de la Physique.....	71
I.3. Délimitation relative aux dispositifs d'enseignement	72
II. Cadre théorique de référence	72
II.1. Théorie Anthropologique.....	72
II.2. Notre placement dans le cadre de la théorie anthropologique.....	73
II.3. Rapport institutionnel, analyse écologique	75
III. Organigramme de Thèse	76
 PARTIE B	
Vie de l'Energie et deux approches dans différentes institutions	77
Introduction de la partie B	78
 Chapitre B.1	
Place officielle de l'Energie. Un premier niveau d'analyse.....	79
I. Manuels étudiés	79
II. Méthodologie de l'analyse.....	80
III. Place de l'Energie dans les manuels étudiés	83
III.1. Université en France (Annexe B.1, §I).....	83
III.2. Lycée en France (Annexe B.1, §II)	84
III.3. Université au Vietnam (Annexe B.1, §III)	86
III.4. Lycée au Vietnam (Annexe B.1, §IV)	86
IV. Conclusion	87
 Chapitre B.2	
Identifications	89
I. Liste des objets énergétiques.....	90
I.1. L'énergie dans le programme de Première S de 1992.....	90
I.2. Une liste en référence au programme de 1992	91
I.3. Deux groupes d'objets énergétiques.....	92
II. Raisonnement énergétique et Raisonnement non-énergétique	92
II.1. Définitions	93
II.2. Relations entre Raisonnements et Approches d'étude de l'Energie.....	93
III. Document COAST-MAFPEN comme mise en œuvre des deux approches (un document de référence) ..	94
 Chapitre B.3	
Vie de l'Energie - Méthodologie de l'analyse écologique et résultats intermédiaires	97
I. Choix des manuels	97
II. Méthodologie d'analyse.....	99
II.1. Principe de dénombrement	99
II.2. Fonction des occurrences.....	100
II.3. Contexte des raisonnements.....	101
II.4. Exemples de mise en œuvre.....	102
III. Résultat.....	103
 Chapitre B.4	
Existence des deux approches - influence sur la vie de l'Energie dans différentes institutions	107
I. Existence des deux approches Universelle (AU) et Particulière (AP) dans les manuels choisis	107
I.1. Université en France : collection de Masson.....	107
I.2. Lycée en France	108
I.2.1. Programme de 1992 : Manuel de l'édition Hachette	108
I.2.2. COAST-MAFPEN	108
I.2.3. Programme de 2000 : Manuel de l'édition Hachette	109
I.3. Université au Vietnam : collection du Ministère de l'éducation	109
I.4. Lycée au Vietnam : manuel de la classe de 10e	110
I.5. Conclusion	110
II. Densités des objets énergétiques O(e) - Raisonnement énergétique - réseau des liens entre les O(e).....	111
II.1. Méthodologie	111
II.1.1. Densité de présence D_{Objet} des objets énergétiques	111

II.1.2. Densité D_{Liens} des liens entre les O(e)	112
II.1.3. Présentation en tableau et diagramme	112
II.2. Manuels universitaires en France.....	114
II.2.1. Mécanique (Annexe B.4, §I.1)	114
II.2.2. Electricité (Annexe B.4, §I.2)	115
II.2.3. Thermodynamique (Annexe B.4, §I.3)	115
II.2.4. Comparaison entre des domaines (Tableau 1).....	115
II.3. Manuels du Lycée en France	116
II.3.1. Manuel du programme de 1992 (Annexe B.4, §II.1)	116
II.3.2. COAST-MAFPEN (Annexe B.4, §II.2).....	116
II.3.3. Manuel du programme de 2000 (Annexe B.4, §II.3)	117
II.3.4. Comparaisons (Tableau 1).....	117
II.4. Université au Vietnam	122
II.4.1. Mécanique (Annexe B.4, §III.1)	122
II.4.2. Electricité (Annexe B.4, §III.2).....	122
II.4.3. Thermodynamique (Annexe B.4, §III.3).....	122
II.4.4. Comparaison avec les manuels français (Tableaux 1 et 2).....	122
II.5. Lycée au Vietnam	123
II.5.1. Programme de 1975 : trois caractéristiques de l'analyse (Annexe B.4, §IV).....	123
II.5.2. Comparaison avec l'université	123
III. Conclusion.....	123
III.1. Existence et coexistence des deux approches	124
III.2. Analyse critique des choix et des critères utilisés.....	124
III.2.1. Pertinence dans la sélection des chapitres analysés	124
III.2.2. Pertinence de la densité de présence des O(e)	124
III.2.3. Pertinence du critère de densité des liens.....	124
III.3. Vie de l'Energie et les décalages	125
III.3.1. Cohérence du choix des O(e) entre les institutions du Lycée et de l'université.....	125
III.3.2. Vie énergétique dans une AP. Vie non énergétique.....	125
III.3.3. Vie énergétique au Lycée et à l'université.....	126
III.3.4. Influence de l'Approche Universelle sur la vie de l'Energie.....	126
PARTIE C	
Vie écologique de certains objets énergétiques	129
Introduction de la partie C	131
Chapitre C.1	
Chaîne énergétique	135
I. Représentation schématique de la Chaîne énergétique dans le programme de 1992	135
I.1. Schémas dans les manuels.....	135
I.2 Deux types de chaînes.....	137
II. Les différentes fonctions de la Chaîne énergétique dans le programme de 1992	139
II.1. Première fonction : Mettre en évidence le Transfert d'énergie.....	139
II.2. Deuxième fonction : schématiser une situation physique afin de réaliser un Bilan énergétique.....	140
II.2.1 Bilan énergétique dans les manuels.....	140
II.2.2. Chaîne énergétique, une base de règles de construction schématique.....	142
II.3. Troisième fonction : servir de base de raisonnement pour le Principe de conservation de l'énergie.....	142
II.4. Quatrième fonction : organiser les objets énergétiques.....	143
III. Mort de la Chaîne énergétique dans le programme de 2000	144
IV. Schémas énergétiques dans d'autres institutions.....	146
V. En guise de conclusion : pourquoi la Chaîne énergétique meurt elle en 2000 ?.....	147
Chapitre C.2	
Transfert d'énergie	149
I. Transfert d'énergie dans les programmes du lycée français	149
I.1. Présence du Transfert d'énergie	149
I.2. Evolution du Transfert de la réforme de 1992 au programme de 2000	150
II. La catégorie « Mode de transfert » - une catégorie universelle attachée au Transfert d'énergie.....	151
II.1. Avant 1992.....	151

II.2. Programme de 1992. Catégorie « Mode de transfert »	151
II.3. Evolution dans le programme de 2000.....	153
III. Transfert d'énergie dans d'autres institutions	153
IV. Des indices d'un malaise autour du Transfert d'énergie et de la Transformation de l'énergie	155
IV.1. Au lycée français : distinction dans le schéma énergétique mais pas dans le cours (texte).....	155
IV.2. Confusion des modes de transfert d'énergie avec la quantité d'énergie transférée	156
IV.3. Discussion	157
V. Conclusion.....	158
Chapitre C.3	
Principe de conservation de l'énergie	159
I. Cohérence épistémologique du Principe de conservation de l'énergie (PCE) dans l'enseignement.....	159
I.1. De l'Approche Universelle.....	159
I.2. De l'Approche Particulière.....	161
II. Variations successives entre AP et AU dans les programmes du lycée français. Forme générale et formes particulières du PCE.....	161
II.1. Avant 1992.....	161
II.2. 1992 et 2000.....	162
III. Evolution de la visibilité du PCE entre 1992 et 2000.....	163
III.1. Visibilité dans les programmes.....	163
III.2. Visibilité dans les manuels	164
III.3. Système isolé ou non : une autre difficulté liée à la formulation du principe de conservation	165
III.4. Pourquoi une telle évolution entre les programmes de 1992 et de 2000?.....	166
IV. Le PCE dans les autres institutions	167
V. Conclusion.....	168
Chapitre C.4	
Hypothèses sur les contraintes et les difficultés possibles	171
I. Chaîne énergétique (Ch)	172
II. Schéma énergétique.....	172
III. Bilan énergétique (BL).....	173
IV. Principe de conservation de l'énergie général (PCE).....	173
V. Transfert d'énergie (TrE)	174
VI. Transformation de l'énergie (TrA).....	175
PARTIE D	
Expérimentation	177
Chapitre D.1	
Questionnaire	179
I. Texte et élaboration du questionnaire	179
I.1. Organisation et difficultés de l'enseignement des objets énergétiques	179
I.2. Correction et explication par les enseignants de deux exercices emblématiques des deux approches de l'Energie	180
I.2.1. Questions communes aux deux exercices.....	180
I.2.2. Exercice 1	181
I.2.3. Exercice 2.....	182
II. Analyse <i>a priori</i> du questionnaire	182
II.1. Chaîne énergétique.....	182
II.2. Schéma énergétique	182
II.2.1 Question 2, Exercice 1 - Pendule	183
II.2.2 Exercice 2 - Perceuse	184
II.3. Bilan énergétique	184
II.3.1. Observables	184
II.3.2. Réponses possibles au lycée.....	185
II.4. Principe de conservation de l'énergie (PCE)	185
II.4.1. Exercice 1- pendule : réponses possibles au lycée	185
II.4.2. Exercice 2 -perceuse : observables retenus	186
II.5. Transfert d'énergie.....	186

II.5.1. Exercice 1- pendule : observables retenus.....	186
II.5.2. Exercice 2- perceuse : observables et réponses possibles au lycée	186
II.6. Transformation de l'énergie.....	187
II.7. Approche universelle (AU).....	188
III. Conclusion.....	188

Chapitre D.2

Enquête auprès des enseignants français : une étude de cas	189
I. Recueil des données	189
II. Analyse des résultats	190
II.1. Chaîne énergétique (Ch)	190
II.2. Schéma énergétique	190
II.2.1. Rappel des hypothèses et questions de recherche, des résultats de l'analyse écologique et mise en perspective avec le questionnaire.....	190
II.2.2. Résultats et analyse	191
II.2.3. Conclusion	192
II.3. Transfert d'énergie.....	193
II.3.1. Rappel des hypothèses et questions de recherche, des résultats de l'analyse écologique et mise en perspective avec le questionnaire.....	193
II.3.2. Résultats	193
II.3.3. Conclusion	194
II.4. Bilan énergétique	195
II.4.1. Rappel de l'hypothèse, méthode d'analyse	195
II.4.2. Résultats et analyse	195
II.4.3. Conclusion	196
II.5. Principe de conservation de l'énergie	196
II.5.1. Rappel de l'hypothèse, méthode d'analyse	196
II.5.2. Résultats	197
II.5.3. Conclusion	198
II.6. Transformation de l'énergie.....	199
II.6.1. Rappel de l'hypothèse, méthode d'analyse	199
II.6.2. Résultats	199
III. Conclusion.....	200

Chapitre D.3

Une expérimentation en première année d'IUFM Préparation à l'épreuve sur dossier du CAPES : in TD sur l'Énergie	203
I. Méthodologie	203
I.1. Observation des groupes PLC1	203
I.2. Séances et méthode de recueil des données	204
II. Analyses des résultats	205
II.1. Chaîne énergétique.....	205
II.2. Schéma énergétique	205
II.2.1. Rappel des hypothèses et questions de recherche	205
II.2.2. Cours.....	205
II.2.3. Exercice.....	207
II.2.4. Conclusion	210
II.3. Transfert d'énergie.....	210
II.3.1. Rappel des hypothèses et questions de recherche, des résultats de l'analyse écologique et mise en perspective avec le questionnaire.....	210
II.3.2. Cours.....	211
II.3.3. Exercices	211
II.3.4. Transfert et modes de transfert dans les schémas énergétiques.....	212
II.3.5. Conclusion	213
II.4. Bilan énergétique	213
II.4.1. Rappel de l'hypothèse, méthode d'analyse	213
II.4.2. Cours et exercice 1	213
II.4.3. Exercice 2.....	213
II.4.4. Conclusion	215

II.5. Principe de conservation de l'énergie	215
II.5.1. Cours	215
II.5.2. Exercices	217
II.5.3. Conclusion	217
II.6. Transformation de l'énergie	218
II.6.1. Cours	218
II.6.2. Exercice 2	218
II.6.3. Conclusion	220
III. Conclusion	220
Chapitre D.4	
Enquête au près des enseignants vietnamiens	223
I. Adaptation du questionnaire et recueil des données	223
I.1. Essai du questionnaire : Entretien avec les enseignants volontaires	223
I.2. Modifications du questionnaire	224
I.3. Recueil des données	224
II. Analyses des résultats	225
II.1. Chaîne énergétique	225
II.2. Schéma énergétique	225
II.2.1. Rappel des questions de recherche. Mise en perspective avec le questionnaire	225
II.2.2. Exercice 1	225
II.2.3. Exercice 2	226
II.2.4. Conclusion	228
II.3. Bilan énergétique	228
II.3.1. Rappel de l'hypothèse et mise en perspective avec le questionnaire	228
II.3.2. Organisation des objets	228
II.3.3. Exercice 2	229
II.3.4. Conclusion	229
II.4. Transfert d'énergie et Transformation de l'énergie	229
II.4.1. Rappel l'hypothèse mise en perspective avec le questionnaire	229
II.4.2. Transfert d'énergie et modes de transfert (exercice 2)	230
II.4.3. Transformation de l'énergie (exercice 2)	230
II.4.4. Conclusion	230
II.5. Principe de conservation de l'énergie	231
II.5.1. Rappel l'hypothèse et mise en perspective avec le questionnaire	231
II.5.2. Organisation des objets	231
II.5.3. Exercices	231
II.5.4. Conclusion	232
III. Conclusion	232
CONCLUSION	233
BIBLIOGRAPHIE	243
ANNEXES	249
Annexe B.1	251
Annexe B.3	255
Annexe B.4	275
Annexe D.1	287

Résumé de la thèse en vietnamien

Tóm tắt luận án bằng tiếng Việt

Mở đầu

Năng lượng là một khái niệm trừu tượng, đồng thời cũng là một khái niệm cơ bản vì tất cả các hiện tượng vật lý đều có thể nghiên cứu theo góc nhìn năng lượng. Vì vậy, ở Pháp cũng như tại Việt Nam, các giáo viên cấp ba thường gặp phải nhiều khó khăn trong việc giảng dạy kiến thức Năng lượng và điều đó thể hiện rõ ở các giáo viên trẻ, những người vừa hoàn thành chương trình đào tạo tại Đại học.

Ý kiến này đã được chia sẻ bởi nhiều giáo viên trong Viện đào tạo Giáo viên (IUFM) tại Pháp. Một vài nhà nghiên cứu didactique vật lý đã xác định các khó khăn liên quan đến việc xây dựng khái niệm năng lượng nhưng về phía người học, như trong tài liệu đi kèm chương trình năm 2000 ta có thể thấy

« Các nghiên cứu thực hiện trong lĩnh vực didactique vật lý nêu lên các nội dung cụ thể về những khó khăn mà học sinh hay sinh viên gặp phải khi giải quyết một vấn đề vật lý có thể phân tích theo góc nhìn năng lượng. » (Tài liệu đi kèm chương trình cấp 3 của Pháp năm 2000, trang 31)

Về phần mình, công việc của chúng tôi thiên về nghiên cứu những khó khăn của người dạy.

Để tìm ra và có thể giải thích các khó khăn của người giáo viên, chúng tôi nghiên cứu và so sánh cách xây dựng tri thức Năng lượng ở Cấp ba và tại bậc Đại học, nơi diễn ra việc đào tạo ban đầu của người giáo viên.

I. Mục đích nghiên cứu

Tại Pháp, từ giữa thế kỷ 19, cách xây dựng khái niệm Năng lượng trong các chương trình phổ thông của Cấp ba liên tục được sửa đổi. Mỗi lần thay đổi lại mang đến một cách giới thiệu, giảng dạy khác nhau về Năng lượng. Hoặc Năng lượng xuất hiện như một chủ đề độc lập, hoặc nó trở thành một đối tượng của Cơ học, hoặc được đưa vào bằng Định luật bảo toàn và trở thành một chủ đề ưu tiên và bao trùm tất cả hiện tượng vật lý khác...

Để đặc trưng các cách thức xây dựng khác nhau của kiến thức Năng lượng, chúng tôi đã định nghĩa hai cách tiếp cận : *Tiếp cận tổng quát* (AU) là khi Năng lượng xuất hiện như một chủ đề hoàn toàn riêng rẽ và đầy đủ, độc lập với các bộ môn khác của Vật lý, tiếp cận này được đặc trưng bởi hai tính chất: độc lập và xuyên suốt (thể hiện qua việc tổ chức Năng lượng có thể xuất hiện trong nhiều hiện tượng thuộc nhiều bộ môn khác nhau của Vật lý) ; *Tiếp cận riêng biệt* (AP) là khi Năng lượng bị chia nhỏ ra và đan xen vào các bộ môn của Vật lý.

Chúng tôi đã khảo sát sự tồn tại của 2 cách tiếp cận này trong việc giảng dạy kiến thức Năng lượng ở Cấp ba tại Pháp và Việt Nam. Kết quả cho thấy rằng :

- Tại Pháp, khái niệm Năng lượng được xây dựng chủ yếu ở lớp 1ère (tương đương lớp 11 của Việt Nam). Từ năm 1957 đến nay, những thay đổi trong các chương trình lớp 1ère S luôn xoay quanh hai cách tiếp cận của Năng lượng về thứ tự xuất hiện và vai trò quan trọng của chúng. Đặc biệt, chương trình năm 1992 nghiêng nhiều về AU và trở thành một sự kiện quan trọng trong việc giảng dạy Năng lượng. Đó là một chương trình đổi mới, xuất phát từ việc nghiên cứu sâu sắc dựa trên những lập luận về khoa học luận và didactique, chứa đựng một mong muốn mạnh mẽ trong việc tổ chức lại và thực hiện một sự tổng hợp quan trọng xung quanh khái niệm vật lý Năng lượng.
- Tại Việt Nam, khái niệm Năng lượng được xây dựng chủ yếu ở lớp 10. Từ năm 1975 đến nay, nhìn từ góc độ hai cách tiếp cận của Năng lượng thì phương pháp giảng dạy Năng lượng trong các chương trình khác nhau không thay đổi. Cả hai cách tiếp cận đều xuất hiện nhưng AU luôn được đan xen vào AP và sự xuất hiện của AU không đậm nét.

Trong khi đó, ở bậc Đại học của cả hai nước (Pháp và Việt Nam), thường thì Năng lượng chỉ xuất hiện bằng cách tiếp cận AP.

Vì vậy, mục đích của chúng tôi là thực hiện một nghiên cứu về những chênh lệch giữa việc đào tạo giáo viên ban đầu tại đại học với tổ chức các tri thức về Năng lượng ở bậc Cấp ba xuất phát từ các cách tiếp cận khác nhau của Năng lượng để tìm hiểu nguyên nhân của các khó khăn cho người dạy. Nghiên cứu này cho phép chúng tôi trả lời những câu hỏi sau :

- **Q1 - hai tiếp cận** : Hai tiếp cận AU và AP tồn tại như thế nào trong việc giảng dạy tại bậc Đại học và Cấp ba, ở Pháp và Việt Nam? Chúng xuất hiện với những đặc trưng nào? Sự xuất hiện của hai tiếp cận khác nhau như thế nào? ¹
- **Q2 - chênh lệch** : Những cách giảng dạy khác nhau về Năng lượng có là nguyên nhân hình thành nên những chênh lệch giữa tổ chức các tri thức xuất hiện trong việc đào tạo giáo viên và việc giảng dạy của họ ở cấp ba hay không?
- **Q3 - khó khăn** : Những chênh lệch đó có thể giải thích một số khó khăn trong việc giảng dạy khái niệm Năng lượng hay không (đặc biệt là những khó khăn của các giáo viên trẻ)?

II. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

Chúng tôi trình bày ở đây những nội dung chủ yếu của phạm vi lý thuyết được dùng làm cơ sở cho đề tài nghiên cứu này và những vận dụng trong công việc cụ thể.

II.1. Lý thuyết nhân chủng học (Chevallard) : mối quan hệ thể chế, mối quan hệ cá nhân

Lý thuyết nhân chủng học đặt cơ sở trên ba thuật ngữ nguyên thủy (termes primitifs) : *đối tượng (O)*, *cá nhân (X)* và *thể chế (I)*.

Đối tượng là khái niệm cơ bản. Tất cả đều có thể trở thành đối tượng : hàm số logarithme là một đối tượng (toán học), và ngay cả đối tượng « trường học », đối tượng « thầy giáo », đối tượng « học », đối tượng « biết », v.v.

Một thể chế có thể là trường học, gia đình. Có thể là một lớp học, một giờ học, một buổi thực hành. Và cũng có thể là cuộc sống thường ngày.

Từ đó vấn đề trung tâm của lý thuyết này là mối quan hệ giữa ba yếu tố :

« Một đối tượng tri thức O tồn tại ngay khi có một cá nhân X hay một thể chế I nhận ra O. [...] Một cách rõ ràng hơn, O tồn tại đối với X (hoặc X biết O) nếu tồn tại một *mối quan hệ cá nhân* của X với O. [...] mối quan hệ cá nhân với O chỉ rõ cách mà X biết O. Tương tự như vậy, một đối tượng tri thức O tồn tại đối với thể chế I nếu tồn tại một *mối quan hệ thể chế* của I đối với O. Mối quan hệ thể chế này cho biết những gì xảy ra đối với O trong I, O được sử dụng như thế nào. » [Chevallard, 1989]

Mối quan hệ cá nhân của X với O được viết tắt là $R(X,O)$, mối quan hệ thể chế của I đối với O là $R_I(O)$.

Tất cả *đối tượng tri thức* đều gắn liền với ít nhất một thể chế. Vì vậy, « *một cá thể chỉ có thể có mối quan hệ với một tri thức khi tham gia vào các mối liên hệ với một hay nhiều thể chế* ». (Chevallard, 1989)

Khi tham gia vào mối liên hệ với một thể chế I, cá nhân X trở thành chủ thể của thể chế I. Một cá nhân có thể là chủ thể của nhiều thể chế. Và trong một thể chế, nó có thể có nhiều vị trí p khác nhau tạo nên các mối quan hệ thể chế tương ứng khác nhau $R_I(p,O)$. Tóm lại :

« [...] cá nhân X đơn giản chỉ là một đại diện thể hiện sự tổng hợp các ràng buộc của thể chế. Các mối quan hệ của cá nhân được xây dựng, hoặc được đánh giá như bị ảnh hưởng, bởi những ràng buộc tạo

¹ Trong chương trình năm 2000 (lớp 1^{ère} S) của Pháp, AU xuất hiện ít mạnh mẽ hơn trong chương trình năm 1992. Những phân tích để trả lời câu hỏi Q1 cũng sẽ cho phép chúng tôi tìm hiểu những thay đổi của cách lựa chọn hai tiếp cận giữa các chương trình.

nên từ các mối quan hệ $R_1(p, O)$ – các mối quan hệ này chỉ rõ tiêu chuẩn để có được một quan hệ cá nhân của chủ thể (thuần túy) của thể chế I tại vị trí p trong thể chế I. (Thiết thời cho các thể chế là chủ thể thuần túy, chủ thể tương tượng của thể chế, không tồn tại : một cách ngược đời, bằng cách tuân theo chủ thể I, các nhân X vẫn giữ một phần tự do vì cá nhân còn bị lệ thuộc các thể chế I khác) » (Chevallard, 1991)

Ta có thể đánh giá một cá nhân X « ít nhiều » là *chủ thể tốt* của một thể chế. Một cá nhân X tỏ ra là một chủ thể tốt của thể chế đối với đối tượng O của thể chế khi mối quan hệ cá nhân $R(X, O)$ có thể được nhận định là phù hợp với mối quan hệ thể chế $R_1(O)$.

II.2. Áp dụng lý thuyết nhân chủng học trong đề tài

Công trình của chúng tôi có thể hiểu như một nghiên cứu tập trung vào các mối quan hệ thể chế. Đối với chúng tôi, Năng lượng rõ ràng là *đối tượng*. Chúng tôi chú ý đến các khó khăn mà các giáo viên cấp ba, trong vai trò *cá nhân*, gặp phải, đặc biệt là các giáo viên trẻ mới vào nghề. Mỗi *quan hệ cá nhân của giáo viên với đối tượng Năng lượng* được xây dựng dưới các ràng buộc của hai *mối quan hệ thể chế* : của Cấp ba (nơi người giáo viên giảng dạy) và tại bậc Đại học (nơi mà cá nhân được đào tạo). Đặc tính của các mối quan hệ thể chế này cho phép tạo nên một nền tảng để hiểu được mối quan hệ cá nhân của người giáo viên được tổ chức như thế nào. Những chênh lệch giữa các tri thức, những khó khăn mà giáo viên có thể gặp đều có thể xác định và thể hiện qua mối quan hệ thể chế và các điều kiện tổ chức nên mối quan hệ cá nhân với Năng lượng.

Bằng cách so sánh các mối quan hệ thể chế Cấp ba và Đại học, chúng tôi đã tìm cách làm rõ các khó khăn có thể có trong mối quan hệ cá nhân của giáo viên với đối tượng Năng lượng. Các phân tích sách giáo khoa cho phép nêu lên mối quan hệ thể chế của Năng lượng trong mỗi thể chế, thể chế đào tạo (Đại học) và thể chế dạy học (Cấp ba). Công việc của chúng tôi trải qua hai giai đoạn :

1) Phân tích các sách giáo khoa của hai thể chế Đại học và Cấp ba để nêu lên các mối quan hệ thể chế ảnh hưởng đến mối quan hệ cá nhân của giáo viên với Năng lượng. Đặc biệt, ở thể chế Cấp ba, chúng tôi phân tích cả những tài liệu của những người chịu trách nhiệm về những thay đổi chương trình và sách giáo khoa (noosphesriens) để xác định những lý do và tiến triển của đối tượng.

2) Phân thực nghiệm để khảo sát các ràng buộc của mối quan hệ cá nhân của giáo viên với Năng lượng.

II.3. Mối quan hệ thể chế - phân tích sinh thái học

Làm cách nào để mô tả mối quan hệ thể chế của Năng lượng trong các thể chế khác nhau ?

Sự phát triển của lý thuyết nhân chủng học dẫn đến việc ra đời của phân tích sinh thái học. *Phân tích sinh thái học* được xây dựng tương tự với bộ môn sinh thái học bằng cách xem xét các đối tượng tri thức như những « bản thể sống », có các số mệnh và mang dấu vết lịch sử đặc trưng của mỗi thể chế. Cụ thể là chúng ta có thể xem xét *cuộc sống* của một đối tượng tri thức thông qua việc tìm hiểu *nơi sinh sống (habitat)* và *các chức năng (niche)* của nó. Các chức năng của một đối tượng có thể phân tích dựa vào các câu hỏi sinh thái.

« Cái gì tồn tại, và tại sao ? Cái gì không tồn tại, tại sao ? Và cái gì có thể tồn tại ? Với những điều kiện nào ? Ngược lại, với tất cả những điều kiện đã có, những đối tượng nào được thúc đẩy để sống, hoặc ngược lại bị cản trở sống trong các điều kiện này ? » [Artaud và nhiều tác giả khác, 1998]

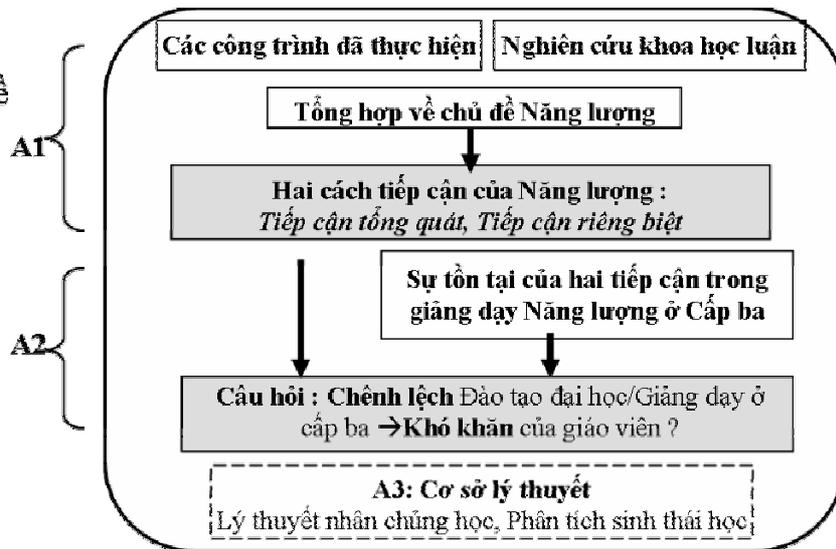
Ở đây, Năng lượng là đối tượng mà chúng tôi muốn nghiên cứu cuộc sống của nó trong các thể chế khác nhau. Năng lượng không thể xuất hiện mà không có các đối tượng năng lượng cấu thành nên nó. Vì vậy để nghiên cứu sự tồn tại của Năng lượng, chúng tôi sẽ phân tích cuộc sống của các đối tượng năng lượng hình thành nên nó.

Phân tích sinh thái học trên các *đối tượng năng lượng* cho phép chúng tôi nghiên cứu sự có mặt (tồn tại) cũng như các mối quan hệ của chúng (cuộc sống xã hội) trong một thể chế, tại thời điểm nào đó. Bằng cách so sánh cuộc sống các đối tượng trong hai thể chế (Cấp ba và Đại học), chúng tôi có thể nắm bắt được sự xuất hiện và sự biến mất của chúng cũng như của các mối quan hệ giữa chúng.

Chúng tôi đã phân tích sinh thái học một số sách giáo khoa (SGK) Cấp ba và Đại học.

III. Tổ chức của luận án

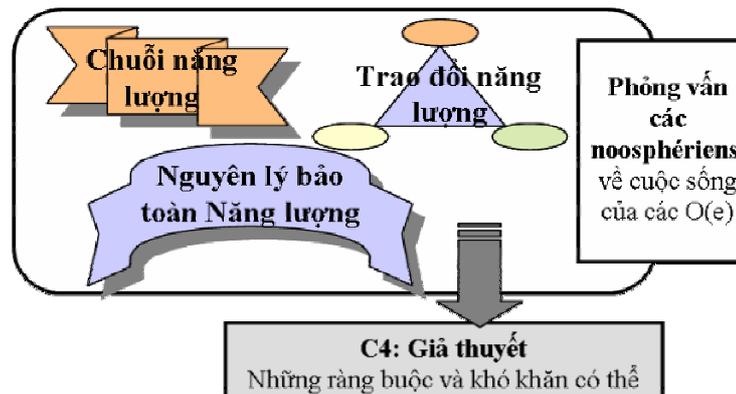
Phần A Nêu vấn đề



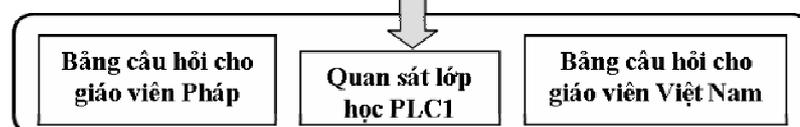
Phần B Cuộc sống của Tiếp cận tổng quát



Phần C Cuộc sống của một số đối tượng năng lượng



Phần D Thực nghiệm



IV. Những kết quả chính của nghiên cứu

IV.1. Bước thứ nhất của phân tích sinh thái học các sách giáo khoa, các khái niệm công cụ của luận án

IV.1.1. Vị trí của Năng lượng ở hai thể chế

Bước đầu, chúng tôi phân tích vị trí của Năng lượng trong nhiều bộ SGK (ở Pháp có nhiều bộ sách của nhiều NXB khác nhau cho 1 chương trình cấp ba) của cả hai thể chế nhằm hai mục đích:

- Khảo sát nơi sinh sống của Năng lượng ở hai thể chế này. Kết quả cho thấy ở cả hai nước sự khác nhau về sự phân bố của Năng lượng ở hai thể chế là như nhau : Ở bậc Đại học, nơi sinh sống của Năng lượng bị cắt nhỏ và xen vào trong nhiều SGK tương ứng các bộ môn khác nhau của Vật lý ; ở Cấp ba, Năng lượng luôn xuất hiện trong một quyển SGK Vật lý.
- Kết quả trên cho phép giới hạn lại một bộ sách cho mỗi thể chế để thực hiện các phân tích sinh thái chi tiết hơn.

IV.1.2. Các khái niệm công cụ của luận án

Nói một cách ngắn gọn, phân tích sinh thái học là công việc tìm hiểu đời sống của một đối tượng tri thức nhưng không có một chuẩn mực nào để thực hiện điều đó ngoài các câu hỏi cơ bản dựa trên sự tương tự với môn khoa học sinh thái. Vì vậy để thực hiện luận án này, chúng tôi đã xây dựng các khái niệm công cụ để làm cơ sở cho các phân tích.

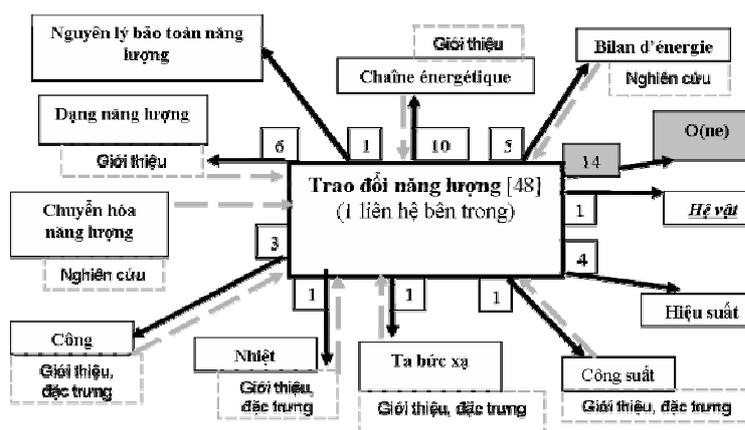
- *Đối tượng năng lượng $O(e)$* : Như chúng tôi đã nêu ở trên, Năng lượng là một chủ đề phức tạp liên quan đến nhiều khái niệm khác, vì vậy chúng tôi đã xây dựng một danh sách các *đối tượng năng lượng*. Đó là những kiến thức thành phần góp phần hình thành nên tri thức Năng lượng. Danh sách được xây dựng dựa trên sự tham khảo chương trình cũng như các SGK của năm 1992 tại Pháp khi Năng lượng được xem như một chủ đề chính bao trùm các hiện tượng vật lý. Chúng tôi đã rút ra 12 đối tượng: các Dạng năng lượng (E) ; Nguyên lý bảo toàn năng lượng (PCE: gồm cả Nguyên lý thứ nhất của Nhiệt động học); Chuỗi năng lượng (Ch: Chaîne énergétique); Bảng tổng kê các mặt liên quan về năng lượng (BL: Bilan énergétique); sự Chuyển hóa năng lượng (TrA: Transformation de l'énergie); sự Trao đổi năng lượng (TrE: Transfert d'énergie); Công (W); Nhiệt/truyền nhiệt (Q); Tia bức xạ (R); Công suất (P); Hiệu suất (Rnt); các Định lý, định luật về năng lượng (ThE: định luật bảo toàn cơ năng, định lý động năng).
- *Lập luận năng lượng (Raisonnement énergétique : R(e))* : Các đối tượng năng lượng trong danh sách trên cũng có thể là đối tượng của lĩnh vực khác ngoài Năng lượng. Ví dụ : Công là một khái niệm gắn liền với bộ môn Cơ học ; Nhiệt với Nhiệt học. Để xác định ngữ cảnh xuất hiện của các đối tượng năng lượng, chúng tôi đưa ra khái niệm *lập luận năng lượng*, viết tắt là R(e). Đây là một công cụ giúp chúng tôi làm rõ nét đời sống của một đối tượng năng lượng. Nhờ đó có thể xác định được đối tượng xuất hiện trong một trường hợp với vai trò là đối tượng của Năng lượng, hay của một lĩnh vực khác (được gọi tên là lập luận không-năng lượng R(ne)). Một đối tượng năng lượng được xem là xuất hiện trong lập luận năng lượng khi nó có mối liên hệ với nhiều đối tượng năng lượng khác nhau. Trong trường hợp đó, Năng lượng là trung tâm của nội dung thảo luận. Trong trường hợp ngược lại, Năng lượng (hay các đối tượng năng lượng) đơn giản chỉ là công cụ cho một chủ đề khác được nghiên cứu. Ta có thể thấy rằng trong cách Tiếp cận tổng quát AU của Năng lượng, chỉ có thể tồn tại các Lập luận năng lượng, còn trong cách tiếp cận riêng rẽ, cả hai Lập luận (năng lượng và không-năng lượng) đều có thể xuất hiện.

IV.1.3. Cơ sở của phân tích sinh thái học trong luận án : Sơ đồ biểu diễn cuộc sống các đối tượng năng lượng O(e)

Chúng tôi đã phân tích chi tiết cuộc sống của 12 đối tượng năng lượng O(e) trong các SGK đã chọn của hai thể chế Đại học và Cấp ba (Pháp và Việt Nam). Đó chính là cơ sở để phân tích cuộc sống chung của Năng lượng. Phân tích này được thực hiện cho mỗi đối tượng của mỗi SGK. Và kết quả được trình bày dưới dạng sơ đồ (giới thiệu ở phần phụ lục của chương B3).

Cuộc sống của một O(e) được phân tích thông qua các trường hợp xuất hiện của đối tượng trong một nơi sinh sống và các mối quan hệ được thiết lập với mỗi O(e) khác cũng như với các đối tượng không thuộc danh sách chúng tôi đã xây dựng (nghĩa là đối tượng không-năng lượng). Tính chất của các mối quan hệ cũng được xét đến theo các lập luận : năng lượng R(e) hay không năng lượng R(ne).

Nội dung thể hiện trong sơ đồ của một O(e) nhằm trả lời các câu hỏi sinh thái học như : Các trường hợp xuất hiện của O(e) nhằm mục đích gì? Để nghiên cứu đối tượng nào? Tóm lại là vì sao O(e) xuất hiện và các O(e) nào khác thúc đẩy sự sống của nó? Chúng tôi giới thiệu dưới đây một sơ đồ biểu diễn cuộc sống của đối tượng Trao đổi năng lượng trong SGK Vật lý lớp lère S tại Pháp của chương trình năm 1992.



Sơ đồ tóm tắt «cuộc sống» của Trao đổi năng lượng

Trao đổi năng lượng xuất hiện 48 trường hợp trong đó 1 lần là định nghĩa, được xét như một mối liên hệ bên trong. Đối tượng này xuất hiện để nghiên cứu 9 O(e) khác. Ngoài 1 mối liên hệ bên trong (chiếm 20% các trường hợp xuất hiện), đối tượng này được sử dụng để xây dựng và làm rõ nét Chuỗi năng lượng (Chaîne énergétique) (21%), các Dạng năng lượng (13%) và Bilan (10%), v.v. Theo chiều ngược lại thì Trao đổi năng lượng xuất hiện trong các nghiên cứu của 8 O(e) khác. Ngoài ra, phần lớn các trường hợp xuất hiện của TrE là để nghiên cứu các đối tượng không năng lượng O(ne) (29%).

IV.1.4. Sự tồn tại của Tiếp cận tổng quát và các ảnh hưởng lên cuộc sống của Năng lượng

Với các khái niệm công cụ và các kết quả thu được về cuộc sống của tất cả các đối tượng năng lượng, chúng tôi đã phân tích các ảnh hưởng của cách tiếp cận Năng lượng lên cuộc sống của chủ đề này.

Bước đầu chúng tôi xác định sự tồn tại của các tiếp cận trong các SGK được nghiên cứu.

- Tại Pháp, nhìn từ góc độ hai Tiếp cận, kết quả của phân tích này gắn bó chặt chẽ với các kết quả đã có về vị trí của Năng lượng ở hai thể chế và cho thấy rõ sự chênh lệch giữa hai thể chế này :

- Tại bậc Đại học, nơi mà cuộc sống của Năng lượng bị chia nhỏ trong nhiều SGK tương ứng với các bộ môn khác nhau, chỉ có Tiếp cận riêng rẽ AP có mặt.

- Tại Cấp ba, với sự xuất hiện trong duy nhất một SGK và được chú ý xây dựng, Năng lượng xuất hiện bằng cả hai Tiếp cận trong hai chương trình gần nhất mà chúng tôi phân tích chi tiết (1992 và 2000).

- Tại Việt Nam, Tiếp cận tổng quát AU chỉ xuất hiện trong bộ môn Cơ học nhưng một cách vắn tắt và không rõ trong cả hai thể chế đồng thời luôn đi cùng Tiếp cận riêng rẽ AP. Chúng tôi nhận thấy không có sự chênh lệch quan trọng trong cuộc sống của Năng lượng giữa hai thể chế Cấp ba và Đại học tại Việt Nam.

Như vậy giả thuyết nghiên cứu của chúng tôi chỉ có thể thử nghiệm cho trường hợp tại Pháp và trường hợp Việt Nam được xem như một nhân chứng.

Từ kết quả này chúng tôi có thể xác định được những ảnh hưởng của Tiếp cận tổng quát lên cuộc sống của Năng lượng.

- *Nếu so sánh hai thể chế Đại học và Cấp ba (Pháp)* : Tại Đại học, cuộc sống của các đối tượng $O(e)$ thay đổi theo các bộ môn Vật lý được nghiên cứu, Năng lượng được sát nhập vào cuộc sống của bộ môn và điều đó minh họa rõ sự có mặt của Tiếp cận riêng rẽ ; đặc biệt việc tồn tại của nhiều cách Lập luận chứng tỏ Năng lượng đóng nhiều vai trò khác nhau. Trái lại, sự « thống trị » của Lập luận năng lượng $R(e)$ ở Cấp ba chỉ rõ một cuộc sống năng lượng rất mãnh liệt ở thể chế này trong chương trình năm 1992 cũng như năm 2000. Điều đó cho thấy cuộc sống năng lượng rất được ưu đãi trong một thể chế có sự có mặt của Tiếp cận tổng quát.

- *Nếu so sánh giữa những nơi sinh sống của Năng lượng* (giữa các SGK hoặc giữa các chương trong một SGK): những nơi có AU, các $O(e)$ xuất hiện với mật độ lớn và các mối liên hệ giữa các $O(e)$ có cường độ cao. Với trường hợp của Pháp, điều này thể hiện rõ trong so sánh giữa hai thể chế ở trên. Ngoài ra, chúng tôi cũng thấy rằng cuộc sống của Năng lượng trong SGK chương trình năm 2000 không phong phú bằng chương trình năm 1992 đúng như việc vị trí của AU đã giảm so với chương trình trước. Tại Việt Nam, tác động của AU chỉ thấy rõ trong các chương mà cách tiếp cận này xuất hiện trong bộ môn Cơ học (tại Cấp ba cũng như Đại học) : cuộc sống năng lượng tại đây rõ ràng mạnh mẽ hơn các bộ môn khác.

IV.2. Bước thứ hai : phân tích cuộc sống một số đối tượng năng lượng $O(e)$

Để xác định rõ các chênh lệch cũng như tìm các khó khăn có thể xuất hiện để khảo sát, chúng tôi lựa chọn một số $O(e)$ để phân tích cuộc sống. Chúng tôi đã chọn ba đối tượng đặc thù của chương trình cải cách năm 1992 tại Pháp để phân tích và kết quả của phân tích này cũng làm lộ rõ cuộc sống của một vài đối tượng năng lượng khác mà chúng tôi đã xét đến trong thực nghiệm.

Phân tích của chúng tôi được định hướng theo các câu hỏi sinh thái học sau :

- *QE1-Đối tượng Thường trực* : Các đối tượng nào xuất hiện một cách thường trực trong giảng dạy Năng lượng, nghĩa là trước, trong và sau cải cách 1992 ? Nơi sinh sống của chúng bị thay đổi như thế nào và sự thích nghi nào diễn ra trong khuôn khổ khái niệm và chức năng sinh thái học ?

- *QE2-Đối tượng Biến mất* : Các đối tượng nào có mặt trước 1992 đã biến mất trong cải cách năm 1992 ? Tại sao ?

- *QE3-Đối tượng Mới* : Các đối tượng nào mới được đưa vào trong năm 1992 ? Tại sao ?

- Đối tượng nào bị thay thế vào năm 2000 ?

- Đối tượng nào biến mất vào năm 2000 ? Tại sao ? Sự biến mất này có ảnh hưởng đến cuộc sống của các đối tượng năng lượng khác hay không ?

Chúng tôi còn sử dụng một công cụ lý thuyết khác trong phân tích này, đó là sự đánh giá, xếp loại các đối tượng theo độ rõ (visibilité) của chúng :

- **Đối tượng vật lý** (objet physique) : Đó là một đối tượng được xây dựng rõ ràng với một « tên gọi », có định nghĩa và/hoặc các tính chất của nó. Đối tượng này phải được biết, nghĩa là ta có thể đòi hỏi học sinh không chỉ biết sử dụng đối tượng trong một bài tập mà còn phải biết định nghĩa và nêu các tính chất của nó để giải thích phương pháp giải bài tập. Như vậy, một Đối tượng vật lý có độ rõ rất cao.

- **Đối tượng paraPhysique** : Đối tượng này xuất hiện rõ ràng trong SGK với « tên gọi » nhưng không có định nghĩa, chỉ đơn giản là một công cụ để phục vụ các hoạt động vật lý. Đối tượng này cũng có độ rõ nhưng không bằng đối tượng vật lý. Các yêu cầu không giống với đối tượng vật lý : học sinh phải học đối tượng này, nghĩa là họ có thể chỉ ra rằng họ biết cách sử dụng trong một bài tập mà không cần giải thích việc sử dụng này.

- **Đối tượng protoPhysique** : Đối tượng này ít rõ nhất và như vậy không thể đánh giá về mặt sư phạm. Nó tồn tại thông qua các hiện tượng và các tình huống vật lý. Định nghĩa của nó, hay là việc xây dựng đối tượng này không phải là trách nhiệm của việc giảng dạy. Sự xuất hiện của đối tượng luôn luôn không rõ ràng và nó không có « tên gọi ».

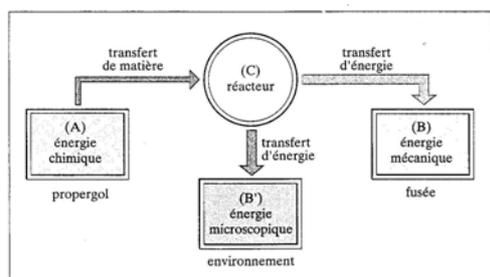
Dựa trên các cơ sở này chúng tôi đã phân tích chi tiết cuộc sống của ba O(e) được giới thiệu sau đây.

IV.2.1 Đối tượng Chuỗi năng lượng (Ch : Chaîne énergétique)

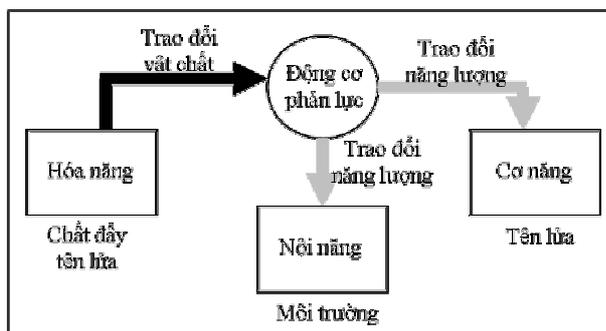
Đối tượng Chuỗi năng lượng xuất hiện dưới dạng các sơ đồ năng lượng được đưa vào chương trình phổ thông trong cải cách năm 1992. Tuy nhiên Chuỗi năng lượng không tồn tại trong các thể chế khác, vì vậy để nghiên cứu và so sánh, chúng tôi đã mở rộng phạm vi đối tượng này thành « sơ đồ năng lượng » chứ không giới hạn trong phạm vi đối tượng Chuỗi năng lượng.

Vào năm 1992, sơ đồ đầu tiên được thực hiện (Chaîne énergétique) là một chuỗi-nhiều-mắt xích (hình 1) có một cuộc sống không bền vững và biến đổi thất thường. Sơ đồ này được xây dựng theo những quy tắc nhưng thay đổi không rõ ràng và khác nhau giữa các SGK. Trong cùng một sách giáo khoa, sơ đồ xuất hiện cả dưới dạng chuỗi-một-mắt xích (hình 2) và chúng tôi đã xem sơ đồ này như một biểu đồ trợ giúp (support graphique) cho Bảng tổng kê các mặt liên quan về năng lượng (Bilan énergétique).

On conviendra de schématiser les réservoirs d'énergie par des rectangles et les convertisseurs d'énergie par des cercles. Les transferts énergétiques (cf. chapitre 10) entre convertisseurs et réservoirs seront traduits par des flèches colorées. Un transfert de matière sera représenté par une flèche noire.



Chúng ta quy ước biểu diễn các vật chứa năng lượng bằng các hình chữ nhật và các vật chuyển đổi năng lượng bằng các hình tròn. Các trao đổi năng lượng (xem chương 10) giữa vật chứa và vật chuyển đổi sẽ được miêu tả bằng các mũi tên tô màu. Một sự trao đổi vật chất sẽ xuất hiện bằng một mũi tên màu đen.

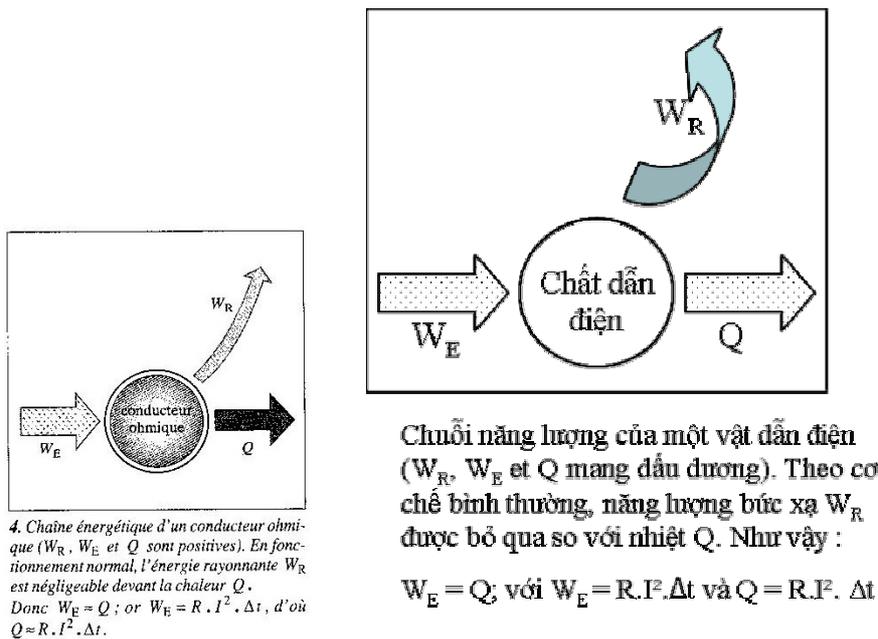


Hình 1. Ví dụ một Sơ đồ năng lượng dạng chuỗi-nhiều-mắt xích trong SGK Vật lý 1^{ère} S (NXB Hachette, 1994)

Sơ đồ năng lượng ở thể chế Cấp ba (Pháp) có nhiều chức năng :

- « Cơ chế tổ chức » (organisateur) của Năng lượng : giúp xác định, phân biệt, định vị và thiết lập các mối quan hệ giữa các đối tượng năng lượng trong một tình huống vật lý được đề ra.
- Sơ đồ hóa một tình huống vật lý để giải quyết một Bảng tổng kê các mặt liên quan về năng lượng (Bilan énergétique).
- Được dùng như cơ sở lập luận cho Nguyên lý bảo toàn năng lượng.

Tuy nhiên, các sơ đồ năng lượng xuất hiện rất ít trong các bài tập. Và các sơ đồ gần như đã chết trong chương trình năm 2000, chúng chỉ xuất hiện trong Tài liệu đi kèm chương trình (Document d'accompagnement) mà không hề có mặt trong các SGK. Sơ đồ chuỗi-nhiều-mắt xích hoàn toàn biến mất sau năm 1992, trong Tài liệu đi kèm chương trình, chỉ là sơ đồ chuỗi-một-mắt xích.



Hình 2 Ví dụ một Sơ đồ năng lượng dạng chuỗi-một-mắt xích trong SGK Vật lý 1^{ère} S (NXB Hachette, 1994)

Trong các thể chế khác và ngay cả thể chế Cấp ba năm 2000, Chuỗi năng lượng không hề tồn tại. Các sơ đồ năng lượng xuất hiện không nhiều, có thể nói là hiếm hoặc là không có. Ở bậc Đại học của Pháp, chỉ có vài sơ đồ xuất hiện ở bộ môn Nhiệt động học. Trong SGK lớp 10 của VN, một sơ đồ như vậy (sơ đồ nhiệt học) cũng xuất hiện nhưng lại không tồn tại trong SGK đại học. Về Bảng tổng kê năng lượng (BL), đối tượng này cũng sống trong thể chế Đại học của Pháp nhưng không có sơ đồ năng lượng đi kèm và nội dung ít phong phú hơn Cấp ba. Ở cả hai thể chế của Việt nam, đối tượng này không tồn tại.

Từ kết quả này, chúng tôi đã đặt ra các giả thuyết (H) và câu hỏi (Q) liên quan đến ba đối tượng năng lượng liên quan.

Q – Chuỗi năng lượng : Đối với các giáo viên đã dạy lâu năm (cả chương trình cải cách 1992), Chuỗi năng lượng có còn tồn tại hay không ?

H- Chuỗi năng lượng : Chúng tôi đặt giả thuyết rằng câu trả lời sẽ là Không cho cả giáo viên trẻ và giáo viên lâu năm.

H – Bảng tổng kê (BL) : Bảng tổng kê do các giáo viên thực hiện ít phong phú về nội dung so với SGK Cấp ba, số lượng đối tượng năng lượng xuất hiện ít hơn.

H – Sơ đồ năng lượng : Các giáo viên trẻ của Pháp và Việt nam không tự giác thực hiện các sơ đồ năng lượng tổng quát để nghiên cứu một hiện tượng vật lý theo góc độ năng lượng.

Q- Sơ đồ năng lượng:

- Đối với các giáo viên dạy lâu năm : loại sơ đồ nào sẽ được các giáo viên này thực hiện ? Sơ đồ năm 2000 không xuất hiện trong các SGK nhưng tồn tại trong Tài liệu đi kèm có được sử dụng hay không ? Sơ đồ mà các giáo viên vẽ có tuân theo đúng các quy định xây dựng của nó hay không ?

- Nếu đề xuất sơ đồ năng lượng được xây dựng trong Tài liệu đi kèm chương trình năm 2000 cho các giáo viên trẻ, liệu sơ đồ này có được cảm nhận như một trợ giúp để giảng dạy Năng lượng hay không ?

- Đối với trường hợp Việt nam, nơi mà các giáo viên không bao giờ thao tác với sơ đồ năng lượng, nếu cung cấp nhiều loại sơ đồ như đã quan sát được trong phân tích các SGK Cấp ba của Pháp (chương trình năm 1992 và 2000, tài liệu COAST-MAFPEN), loại nào sẽ được cho là có ích để giải quyết một tình huống năng lượng ?

IV.2.2. Đối tượng Trao đổi năng lượng (TrE : Tranfert énergétique)

Tại Pháp, ngoài thể chế Cấp ba (năm 1992 và 2000), Trao đổi năng lượng (TrE) và các cách thức trao đổi không phải là đối tượng vật lý mà là parapsychique (công cụ).

Tại Cấp ba, trước năm 1992, từ ngữ Trao đổi năng lượng được dùng như một từ chỉ phẩm chất (qualificatif) để đặc trưng cho Công và Nhiệt. Chương trình cải cách năm 1992 đem đến một vị trí ưu tiên cho khái niệm TrE, nó trở thành Đối tượng vật lý. Độ rõ của TrE trong chương trình này rõ ràng hơn nhờ vào sự xuất hiện của loại (catégorie) « Cách thức trao đổi » cho phép đối chiếu và mô tả chức năng năng lượng chung của ba đối tượng khác nhau (Công, Nhiệt, Tia bức xạ) : công nhiệt và tia bức xạ được định nghĩa là ba cách thức để trao đổi năng lượng. Trong chương trình năm 2000, sự xuất hiện của TrE gần giống với trước năm 1992 nhưng vẫn giữ khái niệm cách thức trao đổi năng lượng. Vì vậy độ rõ của các đối tượng không thay đổi.

Các đối tượng này (hiện tượng trao đổi năng lượng và các khái niệm cách thức trao đổi) sống trong tất cả các thể chế.

- Tại Đại học của Pháp, ý tưởng trao đổi năng lượng xuất hiện qua các từ khác nhau như chuyển dời, cung cấp, tỏa ra. Các cách thức trao đổi gắn bó với TrE một cách không rõ ràng. Trong số các SGK đại học, sự xuất hiện có thể được đánh giá là rõ nét nhất của TrE là ở bộ môn Nhiệt động học khi phân biệt các đặc tính của Nhiệt và Công.

- Trong các SGK đại học Việt nam, TrE được nêu lên gần như là đối tượng vật lý khi định nghĩa Năng lượng. Các cách thức trao đổi cũng xuất hiện để làm rõ đặc trưng của TrE nhưng một cách lu mờ và chỉ trong bộ môn Cơ học vì tại đó Năng lượng được định nghĩa. Vì vậy, chỉ có cách thức trao đổi bằng công được nói đến.

- Trong SGK Cấp ba Việt nam, TrE là một đối tượng protophysique. Đối tượng này không bao giờ có tên gọi riêng và được mô tả qua nhiều từ ngữ khác nhau.

Ngoài ra, trong tất cả các thể chế, đối tượng Chuyển hóa năng lượng (TrA) có độ rõ rất mờ nhạt và không hề được định nghĩa, và như vậy có khả năng sinh ra nhiều lẫn lộn với TrE. Sự lẫn lộn này được vén lên trong nghiên cứu của chúng tôi nhờ vào sự kiện : độ rõ của TrE trở

nên đậm nét và sự xuất hiện của các sơ đồ năng lượng mà trong đó TrE và TrA được xác định và phân biệt rõ. Ta có thể quan sát sự lẫn lộn giữa hai đối tượng này trong các lời văn trong SGK nhờ vào các dấu hiệu : sự lẫn lộn các cách thức trao đổi năng lượng với số lượng năng lượng được trao đổi ; sự gắn bó của hai hiện tượng TrE và TrA.

Từ đây, chúng tôi đã đặt ra các giả thuyết (H) và câu hỏi (Q) liên quan đến TrE cũng như TrA.

H – Trao đổi năng lượng : Việc sử dụng các khái niệm Trao đổi năng lượng và các cách thức trao đổi không đặt ra vấn đề với giáo viên (vì các đối tượng này xuất hiện ở tất cả các thể chế). Tuy nhiên các giáo viên trẻ không nhận thấy lợi ích cho các học sinh và họ không sử dụng khái niệm Cách thức trao đổi.

Q - Trao đổi năng lượng : Liệu các từ ngữ « trao đổi » và « cách thức trao đổi » có xuất hiện trong các câu trả lời của giáo viên hay không ? Có những khác nhau nào giữa các câu trả lời của giáo viên trẻ và giáo viên lâu năm ?

H – Chuyển hóa năng lượng : Các giáo viên (trẻ cũng như kinh nghiệm lâu năm) của cấp ba không phân biệt được hai hiện tượng Trao đổi năng lượng và Chuyển hóa năng lượng trong một tình huống năng lượng cần sự phân biệt này.

IV.2.3. Đối tượng Nguyên lý bảo toàn năng lượng (PCE : Principe de conservation de l'énergie)

PCE là một nguyên lý liên quan nhiều hiện tượng, nguyên lý chuyển hóa (principe de transformation). Tuy nhiên sự Bảo toàn của Năng lượng xuất hiện dưới nhiều dạng đặc thù khác nhau (Nguyên lý bảo toàn cơ năng, Định lý động năng) và các dạng đặc thù này tạo nên những cạnh tranh trong việc sử dụng cho nội dung bài học cũng như các bài tập.

Nguyên lý bảo toàn năng lượng (PCE) là đặc trưng của Tiếp cận AU và chỉ tồn tại rõ ràng ở thể chế Cấp ba (1992 và 2000).

Trước chương trình năm 1992, sự Bảo toàn luôn được đề cập đến cuối cùng, sau khi đã đưa vào các khái niệm gắn bó với nó. Năng lượng được đưa vào bằng khía cạnh Cơ học và vì vậy sự Bảo toàn cơ năng và/hay Định lý động năng được khai thác như Đối tượng vật lý đặc trưng của bộ môn Cơ học. Nguyên lý bảo toàn năng lượng dưới dạng tổng quát không tồn tại trong các chương trình này (trừ chương trình năm 1957 và 1979).

Trong chương trình cải cách năm 1992, Nguyên lý tổng quát là đặc trưng của AU và xuất hiện như « cơ chế hợp nhất » (unificateur) của Năng lượng. Trong chương trình này, Nguyên lý tổng quát xuất hiện ở vị trí đầu tiên với tên gọi cụ thể, trong khi ở chương trình năm 2000, phát biểu của nguyên lý xuất hiện cuối cùng và không có tên gọi. Sự cạnh tranh của các dạng đặc thù của PCE với Nguyên lý tổng quát được nêu rõ trong Tài liệu đi kèm của hai chương trình này.

Trong các SGK đại học Pháp, cuộc sống của Nguyên lý thay đổi theo các bộ môn. Luôn luôn là các dạng đặc thù tương ứng với các bộ môn vật lý được phát biểu mà không phải là Nguyên lý tổng quát. Với SGK lớp 10 của Việt nam, Nguyên lý tổng quát luôn luôn được phát biểu cho một hệ cô lập. Trong các SGK đại học của Việt nam, Năng lượng xuất hiện theo cách truyền thống, nghĩa là trong bộ môn Cơ học. Nhưng cũng như ở lớp 10, tiếp cận không hoàn toàn là riêng rẽ (AP) : một phần, Năng lượng được định nghĩa một cách tổng quát và một phần khác Nguyên lý tổng quát được phát biểu.

Từ đây chúng tôi có giả thuyết (H) và câu hỏi (Q) sau :

H – Nguyên lý : Độ rõ của nguyên lý tổng quát của Bảo toàn năng lượng yếu hơn các dạng đặc thù của nó.

Dấu hiệu để đánh giá độ rõ là việc sử dụng hoặc không sử dụng dạng tổng quát và chúng tôi so sánh việc sử dụng đó với các dạng đặc thù như Nguyên lý bảo toàn cơ năng và/hay Định lý động năng.

Q- Nguyên lý :

Dạng đặc thù nào sẽ được dùng trong Cơ học : Sự bảo toàn cơ học hay Định lý động năng ?

Đối với Định lý động năng, lập luận nào được sử dụng, năng lượng hay không năng lượng ?

Chúng tôi dự kiến rằng dạng tổng quát sẽ được dùng rất ít nhưng chúng tôi vẫn muốn khảo sát xem nó có được nói đến hay không. Mỗi quan hệ giữa dạng tổng quát này và các dạng đặc thù có được thực hiện hay không ?

IV.2. Nghiên cứu thực nghiệm

Mục đích chính của thực nghiệm mà chúng tôi đã thực hiện là khảo sát các giả thuyết và các câu hỏi đã đặt ra ở trên để nghiên cứu các khó khăn của giáo viên trong việc giảng dạy Năng lượng.

IV.2.1. Quá trình thực nghiệm

Chúng tôi đã xây dựng một bảng câu hỏi bao gồm hai phần:

- *Phần lý thuyết* : gồm các câu hỏi xung việc giảng dạy Năng lượng : các đối tượng năng lượng mà giáo viên sẽ đề cập đến, nguyên nhân và các khó khăn.

- *Phần bài tập*: gồm hai bài tập liên quan đến Năng lượng: nội dung bài thứ nhất là chuyển động của một con lắc đơn; bài thứ hai là hoạt động của một máy khoan điện. Trong bài tập 1, Năng lượng xuất hiện như một công cụ để nghiên cứu một hiện tượng cơ học. Còn bài tập 2 cho phép nghiên cứu một cuộc sống năng lượng mạnh mẽ trong tình huống. Các đối tượng năng lượng mà chúng tôi muốn khảo sát xuất hiện trong cả hai bài tập.

Thực nghiệm của chúng tôi được thực hiện cho ba nhóm và kết quả thực nghiệm của ba nhóm này bổ sung cho nhau :

- *Nhóm 1* : điều tra với các giáo viên Pháp bằng bảng câu hỏi đã xây dựng. Chúng tôi có thể thấy được những khác nhau giữa các giáo viên đã dạy lâu năm, nghĩa là đã « tiếp xúc » với chương trình năm 1992 khi AU giữ vị trí quan trọng trong giảng dạy Năng lượng, với các giáo viên trẻ chỉ mới dạy chương trình năm 2000.

- *Nhóm 2* : quan sát một kịch bản (scénario) thực nghiệm trong hai buổi học chuẩn bị cho Bài thi với tài liệu của ba nhóm sinh viên lớp PLC1 đang chuẩn bị cho kỳ thi chứng chỉ giáo viên (Certificat d'Aptitude Professorat d'Enseignement Secondaire : CAPES) tại Viện đào tạo giáo viên (Institut Universitaire de Formation des Maîtres : IUFM) tại Grenoble. Kịch bản này được xây dựng dựa trên các bài tập trong bảng câu hỏi của chúng tôi. Trong mỗi buổi học, *một sinh viên tình nguyện* sẽ nhận tài liệu để chuẩn bị bài báo cáo trình bày trước tập thể. Ở buổi học đầu tiên, sinh viên tình nguyện được sử dụng chương trình và các SGK làm tài liệu. Ở buổi học thứ hai, chúng tôi cung cấp thêm một phần trích của tài liệu đi kèm chương trình năm 2000. Phần trích này giới thiệu cách thực hiện một sơ đồ năng lượng và có đề cập đến các yếu tố liên quan đến sự tổng hợp trong chủ đề năng lượng mà chúng tôi gọi là đối tượng năng lượng. *Ở buổi thứ nhất*, sinh viên chuẩn bị bài thuyết trình với mối quan hệ cá nhân gần với mối quan hệ thể chế trong trường Đại học (Tiếp cận riêng biệt AP). Vì vậy chúng tôi có

thể thấy được những khó khăn gây nên do sự chênh lệch giữa mối quan hệ cá nhân này với những gì được đòi hỏi dạy ở lớp 1^{ère} S (Tiếp cận tổng quát AU). Các sinh viên khác có thể đặt câu hỏi trong phần trình bày ; giáo viên không can thiệp để nói về AU. Ở buổi thứ hai, tài liệu cung cấp thêm giúp hiểu rõ những mong đợi vào chương trình Cấp ba trong việc tổng hợp kiến thức Năng lượng thông qua một công cụ là sơ đồ năng lượng. Qua đó, chúng tôi đã quan sát được sự chuyển đổi mối quan hệ cá nhân của các giáo viên tương lai với tri thức Năng lượng cho phù hợp với thể chế Cấp ba.

- *Nhóm 3* : điều tra với các giáo viên Việt Nam bằng bảng câu hỏi đã có sửa chữa để phù hợp với trường hợp tại Việt Nam. Kết quả thực nghiệm của nhóm này giúp chúng tôi có một trường hợp nhân chứng để kiểm tra các giả thuyết đã xây dựng : sự xuất hiện của Tiếp cận tổng quát AU có thực sự đặt ra các vấn đề trong giảng dạy Năng lượng hay không. Ngoài ra, trường hợp này còn cung cấp cho chúng tôi một số kết quả bổ sung rất thú vị.

IV.2.2. Kết quả thực nghiệm

- Tất cả các giáo viên đều không xem Chuỗi năng lượng như một đối tượng giảng dạy cho chủ đề năng lượng. Đối tượng này thực sự đã chết. Đối với các giáo viên Việt nam, đối tượng này làm phức tạp vấn đề.

- Sơ đồ năng lượng không được các giáo viên trẻ đánh giá như một sơ đồ tham khảo cho Năng lượng. Các giáo viên kinh nghiệm có nghĩ đến dạng sơ đồ này nhưng họ chỉ cung cấp dạng sơ đồ nhiệt học, rất ít nội dung so với sơ đồ năng lượng xuất hiện ở Cấp ba của Pháp. Tuy nhiên qua việc sử dụng của các sinh viên PLC1, vai trò của sơ đồ năng lượng đã được ghi nhận là có ích cho việc hiểu và giảng dạy tri thức Năng lượng. Khi cung cấp các loại sơ đồ khác nhau cho các giáo viên Việt Nam, một trường hợp rất khách quan vì chưa bao giờ tiếp xúc với các sơ đồ kiểu này, chúng tôi xác định được dạng sơ đồ được sử dụng nhiều nhất, có thể hiểu là có ích nhất cho việc giảng dạy hay giải một bài tập về Năng lượng. Đó là dạng sơ đồ đang tồn tại trong Tài liệu đi kèm chương trình hiện nay (2000) cho phép sơ đồ hóa phần định lượng của tình huống vật lý theo góc độ năng lượng. Các sơ đồ ít được chọn là các dạng chỉ thể hiện phần định tính.

- Không như giả thuyết mà chúng tôi đã đặt ra, việc thao tác với đối tượng Trao đổi năng lượng không có khó khăn cho các giáo viên nhưng việc xác định các cách thức trao đổi là không dễ dàng, đặc biệt là các giáo viên trẻ và các sinh viên PLC1. Các giáo viên không tự động đề cập đến các cách thức trao đổi để mô tả hiện tượng trao đổi năng lượng. Đối với những trường hợp đề cập đến các cách thức trao đổi năng lượng thì không tương ứng với cách định nghĩa của chương trình Cấp ba. Điều đó cho thấy có nhiều cách (góc độ) khác nhau để xác định các cách thức trao đổi năng lượng. Và chương trình cải cách năm 1992 cũng như năm 2000 đã chọn một cách (mang tên « cách thức trao đổi») và trao cho nó một vị trí ưu tiên so với các góc độ khác. Lựa chọn này cũng có thể không được chứng minh đối những thực hành thông thường trong Vật lý.

Việc lẫn lộn giữa hai đối tượng Trao đổi năng lượng và Chuyển hóa năng lượng tồn tại trong tất cả các nhóm thực nghiệm với mật độ cao.

- Bảng tổng kê về năng lượng được thực hiện trong các câu trả lời của giáo viên đơn giản và nghèo về nội dung so với những gì có trong chương trình Cấp ba. Và kết quả thực nghiệm với sinh viên PLC1 cũng cho thấy chính việc xuất hiện của sơ đồ năng lượng đã góp phần làm phong phú nội dung trong bảng tổng kê này.

- Nguyên lý bảo toàn năng lượng luôn được đánh giá là đối tượng không thể thiếu trong nội dung giảng dạy Năng lượng nhưng việc ứng dụng PCE trong bài tập không hề được thực hiện mà các dạng đặc thù của nó được dùng để hay thế.

V. Kết luận

Việc đặt vấn đề về các phương thức tiếp cận Năng lượng trong giảng dạy và việc xây dựng các công cụ để xác định các tiếp cận (AU, AP) đã giúp chúng tôi có một cơ sở cơ bản để thực hiện các phân tích sinh thái học về cuộc sống của Năng lượng.

Kết quả phân tích so sánh các thể chế đã cho phép khẳng định sự tồn tại của các tiếp cận và những ảnh hưởng của sự lựa chọn các tiếp cận lên cuộc sống của Năng lượng trong giảng dạy. Với sự lựa chọn phân tích cuộc sống của Năng lượng thông qua cuộc sống của các đối tượng năng lượng, chúng tôi đã đặt ra nhiều giả thuyết trên một số đối tượng để khảo sát những chênh lệch và các khó khăn cho người giáo viên. Các khó khăn này đã được khẳng định trong phần thực nghiệm của chúng tôi như phân giới thiệu ở trên.

Ngoài ra, các phân tích sinh thái học còn cho phép đưa đến các thông tin khác liên quan đến sự liên kết các tri thức trong cùng một thể chế, đặc biệt là các đối tượng tượng trưng cho AU được đưa vào chương trình năm 1992.

- Cuộc sống của sơ đồ năng lượng trong các phân tích sinh thái học khiến chúng tôi đặt ra câu hỏi về tính thích đáng của đối tượng này trong giảng dạy ở bậc phổ thông, đặc biệt là dưới cái nhìn của người dạy : những điều kiện nào để một giáo viên chấp nhận một đối tượng không tồn tại trong tri thức tham khảo ?

- Từ việc nhận ra sự lẫn lộn giữa hai đối tượng Trao đổi năng lượng và Chuyển hóa năng lượng chúng tôi đặt ra câu hỏi về độ rõ của Trao đổi năng lượng ở Cấp ba. Vì lý do gì mà Trao đổi và các cách thức của nó được ưu đãi so với Chuyển hóa, và vì sao « cách thức » được đưa lên hàng đầu so với các khả năng khác có thể làm rõ nét các trao đổi năng lượng ?

- Sự xuất hiện của PCE trong cua học và trong các bài tập cũng như sự cạnh tranh của các dạng đặc thù của Nguyên lý bảo toàn năng lượng với dạng tổng quát PCE dẫn đến một câu hỏi về nguyên nhân tồn tại của mỗi dạng định luật bảo toàn về Năng lượng trong cua học cũng như trong các bài tập. Đặc biệt, khi mà ta muốn đưa Tiếp cận tổng quát vào việc giảng dạy, PCE dạng tổng quát sẽ phải có vị trí như thế nào và để làm gì ?

Tiếp cận tổng quát để làm gì ?

Tất cả các kết quả trên dẫn chúng tôi đến việc cần phải phát triển một thảo luận về Tiếp cận tổng quát trong việc giảng dạy Năng lượng. Và thảo luận này có thể mở ra các hướng nghiên cứu mới.

Chúng tôi đã chỉ ra rằng Tiếp cận tổng quát, với những đối tượng đặc trưng của nó, mang đến nhiều điểm có lợi trong dạy học ví dụ như :

- Giúp hiểu một tình huống vật lý từ góc độ năng lượng : tập hợp và tổ chức các thông tin thích đáng để thực hiện một Bảng tổng kê năng lượng và biểu diễn sự Bảo toàn của Năng lượng.

- Hiểu rõ hơn (xác định, phân biệt, đặc trưng) các hiện tượng xảy ra : trao đổi, các cách thức trao đổi, chuyển hóa, bảo toàn, ...

- AU tạo nên một kiến thức tổng hợp xuyên suốt các bộ môn và mang đến một cách nhìn tổng quát phù hợp với Vật lý hiện đại và khoa học luận.

Tuy nhiên, chúng ta cũng đã thấy rằng cách tiếp cận này làm nảy sinh nhiều khó khăn, liên quan đến tính phức tạp của chính chủ đề : Năng lượng là một đại lượng trừu tượng, xuyên suốt các hiện tượng, nhiều dạng, được quản lý bằng các định luật khác nhau (định luật trao đổi/chuyển hóa) hoặc thay đổi cách phát biểu (Nguyên lý bảo toàn) theo các hiện tượng vật lý xuất hiện. Tất cả các câu hỏi mà chúng tôi vừa đặt ra ở trên là cùng chung từ một vấn đề liên quan trực tiếp hoặc gián tiếp đến việc chấp nhận một AU trong dạy học; sự xuất hiện của nó làm thay đổi cuộc sống của nhiều đối tượng năng lượng và đôi khi dẫn đến các khó khăn. Tất cả dẫn đến câu hỏi : **Tiếp cận tổng quát có thể giữ vai trò gì trong việc giảng dạy Năng lượng ?**

Phân tích sinh thái học mà chúng tôi đã thực hiện chỉ thực sự được đào sâu trong phần của học của các SGK và một vài bài tập. Chúng tôi đã chỉ ra rằng AU xuất hiện chủ yếu trong của học và rất ít trong bài tập : các đề bài tập không thúc đẩy sự xuất hiện của các công cụ và các đối tượng của Tiếp cận tổng quát so với trong của học. Điều đó cũng được thấy rõ từ thực nghiệm qua các lời giải bài tập và các chú thích của giáo viên, AU không bao giờ xuất hiện. Thực vậy, các bài tập xây dựng trong bảng câu hỏi, cũng như trong SGK, gần như chỉ dựa trên một tình huống vật lý cụ thể, thuộc về một bộ môn của vật lý. AP xuất hiện một cách tự nhiên trong khi AU không tự phát vì tình huống không phải là một ngữ cảnh xuyên suốt, cũng không độc lập ; hơn nữa chúng tôi đã thấy rằng các O(e) đặc trưng cho AU (sơ đồ, PCE, loại Cách thức trao đổi, ...) không sống trong các bài tập. Điều đó lại đặt ra câu hỏi về vai trò mà Tiếp cận tổng hợp có thể có trong một bài tập.

Phân tích sinh thái học đã chỉ ra rằng Tiếp cận tổng quát không khai trừ Tiếp cận riêng biệt, trong khi chiều ngược lại thì có thể xảy ra khi Năng lượng sống trong một bộ môn duy nhất của vật lý, như ta đã thấy trong các SGK đại học. Như vậy hai tiếp cận này có khả năng cùng tồn tại. Chúng tôi đã chỉ ra rằng sự cùng tồn tại này không giống nhau trong hai chương trình cấp ba của Pháp mà chúng tôi đã phân tích : vị trí tương đối giữa AU và AP thay đổi. Đến giai đoạn này, chúng tôi tự hỏi làm thế nào để các đối tượng và các thực hành tổng quát có thể có lợi, có hiệu quả ; đặc biệt trong một tình huống của bài tập hoặc thực hành thuộc về một bộ môn cụ thể của Vật lý ? Có hay không sự cạnh tranh giữa các tri thức đặc thù của bộ môn, gắn liền và thích hợp với bộ môn, với các tri thức mang tính tổng hợp, gắn với một cách nhìn tổng quát hơn ? Những thực hành mang tính tổng quát có thể thay cho các thực hành mang tính đặc thù, trong các tình huống gắn liền với một bộ môn cho trước ? Có hay không sự nối khớp giữa hai Tiếp cận mà không có sự đối chọi, không cạnh tranh. Như chúng ta đã thấy trong trường hợp Việt nam, có thể rất có lợi khi nhận biết các cấu trúc tổng quát bên trong các tri thức đặc thù, và nối kết chúng với nhau. Ta có thể nghĩ rằng điều đó có thể thúc đẩy việc hiểu và ghi nhớ nhiều thực hành đặc thù và liên hệ đến một tổ chức tổng quát hơn.

Các khó khăn được ghi nhận có vẻ đã bác bỏ sự đổi mới thử nghiệm của chương trình vật lý năm 1992 xung quanh một Tiếp cận tổng quát của Năng lượng. Tuy nhiên, nghiên cứu này lại rút ra rằng các khó khăn liên quan đến vấn đề chuyển đổi didactique các khái niệm hơn là sự xuất hiện của AU. Điều đó loại bỏ một phần câu hỏi ban đầu của chúng tôi về các khó khăn của giáo viên xuất phát từ các chênh lệch có thể xảy ra giữa các tri thức mà họ phải dạy với những gì học đã tiếp nhận từ đào tạo đại học. Tuy nhiên các khó khăn được xác định ở đây nêu lên vấn đề về sự liên kết bên trong bản thân của tri thức. Vì vậy, câu hỏi về đào tạo giáo viên vẫn được mở ra, đặc biệt là cho trường hợp của Năng lượng, một khái niệm đòi hỏi một nỗ lực rất lớn về sự chuyển đổi tri thức bác học.

Présentation de la thèse en français

Introduction

Les professeurs de Lycée rencontrent des difficultés dans l'enseignement de l'Energie et ces difficultés sont particulièrement visibles chez les jeunes professeurs, au sortir de leur formation à l'Université. Cette opinion semble partagée par certains formateurs en Physique dans les Instituts de Formation des Maîtres (en France). Un certain nombre de chercheurs en didactique de la physique ont déjà identifié des difficultés concernant l'élaboration du concept d'énergie mais du côté des élèves, comme on peut le lire dans le document d'accompagnement des programmes de 2000.

« Les recherches effectuées en didactique des sciences physiques fournissent des éléments précis sur les difficultés rencontrées par les élèves ou des étudiants scientifiques face à des situations qu'un physicien peut analyser en termes énergétiques. » (Document d'accompagnement du programme de 2000, p. 31).

Notre travail se situe clairement du côté des enseignants.

Pourquoi et comment les professeurs de Physique peuvent-ils se trouver en difficulté dans l'enseignement de l'Energie ? Notre travail vise à questionner cette opinion et donc à la problématiser.

En France, depuis les années 1970, les différents programmes ont apporté à chaque fois des changements dans la manière d'introduire et de présenter l'Energie.

L'exploration de travaux antérieurs de divers types (didactique, épistémologique, historique) nous permet de distinguer deux approches, paradoxalement opposées et complémentaires :

- Approche Universelle (AU) : l'Energie apparaît en tant que thème à part entière, indépendamment des autres domaines de la Physique.
- Approche Particulière (AP) : l'Energie est morcelée et insérée dans les domaines de la Physique.

Dans les programmes de physique du lycée, l'Energie existe à travers ces deux approches : les changements modifient leur importance et leur statut respectifs. En 1992, l'organisation par l'Approche Universelle de l'enseignement de l'Energie au Lycée fait une entrée remarquable qui semble se prolonger dans le programme suivant, mais comment ?

Par contre, cette approche semble absente de l'enseignement universitaire.

Ceci nous conduit à poser dès cette introduction, l'hypothèse d'un décalage entre la formation universitaire des enseignants et ce qu'ils ont à enseigner sur l'Energie au Lycée. Ce décalage peut-il être l'une des raisons des difficultés perçues chez les enseignants en France ? De quelle nature sont ces difficultés ? Quels liens ont ces difficultés avec celles déjà repérées chez les élèves par les didacticiens de la physique ?

Organisation de la thèse

La première partie a pour objectif de construire notre problématique en nous référant aux études épistémologiques et aux travaux antérieurs concernant l'Energie, en examinant la mise en place des deux Approches (Universelle et Particulière) et en analysant l'évolution des programmes de Lycée. Ce travail d'entrée dans le sujet débouche sur une première formulation des questions de recherche et leur placement dans le cadre de la Théorie Anthropologique des Savoirs de Chevallard dans une perspective écologique.

La deuxième partie pose la question de la vie de l'Approche Universelle dans différentes institutions en vue de leurs confrontations : les habitats des deux approches et leurs niches sont étudiés dans les programmes et les manuels de première S pour les deux programmes les plus récents (1992 et 2000), et à l'Université dans des manuels universitaires ; une étude similaire au Vietnam servira de témoin. Le coeur de cette étude est la caractérisation de la vie énergétique des objets de savoir de l'énergie dans chaque manuel, à des niveaux d'analyse relativement globaux. Pour cela, nous précisons les objets de savoir à analyser, sélectionnons les documents à étudier, et construisons des outils d'analyse qualitative et quantitative.

La troisième partie propose d'affiner l'analyse écologique précédente en se centrant sur les études de cas de trois objets de savoir : la Chaîne énergétique, le Transfert d'énergie et le Principe de conservation de l'Energie. Cette étude commence par un questionnement écologique qui servira de grille d'analyse. Elle débouche sur la formulation d'hypothèses et de questions de recherche en vue d'une expérimentation auprès d'enseignants de Lycée.

La dernière partie présente cette expérimentation. Elle consiste en la conception, la réalisation et l'analyse d'une situation de formation concernant des candidats - enseignants français (1^{ère} année d'Institut Universitaire de Formation des Maîtres), et en des études de cas basés sur les réponses d'enseignants en exercice (enseignants experts et débutants) à un questionnaire en France et au Vietnam.

En conclusion nous dégagerons les principaux résultats, en particulier ceux concernant les effets de modes de vie différents des savoirs énergétiques rencontrés par les enseignants dans les différentes institutions dont ils ont été les sujets, sur leur rapport personnel à ces savoirs.

PARTIE A
Problématique

CHAPITRE A.1

Travaux antérieurs

Une proposition : deux « approches » de l'Énergie

Pour conduire notre étude, nous avons besoin d'un point d'entrée. Ce chapitre a donc pour objet la détermination d'une caractéristique « forte » de la présence de l'Énergie² dans l'enseignement. Nous cherchons une caractéristique à la fois pertinente, du double point de vue épistémologique et didactique, et susceptible d'être « travaillée » de façon à ce que des outils d'analyse puissent lui être associés.

Pour cela nous allons explorer les questions liées à l'enseignement de l'Énergie en nous repérant à l'aide des travaux antérieurs menés par des physiciens didacticiens ou épistémologues. Remarquons dès ici que de tels travaux ont été développés dans différents pays, mais non au Vietnam. Nous nous guiderons principalement à l'aide de travaux français qui offrent des éléments de synthèse.

I. Un thème complexe dans l'enseignement : l'Énergie

I.1. Un concept important dans l'enseignement

Dans la sphère savante, l'Énergie occupe une place importante. Née en Physique, elle est aussi très présente dans d'autres disciplines comme la Chimie, la Biologie, la Géologie.

La notion d'énergie³ intervient dans les diverses pratiques scientifiques, qu'elles soient de l'ordre de la recherche ou des applications. Elle joue un rôle majeur dans le domaine de l'économie. Tout aussi bien, elle concerne les pratiques sociales et la vie quotidienne. Ainsi, les besoins d'ordre scientifique, technique ou social, en savoirs sur l'Énergie, expliquent que l'Énergie soit un objet important de l'enseignement.

De fait, c'est à partir de la fin des années 1970 que l'Énergie a pris largement place dans l'enseignement secondaire. Cela s'est réalisé dans un mouvement international de rénovation de l'enseignement des sciences physiques, couplé à la demande sociale issue de la crise pétrolière. En France, pour la Physique, il est remarquable que l'Énergie soit alors introduite au niveau du collège, avec l'enseignement des sciences physiques lui-même.

« Conséquence probable des débats importants entre physiciens du début de siècle (Oswald, Duhem, Langevin, Poincaré, ...) l'énergie n'a pas eu un grand impact auprès des auteurs de programmes d'enseignement de la physique jusqu'aux années 1970. [...] Ce n'est qu'à partir de cette époque que l'énergie a été évoquée de manière importante. La rénovation de l'enseignement des sciences physiques, en France, en prenant en particulier appui sur des propositions curriculaires étrangères (anglo-saxonnes, allemandes, australiennes, ...), a au contraire voulu donner une place de première ordre à ce concept,

² Ici, nous soulignons le terme « Énergie » avec un « E » pour désigner tout un thème de la Physique contenant des concepts entretenant des relations entre eux. Cela ne désigne donc pas seulement la grandeur physique énergie qui n'en est qu'un élément.

³ Quand nous écrivons le substantif « énergie » avec un « é », il s'agit de l'expression de sens commun, utilisée dans la vie quotidienne, dans les autres sciences, avec des significations variées et souvent vagues. Avec une exception toutefois, pour les grandeurs physiques : l'énergie cinétique et toutes les autres « Formes d'énergie ».

tant dans les programmes de lycée que de collège : on en trouve une première trace significative dans des travaux innovants : Dictionnaire du GREP ainsi que le travail de J. Agabra et G. Lemeignan, en tant que module proposé par le Groupe de travail de la Commission Lagarrigue⁴. » (Toussaint, 2001, p.9).

I.2. Un concept transversal

Depuis l'Energie est devenu un enjeu, non seulement dans l'enseignement des Sciences Physiques où il est fondamental, mais aussi dans plusieurs disciplines, des Sciences Naturelles aux Sciences Sociales. On relève là une première marque de la complexité de l'Energie comme objet d'enseignement : il s'agit d'un objet transversal. Mais les différentes disciplines d'enseignement entretiennent des rapports diversifiés à l'Energie, les savoirs qui la concernent y sont traités de manières différentes selon des finalités différentes :

« On peut remarquer d'emblée que les trois disciplines n'ont pas un rapport de même ordre avec l'énergie : les Sciences Physiques introduisent et formalisent le concept d'énergie qui est fondamental pour la discipline. Les Sciences Naturelles utilisent le concept pour expliquer le vivant, analyser son fonctionnement. Les Sciences de la Société, Histoire, Géographie, Sciences Economiques et Sociales, se préoccupent de l'usage que les hommes et les sociétés ont fait ou font des sources d'énergie. » (Darot, 1986, p.108).

L'Energie constitue donc un thème transversal de l'enseignement qui présente des spécificités dans chaque discipline.

Au sein de la Physique elle-même, l'Energie apparaît avec des caractéristiques de transversalité similaires. Concernant tous les domaines de la Physique, l'Energie participe à l'unité de la Physique. Elle est transversale et multiforme : les concepts énergétiques apparaissent sous des formes diverses et avec des usages propres à chaque domaine :

« Chacune de ces formes concrètes a une histoire particulière dans le domaine correspondant de la physique. » (Halbwachs, 1981, p.6).

I.3. Un concept abstrait

En même temps, le concept physique d'énergie est un concept abstrait. Cette caractéristique ressort clairement de la position de Cassirer, au début du 20^{ème} siècle :

« Conçue comme une chose, l'énergie serait un élément qui réunirait tout à la fois mouvement et chaleur, magnétisme et électricité, tout en n'étant aucun de ces phénomènes ; alors que conçue comme un principe, elle ne désigne qu'un point de vue tout intellectuel qui, en soumettant tous ces phénomènes à la mesure, permet de les inscrire, en dépit de toute leur diversité sensible dans un seul et même système d'opérations ». (Cassirer, 1910, cité par Martinand, 1985, p.126).

L'abstraction de l'Energie est attestée avec force cinquante ans plus tard par le physicien Feynman :

« Il est important de réaliser que dans la physique d'aujourd'hui, nous n'avons aucune connaissance de ce *qu'est* l'énergie... C'est une chose abstraite en cela qu'elle ne nous donne pas le mécanisme ou les *raisons* des diverses formules » (Feynman, 1963, p.43).

Tout près de l'enseignement, quand il s'agit de l'Energie désignée comme savoir à enseigner, nous relevons deux traces qui témoignent de cette caractéristique :

- Au niveau du collège, dans les années 1970, des propositions didactiques engagent la construction du concept d'énergie par un processus d'abstraction qui s'appuie sur l'analogie.

⁴ Commission ministérielle pour la Rénovation de l'Enseignement des Sciences Physiques dans le second degré, mise en place en 1971 et généralement désignée du nom de son président.

Dans le cadre des programmes officiels français de 1976, Lemeignan et Agabra proposent une analogie entre énergie et argent pour exprimer l'idée de forme d'énergie :

« Il existe quelque chose de commun [...] contenu dans les réservoirs (proposés en dessin) mais ce quelque chose est très vague, il reste à définir. Ce sera la suite de l'apprentissage, avec les notions de formes, transfert, débit, conservation et dégradation de l'énergie ».

« De même la fortune possédée par une personne peut être constituée d'éléments très divers, châteaux, bijoux, voitures, etc. ; de même l'énergie est présente sous diverses formes, chimique, nucléaire ». (Lemeignan et Agabra, 1980, cité par Martinand, 1985, p.128).

En Allemagne, pour Falk et Herrmann « *l'énergie est donc un élément invisible, commun à tous les courants qui assurent la marche des machines, le chauffage* » et l'analogie proposée associe énergie et fluide (cité par Martinand, 1985, p.129).

Notons bien l'affirmation de ce « quelque chose de commun » qui renvoie au caractère transversal souligné plus haut.

- Au niveau du lycée, en Première Scientifique, le document d'aide à la mise en place du programme actuellement en cours rappelle⁵ que l'Energie n'est jamais directement perceptible dans ses manifestations physiques très variées et que les grandeurs physiques associées ne sont mesurables qu'indirectement. D'où l'identification de difficultés pour son enseignement :

« Bien que le mot énergie fasse partie du langage courant, le concept scientifique d'énergie est difficile à formaliser : d'une part, l'énergie, contrairement à d'autres grandeurs comme la charge électrique, est multiforme et ne se mesure pas directement ; d'autre part, la vérification de sa conservation n'est pas toujours évidente. » (Document d'accompagnement des programmes, 2001, p.31).

Avec ces caractéristiques de transversalité et d'abstraction, l'Energie se présente comme un concept complexe dont on peut percevoir les problèmes que pose son enseignement. Suite à la volonté d'en faire un des principaux objets de la rénovation de l'enseignement des sciences physiques, de nombreuses recherches sur l'enseignement et l'apprentissage de l'Energie ont été menées, en particulier en Physique. Nous allons en faire un examen dans le paragraphe suivant en nous centrant sur les aspects « transversalité » et « abstraction ».

II. Travaux antérieurs sur l'enseignement et l'apprentissage de l'Energie

Depuis les années 1970, les travaux sur l'enseignement-apprentissage de l'Energie dans l'enseignement secondaire et dans différents pays sont nombreux et ont donné lieu à une multiplicité de publications (articles, actes de colloque, livres, rapports de recherche, ouvrages collectifs, thèses). Nous faisons le choix de nous appuyer sur différentes synthèses qui ont été réalisées en France par des didacticiens, au fil des années et des évolutions. Dans le paragraphe précédent, la référence à Martinand (1985) renvoie à une recherche conduite à l'INRP. Dans les paragraphes qui suivent, nous nous guidons notamment sur la revue de travaux de Koliopoulos et Tiberghien (1986), les propositions de l'équipe COAST-MAFPEN de Lyon (1998), les recherches de Bécu-Robinault (1997), de Verseils-Bruguière (1997).

Nous présentons ici succinctement le résultat de l'exploration que nous avons menée dans deux directions :

⁵ « L'énergie est un invariant quantitatif, fonction d'un très grand nombre d'autres grandeurs physiques relevant de différentes phénoménologies, électricité (U, I, R, P, ...), phénomènes thermiques (Q, T, P, ...), mécanique (m, v, h, a) etc. » (Tiberghien, 1994)

- Les travaux qui étudient les difficultés concernant l'Énergie du côté des apprenants et présentent des analyses en termes de conceptions.
- Les travaux qui proposent ou examinent des projets d'enseignement ou des enseignements réalisés dans le secondaire.

II.1. Difficultés, conceptions et obstacles relatifs à l'Énergie

Pour rendre compte des analyses en conceptions, difficultés ou obstacles, nous partons de regroupement des résultats des travaux autour de conceptions. Comme telles, il s'avère que les conceptions se rapportent à des ensembles de situations qui relèvent d'un domaine, parmi les principaux domaines de la Physique enseignés au niveau secondaire : la Mécanique, l'Électricité et la Thermodynamique. Nous présentons ces conceptions en les rattachant à un tel domaine. Notre intérêt pour l'aspect « transversalité » nous conduit alors à discuter de la possibilité ou non de les rattacher à d'autres domaines.

En Mécanique

Une conception dominante mise en évidence par beaucoup de travaux de didactique est *la confusion des concepts physiques de force et d'énergie*.

Remarquons que dans l'histoire, dès la naissance de l'Énergie, le terme même de force est employé au sens du concept énergie :

« C'est à Leibniz qu'il appartenait de constituer quantitativement et précisément le concept de l'énergie liée au mouvement, qu'il appellera force vive » (Halbwachs, 1981, p.22).

Pour les élèves, il n'est pas facile de séparer la notion *d'énergie* de celle de *force* ou de celle *d'action*. Dans une revue des recherches sur la conceptualisation par les élèves (11-16ans) des aspects énergétiques de situations physiques, Brook (1985) a dégagé cinq conceptions différentes de l'énergie du point de vue scientifique. La deuxième et la troisième renvoient à des identifications du type énergie/force ou énergie/action :

« 1) l'énergie associée principalement aux objets animés, 2) l'énergie regardée comme synonyme de force, 3) l'énergie associée seulement au mouvement, 4) l'énergie stockée à l'intérieur des objets, 5) l'énergie considérée comme combustible. » (Cité par Koliopoulos et Tiberghien, 1986, p.169).

Bruguière et al. (2002, p.72-73) ont fait une synthèse de travaux concernant de telles conceptions en lien avec des connaissances communes. Ainsi, nous pouvons préciser la conception sous laquelle l'énergie n'est pas séparée des idées de mouvement et d'activité :

« La preuve de l'existence de l'énergie est l'activité (et parfois l'activité elle-même est appelée énergie). Le mouvement est généralement donné comme exemple d'activité mettant en œuvre de l'énergie (Watts, 1983). *A contrario*, l'absence d'activité, l'immobilité, est une raison suffisante pour nier l'existence d'énergie » (Bliss et Ogborn, 1985, Cité par Verseils-Bruguière et al., 2002, p.72-73).

Les considérations avancées par ailleurs dans cette synthèse nous conduisent à nous demander si elles n'indiqueraient pas que la confusion force/énergie peut se constituer en obstacle (épistémologique) pour l'élève :

« L.Viennot (1989) a montré comment certains raisonnements spontanés des élèves en cinétique et dynamique procèdent, pour l'essentiel, d'une prise en considération globale du mouvement et d'une tentative d'explications causales immédiates où la cause, attribuée à l'objet, se formule en un complexe dynamique indifférencié : force/ énergie/ élan/ impulsion. Plus généralement, il apparaît que, dans leur cursus et même à l'université, des élèves font un usage équivoque des mots « force » et « énergie » (De Bueger-Vander et Mabile, 1989, cité par Verseils-Bruguière et al., 2002, p.72-73).

Soulignons que la notion de force est une notion spécifique⁶ de la Mécanique : la confusion force/énergie est une conception attachée à ce domaine.

En Electricité

En étudiant les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique, Closset (1989) a constaté la tendance d'élèves de 12 à 14 ans à *substantialiser l'énergie*. Cette constatation rejoint des déclarations d'enfants de 7 à 12 ans recueillies dans le travail de Tiberghien et Delacote (1976, p.933.) : « *L'électricité monte dans l'ampoule et cela fait marcher* » ; « *La pile, il y a de l'électricité dedans et elle sert à allumer l'ampoule* » ; « *La pile sert à donner de l'électricité, l'électricité fait marcher l'ampoule* ».

« Dans tous les cas il s'agit, d'une manière ou de l'autre, de rendre compte de l'alimentation de l'ampoule en énergie, une énergie substantialisée, contenue dans la pile, qui a pour nom l'électricité ou courant et qui doit donc « passer » par quelque part, c'est-à-dire par les fils.

Une autre conclusion qu'il est d'ores et déjà possible de tirer est relative à l'utilisation d'un seul concept (nous dirons plutôt notion) pour décrire le circuit électrique. Il joue tout à la fois le rôle d'intensité, de courant et d'énergie, il a certaines propriétés d'un fluide et notamment celle de s'écouler dans le circuit comme dans des tuyaux, ou même des canaux » (Closset, 1989, p.935).

On peut mettre en relation cette tendance à substantialiser l'énergie avec des confusions de type énergie/circuit électrique et énergie/intensité du courant qui ont conduit certains travaux à viser des différenciations :

« Dans tous Des travaux plus récents tiennent compte explicitement de certaines des difficultés rencontrées chez les élèves. Un certain nombre d'entre eux, se situant dans le domaine de l'électricité, ont pour but la différenciation entre les grandeurs énergie et intensité du courant (Psillos et al. 1985, Shipstone 1984, von Rhoneck 1984). » (Koliopoulos et Tiberghien, 1986, p.174).

Les concepts d'intensité et de courant appartiennent évidemment au domaine de l'Electricité. La substantialisation est une conception plus généralement mise en évidence dans ce domaine :

« Les propriétés électriques observées sont considérées comme les manifestations d'une substance spécifique présente sur les corps électrisés : « le fluide électrique ». (Benseghir, 1989, p.8).

Peut elle apparaître dans d'autres domaines pour l'énergie ?

⁶ Dans « La science et l'hypothèse » (1902) Poincaré plaçait magistralement la notion de force au cœur de la constitution des principes de la mécanique. A l'issue d'une étude épistémologique, Guillaud (1998) dégage le réseau conceptuel « minimal » de la Mécanique élémentaire. Ce réseau met bien en évidence que le concept de force est un des objets fondamentaux du domaine de la Mécanique.

En Thermodynamique

La *chaleur* et la *température* sont des objets typiques de ce domaine et les élèves rencontrent la difficulté de les différencier entre elles et avec le concept *d'énergie* : on est alors en présence de ce que Rozier (1988) appelle des associations préférentielles entre grandeurs.

« Des confusions aussi fortes apparaissent également lorsqu'il est question d'énergie interne. Ainsi, celle d'un morceau de plomb en train de fondre est souvent considérée comme constante, parce que sa température est constante » (Rozier, 1988, p.70).

Notons qu'en 1986, Tiberghien souligne :

« Dans le domaine de la thermodynamique, on dispose de peu d'informations sur la différenciation par les élèves entre la température, la chaleur et l'énergie dans le sens de la description de l'état d'un système ou de l'interaction entre systèmes ». (Tiberghien, 1983, Cité par Koliopoulos et Tiberghien, 1986, p.170).

Plus tard, alors que l'enseignement de l'Energie au lycée connaît de nouvelles évolutions⁷, des travaux indiquent que la confusion entre ces grandeurs existe et qu'elle perturbe l'acquisition du Principe de conservation de l'énergie :

« Les interactions thermiques étant méconnues et peu ou pas clairement explicitées par les élèves, il s'avère difficile de distinguer les statuts respectifs des grandeurs chaleur et température. La confusion entre ces deux grandeurs prouve que les rôles respectivement joués par ces dernières dans le principe de conservation énergétique ne sont pas discernés. » (Nsumbu-A-Nlambu, 1995, p.495).

« [...] forte tendance à l'assimilation de la chaleur à une grandeur d'état, faisant obstacle à l'acquisition des différentes composantes du concept d'énergie (liens entre la chaleur, le travail, l'énergie macroscopique et l'énergie interne microscopique) donc aussi à l'acquisition du principe de conservation » (Robardet et Guillaud, 1997, p.171).

Un autre obstacle identifiable réside dans la difficulté pour les élèves de mettre en relation une variation de température, phénomène de thermodynamique, avec *le travail* qui est un concept qui relève de l'Energie mais qui est défini en général dans le domaine de la Mécanique.

« L'augmentation de température dans une compression adiabatique est très souvent interprétée en évoquant une intervention de la chaleur. Le travail n'est pas reconnu comme une grandeur énergétique susceptible de faire varier la température des systèmes entre lesquels il se transfère. » (Ballini, Robardet et Rolando, 1997, p.81).

Ici, c'est l'une des conditions d'accès à la transversalité de l'Energie qui peut s'avérer problématique dans l'enseignement.

Bilan

Considérons ces conceptions que nous avons présentées comme attachées à un domaine d'enseignement particulier de la Physique : la Mécanique, l'Electricité ou la Thermodynamique. Parmi elles la substantialisation de l'énergie est une conception susceptible d'être transversale. En Electricité, l'énergie est substantialisée en relation avec le circuit d'électrique ou la notion d'intensité. En Thermodynamique, signalons que dans l'évolution historique du concept de chaleur, la notion de calorique relève de la substantialisation. Avec la confusion énergie/chaleur, l'énergie pourrait facilement être

⁷ Voir les développements du chapitre A.2

considérée comme une substance. La tendance à la substantialisation concerne ainsi des notions différentes.

Finalement, les conceptions que nous avons relevées ne s'avèrent pas ou peu transversales. Est-ce à mettre en rapport avec les conditions de l'étude de l'Energie dans l'enseignement, en particulier avec les premières rencontres des élèves avec l'Energie ?

II.2. Des projets d'enseignement

La volonté de faire une place importante à l'Energie et les difficultés rencontrées dans son enseignement–apprentissage ont donné lieu à de nombreux projets d'enseignement.

Pour les années 1970-1985, le travail de Koliopoulos et Tiberghien (1986) rend compte de ces projets⁸. Soulignons que ces projets sont classés selon le type d'introduction qu'ils proposent :

Certains proposent une introduction de l'Energie à partir de grandeurs physiques connues préalablement comme le travail mécanique ou même comme la chaleur (Kedves et al., 1983).

D'autres au contraire proposent d'introduire l'Energie « directement » comme concept premier. Un tel choix suppose la prise en compte de ce que nous avons désigné par l'abstraction de la notion d'énergie.

Ainsi un projet qui joue sur les analogies énergie/substance, énergie/fluide (présentes dans l'histoire) exprime l'énergie en termes de flux. L'énergie est considérée comme quelque chose qui s'écoule, il lui correspond un porteur : « *La substance comme quantité physique qui s'écoule en même temps que l'énergie, « porte » l'énergie* ». (Falk et al.1983, Schmid 1982). D'autres projets encore mettent en jeu des propositions concernant des aspects généraux de l'Energie à enseigner (général, c'est-à-dire qui n'est pas lié à un domaine particulier de la Physique) : transfert, transformation, conservation, dégradation (Shadmi et al. 1978 puis Shadmi 1985, Integrated Nuffield 1979, Sexl 1981, Salomon 1985, Duit 1985, Lemeignan et Acabra, 1980, en France). Ces aspects généraux sont étudiés dans plusieurs domaines.

La construction de ces projets suppose une démarche qui vise à dégager des notions et propriétés liées à l'Energie qui soient valables pour tous les domaines où l'Energie est abordée, ce que nous qualifions de *démarche synthétique*. Avec de telles propositions générales, l'Energie peut alors être présentée comme un *thème*, un « domaine » à part entière.

En France, à **partir des années 1990**, des travaux font des propositions précises pour l'enseignement de l'Energie en classe de Physique de Première Scientifique.

Lemeignan et Weil-Barais (1992 et 1993) visent « *l'apprentissage de la modélisation dans l'enseignement de l'énergie* ». Ils font appel à deux modèles qui sont légitimés d'un point de vue épistémologique en référence à Cassirer (voir citation §I). Ces modèles permettent de conjuguer abstraction empirique et émission d'hypothèses :

⁸ Il s'agit surtout de travaux étrangers ce qui s'explique par l'importance des recherches au niveau international.

« [Ils font] appel à l'abstraction empirique pour construire différentes représentations des objets et des situations qui permettent aux élèves d'accéder à l'hypothèse d'existence et de conservation de l'énergie. [...] Nous proposons que ces deux conceptualisations des objets soient exprimées par une représentation graphique similaire, la chaîne orientée des objets, qui traduit ce qui est commun sous la diversité des montages et des conceptualisations diverses des objets » (Lemeignan et Weil-Barais, 1992, p.175).

« La mise en œuvre de ces modèles permet des questionnements différents relatifs à des situations extrêmement riches du point de vue phénoménologique [électricité, mécanique, chimie, lumière, ...] » (Lemeignan et Weil-Barais, 1992, p.229).

Robardet et Rolando (1999) font des propositions pour un « enseignement de la conservation de l'énergie » (programme de 1992). En premier, les auteurs présentent un bilan des difficultés et obstacles rencontrés par des élèves et des étudiants face au concept d'énergie : il s'agit « *d'amener les élèves à construire des raisonnements moins guidés par leur intuition sensible* », de les aider « *par un contrôle permanent de la cohérence* ». Ils proposent une démarche dont les principes sont :

« Organiser l'enseignement en deux temps séparant conceptualisation et formalisation. [...] S'appuyer sur la recherche d'une cohérence théorique lorsque les approches intuitives font défaut. [...] Distinguer les phénomènes étudiés et le modèle qui permet de les expliquer. [...] S'appuyer sur une symbolisation rigoureuse. [...] Organiser les activités autour de situations problèmes » (Robardet et Rolando, 1999, p.34- 38).

Le travail de l'équipe COAST-MAFPEN (1998 ; Besson et al. 1998) est centré sur la notion de modèle énergétique. Les chercheurs décrivent et analysent des expérimentations pour un enseignement de l'Energie correspondant au programme de 1992. La recherche de Bécu-Robinault (1997a, 1997b) est une partie de ce travail ; elle étudie le rôle des expérimentations dans l'enseignement de l'Energie. Ici, l'Energie est traitée comme un thème indépendant. Elle est objet d'étude pour construire un modèle qui sera introduit en tant que tel dans une démarche de modélisation : « *la perspective d'enseignement choisie conduit à imposer dans un premier temps un germe de modèle aux élèves qui doivent ensuite le développer* » (Bécu-Robinault, 1997b, p.75)

En Grèce, Koliopoulos et Ravanis (2000) ont publié un curriculum constructiviste concernant l'approche énergétique des phénomènes mécaniques. L'Energie est là encore introduite comme un concept premier et elle est présentée par des aspects énergétiques comme dans les travaux ci-dessus.

Conclusion : la synthèse de l'Energie

A l'issue de cette revue sur les conceptions et les difficultés, nous constatons qu'elles sont pour la très grande majorité rattachées à un domaine spécifique de la physique.

En revanche, dans les propositions d'enseignement que nous avons passées en revue, il apparaît un point commun : l'Energie n'est pas introduite au sein d'un domaine spécifique, mais elle est étudiée comme un thème indépendant. Soit elle est présentée de manière générale, avec des propriétés ou plusieurs éléments généraux qui la concernent, soit on construit un modèle comportant des objets relatifs à l'Energie servant à réaliser des analyses énergétiques pour différents phénomènes.

Ces projets d'enseignement apportent avec eux un travail de synthèse. **La synthèse dans le thème de l'Energie** réunit et relie les éléments qui concernent l'Energie. Elle permet de donner une image générale de l'Energie qui apporte des propriétés générales au sens qu'elles sont valides pour différents domaines spécifiques de la Physique.

Nous voulons examiner si cette synthèse de l'Energie existe dans l'histoire de l'Energie ou s'il s'agit essentiellement d'une création de l'enseignement : c'est l'objet du paragraphe suivant.

III. Point de vue historique et épistémologique sur l'Energie

Les travaux de didactique de Bécu-Robinault et Verseils-Bruguière ont donné lieu à des études historiques du concept d'énergie. Nous utilisons plus particulièrement la thèse de Bécu-Robinault (1997a) et nous nous référons aussi à « L'Histoire de la Physique » de Guaydier (1964) pour chercher *les traces de la synthèse de l'Energie* en suivant l'évolution historique du concept d'énergie : en effet, ces ouvrages mettent en évidence l'évolution de l'Energie au fur et à mesure de la constitution des domaines de la Physique. En particulier, dans l'annexe A1 de la thèse de Bécu-Robinault le tableau « Chronologie des découvertes relatives à l'énergie » présente précisément cette évolution à partir du 18^{ème} siècle.

III.1. Repères historiques

En 1738 Bernoulli préfigure la théorie cinétique des gaz dans « Hydrodynamique » où il considère que la chaleur est le résultat du mouvement des molécules de gaz. Par suite, plusieurs études sur la chaleur constituent une préparation à la naissance de la Thermodynamique. Différentes natures de la chaleur sont abordées, quantité de chaleur, capacité calorifique, chaleur massique, chaleur latente. En 1778, Rumford étudie la chaleur dégagée par frottement. En 1784, Laplace et Lavoisier présentent un mémoire sur la chaleur. En 1781, Coulomb étudie sur le frottement. En 1822, Fourier dégage la Théorie analytique de la chaleur.

L'apparition de la première machine à vapeur de Watt (1765) est à l'origine les travaux de Carnot avec son « Essai sur les machines en général » (1782) et de Clément et Desormes qui continuent par la démonstration de la nécessité d'une détente adiabatique dans les machines thermiques (1819). Et le début de la Thermodynamique est marqué par l'ouvrage « Réflexions sur la naissance motrice du feu » de Carnot (1824). Ces résultats de Carnot sont utilisés dans le mémoire sur la puissance motrice de la vapeur de Clapeyron en 1834.

Le domaine électrique s'est aussi fortement développé dans le même temps. Les travaux de Joule dans ce domaine contribuent à la construction du principe de conservation de l'énergie.

« La série des mémoires de Joule qui aboutit, en 1843, à la formulation explicite du principe de conservation de l'énergie et à la mesure de l'équivalent se rapporte à des expériences qui font toutes intervenir l'électricité » (Merleau-Ponty, 1979, p.320).

Tous ces travaux font émerger au fur et à mesure *le lien entre la chaleur et le travail* dans les différents domaines. Grâce aux expériences sur le frottement dans les liquides, Joule donne la valeur portant son nom et les lois qui permettent d'approcher le principe de conservation. Et en 1842, *le principe de l'équivalence de la chaleur et du travail* est énoncé pour la première fois de manière précise par Mayer. La transformation de la chaleur dans différents domaines amène enfin *la conservation de l'énergie* qui est présentée par Helmholtz mais sous le nom de « force ».

« Dès 1843, l'Anglais Grove parla des transformations réciproques de la chaleur, du mouvement, de la lumière, de l'électricité. L'Allemand Helmholtz (1821-1894), l'un des derniers esprits universels, éleva le débat, considérant qu'il n'y avait là que des formes différentes d'une même réalité : *l'énergie*, dont la quantité totale restait invariable ; il posait ainsi, en 1847, le principe de l'équivalence dans toute sa généralité » (Guaydier, 1964, p.79).

« C'est en 1847 que L. Helmholtz présente son important Mémoire sur « La conservation de la force », le mot force étant employé ici dans le sens du mot énergie. Il y indique que le mouvement perpétuel de 1^{ère} espèce, c'est-à-dire sans apport d'énergie extérieure, est impossible et que le travail mécanique peut servir de mesure à toutes les autres formes d'énergie. Helmholtz appuie son argumentation en particulier sur les résultats obtenus par Joule. L'intérêt du Mémoire de Helmholtz réside dans la très grande généralité qu'il donne au *principe de conservation de l'énergie*. Helmholtz affirme ainsi que « l'Univers possède une provision d'énergie disponible constante et qui ne peut ni croître ni décroître, donc éternelle ». » (Rosmorduc, 1987, p.174).

Les recherches suivantes dans le domaine de la Thermodynamique contribuent à l'identification de l'énergie : Lord Kelvin détermine le zéro absolu (1848), Clausius (1850-1854) donne une formulation claire des deux principes de la thermodynamique.

En 1848, Rankine définit le terme *énergie*⁹. Puis en 1852 il établit la distinction entre l'énergie cinétique et l'énergie potentielle.

Dans l'ouvrage « Introduction à la Mécanique chimique » (1893) Planck introduit la signification microscopique de l'énergie interne. En 1895, Ostwald tend à substituer à la notion de matière à celle d'énergie.

« Ostwald est plus radical encore et tend à substituer l'énergie à la matière, allant jusqu'à nier l'atomisme dans son ouvrage « Déroute de l'atomisme contemporain » (1895). L'énergie devient « l'invariant » le plus général et c'est la « propriété de conservation qui lui confère le rôle d'une véritable substance » (Rosmorduc, 1987).

En 1902, dans « La science et l'hypothèse » Poincaré (1902) a considéré l'Energie comme un thème de la physique à part entière qui a pour origine le principe de conservation énoncé par Helmholtz en 1847.

« Les difficultés soulevées par la mécanique classique ont conduit certains esprits à lui préférer un système nouveau qu'ils appellent *énergétique*.

Le système énergétique a pris naissance à la suite de la découverte du principe de la conservation de l'énergie. C'est Helmholtz qui lui a donné sa forme définitive » (Poincaré, 1902, p.139).

Désormais, l'Energie devient un objet précis de recherche. Son apparition dans le domaine de l'Optique et du Rayonnement électromagnétique confirme son rôle fondamental dans la Physique : l'Energie intervient dans tous les phénomènes physiques.

« On ne comprit pas tout de suite qu'une véritable révolution scientifique venait de se produire ; on crut voir, dans cette idée nouvelle, un procédé habile réservé au seul problème du rayonnement noir. Mais

⁹ Le mot énergie émerge pour la première fois dans les écrits d'Aristote dans le sens « de force en action ». On le retrouve au début du 17^{ème} siècle, puis il est éclipsé (par exemple Leibniz introduit le produit « mv^2 » par le terme « force vive » qui signifie « la réalité du mouvement »). Il réapparaît avec Thomas Young qui applique le terme « énergie » dans « *des domaines jusque là distincts : la science de la chaleur, l'optique et la chimie* ». Carnot préfère le mot « puissance motrice » dans les travaux sur les machines à feu. (D'après Brouzeng (1980), Verseils-Bruguière (1997))

bientôt de jeunes savants développèrent à tous les phénomènes où elle intervient l'énergie, c'est-à-dire à presque toute la physique. » (Guaydier, 1964, p.98).

Elle apparaît de manière systématique et tout au long de l'évolution de la Physique moderne. Elle est abordée dans l'équivalence avec la masse et de l'énergie par Einstein.

« Faisant abstraction de toute idée préconçue sur ces deux notions [temps et espace], Einstein établit de nouvelles formules de changement de coordonnées laissant invariantes les équations de Maxwell dont découle la vitesse de la lumière. A partir de ces formules, il établit toute sa théorie dont nous allons simplement énumérer les principales conséquences, pour la plupart assez inattendues : Le temps et l'espace ne sont plus absolus, ils sont relatifs [...]. La masse d'un corps n'est plus fixe, elle augmente avec sa vitesse, jusqu'à devenir infinie pour la vitesse de la lumière [...]. Enfin la matière apparaît comme une forme de l'énergie, avec possibilité de transformation réciproque. » (Guaydier, 1964, p.101)

On peut retrouver l'énergie dans la loi de Planck (1900), à la base de la physique quantique.

« La publication de cette loi, le 14 décembre 1900, marque la naissance de la théorie des quanta, la base de la physique moderne, théorie révolutionnaire : pour la première fois, on postulait que les échanges d'énergie se font de manière discontinue... » (Atlas de la Physique, 1987, p.181).

Dans sa théorie atomique, Bohr (1916) montre que l'énergie sert à caractériser un électron planétaire.

« Pour arranger les choses, le Danois Niels Bohr (1885-1962) eut l'idée de transformer l'atome de Rutherford en lui appliquant la théorie des quanta. Selon lui, un électron planétaire avait plusieurs orbites possibles ; il gravitait le long d'une orbite sans émettre d'énergie ; mais si pour une raison quelconque, il passait d'une orbite à une autre, il émettait alors ou au contraire absorbait un certain quantum d'énergie. L'hypothèse de la discontinuité de l'énergie était ainsi incorporée à la théorie atomique. » (Guaydier, 1964, p.104-105).

A partir de l'évolution de la théorie des quanta, l'Energie devient un objet fondamental. Elle intervient dans les études de Fermi sur les échanges d'électron, de proton et de neutron ainsi que dans les quanta de lumière.

Conclusion

Par ce petit résumé historique, nous avons relevé des traces de la formation du concept d'énergie. Une construction progressive s'effectue au travers d'études diverses dans différents domaines : l'identification d'une propriété commune conduit à la constitution d'un principe commun. C'est le **Principe de conservation de l'énergie** qui apparaît comme un **point central de synthèse** : il permet la détermination de l'Energie par le développement de nouveaux concepts énergétiques dans la formation de ce que Poincaré appelle un « système énergétique ».

III.2. Principe de conservation de l'énergie : une « super loi », base de la synthèse de l'Energie

C'est à travers une synthèse prenant appui sur la Conservation de l'énergie que l'on a pu considérer l'Energie comme un thème indépendant au cours de la première moitié du 20^{ème} siècle. Nous avons accès à des éléments de cette synthèse à travers les traités de deux physiciens, Poincaré et Feynman, publiés respectivement en 1908 et en 1963. Ces physiciens partent tous deux du Principe de conservation. Ils soulignent que ce principe est une propriété commune de l'Energie pour *tous les domaines de la physique* mais qu'il est impossible de trouver une définition *générale* de l'Energie :

« Dans chaque cas particulier on voit bien ce que c'est que l'énergie et on peut en donner une définition au moins provisoire; mais il est impossible d'en trouver une définition générale. Si l'on veut énoncer le principe dans toute sa généralité [...] il ne reste plus que ceci : il y a quelque chose qui demeure constant. [...] En résumé, [...] la loi de la conservation de l'énergie ne peut avoir qu'une signification, c'est qu'il y a une propriété commune à tous les possibles » (Poincaré, 1908, p.IX).

« [...] une des lois les plus fondamentales de la physique, la conservation de l'énergie. [...] Elle affirme qu'il y a une certaine quantité que nous appelons énergie, qui ne change pas dans les multiples modifications que peut subir la nature [...] Il est important de réaliser que dans la physique d'aujourd'hui, nous n'avons aucune connaissance de ce qu'est l'énergie. » (Feynman, 1963, p.42-43).

Les auteurs appréhendent l'Energie en tant que thème à part entière, et non pas comme un élément mineur, un outil que l'on trouverait sous une forme adaptée dans chacun des domaines de la physique. L'ouvrage de Poincaré est en réalité un cours de thermodynamique, mais dans lequel il part d'une « loi générale », la conservation de l'énergie. Le développement en thermodynamique est suivi d'une présentation pour d'autres domaines fondamentaux de la physique, l'électricité et la mécanique : ce cours de thermodynamique ne se résout pas à réduire ce concept à la seule forme prise en thermodynamique. La démonstration de Feynman, dans son cours de mécanique, s'affranchit également des limites du domaine pour aborder « une loi fondamentale de la physique », avec l'idée du caractère multiforme de l'énergie au-delà des seuls concepts de mécanique. Le principe de conservation de l'énergie prend donc un rôle unificateur pour des concepts énergétiques.

Aujourd'hui, le Principe de conservation de l'énergie est considéré comme l'une des « super-lois » de la physique contemporaine, assurant la position de l'Energie en tant que concept universel.

« A travers la variété d(es) lois particulières [de la physique], règnent de grands principes généraux auxquels toutes les lois paraissent obéir : ce sont, par exemple, les principes de conservation » (Feynman, 1965, p.68).

« On parlera de « super-lois » - (invariance, conservation, symétrie) - au dessus des « lois physiques » proprement dites, elles-mêmes diverses » (Hulin M., 1992, p.150).

« Le principe de conservation de l'énergie acquiert alors un statut nouveau qui lui confère une importance accrue. Dès la fin des années 1920 - début des années 1930, des auteurs de manuels français pour l'enseignement secondaire soulignent que « le principe de conservation de l'énergie domine toutes les sciences physiques (Touren et Billard, 1929, p.163) ou qu'il « joue un très grand rôle dans la physique moderne » (Faivre-Dupaigre et al., 1934, p.157), certains explicitant cette primauté acquise par rapport à l'expérience (Olmer, 1929, p.153) ». (Hulin N. 1996a, p.62).

Les éléments que nous avons relevés dans ce paragraphe nous permettent de vérifier que la synthèse de l'Energie n'est pas une « création » récente. Elle existe avec l'évolution historique de l'Energie et devient explicite au 20^{ème} siècle. Elle prend notamment forme dans des traités comme ceux dont nous avons fait ci-dessus l'examen et dont nous pensons qu'ils ont fortement influencé l'enseignement. On peut faire l'hypothèse qu'à leur tour, les auteurs de manuels (comme ceux que cite N.Hulin) apportent leur contribution en termes de synthèse.

Revenons sur le processus de synthèse dans sa dimension historique. Son point de départ réside dans des domaines particuliers. La formulation du principe de conservation est l'occasion de déterminer l'Energie comme un concept qui porte une valeur universelle : ce principe met en avant une grandeur multiforme et qui s'étend à tous les domaines phénoménologiques. Chaque domaine apportera dès lors ses formes propres de l'Energie, avec sa propre collection de relations algébriques permettant la quantification de ses formes, et/ou d'établir des équivalences avec d'autres formes, et par là de maintenir la conservation. On perçoit ainsi que par une telle naissance et évolution, l'Energie possède simultanément

une dimension universelle (conservation/équivalence) et une dimension particulière (formes d'énergie¹⁰, expressions locales de la conservation¹¹), renvoyant aux spécificités de chaque domaine de la physique.

Finalement, après ces repérages dans l'histoire, nous pouvons avancer que **l'Energie peut exister en deux situations** :

- L'une où l'on aborde la synthèse de l'Energie, l'Energie est l'objet principal, hors des domaines.
- L'autre où l'Energie n'est pas l'objet premier, elle existe dans un certain domaine, pour étudier ce domaine.

IV. Deux approches de l'Energie : Approche Universelle et Approche Particulière

Nous faisons l'hypothèse que l'enseignement de l'Energie propose des approches qui se rattachent à ces situations repérées dans l'histoire et qui se différencient par le traitement de l'Energie : objet principal ou non, hors d'un domaine particulier ou non. Nous les identifions comme deux approches différentes que nous appellerons : *Approche Universelle (AU)* et *Approche Particulière (AP)*.

Pour étudier le traitement de l'Energie dans l'enseignement, nous nous proposons de faire référence à ces approches. Nous en donnons des caractéristiques qui serviront pour les analyses tout au long de notre travail.

IV.1. Approche Particulière (AP)

Elle est le fait de considérer l'Energie à *l'intérieur d'un domaine donné* de la Physique avec des éléments constitutifs qui sont *spécifiques* à ce domaine. Par exemple : dans le domaine de l'Electrocinétique, on présente l'effet Joule, et lui seul, comme manifestation de Transferts thermiques ; dans le domaine de la Mécanique, la Conservation de l'énergie est souvent réduite à la conservation (ou à la non-conservation) de l'énergie mécanique et par conséquent à une discussion sur les Transformations réciproques d'énergie cinétique en énergie potentielle. Les travaux qui analysent l'enseignement de l'Energie (cf. les travaux cités au §II) pointent implicitement l'AP comme la manière « traditionnelle » d'introduire et d'étudier l'Energie dans les enseignements.

¹⁰ En réalité, certaines formes d'énergie peuvent se retrouver dans plusieurs domaines, avec une importance variable.

¹¹ La manière de dialoguer avec l'Energie, dans un domaine donné de la physique, pourra, à cause des formes particulières que prennent les phénomènes, « les énergies », les modes de raisonnement, ..., donner naissance à des lois spécifiques à ce domaine, cependant relatives à la conservation universelle de l'Energie. Par exemple la relation de Bernoulli en mécanique des fluides repose sur la conservation de l'énergie, même si ses expressions algébriques courantes ont perdu toute allusion directe à l'énergie et à sa conservation. Par exemple : $p + \rho gz + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{cte}$: le premier terme est relatif à une énergie potentielle de pression, le deuxième à une énergie potentielle de pesanteur et le troisième à une énergie cinétique.

IV.2. Approche Universelle (AU)

Au travers des études menées au paragraphe précédent, nous la décrivons comme le résultat d'un processus synthétique : l'AU n'est pas la somme de toutes les AP prises dans tous les domaines de la Physique. Nous la caractérisons par les deux propriétés suivantes.

Indépendance

L'étude historique nous montre que les premières études énergétiques ont été faites dans différents domaines (un domaine à la fois ou deux domaines simultanément) de la Physique (Approche(s) Particulière(s)). Mais il existe aussi dès le début de la formation de ce concept une volonté d'unification :

« C'est en 1830 environ que ces différentes « forces » commencent particulièrement à intéresser les scientifiques. Ceux-ci s'acharnent à trouver entre elles un réseau d'interconnexions. Ces travaux rentrent dans l'une des grandes optiques de la communauté scientifiques du XIXe siècle : démontrer qu'il n'y a pas des physiques mais une physique. [...] Nous allons donc pouvoir observer au cours de la fin du XVIIIe et au début du XIXe siècle la formation de tout un réseau de conversions entre les différentes forces physiques, réseau qui tend à une unification vers un concept unique : l'énergie, ainsi que sa propriété fondamentale : la conservation. » (Bécu-Robinault, 1993, p.13).

Cette unification autour de la *propriété fondamentale* (la conservation) est un processus synthétique dont le résultat est l'indépendance de l'Energie : elle permet d'exprimer l'Energie comme un thème indépendant des domaines scientifiques de la Physique.

Transversalité

Parmi les éléments constitutifs de l'Energie, le Principe de conservation de l'énergie est une « super-loi » de la Physique que l'on situe « au-dessus » des lois physiques et de leur diversité (Hulin M., 1992). Il présente une caractéristique universelle qui a été qualifiée de *transphénoménologique* par l'équipe COAST-MAFPEN (1998).

« Le programme de 1992 a choisi de fonder la notion d'énergie sur le principe de conservation dans son sens transphénoménologique. C'est-à-dire, comme le dit Feynman [...], « *quoi qu'on fasse on est sûr de retrouver la même quantité d'énergie* ». Ce « quoi qu'on fasse » peut relever simultanément de la mécanique, de l'électricité, de la calorimétrie, du nucléaire, et d'autres domaines encore. Ce choix respecte la physique et, de plus, il aide les élèves à acquérir une notion d'énergie qui leur permet d'interpréter les transformations énergétiques d'un domaine à l'autre, ce qui correspond aux situations technologiques de notre environnement quotidien. » (COAST-MAFPEN, p.152-153).

Ici, le caractère transphénoménologique apparaît à travers la Conservation et la Transformation (changements de forme) de l'Energie, les différentes formes correspondant à différents domaines. Pour nous, la propriété de transversalité ne renvoie pas aux seules notions de Formes d'énergie, de Transformation et de Conservation de l'énergie. Nous parlerons de transversalité quand il y aura une mise en valeur de la présence de tels éléments emblématiques de l'Energie dans différents domaines.

Quand l'Energie apparaît avec ces deux propriétés, nous considérons que l'on est dans une Approche Universelle. L'Energie est nécessairement alors l'objet principal de l'étude.

IV.3. Discussion des dénominations choisies

La dénomination de nos deux approches correspond à un choix qui peut donner lieu à discussion. Nous allons exprimer ici les raisons de notre choix.

Relevons d'abord, dans les divers travaux auxquels nous avons fait référence, une liste de termes utilisés pour rendre compte de l'Énergie. Nous les groupons les suivant notre caractérisation (AP ou AU) de la situation à laquelle ils renvoient.

Pour l'Approche Particulière

« Dans chaque cas particulier on voit bien ce que c'est que l'énergie » (Poincaré 1902) ; « une certaine quantité que nous appelons énergie, qui ne change pas dans les multiples modifications » (1963) ; « L'énergie est un concept défini par ses effets et ses domaines phénoménologiques » (Bécu-Robinault, 1997a).

Pour l'Approche Universelle

« La loi de la conservation de l'énergie ne peut avoir qu'une signification, c'est qu'il y a une propriété commune à tous les possibles [...] Si l'on veut énoncer le principe dans toute sa généralité » (Poincaré, 1902) ; « une des lois les plus fondamentales de la Physique, la conservation de l'énergie » (Feynman, 1963) ; « représente ce qu'il y a de permanent dans toutes les vicissitudes ; elle est le fondement de la réalité effective, celle qui fait effet sur nous » (Ostwald, cité par Brouzeng 1980) ; « l'énergie, ainsi que sa propriété fondamentale : la conservation » (Bécu-Robinault, 1993) ; transphénoménologique (COAST-MAFPEN, 1998).

Commençons par l'Approche Universelle qui est la plus complexe. Son nom doit évoquer les caractéristiques définies ci-dessus. L'adjectif *transversal* (ou *permanent* ou *transphénoménologique*) ne présente que la propriété d'existence de l'Énergie dans plusieurs domaines. « Synthétique » ou « unificateur » ne montre pas le côté général ; de plus, les adjectifs opposés sont « analytique » ou « séparateur », qui ne caractérisent pas l'Approche Particulière. « Général » (ou « commun ») donne une image vaste mais plus vague. Dans l'AU, l'Énergie est l'objet principal, on ne peut pas en faire une présentation implicite. Nous avons choisi l'adjectif « universel » qui nous semble être l'aboutissement d'un processus : synthétiser, c'est-à-dire rechercher les caractéristiques de l'Énergie à travers les différents domaines, puis les généraliser pour avoir un résultat universel utilisable dans tous les domaines de la Physique. Par rapport à « générique » qui pourrait aussi correspondre à ce processus, « universel » fait référence au caractère de « super-loi » du Principe de conservation de l'énergie. Enfin, l'adjectif « particulier » est donné comme un antonyme.

Universel, elle (adj.). 1. LOG. Qui concerne la totalité des individus d'une classe (proposition universelle), qui est pris dans toute son extension (sujet universel). ... 2. (XIVe) Qui s'étend, s'applique à la totalité des objets (personnes ou choses) que l'on considère. CONTR. Individuel, particulier, partiel.

Particulier, ière (adj.) 1. Qui appartient en propre (à qqn, qqch. ou à une catégorie d'êtres, de choses). ... 2. Qui ne concerne qu'un individu (ou un petit groupe) et lui appartient. 4. Qui présente des caractères hors du commun. CONTR. 1. Général, public, universel 4. Courant, normal, ordinaire.

(Le nouveau PETIT ROBERT, 1996).

Pour l'AP, les adjectifs qualificatifs « local » ou « spécifique » étaient a priori de bons candidats. Le choix de « particulier » tient à ce que certaines caractéristiques des objets énergétiques, dans un domaine de la Physique donné, sont parfois communes à un (ou plusieurs) autre(s) domaine(s). En revanche, nous pouvons supposer que l'ensemble du « paysage énergétique » d'un domaine précis de la Physique, lui, est généralement spécifique.

IV.4. Examen d'exemples en termes d'approches

Nous présentons ici des exemples qui permettent de préciser clairement ou d'illustrer les deux approches. Ces exemples sont pris, le premier, dans un travail où l'Energie est considérée comme un objet scientifique en soi, les deux autres, dans des travaux qui concernent l'enseignement.

« *L'histoire de l'Energie mécanique* » (Halbwachs)

Dans un article sur l'énergie mécanique, donc relatif au domaine de la Mécanique, Halbwachs évoque l'apparition de l'Energie dans la physique sous plusieurs angles.

Au début, il présente le concept physique d'Energie en général, et donc du point de vue de l'AU. Puis il fait apparaître le caractère Particulier des études énergétiques lorsque l'étude se restreint à un domaine phénoménologique (AP):

« ... nous pourrions nous limiter à l'étude de l'énergie en tant que concept général, et perçu comme général, comme la « substance » commune à toutes les formes physiques particulières sous lesquelles elle apparaît. » (Halbwachs, 1981, p.5).

« Si nous considérons (comme le font Poincaré et Feynman) tous les systèmes possibles et toutes les sortes possibles de changements, alors nous avons le principe général et le concept général- de l'énergie. Mais si nous restreignons à tel ou tel type particulier de système et à telle classe de changement d'état, nous trouverons dans chaque domaine de la physique une forme particulière de l'énergie ». (Halbwachs, 1981, p.6).

Il présente des formes de l'énergie particulières au domaine de la Mécanique (énergie potentielle, énergie cinétique, énergie mécanique), la notion de travail qui est ancrée dans la Mécanique, et la question de la conservation de ces grandeurs. Ces grandeurs tout au long de leur histoire sont constamment mises en relation avec les grandeurs mécanique, forces, vitesse, déplacement, quantité de mouvement, etc.

La thèse de Bécu-Robinault

En conclusion du dernier volet de son étude de l'évolution historique qui traite de la didactification du concept d'Energie, Bécu-Robinault (1997a) distingue deux points de vue sur le concept :

«Ce qui reste avant tout de ces définitions de l'énergie est sa propriété de conservation et de transformation qui la caractérisent par rapport aux autres concepts de la physique. La richesse du concept d'énergie passe par les multiples domaines de la physique où nous la retrouvons sous des formes différentes, tant dans sa formulation mathématique que dans sa phénoménologique.

A partir de cette revue de la définition du concept d'énergie et de son principe de conservation, nous noterons que ce concept peut être considéré de deux points de vue.

- L'énergie est un concept défini par ses effets et ses domaines phénoménologiques. Nous sommes alors dans une perspective proche de celle des physiciens avant 1842, lorsque le principe de conservation n'était pas un aspect fondamental de l'énergie. L'énergie est alors un concept dont les manifestations phénoménologiques appartiennent à un domaine phénoménologique propre à chaque fois.

- L'énergie comme caractérisée par son principe de conservation et son principe de transformation. Les manifestations énergétiques peuvent alors mettre en jeu plusieurs domaines phénoménologiques simultanément. Ceci correspond à l'acceptation courante de ce concept dans la communauté scientifique. » (Bécu-Robinault, 1997a, p.21-22).

Ces points de vue peuvent être rapprochés, respectivement, des approches particulière et universelle. La formulation du second point de vue met en avant le rôle clé du principe de

conservation de l'énergie dans la construction d'un concept d'énergie universel, transversal (AU). Il est à remarquer que le « principe de transformation » qu'elle évoque n'est pas reconnu explicitement en tant que principe dans le savoir physique. Il y est plutôt associé à une propriété intrinsèque de l'Energie : l'Energie est multiforme (voir les précédentes citations, Feynman (1963) par exemple).

La thèse de Verseils-Bruguière

Dans son travail de thèse, Verseils-Bruguière (1997) analyse l'enseignement « traditionnel » du concept d'énergie en physique au lycée :

« Au niveau de l'enseignement de l'énergie, cette conception traditionnelle de l'enseignement de la physique, aboutit à définir le concept d'énergie comme la « *capacité à fournir un travail* »... Le discours de l'enseignant s'articule prioritairement autour de concepts pris dans le champ de la mécanique pour s'étendre par la suite vers d'autres champs phénoménologiques. » (Verseils-Bruguière, 1997, p.55).

Elle présente cette démarche, qui part de l'AP de l'Energie en Mécanique pour se diversifier dans les AP d'autres domaines physiques, comme « l'échec de l'enseignement traditionnel » Elle aborde aussi des constats de cet échec :

« Après un enseignement traditionnel sur l'énergie R. Duit (1984) a montré que peu d'étudiants (âgés de 15 à 16 ans et originaires de l'Allemagne et des Philippines) ont recours au mot « énergie » ou au principe de conservation pour expliquer des phénomènes de la mécanique. [...] P.E Richmond (1987) pense que la définition de l'énergie en termes de travail n'est pas une aide et qu'elle est apprise par beaucoup d'élèves sans aucune compréhension de ce qu'elle signifie réellement. [...]

L'approche traditionnelle de l'énergie en termes de travail et selon une logique expérimentale inductiviste n'apparaît pas conceptuellement entièrement satisfaisante pour un certain nombre d'auteurs qui lui reprochent : de se limiter à un champ phénoménologique, la mécanique (Tiberghien, 1989, 1994) [...]; de ne pas posséder une validité universelle, Sexl (1981) [...]; d'écarter les informations contenue dans la seconde loi de la thermodynamique Duit (1981) [...]; de réduire l'observation à un fait prototypique (Agabra et al, 1980 ; Lemeignan, 1992, 1993) [...]. » (idem, p.58).

Nous trouvons là les raisons des remises en cause qui ont conduit aux projets évoqués au §II : ces remises en cause concernent l'AP qui rattache l'Energie au domaine mécanique.

V. Conclusion

Nous avons vu, dans la revue des projets d'enseignement présentée au §II, que la recherche d'une **présentation synthétique** de l'Energie était un aspect remarquable des recherches sur l'enseignement de la physique au niveau du secondaire.

Au terme de notre exploration à travers différents travaux, il nous apparaît qu'une approche universelle (AU) de l'Energie est nécessaire dans l'enseignement de l'Energie au lycée et qu'elle est recherchée par la noosphère¹² : c'est une thèse que nous avançons.

¹² Ce terme renvoie aux lieux où se débat l'organisation de l'enseignement et désigne tout le système des acteurs qui peuvent intervenir : inspecteurs, professeurs, ... (cf Chevallard, 1985)

Pour l'enseignement secondaire, la Commission Lagarrigue avait des ambitions qui plaçaient haut l'aspect synthétique et qui pouvaient conduire à donner une place privilégiée à l'approche universelle de l'Energie :

« Toujours dans ces années 1970, on juge essentiel de montrer l'unité de la physique et son aspect synthétique ; on se propose « d'abandonner un enseignement du type cloisonné entre les diverses parties de la physique » [Doc.C.L., 1973, p.43] « (Hulin N., 1996b, p.112).

Une telle entreprise a pu se heurter, en particulier, à la difficulté de construire une présentation synthétique. Dans un manuel universitaire de Physique Générale, Giancoli (1993) évoque cette difficulté dans des termes qui pourraient expliquer la domination des approches particulières dans l'enseignement traditionnel :

« Le concept d'énergie est l'un des plus importants en sciences. Pourtant, personne jusqu'ici n'a pu trouver un énoncé général adéquat, à la fois simple et précis, pour le décrire en quelques mots. Toutefois, les différents types d'énergie se définissent chacun assez facilement. » (Giancoli, 1993, p.175).

Qu'en est-il de ses deux approches dans l'enseignement secondaire ? Plus particulièrement, qu'en est-il de l'existence de l'Approche Universelle ? En France et au Vietnam ?

Nous aborderons cette question dans le prochain chapitre.

CHAPITRE A.2

Enseignement de l’Energie dans les classes scientifiques du lycée, en France et au Vietnam : l’évolution des programmes, hypothèse et questions

Dans le chapitre précédent, nous avons souligné l’importance de l’intérêt pour l’Energie qu’ont manifesté les systèmes éducatifs de divers pays du monde à partir des années 1970. Nous avons évoqué divers projets qui ont alors été proposés ou développés, en France notamment, dans le cadre de l’enseignement des sciences physiques.

Ce chapitre a pour objet les programmes d’enseignement eux-mêmes, en France et au Vietnam. Notre questionnement initial nous conduit à limiter notre étude à l’enseignement scientifique au niveau du lycée. L’objectif est de rendre compte de la présentation de l’Energie qui a été proposée par les programmes de ces deux pays depuis ces années 1970. De quelle(s) manière(s) l’Energie a t’elle été présentée ? Quelle(s) évolution(s) sa présentation a t’elle pu subir ? Plus précisément, l’objectif est de répondre à ces questions en mettant en œuvre la catégorisation par « Approches » que nous avons introduite au chapitre A.1. En particulier, nous cherchons à nous assurer de l’existence des deux approches AU et AP dans l’enseignement de l’Energie. Nous effectuerons ainsi une sorte de mise à l’essai de cette catégorisation pour analyser l’enseignement.

Notre étude des propositions des programmes est donc menée en termes d’Approche Universelle et d’Approche Particulière de l’Energie. Nous identifions ces approches par les critères que nous avons introduits dans le chapitre A.1 :

- L’Energie se présente par l’Approche Particulière (AP) quand elle est considérée dans un domaine du découpage traditionnel de la Physique (par exemple : Mécanique, Thermodynamique, Electricité).
- L’Approche Universelle (AU) est caractérisée par la conjugaison de deux propriétés :
 - *Indépendance* : L’Energie est traitée comme un thème à part entière. Elle se présente indépendamment des domaines du découpage traditionnel. Elle se manifeste par l’existence d’une totalité organisée de notions et propriétés, consacrée à la présentation d’aspects généraux (que nous désignons par le terme *synthèse*).
 - *Transversalité* : l’Energie est considérée dans l’étude de plusieurs domaines phénoménologiques.

I. En France

I.1. Nos choix pour une étude, des années 1950 à nos jours

I.1.1. Découpage en périodes : les programmes considérés

Nous avons fait un découpage en périodes qui nous ont paru significatives pour étudier l’évolution de la présentation de l’Energie depuis les années 1970.

Nous avons utilisé les points de repère que sont les moments de réformes de l'enseignement de la physique. Nous avons ainsi les deux grands moments de réforme qui ont concerné l'ensemble des programmes du secondaire :

« Deux grands moments marquent l'histoire de l'enseignement scientifique au XX^e siècle : les années 1900 quand des réformes décisives voient le jour dans de nombreux pays, et les années 1960-1970, années de rénovation profonde de l'enseignement des mathématiques et de la physique. » (Belhoste, 1996, p.1).

En France, ces réformes peuvent être reconnues sous les intitulés : « Réforme de 1902 », « Réforme de 1979 consécutive aux travaux de la commission Lagarrigue¹ ».

Plus récemment, à partir de l'année 1992, l'enseignement de la physique au lycée a connu une rénovation importante puisque « le contenu a été modifié de manière drastique afin d'être plus proche du savoir scientifique » (Bécu-Robinault, 1997, p.40).

Nous avons ainsi considéré trois périodes de 1902 à nos jours, délimitées par des changements de programme, elles mêmes balisées par ces changements. Les programmes intermédiaires correspondent à des infléchissements successifs. Pour chacune des périodes, nous avons retenu des programmes significatifs pour l'enseignement de l'Energie.

La période 1, des années 1950 à 1979 : « Avant les changements de la fin des années 1970 ». Nous avons retenu *le programme 1* (arrêté de 1957) qui a été mis en œuvre jusqu'en 1966. Nous considérons que les modifications apportées par le programme de 1966 ne sont que des arrangements qui préfigurent les changements de la fin des années 1970.

La période 2, de 1979 à 1992 : « L'après Commission Lagarrigue ». Cette période donne lieu à trois programmes (arrêtés de 1979, 1981 et 1988). Par rapport au programme de 1979, l'arrêté de 1981 apporte un changement modeste relatif à l'Energie, sous le mode de l'allègement au sein d'une rubrique. Nous ne considérons que *le programme 2, celui de 1979, et le programme 3, de 1988*.

La période 3, de 1992 à nos jours : « Le temps de la rénovation drastique ». Cette période est ouverte par *le programme 4 défini par l'arrêté de 1992*. Des allègements interviennent à la fin des années 1990. En 2000 paraît un nouveau programme, *le programme 5, contemporain de notre étude*. Nous verrons qu'il ne s'agit pas d'un simple infléchissement. A ce point de notre examen, nous le considérerons comme un programme d'ajustement.

I.1.2. Méthode d'analyse

Pour chaque programme, nous prenons en compte la partie qui présente les contenus, le texte proprement dit du programme. Nous repérons toutes les parties qui traitent explicitement de l'Energie, dans leur titre d'abord, dans les rubriques ensuite.

L'analyse est menée selon le point de vue précisé plus haut. Il s'agit de caractériser l'approche de l'Energie réalisée par le programme. D'un programme à l'autre, les changements dans le découpage en parties donnent une première indication quant à l'évolution de la structure générale de la présentation de l'Energie. A priori, ce découpage

¹ La Commission est instituée en 1970, mais c'est seulement en 1976 que le programme parvient aux établissements scolaires et il faudra trois ans pour l'appliquer à tous les niveaux, de la 6^e à la Terminale.

indique la chronologie d'étude des chapitres des manuels qui seront réalisés selon le programme. Nous faisons attention aux titres des parties. En effet lorsqu'ils attestent l'indépendance de l'Energie, les titres des parties permettent un repérage a priori de l'AU.

Dans l'examen des rubriques, si l'Energie se présente par l'AU dans les titres, la confirmation de l'AU est recherchée dans la présence d'éléments propres à l'Energie (indépendance). Dans ce cas, les formes de la transversalité seront examinées. Sinon, c'est le passage éventuel d'une approche de type AP à une approche de type AU qui est recherché.

I.2. Les programmes

I.2.1. Période 1, des années 1950 à 1979 : avant la rénovation de la fin des années 1970

Programme 1 (1957)

Au lycée, l'Energie n'apparaît pas avant les classes scientifiques de Terminale (Mathématiques et Sciences expérimentales). Une partie propre lui est alors consacrée sous le titre « Energie », dans un programme qui comporte trois parties distinctes :

Partie I. Dynamique

Partie II. Energie

Partie III. Phénomènes périodiques

L'Energie fait une entrée à la fin de la partie « Dynamique », dans une apparition limitée au libellé « énoncé du Théorème de l'énergie cinétique ».

L'introduction de l'Energie est vraiment réalisée dans la partie « Energie ». Les premières définitions s'appuient sur des études de systèmes qui relèvent du domaine de la Mécanique. Puis des propriétés de l'Energie sont successivement mises en avant : les différentes Formes d'énergie, les Transformations mutuelles entre formes d'énergie et le Principe de conservation. Les développements sur l'équivalence de la chaleur et du travail font passer du domaine de la Mécanique à celui de la Thermodynamique. Enfin, le Principe de conservation de l'énergie permet d'introduire aux liens entre masse et énergie ainsi que de réaliser des études sur les moteurs thermiques, avec l'introduction de notions relatives à la Puissance et au Rendement.

Notons que le programme est organisé selon les principes énoncés pour les programmes des années 1950, aussi bien globalement que dans la construction qui apparaît dans la suite des rubriques de la partie « Energie » (c'est nous qui soulignons):

« Dans les classes terminales, le contenu du programme pourra s'organiser [...] autour des notions fondamentales qui servent de base aux théories modernes de la physique, celles de l'énergie, de la matière et de l'électricité.

Le concept d'énergie trouvera son origine dans celui de travail mécanique, présenté comme un moyen d'unifier les lois d'équilibre dans les machines simples, et réalisera son extension, dans la théorie de la chaleur, par le principe de l'équivalence » (Programme de 1953).

En termes d'approches de l'Energie, la propriété d'indépendance est attestée par l'existence d'une partie propre. Elle se manifeste dans cette partie par l'introduction de propriétés propres à l'Energie et par une structuration qui articule l'étude de plusieurs domaines. Elle se conjugue ainsi à la propriété de transversalité. Dans cette partie, le traitement de l'Energie relève donc de l'Approche Universelle (AU).

Globalement, dans ce programme, l'Énergie est abordée dans deux parties distinctes selon deux approches : **d'abord avec une approche AP au contenu limité** (partie « Dynamique »), **puis avec une approche AU** (partie « Énergie »).

Notons que dans le programme de 1966, l'Énergie apparaît en Première C (la filière scientifique) dans la partie électricité du programme, alors qu'en Terminale le Principe de conservation ne figure plus.

I.2.2. Période 2, 1979 – 1992 : l'après Commission Lagarrigue

Notons d'abord que dans cette période, la Physique est introduite au collège et l'Énergie y apparaît au niveau Troisième. Au lycée, l'Énergie apparaît maintenant au niveau de la Première. Nous analysons les programme des classes de la filière scientifique aux niveaux Première et Terminale, dénommée filière C dans le premier moment, filière S dans le second.

A partir de 1979, le programme comporte une partie commentaire. Dans le texte du programme, toujours séparé en plusieurs parties, les rubriques des différentes parties sont plus détaillées. Notre analyse porte sur cette partie « texte du programme ».

Programme 2 (1979)

Au niveau de la Première, le texte du programme comporte deux parties. Le commentaire du programme annonce : « *Le programme de physique de première C traite de deux sujets essentiels dans notre civilisation : l'énergie et la transmission d'un signal* ». Ceci indique plus fortement une autonomie de l'Énergie que le seul titre de la première partie « Énergie et champs ». Par rapport au programme précédent, l'ajout de « champs » dans le libellé peut être pris comme une marque du caractère transversal de l'Énergie. Le contenu de la seconde partie « Phénomènes vibratoires et propagation » n'aborde rien qui concerne l'Énergie. La partie « Énergie et champs » comporte cinq grandes rubriques numérotées, chacune numérotées et structurées comme les chapitres d'un ouvrage.

Partie I. Énergie et champ

- Énergie mécanique
- Énergie interne (à partir de 1980, ce contenu est placé dans la rubrique précédente)
- Champ électrostatique et énergie électrique
- Conservation de l'énergie
- Sources d'énergie utilisables sur la terre

Partie II. Phénomène vibratoire et propagation

Dans la partie « Énergie et champs », les deux premières rubriques traitent de notions propres d'abord au domaine mécanique (mouvement, moment d'inertie, etc.) puis au domaine thermodynamique (mesure calorimétrique, etc.). Les différentes formes d'énergies propres à chacun des domaines y sont successivement introduites avec différentes notions relatives à l'Énergie : d'abord le Travail, la Puissance, le Théorème de l'énergie cinétique, puis la Chaleur. La question de la conservation ou non de l'énergie mécanique totale d'un système permet l'articulation d'un domaine à l'autre.

La troisième rubrique concerne le domaine électrique. Y apparaissent : la forme d'énergie propre à ce domaine, l'énergie potentielle d'une charge, la notion de Bilan énergétique qui met en évidence l'analyse énergétique dans le domaine électrique.

Les deux dernières rubriques sont centrées sur des problématiques propres à l'Energie qui concernent différents domaines : la Conservation de l'énergie, les sources d'énergie. Ici la *synthèse* de l'Energie présente les deux propriétés de l'AU : l'indépendance des rubriques et la transversalité des concepts.

En termes d'approches, cette partie se présente d'emblée d'une manière indépendante, attestée par son titre. L'indépendance s'exprime manifestement par la présence des deux dernières rubriques. Ces deux rubriques qui viennent après le traitement de l'Energie dans trois domaines offrent l'occasion d'une synthèse avec un traitement transversal. Globalement, dans cette partie, **l'Energie se présente par l'AU, en étant introduite par l'AP** dans différents domaines. Par rapport au programme précédent, la présentation de l'Energie débouche sur une forme de synthèse autour de la Conservation. Cette synthèse est préparée par le rôle transversal donné à la Conservation dans le passage de l'étude du domaine Mécanique au domaine Thermodynamique ainsi que par l'introduction de la notion de bilan.

Le niveau de la Terminale n'est donc plus le moment de l'introduction de l'Energie. Celle-ci intervient sous le mode AP en étant mise en œuvre pour étudier les autres domaines. Dans la partie « Electromagnétisme », on étudie l'énergie emmagasinée dans des outils électriques comme le condensateur et la bobine. Dans la partie « Vibrations et propagation », la conservation de l'énergie apparaît pour analyser des oscillateurs. Elle est plus particulièrement développée dans les études de la partie « Physique atomique et nucléaire ».

Examinons les inflexions données par le programme de 1983

Dans le texte du programme, la notion d'Energie interne disparaît avec la rubrique de même nom. Son contenu est intégré à la rubrique intitulée « Energie mécanique » et le « Premier principe de la thermodynamique » disparaît lui aussi.

En termes d'approche, nous pouvons considérer que ce programme n'apporte pas de changements, ce qui est confirmé dans le commentaire général de la partie « Energie et champs » :

« [Cette partie] comporte l'étude de phénomènes qui appartiennent à divers domaines de la physique dans son découpage traditionnel [...]. Ces phénomènes ont tous leur intérêt propre, qui ne doit pas être négligé, mais leur place dans le programme est justifiée par les exemples particuliers qu'ils permettent de donner de la loi générale de conservation de l'énergie dont l'énoncé est l'aboutissement de l'étude entreprise. » (Programme de 1982, Commentaires).

Programme 3 (1988)

Au niveau de la Première, la structure du programme est modifiée. Par rapport au programme précédent, l'Energie se présente dans deux parties distinctes dont l'une seulement fait référence à l'Energie, « Energie mécanique et chaleur » et « Electricité ». La dernière partie voit son titre inchangé et comprend les mêmes contenus qui ne portent pas sur l'Energie.

Partie I. Energie mécanique et chaleur

- Energie mécanique
- Température et chaleur

Partie II. Electricité

Partie III. Phénomènes vibratoires et propagation

La partie « Energie mécanique et chaleur » comporte deux rubriques.

La première rubrique reprend le titre du premier chapitre de la partie « Energie et champs » du programme précédent et elle en conserve tous les contenus. Ainsi, on y retrouve l'ensemble des notions accompagnant la présentation de l'Energie qui figuraient dans le programme précédent et qui ne concernent que le domaine mécanique.

En revanche, la rubrique suivante ne fait plus référence explicitement à l'Energie : le terme Energie n'apparaît ni dans le titre, ni dans les contenus. Il n'est plus question d'Energie interne. Dans le programme précédent, la Chaleur était introduite d'emblée comme la conséquence de la non-conservation de l'énergie mécanique. Ici, de nombreuses connaissances de la Thermodynamique sont d'abord présentées (compressibilité isotherme des gaz ; loi de Mariotte ; dilatation des gaz ; relation $pV = nRT$). Finalement, c'est la transformation du Travail en Chaleur qui permet d'introduire cette notion de chaleur.

La partie « Electricité » présente les traitements relatifs à l'Energie attachés au domaine de l'électricité qui étaient présents dans la rubrique « Champs Electrostatique et énergie électrique ».

Notons que l'objectif général assigné à la première partie par les commentaires est « *Introduire les notions fondamentales d'énergétique* », tandis que « *Poursuivre en électricité l'étude de l'énergétique* » est l'un des objectifs de la partie « Electricité ».

Les deux dernières rubriques n'existent plus : en particulier, le texte du programme ne fait pas apparaître la synthèse qui était clairement notifiée par la quatrième rubrique « Conservation de l'énergie » du programme précédent.

En termes d'approches, l'Energie n'a pas de partie propre, elle se présente de manière morcelée dans des domaines différents, sans qu'il y ait de marque explicite de transversalité. De plus, les rubriques synthétiques n'existent plus. Globalement, dans ce texte du programme, **l'Energie se présente seulement par l'AP.**

Il n'y a pas de changements dans les contenus concernant l'Energie au niveau de la Terminale.

I.2.3. Période 3, 1992 – 2000 : le temps de la rénovation drastique

Programme 4 (1992)

Remarquons que le programme de 1992 comporte d'une part, en parallèle sur deux colonnes, une partie « contenus » qui constitue le texte du programme et une partie « compétences exigibles ou en cours d'apprentissage », d'autre part, une partie « commentaires ». Nous analyserons la partie « contenus » en utilisant les éléments de contenu qui sont présentés au travers de la partie « compétences ».

Au lycée, le niveau d'introduction de l'Energie ne change pas. L'Energie n'apparaît pas en Seconde.

Au niveau de la Première, le terme « Energie » figure dans l'intitulé même du programme de physique « Mouvements et énergie », et l'Energie occupe une place qui lui est propre dans deux parties. C'est la première fois que l'Energie occupe plus de la moitié du contenu du programme :

Partie I. Mouvement

Partie II. Conservation de l'énergie

Partie III. Bilan énergétique

- Systèmes mécaniques
- Systèmes électriques
- Energie nucléaire

Dans la partie « Conservation de l'énergie », le texte du programme apporte des notions énergétiques qui sont chacune l'objet d'une rubrique : Formes d'énergie, Transferts d'énergie, Chaîne énergétique. Les Formes d'énergie figuraient déjà dans les programmes de 1957 et 1979. Ici, de nouveaux qualificatifs les précisent (cinétique macroscopique, cinétique microscopique, potentielle de position). Le phénomène de Transfert d'énergie était abordé par les programmes précédents. Ici, il est introduit de manière explicite par le terme Transfert d'énergie qui est accompagné de termes explicitant des types de transfert. La Chaîne énergétique, elle, est un objet parfaitement nouveau. Précisons que « *la représentation symbolique de la chaîne énergétique n'existe pas dans le savoir savant* » (Tiberghien, 1994, p.123). La chaîne énergétique a ainsi le statut de « **création didactique** » au sens de Chevallard (1985).

Dans cette partie, les notions qui accompagnaient la présentation de l'Energie dans les programmes précédents, et dont nous avons relevé les noms, sont presque tous présentes. Relevons que le terme « Transformation » a disparu, alors qu'apparaissent des expressions ou des mots nouveaux dans le texte du programme : échange énergétique, système.

La Chaîne énergétique permet d'analyser ce qui relève de l'Energie dans différents phénomènes. La loi de Conservation de l'énergie pour un système isolé est le premier principe énoncé.

En termes d'approches, cette partie présente l'Energie avec les caractéristiques de l'AU. En effet, l'indépendance est manifestée par une partie propre et une problématique propre, celle de la conservation de l'énergie, qui donne lieu à l'introduction d'un ensemble organisé de notions spécifiques à l'Energie, à ce que nous avons appelé une synthèse. La transversalité est attestée par l'éventail des formes d'énergie présentées et par la description même de ces formes. Certaines d'entre elles sont rattachées à un domaine privilégié. Mais d'autres sont décrites à l'aide des paramètres significatifs des phénomènes appréhendés dans des exemples ou des expériences variés (vitesse, température, position). Ces formes apparaissaient réparties dans différents domaines, dans les précédents programmes.

Le titre « Bilan énergétique » de la partie suivante est encore la marque d'une caractéristique d'indépendance de l'approche de l'Energie. Toutes les notions énergétiques introduites dans la partie précédente sont utilisées dans des études de l'aspect énergétique de systèmes de différents types. Ces études sont réalisées dans trois rubriques dont les titres renvoient à des domaines différents.

Dans la rubrique « Systèmes mécaniques », l'Energie apparaît dans des études de Mécanique puis, à travers les machines thermiques dans des études qui relèvent plutôt de la Thermodynamique. Dans la rubrique « Système électrique », le Bilan énergétique apparaît explicitement dans l'étude des phénomènes électriques. La dernière rubrique permet d'introduire à l'étude des réactions nucléaires nucléaires.

Cette partie présente donc des études propres à l'Energie et relatives à des domaines différents. La notion de Bilan énergétique y apparaît générale. Structurant l'étude des différents systèmes, elle intervient de manière transversale à ces domaines. La Chaîne énergétique est mise en œuvre explicitement dans les différents domaines. En termes d'approches, dans cette partie, l'Energie est présentée par l'AU et celle-ci est exposée par des rubriques apportant l'AP. La notion de Transformation n'intervient finalement que dans le domaine particulier de l'électricité.

Par rapport aux programmes précédents, le programme de 1992 se concentre vraiment sur l'Energie. Il en fait le thème principal, un thème qui déborde la physique et tout au long duquel la conservation de l'Energie sert de fil conducteur, de manière sous-jacente :

« Cette partie (« Conservation de l'énergie ») [...] n'est donc qu'une phase d'apprentissage qui permet d'introduire la terminologie et de définir la problématique. Elle constitue la première approche du concept de conservation de l'énergie ». (Programme 1992, Commentaires).

« Enfin, le thème de l'énergie permet d'accéder à une grande loi de conservation qui sous-tend l'ensemble du travail de l'année, y compris en chimie. » (Programme 1992, Objectifs propres au programme).

Ce thème de l'Energie apporte de nombreuses notions énergétiques et couvre des études dans différents domaines. Ces notions sont davantage précisées que dans les programmes précédents, tandis que le nombre des domaines augmente (ajout du domaine nucléaire). Globalement dans ce programme, **l'Energie se présente par l'AU**, par une exposition en deux parties apportant d'abord la synthèse, **puis par l'AP**.

Au niveau de la Terminale, l'Energie se présente toujours par l'AP tandis que les remaniements intervenus en première induisent quelques modifications : dans la partie « Champs - Interactions dans l'univers », le théorème de l'énergie cinétique est introduit pour étudier des lois de la dynamique. Dans la partie « Systèmes oscillants », outre la Conservation de l'énergie, des échanges énergétiques et la dissipation d'énergie y sont abordés.

I.2.4. Période contemporaine : depuis 2000, le temps des ajustements

Programme 5 (2000)

Notons qu'avec ces programmes apparaît une nouvelle présentation en trois colonnes : la première précise les activités à mettre en œuvre. Nous faisons porter notre analyse sur les deux autres colonnes « contenus » et « connaissances et savoir-faire exigibles ».

Le niveau d'introduction de l'Energie ne change pas. C'est le niveau de la Première pour laquelle le programme de 2001 comporte trois parties :

Partie I. Les interactions fondamentales

Partie II. Force, énergie

- Forces et mouvement
- Travail mécanique et énergie
 - Travail d'une force
 - Le travail : un mode de transfert de l'énergie
 - Le transfert thermique.

Partie III. Electrodynamique

- Circuit électrique en courant contenu
 - Transfert d'énergie au niveau d'un générateur et d'un récepteur

- Comportement global d'un circuit
- Energie mécanique
- Magnétisme, force électromagnétisme

Dans ce programme, l'Energie apparaît d'abord dans une partie relevant du domaine de la Mécanique, où elle est rattachée à la notion de Travail, puis dans la partie « Electrodynamique ».

En termes d'approches, on a clairement là une AP de l'Energie. Cependant, dans la deuxième sous-rubrique de « Travail mécanique et énergie », le Travail, toujours en titre, est traité dans un rôle lié à une propriété de l'Energie, le transfert. Avec la notion de mode de transfert, on a une marque de l'indépendance de l'Energie. Les deux dernières sous-rubriques amènent ensemble une présentation des modes de transfert qui relie plusieurs phénomènes de différents domaines (mécanique, électricité et thermodynamique) : avec le mode de transfert, l'Energie intervient de manière transversale et s'exprime comme grandeur de manière générale avec un énoncé du principe de conservation. Tout comme dans le programme 4, les modes de transfert d'énergie sont explicitement nommés (Travail, Transfert thermique et Rayonnement). En revanche, l'idée de conservation de l'énergie n'est pas introduite en premier et n'occupe pas la position centrale.

« Différentes formes d'énergie sont introduites à partir de la notion du travail d'une force, tout en montrant que selon les situations, ces différentes formes sont susceptibles de se transformer les unes dans les autres. L'objectif est ainsi de progresser vers l'idée de conservation. [...] On pourra conclure cette partie en présentant le principe de conservation de l'énergie ;» (Programme de 2000).

Au final, l'Energie constitue le thème principal de ces deux sous-rubriques et s'y présente un tant soit peu par l'AU.

Dans la dernière partie concernant l'Electricité, le Transfert d'énergie et le Bilan énergétique sont mis en œuvre et font l'objet d'études quantitatives. Ainsi la notion générale de bilan de transfert d'énergie est présente, mais à l'intérieur de l'AP correspondant à ce domaine.

Par rapport au programme précédent, l'Energie occupe une place moins importante. Les deux approches apparaissent mais d'une manière inversée. Globalement, l'Energie se présente dans deux parties **par l'AP**, mais à l'intérieur de ces parties, le programme installe aussi l'AU. Au final, **l'AU est présente mais moins nettement** que dans le programme précédent.

Pour le niveau Terminale, l'Energie est abordée dans la partie « Transformations nucléaires » de manière particulière à ce domaine : elle apparaît dans la liaison par nucléon, dans l'équivalence masse-énergie et avec le bilan d'énergie d'une réaction nucléaire.

I.3. Bilan de l'étude des programmes

I.3.1. Description synthétique de l'évolution

Nous synthétisons par un tableau (Tableau 1) les analyses que nous avons successivement réalisées. Pour cela, nous nous appuyons sur la présentation en tableau des résultats de Bécu-Robinault (1997a). Son analyse prend en compte les programmes de 1902 à 1992. Nous ajoutons, d'une part, l'analyse du dernier programme en cours, le programme appliqué en 2001 en Première (dernière ligne du tableau), d'autre part, une classification des approches suivant nos analyses (dernière colonne du tableau).

Date	Classe	Parties du programme	Aspects présentés	Formes d'introduction	Approche
Pg 1 1957	T ^{le} math	1- mécanique, dynamique 2- énergie 3- mouvements vibratoires	conservation- transformation- transfert	Travail	1- AP 2- AU 3- rien
Pg 2 1979	1 ^{ère} S	1- énergie et champs 2- phénomènes vibratoires et propagation	conservation- transfert	Travail	1- AP, AU (synthèse) 2- rien
Pg 3 1988	1 ^{ère} S	1- énergie mécanique 2- électricité 3- phénomènes vibratoires	transformation- transfert	Travail	1- AP 2- AP 3- rien
Pg 4 1992	1 ^{ère} S	1- mouvements 2- conservation de l'énergie 3- bilans énergétiques	conservation- transformation- transfert- stockage	Conservation Transformation	1- rien 2- AU (synthèse) 3- AP
Pg 5 2000	1 ^{ère} S	1- interactions fondamentales 2- force, travail et énergie 3- électrodynamique 4- optique	transfert- stockage transformation- conservation	Travail Transfert	1-rien 2- AP, AU 3- AP

Tableau 1. L'enseignement de l'Energie dans les programmes du lycée en France (de 1957 à nos jours)

La dernière colonne met en évidence l'existence des deux approches sur l'ensemble des programmes des 50 dernières années. Elle présente aussi les changements intervenus.

Notre analyse en termes d'approches se superpose assez bien à celle de Bécu-Robinault. Les caractères du critère « aspect présenté » peuvent être considérés comme typiques de l'AU : si la Conservation n'apparaît pas, l'AU n'existe pas. Avec la colonne « approche », il est possible de faire une relecture des aspects qui avaient été dégagés par Bécu-Robinault pour les programmes 1, 2 et 3 :

« Avant 1979, le concept d'énergie est enseigné dans un chapitre qui lui est entièrement consacré d'ailleurs intitulé « énergie ». Après cette date, l'énergie est enseignée dans un chapitre plus général englobant la cinématique, la dynamique et les champs. Enfin, dans les derniers programmes de 1988, nous ne trouvons plus d'en-têtes de chapitres comportant le terme « énergie », mais le concept d'énergie est omniprésent dans tous les thèmes de la physique enseignés en classe de première, à l'exception des phénomènes vibratoires dont l'enseignement tel qu'il est décrit ne permet pas la mise en relation avec les phénomènes énergétiques » (Bécu-Robinault, 1997a, p.37).

I.3.2. Les changements relatifs à l'approche de l'Energie : éléments d'explication

Avant 1979, l'Energie est discrètement introduite par l'AP. Puis une partie indépendante apporte une approche de type AU, mais l'analyse détaillée des rubriques montre que cette AU ne se présente pas nettement, qu'elle se confond avec l'AP. On y voit le rôle fondamental du domaine mécanique pour l'introduction de l'Energie. Tandis que les objets propres à l'Energie sont peu nombreux.

En 1979, globalement, l'Energie se présente par l'AU dans une partie propre comportant AP et AU. Des rubriques de cette partie présentent ce thème dans plusieurs domaines par l'AP. Le fait que l'AU soit nettement présentée peut être rattachée à la déclaration des auteurs du programme :

« ... le programme proposé pour la classe de Première est conçu dans un esprit très différent (du programme précédent de « Terminale ») : il est modeste en un sens [...] mais il est parfois plus

ambitieux, car il vise à une présentation synthétique de questions qui étaient jusqu'alors analysées séparément » (Programme de 1979, Commentaires).

L'objectif affiché correspond, pour sa part dite « modeste », à la volonté de privilégier l'unité de la physique et son aspect synthétique de la Commission Lagarrigue. Cet objectif que nous avons souligné dans le chapitre précédent s'inscrit dans la visée plus large de rapprocher le savoir enseigné du savoir scientifique.

« Comme les réformes étrangères dont elles s'inspiraient, la réforme Lagarrigue avait des objectifs ambitieux : faire passer dans l'enseignement du début les grandes structures conceptuelles et méthodologiques qui charpentent la physique contemporaine, telles qu'on les perçoit maintenant après 30 ou 40 ans d'un développement considérable de la discipline. » (Hulin M., 1985, p.135).

En 1988, l'AU disparaît. L'évolution de 1979 à 1988 est interprétée par Bécu-Robinault (1997a) comme une régression correspondant à « *une recherche de simplicité du savoir à enseigner, qui conserve [...] une apparence du savoir physique* » mais caractérisée, en fait, par « *une distance [...] continuellement accrue [...] entre le savoir enseigné et le savoir scientifique* ». A la disparition de l'AU correspond ce que Bécu-Robinault désigne par « *l'absence de vision transphénoménologique* ». Du fait de cette absence, Bécu-Robinault juge le programme de 1988 comme une perte, « *une entrave à l'élaboration de [la] propriété de conservation par les élèves* ».

Le programme de 1992 présente une **innovation remarquable** dans l'enseignement de l'Energie. Ce programme opère un retour très fort vers l'AU, tout en conservant l'AP de manière intégrée. Globalement, l'AU se présente dans les deux parties consacrées à l'Energie. D'abord l'AU donne lieu à la présentation d'une synthèse de l'Energie centrée sur le principe de conservation de l'énergie. Elle introduit précisément un ensemble organisé de notions énergétiques. Puis ces notions servent à étudier l'Energie dans différents domaines par l'AP. A la différence des programmes précédents, l'Energie couvre la plupart du contenu. Pourquoi une telle place donnée à l'Energie ?

On peut expliquer l'importance si forte donnée en 1992 à l'Energie par la conjonction de différents facteurs : une volonté de se sortir résolument des conditions dans lesquelles le programme de 1988 a placé l'Energie, le travail de multiples instances de réflexion qui renouvelle la volonté de réforme profonde manifestée du temps de la Commission Lagarrigue avec la recherche d'un enseignement plus proche de la façon dont la physique utilise le concept d'énergie.

L'enseignement de l'Energie peut être une réponse aux objectifs de formation en physique :

« L'enseignement doit faire ressortir que la physique est un élément de culture essentiel en montrant que le monde est intelligible et que l'extraordinaire richesse et complexité de la nature et de la technique peut être décrite par un petit nombre de lois physiques universelles [...] » (Programme de 1992).

ainsi qu'aux objectifs de formation générale :

« L'un des objectifs désormais assignés à l'enseignement est de préparer les élèves à participer aux choix politiques, économiques, sociaux, voire d'éthique ». (Hulin N., 1996b, p.116).

Du fait des projets d'organisation de l'enseignement issus des travaux des didacticiens, il existe des synthèses du thème de l'Energie disponibles qui ont une légitimité épistémologique. Les noosphériens peuvent alors le considérer comme un des thèmes conducteurs porteurs du caractère universel :

« Dans les programmes de physique de chaque classe figure un thème conducteur, en seconde lumières et sons, en première mouvements et énergie. » (Document d'accompagnement du programme de 1992, 1993, p.8).

« Une des manières de répondre (aux objectifs énoncés dans l'annexe citée ci-dessus, entre autres) [...] consiste à construire le programme de l'année autour d'un thème conducteur choisi en raison de la maturité et de l'intérêt des élèves, de son importance pratique et de son adéquation à la progression des connaissances dans la discipline.

[...] A la fin de l'année, les élèves devraient avoir compris à la fois le fonctionnement d'objets techniques mais surtout les **lois physiques** (dans le cadre du niveau de la classe) et **leur caractère universel dégagé de l'objet.** » (idem, p.91).

Lorsque l'on considère le programme de 2000, on constate que l'Energie est à nouveau introduite dans le domaine de la Mécanique comme en 1988 : il peut sembler que ce programme opère un retour en arrière par rapport à 1992, avec une approche essentiellement particulière. Mais nous constatons que ce n'est pas exactement le cas, car le programme apporte des éléments de l'AU.

Dans les documents qui accompagnent officiellement les deux derniers programmes, les choix qui ont été faits autour de la présentation du Principe de conservation sont justifiés. Ceci peut nous permettre d'interpréter les différences relevées pour l'approche de l'Energie dans ces programmes de 1992 et de 2000.

Dans les programmes antérieurs à 1992, ce Principe et le Théorème de l'énergie cinétique ont le plus souvent coexisté. En revanche pour le programme de 1992, le choix de mettre l'accent sur le Principe de conservation de l'énergie et la prise en compte des difficultés relatives au Théorème de l'énergie cinétique fait que le premier est introduit au début et que le deuxième disparaît.

« Dans les programmes en vigueur jusqu'alors, ce théorème (de l'énergie cinétique) apparaissait comme une relation fondamentale intrinsèque et suffisante à la base de la mécanique. [...] Il permettait d'insister sur la formation des élèves à l'analyse rigoureuse d'une situation, à l'application raisonnée d'une seule et même propriété dans des situations diverses.

Dans le programme présenté, c'est l'application de la loi de conservation de l'énergie qui va pédagogiquement jouer ce rôle avec l'avantage d'embrasser un ensemble de situations plus diverses.

Dans les programmes en vigueur jusqu'alors, [...] les deux approches « théorème de l'énergie cinétique » et « conservation ou non de l'énergie mécanique » étaient exploitées. C'était en soi une difficulté importante pour les élèves de passer d'un mode d'analyse à l'autre. [...] La nouvelle présentation n'a voulu garder qu'un seul mode de raisonnement, celui qui était le plus en accord avec l'énoncé a priori du principe de conservation de l'énergie.» (Document d'accompagnement du programme de 1992, 1993, p.11)

Avec le rôle donné au Principe de conservation en 1992, l'Energie occupe une place essentielle, ce qui en soi privilégie l'AU. De plus, la mise en œuvre du Principe sur « *un ensemble de situations plus diverses* » crée les conditions favorables pour l'apparition de la propriété de transversalité de l'AU, en même temps que l'occasion que l'AP se présente. Dans le programme de 2000, face aux difficultés des élèves relatives au Principe de conservation de l'énergie, le choix change. En analysant les différentes manières de mettre en œuvre le Principe, la noosphère justifie le nouveau choix, fait au profit de la notion de système non isolé en lien avec celle de Transfert d'énergie.

« Le principe de conservation de l'énergie [...] peut être énoncé de deux façons équivalentes sur le fond, mais différentes quant à la mise en œuvre et la dynamique de compréhension.

La première considère un système isolé [...] : « A tout système dans un état donné on peut associer une grandeur appelée énergie. L'énergie d'un système isolé est constante. »

Comme on l'a vu, la recherche des différentes contributions à l'énergie d'un système n'est pas toujours simple. De plus, et c'est peut-être ici la difficulté essentielle de cette approche, dans les situations les plus simples par lesquelles on aborde le sujet, les systèmes considérés ne sont pas isolés. Pour appliquer la conservation de l'énergie sous cette forme, il faut donc identifier les systèmes avec lesquels le système choisi initialement interagit, puis considérer un système plus général qui les contient tous et qui pourra être considéré comme isolé. Cette gymnastique est difficile pour un élève, et il n'est du reste pas indispensable de s'y livrer.

Une autre façon de procéder consiste en effet à exprimer le principe de conservation de l'énergie pour un système non isolé, c'est-à-dire soumis à des transferts. C'est le choix du nouveau programme.

[...] En mettant dès le début l'accent sur le transfert d'énergie, le programme fait l'économie de la recherche d'un système isolé. » (Document d'accompagnement du programme de 2000, 2002, p.32).

Avec cette orientation, l'Energie est mise en avant par son caractère de Transfert dont on notera qu'il n'est pas historiquement une propriété principale du thème. L'AU n'est donc pas apportée en premier, mais elle est insérée dans l'AP de la Mécanique où le Travail – un mode de transfert d'énergie – est défini. En gros, l'Energie est introduite par l'AP en amenant les notions énergétiques et l'AU apparaît de manière floue.

II. Au Vietnam (de 1975 à nos jours)

II.1. Découpage en périodes : les programmes considérés

Examinons quelles périodes peuvent être significatives pour étudier l'évolution de la présentation de l'Energie depuis l'année 1975.

La période 1, de 1975 à 1992 : avant un unique programme pour tout le pays. Avant 1992, l'enseignement du Vietnam comporte deux programmes différents pour deux systèmes différents : au Nord, un système de dix ans avant l'université, au Sud, un système de douze ans. En 1980, il est décidé de passer à un même programme dans tout le pays avec un système de douze ans. Le passage à ce système programme s'est effectué sur douze ans, jusqu'en 1992. Nous n'avons pu disposer que d'un manuel de l'année 1984 au Sud pour cette période. C'est sur cette base que nous analysons le programme de 1975 (au Sud)

La période 2, de 1992 à nos jours. Elle correspond à un système et à un programme désormais uniques pour tout le pays. Pendant cette période, quelques arrangements sont faits ; ils ne sont pas destinés aux classes normales de tout le pays, mais à certaines classes spéciales. Nous analysons donc seulement le contenu principal du programme général écrit en 1992.

La période 3 : le programme de 2002. Ce programme en est encore à l'étape de l'essai.

II.2. Les programmes

II.1.1. Période 1 (1975 - 1992)

L'Energie est introduite au niveau de la classe 10^e (première classe du lycée). Le contenu de ce programme concerne uniquement le domaine de la Mécanique. Il comporte quatre parties : l'Energie apparaît explicitement dans une rubrique de la dernière partie D.

Partie A. Cinétique

Partie B. Dynamique

Partie C. Statique

Partie D. Lois de conservation

- Loi de conservation de la quantité de mouvement
- Travail et Puissance
- Lois de conservation de l'énergie
- Des applications des lois de conservation

L'Energie est donc insérée dans une partie dont elle n'est qu'un des deux objets principaux : Quantité de mouvement et Energie. Le titre de cette partie D semble indiquer qu'elle est un habitat propre à l'Energie (AU) mais son contenu est proche du domaine de la Mécanique. Les objets énergétiques introduits en premier relèvent de la Mécanique : Travail, énergie cinétique, énergie potentielle, Théorème de l'énergie mécanique. Le principe général de la conservation est abordé en dernier comme un élément de résumé. Mais ses applications interviennent pour des phénomènes de la Mécanique, par exemple pour étudier les mouvements, les chocs ou pour construire la loi de Bernoulli. Globalement, la partie « Lois de conservation » pourrait donner lieu à une présentation de l'Energie par l'AU, mais l'Energie est présentée dans une AP du domaine mécanique.

Pour les classes 11^e et 12^e, l'Energie apparaît comme étant déjà connue et elle intervient par l'AP pour étudier différents phénomènes, électriques ou d'oscillation par exemple,

II.1.2. Période 2 (1992 à nos jours)

L'Energie est aussi introduite au niveau de la classe 10^e. Ce programme comporte deux grandes parties : Mécanique, Physique moléculaire et thermique ; l'Energie est insérée dans une sous-partie de chacune d'elles :

Partie A. Mécanique

- Partie I. Cinétique
- Partie II. Dynamique
- Partie III. Statique
- Partie IV. Lois de conservation
 - Lois de conservation de la quantité de mouvement.
 - Lois de conservation de l'énergie.

Partie B. Physique moléculaire et thermique.

- Théorie cinétique des molécules et l'air idéal.
- Energie interne de l'air idéal.

Pour chacune des deux grandes parties, l'Energie n'est pas sujet principal. Elle est introduite dans la partie A en tant que l'un des objets à étudier dans le domaine Mécanique. Elle apparaît donc par l'AP dans une sous partie qui est exactement la quatrième partie D du précédent programme. En revanche, avec la nouvelle partie B, l'ajout de la rubrique « Energie interne de l'air idéal » présente clairement l'Energie dans les phénomènes particuliers de la Thermique. Globalement, dans ce programme, l'Energie est introduite par une AU insérée (sous-partie IV) dans une AP, puis elle est développée (rubrique de la partie B) dans une autre AP.

Pour les classes 11^e et 12^e, la présence de l'Energie est semblable à celle du programme précédent.

II.1.3. Période 3 (un programme à l'essai depuis 2002)

En 2002 est écrit un nouveau programme dont les manuels sont, pour le moment, en étape d'essai.

L'introduction de l'Energie se fait toujours en classe 10^e. La structure du programme ne fait plus apparaître la séparation entre Mécanique et Thermique en deux grandes parties portant ces titres : « Mécanique », « Thermodynamique ». Mais quand on observe le contenu, on voit une grande ressemblance avec celui du programme précédent. Le programme est fait de sept petites parties et l'Energie est insérée dans deux d'entre elles :

- Lois de conservation.
- Base de la Thermodynamique.

Par rapport au programme précédent de 1992, le contenu de ces deux parties ne change pas beaucoup, mais la structure ou le titre sont un peu modifiés. La partie « Lois de conservation » regroupe deux contenus principaux : Lois de conservation de la quantité de mouvement et Lois de conservation de l'énergie qui étaient séparés en deux rubriques dans la sous-partie « Lois de conservation » dans le programme 1992. En dehors des connaissances concernant les chocs, le mouvement des satellites et trois lois de Kepler qui « *sont introduits dans le contenu mécanique afin de pouvoir utiliser de manière synthétique des lois de Newton ainsi que des lois de conservation* », le contenu restant n'est pas différent. Pour la deuxième partie, le titre est changé avec l'explication : « *Si la partie « Base de la Thermodynamique » ne porte plus l'ancien titre (Energie interne de l'air idéal), c'est parce qu'elle aborde les deux principes de la Thermodynamique* ». Quelques applications sont ajoutées pour aborder des phénomènes de la vie quotidienne.

Compte tenu de toutes ces modifications l'introduction de l'Energie n'a pas changé par rapport à celle du programme précédent. L'Energie apparaît globalement **par l'AP** et **l'AU** apparaît de manière floue.

Pour les classes de 11^e et de 12^e, l'Energie intervient par l'AP pour étudier des phénomènes dans les parties Electricité et Induction électromagnétique ou Oscillations.

II.3. Bilan de l'étude des programmes

Donnons d'abord, un résumé de notre étude sous forme de tableau (Tableau 2).

Après les modifications du programme 1975 intervenues pour le programme de 1992, celles qui sont prévues dans le Programme 2003 n'influencent pas davantage la structure et le contenu de l'enseignement de l'Energie.

Dans l'entretien réalisé avec un enseignant (mis par notre questionnaire en position noosphérique), on voit bien l'expression de la tendance à présenter l'Energie par l'AP au fur et au mesure des domaines, mais non comme un thème indépendant.

« On ne peut pas avoir l'ambition de résoudre suffisamment (la question de) l'enseignement du thème d'énergie dès la classe 10^e, il faut aussi (l'enseigner) dans les classes suivantes. En 10^e, il vaut mieux présenter seulement des notions fondamentales. Quand il n'y a pas encore suffisamment de connaissances, il faut analyser des exercices (application technique, etc.) simples pour que les élèves comprennent bien les notions (travail, énergie, conservation, transfert, transformation, etc.) sur la base de certaines notions de la mécanique, la thermique, l'électricité, l'optique, qu'on a étudiées au collège. » (Entretien avec Mme Le, 20/10/2003).

Date	Classe	Rubriques du programme	Aspects présentés	Formes d'introduction	Approche
PG : 1975	10 ^e	1- cinétique 2- dynamique 3- statique 4- lois de conservation	Conservation Transformation	Travail	1- rien 2- rien 3- rien 4- AU, AP
PG : 1992	10 ^e	1- cinétique 2- dynamique 3- statique 4- lois de conservation 5- physique nucléaire et thermique	Conservation Transformation	Travail	1- rien 2- rien 3- rien 4- AU, AP 5- AP
PG2 2003	10 ^e	1- cinétique du point matériel 2- dynamique du point matériel et forces dans la mécanique 3- lois de conservation 4- mécanique des fluides 5- théorie cinétique des molécules et l'air idéal 6- Base de la Thermodynamique 7- Etats de base des matériaux	Conservation transformation	Travail	1- rien 2- rien 3- AU, AP 4- rien 5- rien 6- AP 7- rien

Tableau 2. L'enseignement de l'Energie dans les programmes du lycée au Vietnam (de 1975 à nos jours)

Dans les programmes, l'Energie est toujours introduite en étant présentée dans une rubrique titrée « lois de conservation », une propriété de l'AU. Mais le principe général de conservation de l'énergie n'est pas traité indépendamment du domaine mécanique. Il est énoncé en résumé après le principe de la conservation de l'énergie mécanique (tandis que le théorème de l'énergie cinétique apparaît encore avant). Finalement, si nous disons qu'une telle présentation fait insérer l'Energie par l'AU dans l'AP, on a globalement de l'AP, tandis que l'AU se manifeste essentiellement grâce au découpage en rubriques, avec le titre « lois de conservation ».

III. Conclusion

Ces analyses nous ont permis d'examiner l'existence des deux approches de l'Energie dans les programmes du lycée en France et au Vietnam. Inversement l'analyse en termes d'approches permet d'avoir des caractéristiques du contenu de ces programmes et des changements relatifs à l'Energie.

En France, de 1957 à nos jours, chaque changement de programme a concerné l'enseignement de l'Energie. D'un programme à l'autre, des modifications notables se jouent autour des deux approches que nous avons définies, en particulier avec leur ordre. Le Principe de conservation à un rôle important dans la présentation de ces deux approches. Avec le programme de 1992, l'AU occupe une position remarquable.

Au Vietnam, en termes d'approches, le changement des programmes ne modifie pas le traitement de l'Energie. Elles apparaissent toutes les deux mais l'AU est toujours insérée dans l'AP et a une présence très ténue.

III.1. Réflexion à propos des réformes

Pour les changements intervenus dans la période que nous avons appelée « l'après Commission Lagarrigue », le physicien M.Hulin² fait un constat d'échec provenant de difficultés qui existent à la fois du côté des élèves et du côté des enseignants :

« Mais, en fait, il y aura un constat d'échec. Les travaux des didactiques de la physique permettent d'en comprendre certaines raisons qui tiennent essentiellement à ce que la démarche « heurte profondément les habitudes de pensée et d'action des élèves, et que les enseignants, à tous les niveaux, sont le plus souvent impuissants à les amener sur le terrain de l'analyse scientifique des concepts, des relations, des phénomènes » [Hulin M., 1988a, p.328] » (Hulin N, 1996a, p.65).

La réflexion de chercheurs impliqués dans des projets d'enseignement rejoint le propos ci-dessus. Ainsi, dans le bilan des difficultés qu'ils ont rencontrées pour la mise à l'essai de leur projet (cf. ch.A.1), Lemeignan et Barais (1992) rappellent l'importance des difficultés que connaît globalement l'enseignement de la physique à la fin de ces années 1980. Ils indiquent que ce sont « *essentiellement des problèmes de choix curriculaires en relation avec les objectifs de formation poursuivis et des problèmes de formation des enseignants* ».

Ce qui retient fortement notre attention à propos de formation des professeurs est une analyse de N.Hulin relative aux réformes et aux changements de programmes. Elle considère ces changements en termes de décalage en les décrivant sous le titre : « *Décalage entre les mesures décidées pour l'enseignement secondaire et la formation des professeurs* »

« Les enseignants ne sont pas préparés à la nouvelle pédagogie prônée par la réforme Fortoul qui établit la « bifurcation des études » sous le Second Empire, et ce sera une des causes de l'échec. Les recommandations pour inclure dans l'exposé du cours un « *aperçu de la marche de la science* » ne sont accompagnées d'aucune mesure au niveau de la formation des enseignants, tant en 1854 qu'au début des années 1980 ». (Hulin N, 1993, p.68).

Notre projet général est d'avoir des éclairages sur les difficultés des enseignants actuels dans l'enseignement de l'Energie. Nous faisons l'hypothèse qu'en France, à l'occasion de la réforme de 1992, ces problèmes de formation des enseignants soulevés par les changements des années 1980 perdurent.

L'invitation de N.Hulin à examiner les changements sous l'angle des décalages entre les mesures décidées et la formation des enseignants nous conduit à considérer l'enseignement universitaire à la base de la formation. En particulier, nous soulignons que si l'AU est très présente au lycée avec le programme novateur de 1992, il semble que ce ne soit pas le cas à l'université. D'où un décalage possible. Dans la suite de notre travail, nous nous interrogeons sur de tels décalages entre l'enseignement secondaire et l'enseignement universitaire et leur conséquence en termes de difficultés pour les enseignants, aussi bien en France qu'au Vietnam.

² Michel Hulin a joué un rôle de premier plan dans la noosphère de cette époque.

III.2. Hypothèse et questions initiales

Comme à l'université, l'enseignement de la Physique est découpé en cours se rapportant à des domaines, nous supposons a priori que l'Energie y apparaît pour l'essentiel avec l'Approche Particulière. Nous faisons l'hypothèse que l'absence à l'université d'Approche Universelle, ou encore qu'un manque de synthèse dans le thème de l'Energie, constitue un élément majeur de décalage possible, entre la formation initiale des enseignants et l'organisation au lycée, à partir de 1992, des savoirs sur l'Energie.

Q1 – « deux approches » : Qu'en est-il des deux approches AU et AP dans les enseignements dispensés à l'université et au lycée, en France et au Vietnam ? Quelles sont les caractéristiques respectives de leur forme de présence ? Quelles sont les différences entre ces formes de présence ?

Q2 – « décalage » : Les différences de traitement de l'Energie constituent-elles des décalages entre l'organisation des savoirs présents dans la formation des enseignants et au lycée ?

Q3 – « difficulté » : De tels décalages peuvent-ils expliquer certaines difficultés d'enseignement du concept d'énergie (difficultés particulièrement visibles chez les jeunes enseignants) ?

CHAPITRE A.3

Cadre théorique

Notre sujet d'étude est l'Energie et notre questionnement concerne les difficultés des professeurs dans l'enseignement de ce thème. Dans la conclusion du chapitre précédent, nous avons avancé que dans le cas de la **France**, dans le contexte des changements de programme intervenus après la **réforme de 1992**, les difficultés des professeurs pouvaient provenir de décalages entre l'enseignement universitaire, base de la formation, et l'enseignement au lycée.

Notre projet est de mettre en évidence les écarts et les cohérences entre les savoirs sur l'Energie à enseigner au lycée et les savoirs universitaires qui servent de référence aux professeurs. Pour cela nous comparerons le traitement de l'Energie dans la formation des futurs professeurs et dans l'enseignement au lycée, en France, après la réforme de 1992.

Dans le cas du Vietnam, nous avons vu que l'enseignement au lycée n'avait pas connu de changement notable. Toutefois, il est intéressant, ne serait-ce que pour connaître les conditions de la formation des professeurs, d'examiner comment l'Energie est traitée dans la formation. De plus, nous avons pour hypothèse de travail que de manière générale la comparaison de deux systèmes peut faire davantage ressortir les caractéristiques de chacun d'eux. Nous étudierons le traitement de l'Energie dans la formation des futurs professeurs et dans l'enseignement au lycée, au Vietnam.

Nous mènerons donc des analyses dans **deux cas**, la France et le Vietnam, et **deux contextes**, la formation des futurs enseignants et l'enseignement de l'Energie au lycée.

Nous nous appuyerons sur la Théorie Anthropologique de Chevallard (1989, 1992). Elle nous fournira des outils pour structurer notre étude, préciser notre questionnement et juger de la valeur des réponses que nous apporterons.

Dans ce bref chapitre, nous allons d'abord délimiter notre domaine d'étude afin de nous placer dans des contextes équivalents, d'un cas à l'autre, et dans des conditions qui permettent la comparaison, d'un contexte à l'autre. Puis nous présenterons les éléments de la Théorie que nous mettrons en œuvre dans la suite de notre travail.

I. Délimitations du terrain de l'étude

Pour le contexte de l'enseignement au lycée, les études que nous avons menées au chapitre A2 nous conduisent à nous limiter respectivement à la **classe de Première S en France**, où l'Energie est introduite et où l'importance de ce thème implique un investissement important des enseignants, à la **classe de 10^{ème} au Vietnam** où l'Energie est introduite. Avec cette délimitation, les études de programmes menées au chapitre A.2 et le repérage historique présenté au chapitre A.1, nous conduisent à nous intéresser particulièrement à trois domaines, la Mécanique, l'Electricité, la Thermodynamique, dans lesquels les phénomènes énergétiques sont étudiés par l'une ou l'autre des approches AP et AU.

I.1. Délimitation relative à la formation de l'enseignant

I.1.1. Formation des enseignants en France

Pour devenir un professeur de physique des lycées et collèges, un étudiant français doit être au moins titulaire d'une licence.

Aux niveaux du DEUG³ (à partir de 2003, on parle des deux premières années de licence) et de la licence (3^e année de licence) il fait des études « pures » de Physique. Il prépare éventuellement le concours de recrutement des professeurs du second degré (CAPES⁴) à l'IUFM⁵. Ultérieurement après la réussite au concours, à l'IUFM, durant un stage d'un an, il reçoit une formation spécifique pour le métier d'enseignant. C'est au sein du DEUG, formation commune à tous les étudiants en Physique, que la base de la Physique est construite.

Pour cette raison, nous nous limitons à considérer seulement **l'enseignement de la Physique au niveau du DEUG** et à étudier ce que les futurs enseignants français peuvent acquérir dans leur formation comme bases fondamentales de la physique.

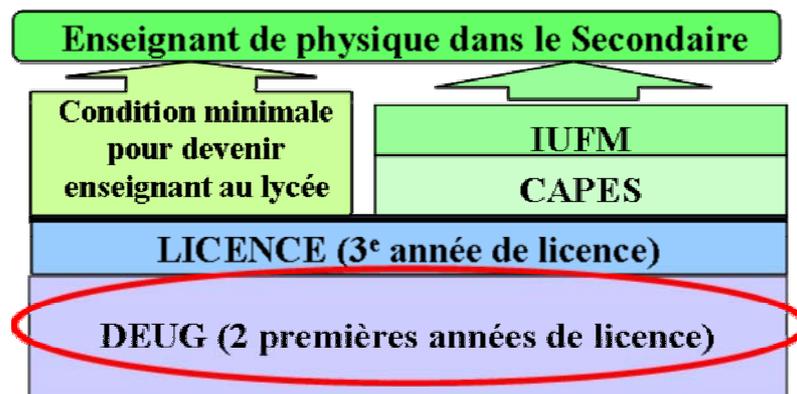


Figure 1. La délimitation relative à la formation (en France)

Pour devenir un enseignant de physique dans le Secondaire, un étudiant français peut effectuer différents parcours. Nous nous limitons à l'étude du niveau DEUG qui est la voie commune.

I.1.2. Formation des enseignants au Vietnam

Au Vietnam, il existe des universités pédagogiques (ou, dans un très petit nombre de cas, l'équivalent d'une faculté dans une grande université) où la formation des enseignants de lycée s'effectue pendant quatre ans.

Comme en France, c'est au cours des deux premières années qu'en dehors des études de mathématiques, de chimie et d'un tronc commun (psychologie, langue étrangère, politique etc.), l'étudiant acquiert les bases de la Physique dans les domaines auxquels nous nous intéressons : Mécanique, Electricité et Thermodynamique. Pendant deux années encore, pour la discipline « Physique », il continue à étudier des domaines comme la Mécanique théorique, la Mécanique quantique, etc.

³ DEUG : Diplôme d'Etudes Universitaires Générales

⁴ CAPES : Certificat d'Aptitude au Professorat d'Enseignement Secondaire

⁵ IUFM : Institut Universitaire de Formation des Maîtres

Pour être cohérent avec les domaines de la Physique du contexte lycée, nous nous limitons au **deux premières années à l'université pédagogique**.



Figure 2. Délimitation relative à la formation (au Vietnam)

Pour devenir un enseignant de physique au lycée, un étudiant vietnamien doit passer quatre ans à l'université pédagogique. Nous nous limitons à étudier le niveau de deux premières années.

I.2. Délimitation relative aux domaines de la Physique

Dans les paragraphes précédents, nous avons mis en avant **trois domaines** que, de fait, nous avons choisis, en cohérence avec notre délimitation à l'intérieur des contextes : *Mécanique*, *Electricité et Thermodynamique*. Nous avons pris appui sur les découpages traditionnels de la Physique dans l'enseignement. Prenons ici le temps de reconsidérer ce choix.

La Physique comprend plusieurs domaines. Suivant l'Atlas de la Physique (1997), elle est divisée en deux catégories de domaines :

- Macrophysique, comprenant Mécanique, Electricité, Thermique, Optique, Acoustique, Magnétisme et une partie de la Physique du solide.
- Microphysique, (le reste de la Physique du solide) comprenant Physique des cristaux, Physique moléculaire, Physique atomique, Physique des ions, Physique nucléaire et Physique des particules élémentaires.

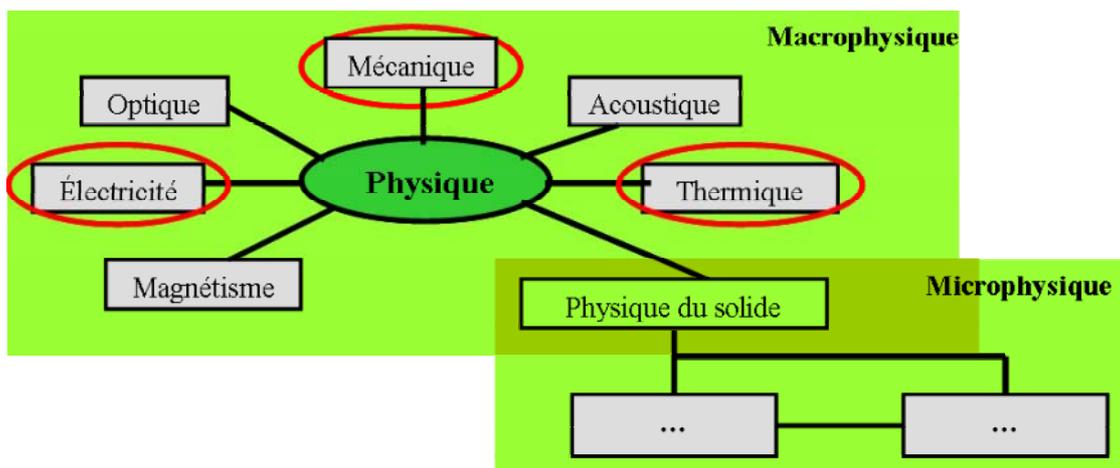


Figure 3. Délimitation relative aux domaines de la Physique : Extrait du Schéma des domaines de la Physique dans l'Atlas (1997) et 3 domaines (encerclés) dans notre délimitation

Remarquons que, selon l'Atlas, ces trois domaines ainsi que les autres domaines de la première catégorie sont les domaines de la Physique classique, tandis que la deuxième catégorie est plus proche de la Physique moderne. Ces trois domaines sont la base de la Physique. Ils se constituent dès le premier temps de la formation de la Physique en plusieurs

domaines. En suivant, par exemple, le tableau chronologique d'histoire des sciences de Chiesa et al. (1997), on peut retrouver l'émergence de la Mécanique vers le début du 17^{ème} siècle par des travaux de Galilée ; celle de Gaz et Chaleur avant 1700, avec les recherches de Papin ; celle d'Electricité-magnétisme après 1700 par plusieurs travaux de Guericke, Gray, etc. Et quand l'Energie émerge à son tour, elle relie ces trois domaines.

I.3. Délimitation relative aux dispositifs d'enseignement

Chez l'apprenant en Physique, élève ou étudiant, bien des éléments ou des dispositifs contribuent à la construction des connaissances : le cours théorique, les travaux dirigés, les travaux pratiques et aussi la vie quotidienne (discussions entre apprenants, entre élève ou étudiants et enseignants, avec leur famille, etc.). Nous ne pouvons pas envisager tous ces éléments et leurs diverses influences. Nous avons choisi d'analyser **le cours théorique**.

En général –de manière classique– le cours théorique représente la charpente de l'ensemble connaissances à acquérir. Nous faisons l'hypothèse que :

- Le cours théorique donne une vue globale de ce qui est apporté à l'étudiant. Dans le cours théorique, les connaissances envisagées sont en général structurées et complètes (relativement aux délimitations proposées par les programmes). Ce n'est pas le cas dans les travaux dirigés ou les travaux pratiques.
- Le manuel est une représentation (un modèle) des cours théoriques possibles ou effectivement dispensés.

C'est pourquoi, nous faisons le choix d'étudier des *manuels* de chacun des deux contextes.

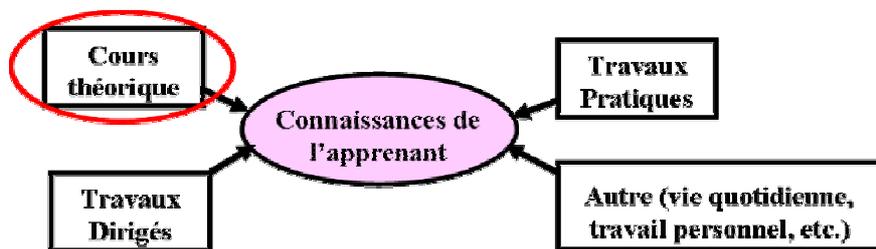


Figure 4. Délimitation relative aux dispositifs d'enseignement.

Entre plusieurs éléments contribuant à construire des connaissances chez des apprenants, nous nous limitons à étudier des cours théoriques qui représentent la charpente de l'ensemble des connaissances à acquérir.

II. Cadre théorique de référence

II.1. Théorie Anthropologique

Cette théorie a trois termes primitifs : les objets (O), les personnes (X), et les institutions (I).

La notion élémentaire est celle d'objet. Tout peut être considéré comme objet : la fonction logarithme est un objet (mathématique), mais il y a aussi l'objet « école », l'objet « professeur », l'objet « apprendre », l'objet « savoir » etc.

Une institution peut être l'école, la famille. Ce peut être aussi une classe, un cours, une séance de travaux pratiques. Ce peut être également la vie quotidienne.

Le-Van (2001) a fait un bon résumé sur ces trois termes et les relations qu'ils entretiennent :

« Cette théorisation s'appuie sur trois termes primitifs : *les objets, les individus et les institutions*. Tout peut être considéré comme objet. Un objet de savoir O existe dès lors qu'un individu X ou une

institution I reconnaît O comme existant. On dira alors que X (ou I) connaît O. Plus précisément, O existe pour X (ou X connaît O) s'il existe un *rapport personnel* de X à O. Ce rapport personnel est en quelque sorte l'ensemble des interactions que X peut entretenir avec O [...]. Autrement dit, le rapport personnel à O précise la manière dont X connaît O. De même, un objet de savoir O existe pour une institution I s'il existe un *rapport institutionnel* de I à O. Ce rapport institutionnel « énonce, en gros, ce qui se fait dans I avec O, comment O y est mis en jeu ; ou encore, en termes plus imagés, ce qu'est le "destin" de O dans I. » (Chevallard, 1989) » (Le-Van, 2001, p.31).

Le rapport personnel de X à O est désigné par $R(X,O)$, le rapport institutionnel de I à O est désigné par $R_I(O)$.

Tout *objet de savoir* est attaché à une institution au moins. En conséquence, « *un individu ne peut être en rapport avec un savoir qu'en entrant en relation avec une ou des institutions* ». (Chevallard, 1992).

En entrant dans une relation avec une institution I, la personne X devient alors le sujet de l'institution I. Une personne peut être sujet de plusieurs institutions.

Et dans une institution, il peut avoir des positions p différentes selon lesquelles différents rapports institutionnels désignés par $R_I(p, O)$ peuvent être entretenus. Finalement :

« [...] la personne X n'est rien d'autre que *l'émergent d'un complexe d'assujettissements institutionnels*. Ses rapports personnels s'élaborent, ou se voient entravés, par ces contraintes que constituent les rapports $R_I(p, O)$ - qui désignent ce que *devrait* être idéalement le rapport personnel du (pur) sujet de I en position p dans I. (Au grand dam des institutions, ce pur sujet, ce sujet de l'imaginaire institutionnel, n'existe pas : paradoxalement, en s'assujettissant à I, la personne X conserve une part de liberté parce qu'elle est assujettie à d'autres institutions I) ». (Chevallard, 1985).

On peut qualifier une personne X de « plus ou moins » *bon sujet* d'une institution. Une personne X se révèle être un bon sujet de l'institution I relativement à l'objet institutionnel O lorsque son rapport personnel $R(X, O)$ peut être jugé conforme au rapport institutionnel $R_I(O)$.

II.2. Notre placement dans le cadre de la théorie anthropologique

Le travail que nous voulons engager s'interprète comme une étude de rapports institutionnels. Il est clair pour nous que l'Energie est un *objet*. Nous nous focalisons sur les difficultés rencontrées par les enseignants des lycées comme *personnes*, spécialement les jeunes enseignants qui viennent de l'université pour s'engager dans leur métier. Le *rapport personnel à l'objet Energie de l'enseignant* se construit sous la contrainte de deux *rapports institutionnels* : celui du lycée (où le personne enseigne) et celui de l'université (où la personne s'est formée dans la discipline). La caractérisation des rapports institutionnels permet d'avoir une base pour comprendre comment se constitue le rapport personnel des enseignants. Les décalages entre les savoirs, les difficultés que peuvent rencontrer les enseignants peuvent être repérés et exprimés en termes de rapports institutionnels et de conditions de l'organisation de leur rapport personnel à l'Energie.

Description des objets élémentaires en référence à la théorie de Chevallard

- **Personne X** : l'enseignant de physique au lycée dans deux positions :

- p_e : enseignant de physique au lycée
- p_{Fe} : étudiant à l'université, enseignant en formation initiale.

- **Institution I** : le manuel du cours théorique de physique des deux contextes pour les deux pays (France et Vietnam):

- I_L : manuel de Physique de 1^{ère} S en France / manuel de Physique de classe 10^e au Vietnam.
- I_U : manuel des disciplines Mécanique, Electricité et Thermodynamique pour le DEUG en France et pour les deux premières années à l'université pédagogique au Vietnam.

- **Objet O** : Energie. Il devient O_L , O_U , les objets institutionnels correspondant aux institutions I_L , I_U .

Notations

- Rapport institutionnel de l'Energie O dans l'institution I_y pour les différentes positions de l'enseignant. Le rapport institutionnel est représenté par $R_i(p,O)$ lorsqu'il n'y a pas lieu de distinguer des positions. Ici, nous analysons deux institutions différentes et deux positions différentes. Pour bien distinguer ces rapports institutionnels, nous les représentons par la notation $R_{i_y}(p_x, O_y)$ avec $x =$ enseignant (e) ou enseignant en formation initiale (Fe) ; $y =$ lycée (L) ou université (U).
- $R(X, O_y)$: Rapport personnel de l'enseignant avec l'Energie O correspondant à l'institution I_y .

Schéma de recherche

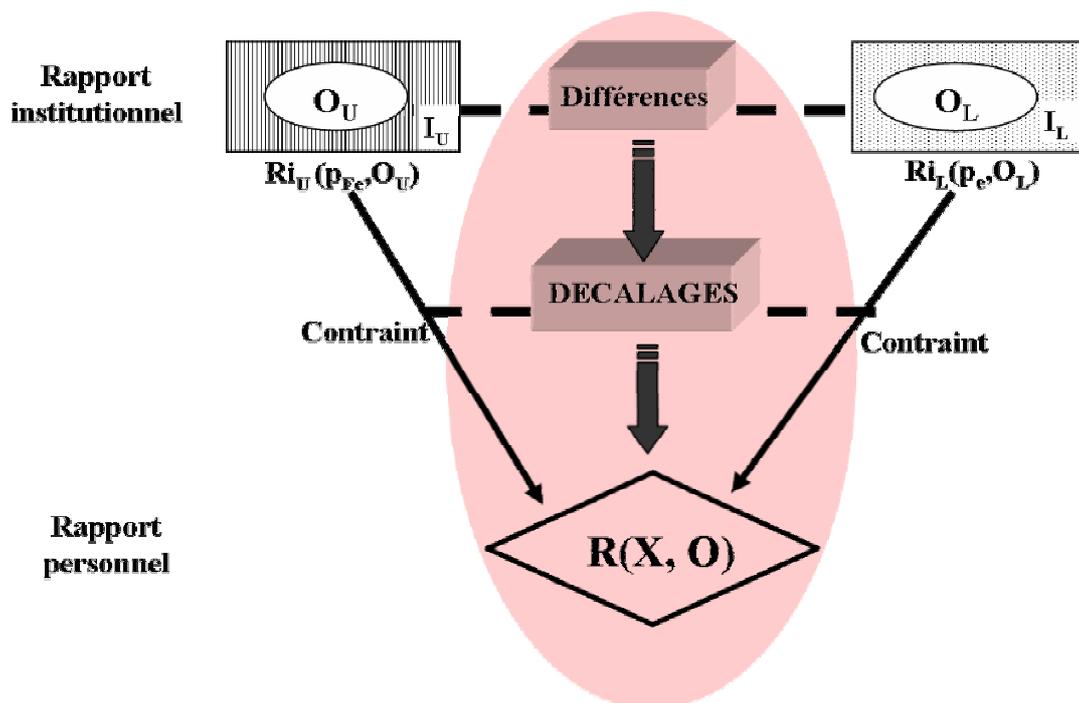


Figure 4. Placement dans la théorie anthropologique de Chevallard

C'est par la comparaison des rapports dans les institutions U et L que nous cherchons à cerner les difficultés possibles dans le rapport personnel $R(X,O)$ de l'enseignant à l'objet Energie. Les analyses de manuels permettent de dégager le rapport institutionnel de l'Energie dans chaque institution, l'institution de formation et le lieu de l'enseignement. Le rapport personnel de l'enseignant est, lui, sous « la contrainte » de ces deux rapports institutionnels. Nous nous intéressons particulièrement aux différences et aux décalages qui peuvent exister d'un rapport institutionnel à l'autre.

Notre travail se déroulera en deux temps :

- 1) Analyse de manuels des deux institutions U et L pour dégager les rapports institutionnels qui « contraignent » le rapport personnel de l'enseignant à l'objet Energie (Parties B et C).
- 2) Expérimentation directe pour examiner des contraintes au rapport personnel de l'enseignant à l'Energie.

II.3. Rapport institutionnel, analyse écologique

Comment décrire le rapport institutionnel de l'Energie dans les différentes institutions ? Le développement de la théorie anthropologique conduit à mettre en avant l'apport de l'analyse écologique. Celle-ci établit une analogie avec l'écologie en considérant les objets de savoir comme des êtres vivants, ayant des destins marqués par l'histoire particulière de chacune des institutions. Nous choisissons cette analyse pour faire apparaître le rapport institutionnel.

En écologie des savoirs, on distingue deux notions qui guident l'analyse : l'**habitat** et la **niche** d'un objet.

« Notion d'habitat en écologie des savoirs : *L'habitat* est caractérisé par les lieux de vie et l'environnement conceptuel d'un objet de savoir. Il s'agit, pour l'essentiel des objets avec lesquels il interagit, mais aussi des situations d'enseignement dans lesquelles il apparaît, des manipulations et expériences auxquelles on a recours, de l'espace de problèmes et d'exercices auquel on se réfère de manière privilégiée. Il s'agit encore de la classe, du type de section, de la population des élèves, de la personne de l'enseignant. [...] »

Notion de niche en écologie des savoirs : La *niche* écologique est définie par la fonction que remplit l'objet dans le système des objets avec lesquels il interagit. » (Robardet, 2000).

L'articulation de ces deux notions permet de définir une méthodologie pour décrire le rapport institutionnel de I à O : il s'agit d'examiner en quels lieux dans I l'objet O est présent, et dans les différents lieux où O est présent, quels sont les autres objets présents, quelles relations ils entretiennent entre eux, quel est le rôle de O dans le système d'objets avec lesquels il est en relation. Ainsi, il est possible de rendre compte « du ou et du comment on a affaire avec cet objet », « de ce qui se fait avec l'objet » autrement dit du rapport institutionnel à d'un objet.

Les notions et méthodes écologiques poussent à s'interroger sur l'existence des objets :

« La problématique écologique se présente, d'emblée comme un *moyen de questionner le réel*. Qu'est-ce qui *existe*, et *pourquoi* ? Mais aussi qu'est-ce qui *n'existe pas* et *pourquoi* ? Et qu'est-ce qui *pourrait* exister ? Sous quelles *conditions* ? Inversement, étant donné un ensemble de conditions, quels objets sont-ils poussés à vivre, ou au contraire sont-ils empêchés de vivre dans ces conditions ? » (Artaud, 1998, p.1).

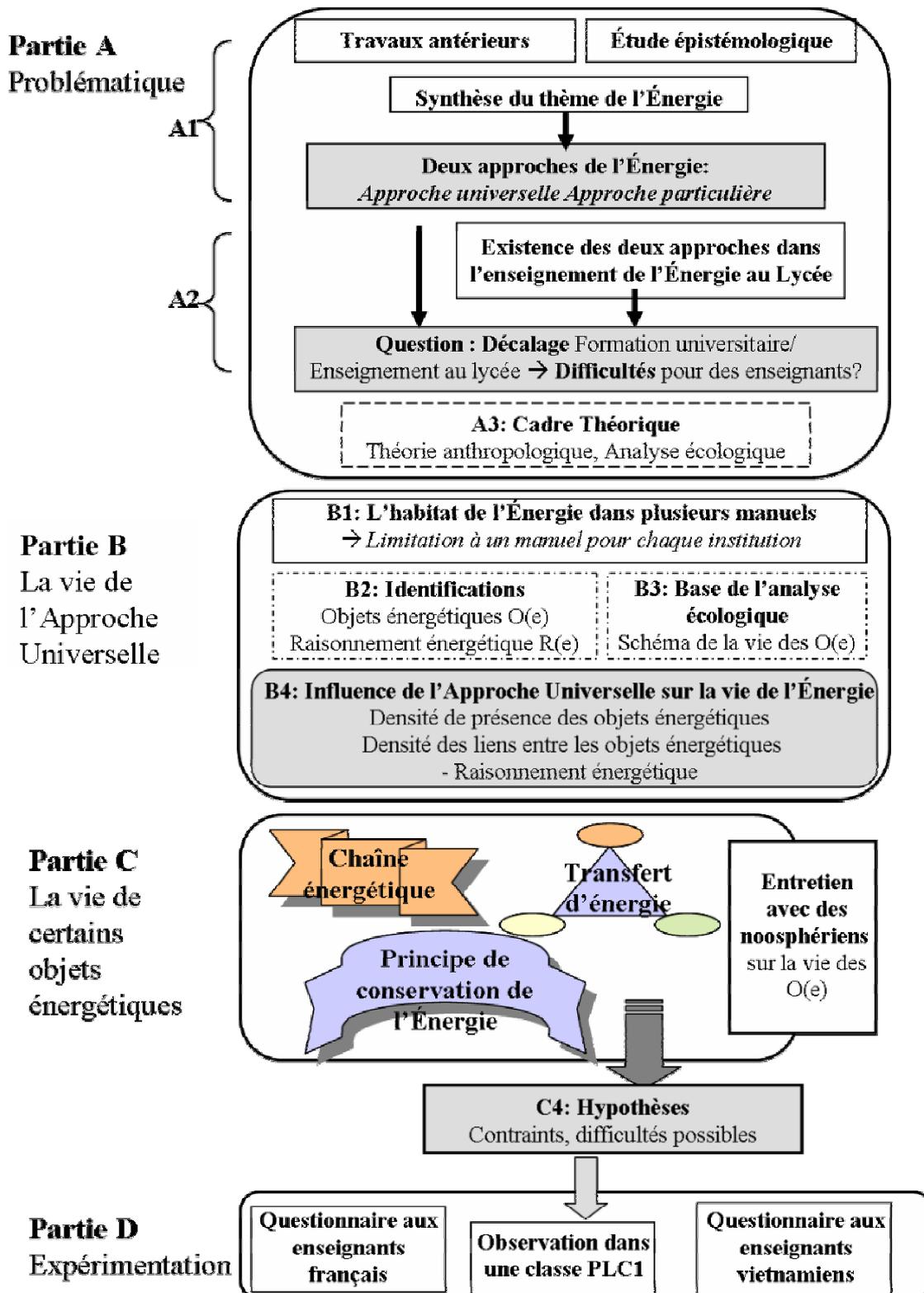
En amenant à étudier les conditions d'existence des objets, l'analyse écologique permet de mieux cerner les relations entre objets et de comparer leurs modes de vie en différentes institutions, soit encore à comparer les différents rapports institutionnels.

En référence à ces éléments théoriques, nous réalisons une analyse écologique de manuels de lycée et de l'université, en France et au Vietnam. Ce sera l'objet de la partie B.

Nous chercherons à rendre compte de la vie de l'Energie dans les manuels des différentes institutions choisies. Nous nous demanderons en particulier si des différences dans la vie de l'Energie constituent des décalages qui rendent compte de difficultés chez les enseignants.

Pour répondre au questionnement écologique, nous serons amenée à développer, en lien avec l'outil général des Approches AU et AP déjà mis en œuvre au chapitre A.2, des outils d'analyse plus adaptés localement à notre objet d'étude, l'Énergie.

III. Organigramme de Thèse



Partie B
Vie de l'Energie avec deux approches dans
différentes institutions

Introduction de la partie B

Dans cette partie B, il s'agit d'engager une première réponse aux questions que nous avons posées dans la partie A. Nous étudions l'existence des deux approches AU et AP dans les manuels des institutions Lycée et Universités, en France et au Vietnam. Nous nous intéressons particulièrement à la vie de l'Approche Universelle et aux influences qu'elle exerce dans la vie de l'Energie.

Dans le chapitre B.1, nous rendons compte de manière comparative de l'habitat du thème de l'Energie dans les manuels des différentes institutions. Ses résultats nous permettront de limiter les manuels pour les analyses menées à partir du chapitre B.3.

Le chapitre B.2 nous fournit des références et les outils « objets énergétiques » et « raisonnements énergétiques » pour l'analyse des formes de vie de l'Energie, en particulier de l'Approche Universelle.

Le chapitre B.3 présente la méthodologie d'une analyse brute qui fournit une description systématique de la vie des objets énergétiques dans les différents manuels. Ses résultats seront une base de travail pour toute la suite de notre analyse écologique (B.4 et partie C).

A l'aide des éléments issus du chapitre précédent, nous étudions dans le chapitre B.4 les influences de l'Approche Universelle sur l'organisation des savoirs de l'Energie.

CHAPITRE B.1

Place officielle de l’Energie.

Un premier niveau d’analyse

Dans ce chapitre, nous rendons compte, de manière comparative, de la présence de l’Energie dans différents manuels de différentes institutions. Nous nous intéressons aux lieux où l’Energie apparaît explicitement, ou encore à son habitat explicite, ainsi qu’à l’importance de l’Energie dans ces lieux.

Cette analyse écologique de premier niveau est un point de départ pour les études ultérieures : elle fournit une première vue très globale de l’existence de l’Energie dans les manuels et ses résultats nous permettront de choisir des documents pour les analyses plus fines qui suivront.

I. Manuels étudiés

Université en France

Comme nous l’avons précisé au Chapitre A.3, nous délimitons les domaines de la Physique à étudier au niveau universitaire car ils n’apparaissent pas tous au Lycée. Nous restreignons notre analyse aux trois domaines: Mécanique, Electricité et Thermodynamique.

Nous choisissons trois collections. Dans chacune, une série de livres englobe les trois domaines que nous voulons étudier. Les autres éditeurs ne font pas de telles séries. Ils éditent des livres isolés. L’un, par exemple, édite seulement un livre du domaine mécanique, un autre ne publie qu’un livre d’électromagnétisme. Nous supposons que le fait d’être réunis en une même série assure une cohérence ou un point de vue commun sur l’Energie entre des livres portant sur des domaines distincts.

- Editeur Masson – Collection de premiers cycles, licence (3 livres : Mécanique - 1997 ; Electromagnétisme - 1997 ; Thermodynamique - 1997)
- Editeur Dunod – Collection de premiers cycles universitaire (4 livres : Mécanique des solides- 2000 ; Mécanique du point - 1993 ; Les bases de l’électromagnétisme - 1996 ; Introduction à la thermodynamique - 1994).

Editeur InterEditions – Collection Physique générale (2 livres : Mécanique et thermodynamique -1991 ; Champs et ondes - 1992)

Les séparations en domaines sont différentes mais les trois séries recouvrent complètement les trois domaines. Pour la collection Masson, chaque livre correspond à un domaine. Dans la collection Dunod, le domaine de la Mécanique comprend deux livres. Pour la collection d’InterEditions, la Mécanique et la Thermodynamique sont étudiées dans le premier livre, l’Electricité dans le deuxième, dans la partie Champs.

Lycée en France

Au chapitre A.3, nous avons justifié notre choix d’analyser des manuels de Première S. Nous questionnant sur les difficultés actuelles des enseignants, nous prenons en compte, bien évidemment, des manuels du programme de 2000, actuellement en vigueur. Nous étudions aussi des manuels du programme de 1992. En effet, si le programme de 2000 présente une sorte de retour arrière par rapport au programme innovant de 1992, à ce point de notre étude,

nous le considérons comme très lié au programme de la réforme de 1992. D'ailleurs, le programme de 2000 comporte finalement les notions propres à l'Energie qui figuraient dans celui de 1992.

Le choix de retenir trois mêmes collections de manuels pour chacun des deux programmes est une limitation qui permet une représentation globale de l'enseignement :

- Editeur Hachette - Collection Durandea (1994 et 2001)
- Editeur Bréal (1994 et 2001)
- Editeur Bordas – Collection Galileo (1994 et 2001).

Université au Vietnam

A l'Université vietnamienne, les cours ne font pas généralement l'objet d'édition. Nous avons pris comme référence deux collections complètes et deux manuels indépendants :

- « Physique générale », Edité par le Ministère de l'éducation (2 tomes : Mécanique-Thermodynamique-2003 ; Electricité-Oscillations-Ondes-2003).
- « Physique générale », Edité par l'Université Nationale de Hanoi (2 tomes : Mécanique-Thermodynamique-1999 ; Electricité-Oscillations-Ondes-1999).
- « Cours de Mécanique », LY Vinh Be (2004), Université Pédagogique de HoChiMinh ville, Faculté de Physique.
- « Cours de Mécanique et Thermique », NGUYEN Nhat Khanh (1999), Université des Sciences naturelles de HoChiMinh ville.

Comme dans le cas français, nous avons choisi des collections car elles couvrent les trois domaines que nous voulons étudier. Les deux autres manuels qui ne présentent qu'un ou deux domaines seulement sont les plus utilisés au Sud du Vietnam où nous avons fait notre expérimentation. Cependant, comme ces deux manuels n'appartiennent pas à une série, il est plus difficile de mener une analyse écologique comparative. Ces deux ouvrages ont été utilisés comme ouvrages de référence : nous avons vérifié que le résultats obtenus pour l'analyse des deux collections est cohérente avec les savoirs présentés dans ces deux ouvrages.

Lycée au Vietnam

Au Vietnam, nous avons analysé trois programmes de 1975 à 2003. Les manuels du programme de 2003 étant actuellement en période d'essai, nous ne disposons pas encore du manuel officiel correspondant à ce programme. Nous analysons donc le manuel du programme de 1992 qui est, encore pour le moment, utilisé dans la plupart des lycées. En outre, même l'Energie apparaît dans les trois classes du Lycée mais lors de son introduction en classe de 10^{ème}, elle est considérée de manière détaillée. Comme un manuel unique est utilisé pour tout le pays, nous n'avons pas de choix à faire.

- Physique classe de 10^{ème} – Edité par le Ministère de l'éducation (2003).

II. Méthodologie de l'analyse

Principe général

Nous voulons commencer par une analyse simple qui donne une première image de l'habitat de l'Energie. Il s'agit de rendre compte des lieux de présence de l'Energie dans chaque

manuel et de l'importance que celle-ci a dans ces lieux. Ce que nous désignerons par l'expression *place de l'Energie dans le manuel*.

Dans un manuel, nous repérons la présence de l'Energie par l'apparition des termes : *Energie* ou *énergétique*. Pour simplifier, nous les appelons *les termes E*. C'est une limitation car l'Energie peut aussi apparaître implicitement par d'autres termes. Mais elle empêche toute confusion avec un autre thème car les termes présentent explicitement l'Energie. Par exemple, le Travail peut être considéré comme un objet de l'Energie mais aussi du domaine mécanique. Des analyses détaillées avec différents termes appartenant à l'Energie seront présentées ultérieurement.

Pour rendre compte de la place de l'Energie dans les manuels et effectuer des comparaisons, nous menons une étude quantitative en introduisant la notion de densité d'apparition de l'Energie relative à un chapitre, la « *densité de chapitre* », notée **D** (nous donnons la formule de calcul plus loin). Le calcul de cette densité fait intervenir les occurrences des termes relativement à ce que nous appelons leur « *position dans un chapitre* ». Pour chaque manuel, nous produisons un diagramme (Annexe 1) présentant la densité pour l'ensemble de ses chapitres. Ce diagramme est une image du manuel relative à la place de l'Energie. Les numéros des chapitres du manuel sont en abscisse, la densité D est en ordonnée (maximum 1).

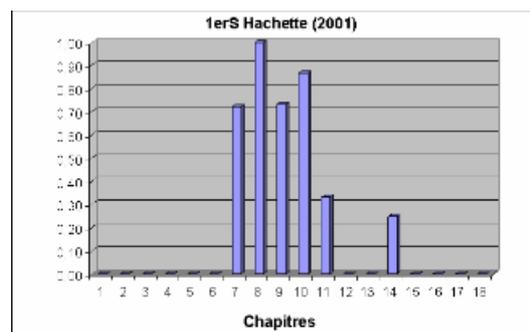


Figure 1. Exemple du diagramme de densité d'apparition de l'Energie relatif à un chapitre d'un manuel : manuel Physique de 1^{ère} S (Hachette) en 2001.

La notion de densité nous permet de comparer les places de l'Energie dans différents manuels selon leur importance en introduisant de nouveaux critères.

La hiérarchie des positions des termes d'un chapitre

Un chapitre de manuel étant donné, commençons par définir les différentes « *positions* » pour un terme E qui y figure : Titre du chapitre, Sous-titre, Texte. A chaque position nous associons un coefficient qui rend compte de son importance relative, respectivement 3, 2, 1. Précisons les positions étudiées dans un chapitre de manuel et le calcul de leur valeur :

- **Titre du chapitre** : la position la plus importante (coefficient = 3). C'est au titre qu'on reconnaît le sujet du chapitre. Si un terme E figure dans un titre, on peut penser que l'Energie est l'objet principal du chapitre. Dans ce cas, on compte l'ensemble de ces termes E pour une occurrence car l'unité à examiner est le chapitre ; sinon c'est zéro.
- **Sous-titre** : cela correspond aux parties de premier niveau de la division dans un chapitre (coefficient = 2). Par rapport au niveau chapitre, on peut parler de sous-chapitres et leurs titres sont des sous-titres. Un chapitre peut avoir plusieurs sous-chapitres. On compte tous les sous-titres comportant les termes E.

- **Texte** : cette position correspond au corps des sous-chapitres (coefficient = 1). Pour ce niveau, on ne va pas compter toutes les occurrences qui peuvent être en très grand nombre. Dès qu'on a une occurrence de terme E dans un sous-chapitre, et qu'il y en ait une ou plusieurs, on compte toujours 1. S'il n'en apparaît pas dans un sous-chapitre, on a 0. Le nombre d'apparitions est donc le nombre de sous-chapitres où les termes E apparaissent au minimum une fois dans le texte (c'est-à-dire son corps).

En nommant les positions par p_i (i = Titre, Sous-titre ou Texte), nous définissons différentes fonctions de présence du terme E (δ_i) suivant p_i .

- $\delta_i = c_i$ si le terme E apparaît dans la position p_i où c_i est le coefficient des positions ($c_{\text{Titre}} = 3$; $c_{\text{Sous-titre}} = 2$; $c_{\text{Texte}} = 1$).
- $\delta_i = 0$ si le terme n'apparaît pas.

La « valeur d'une position » est alors définie grosso modo comme le produit d'un nombre associé aux occurrences des termes E dans ladite position et la fonctions de présence du terme E.

Définition et calcul d'une densité relative D à un chapitre

Pour définir la densité D du chapitre, nous examinons toutes les occurrences de termes E, nous les classons dans les différentes positions et nous les dénombrons, ce qui nous donne les valeurs pour les différentes positions. La densité d'un chapitre est donnée par une formule :

$$\text{Densité } D = \frac{\delta_{\text{Titre}} + n \delta_{\text{Sous-titre}} + m \delta_{\text{Texte}}}{3(p+1)}$$

n : nombre de Sous-titres comportant les termes E.

m : nombre de Textes (sous-chapitres) portant au minimum un terme E.

p : nombre de Sous-titres du chapitre abordé.

Interprétation de la valeur de la densité d'un chapitre

La densité est un nombre compris entre 0 et 1.

- Si $D \geq 0,5$ l'Energie est un *thème important*. Les termes E apparaissent dans les Sous-titres (pas tous) et dans de nombreux Textes.

- Si $D < 0,5$ l'Energie est un *thème second* dans le chapitre. Elle apparaît : – soit dans les Textes mais pas dans les Sous-titres – soit très peu dans les sous-chapitres par rapport au nombre total des Sous-titres – soit très peu dans les Sous-titres ainsi que dans les Textes.

- Si $D = 0$, les termes E sont *absents* du chapitre.

Finalement, la densité D montre l'importance de l'Energie dans un chapitre d'un manuel. Le diagramme qui donne la densité des chapitres successifs rend compte de la place de l'Energie dans un manuel donné. On lit directement quels sont les chapitres qui font une part à l'Energie, quels sont ceux qui font une part importante à l'Energie. On peut lire si, une fois présente, l'Energie reste présente dans les chapitres suivants, etc.

Notions de chapitre énergétique, fortement énergétique

Nous appelons « *chapitre énergétique*⁶ » un chapitre pour lequel $D > 0$ ou encore pour lequel les termes E apparaissent au minimum une fois. Parmi les chapitres énergétiques, nous distinguons les « *chapitres fortement énergétiques* », soit encore ceux pour lesquels nous avons vu que l'Energie est un thème important ($D \geq 0,5$).

Le *pourcentage des chapitres énergétiques* par rapport au nombre total des chapitres d'un manuel, noté P , est un premier indicateur de *l'importance* de l'Energie dans le manuel : il nous montre l'étendue de la place occupée par l'Energie.

$$\text{Pourcentage des chapitres énergétiques } P = \frac{\text{Nombre des chapitres énergétique}}{\text{Nombre total des chapitres du manuel}} \times 100$$

Le *pourcentage des chapitres fortement énergétiques* par rapport aux chapitres énergétiques, noté P' , précise encore l'importance de l'Energie dans le manuel. Cette densité relative aux chapitres énergétiques nous indique la *concentration* de l'Energie dans les lieux qu'il occupe.

$$\text{Pourcentage des chapitres fortement énergétiques } P' = \frac{\text{Nombre des chapitres ayant } D \geq 0,5}{\text{Nombre total des chapitres énergétiques du manuel}} \times 100$$

Avec ces deux pourcentages, nous avons des critères quantitatifs pour la comparaison de manuels.

III. Place de l'Energie dans les manuels étudiés

III.1. Université en France (Annexe B.1, §I)

Dans chacune des trois collections, l'Energie apparaît de manière fréquente dans les trois différents ensembles de chapitres regroupant les domaines distingués. Le titre des chapitres énergétiques montrent tout de suite que le sujet qui fait apparaître l'Energie dépend des domaines : par exemple, chez Dunod, dans le domaine Mécanique l'Energie est abordée avec les phénomènes de mouvement : « Mouvement dans un champ de forces centrales newtoniennes », en Electricité, on ne parle plus de mouvement : « Circuit à inductance, résistance et capacité », et dans la Thermodynamique on s'intéresse à la température et à la chaleur : « Cycles thermodynamiques et machines thermiques ».

Les *pourcentages P de chapitres énergétiques* (Tableau 1) relatifs aux trois domaines font apparaître une ressemblance des trois collections : l'Energie occupe le volume le plus grand en Thermodynamique, au moins les deux tiers des chapitres, et il occupe le plus petit volume en Electromagnétisme (autour de la moitié des chapitres). Surtout, ces pourcentages s'ordonnent de la même manière.

⁶ Cette qualification sera remise en cause au chapitre B.3 au profit d'une caractérisation moins superficielle.

Le savoir central en Thermodynamique étant le premier principe, celui de la conservation de l'énergie, sa présentation en fait le domaine privilégié de l'Energie, ce que les titres de chapitre montrent bien : « Premier principe de la thermodynamique : l'énergie » (Masson), « Energie interne d'un système : premier principe de la thermodynamique » (Dunod), « Nouvelle formulation de la conservation de l'énergie : premier principe de la thermodynamique » (InterEditions). Et ce résultat correspond à la présentation traditionnelle de l'Energie dans les différents domaines.

La Mécanique est un lieu d'introduction de différents concepts de l'Energie, c'est pourquoi il s'y trouve des occasions de présentation variées d'une collection à l'autre. Par exemple, le premier chapitre énergétique dans le domaine Mécanique est : « Energétique d'un point matériel » (Masson), « Travail et énergie » (Dunod) et « Dynamique des hautes énergies » (InterEditions). Par contre, dans le domaine de l'Electromagnétisme, on n'a que des applications de l'Energie pour l'étude du domaine, c'est pourquoi l'apparition des termes E est accessoire. Le premier chapitre du domaine Electrique des collections qui apporte les termes E est : « Energie potentielle. Potentiel électrostatique » (Masson) ; « Le potentiel électrique » (Dunod) et « Interaction électrique » (InterEditions).

Les *pourcentages P' de chapitres fortement énergétiques* (Tableau 1) relatifs aux trois domaines diffèrent quelque peu selon les collections. Examinons maintenant les principales ressemblances et dissemblances.

Les trois collections ont en commun d'avoir un pourcentage P' pour le domaine de la Mécanique plus grand que celui de la Thermodynamique (en particulier dans la collection de l'InterEdition où c'est 0% ...). Ce fait ne signifie pas que l'Energie soit moins important dans le domaine Thermodynamique. C'est simplement que les termes E n'apparaissent pas dans les positions importantes. Ce phénomène découle de notre limitation, comme nous l'avons prévu. En effet, les objets d'étude de la Thermodynamique concernent toujours l'Energie ; c'est pourquoi, même si les termes E n'existent pas dans les positions importantes, l'Energie est abordée dans le Texte lui-même. Dans les Titres et les Sous-titres, on peut retrouver des termes appartenant au domaine Thermodynamique, mais non les termes E, et l'Energie figure alors de manière implicite. Nous examinerons ce point en détail dans les analyses des chapitres suivants.

Entre les trois collections, ce qui diffère c'est la valeur du pourcentage P' du domaine de l'Electricité. Dans la collection Masson, c'est le plus grand, mais dans les deux autres, on a 0%. Comme nous avons pu le voir ci-dessus, en précisant le mode d'existence de l'Energie dans les différents domaines, l'apparition de nombreux termes E dans les domaines Thermodynamique et Mécanique est normale. Mais ce n'est pas le cas pour le domaine Electrique. Nous remarquons que dans la collection de Masson, l'Energie est traitée très favorablement. Il apparaît systématiquement dans les positions importantes de manière explicite. Les expressions « Aspect énergétique » ou « Bilan énergétique » apparaissent plusieurs fois dans les différentes positions. L'Aspect énergétique est considéré lui aussi dans la collection de Dunod mais bien moins que chez Masson.

III.2. Lycée en France (Annexe B.1, §II)

Dans les manuels du programme de 1992, l'Energie est présente dans un lieu propre, les chapitres concernant deux parties : Conservation de l'énergie ; Bilan énergétique. Pour les manuels du programme de 2000, l'Energie est introduite dans les chapitres de deux parties :

l'une est « Force, Travail et énergie » qui se rapporte plutôt à la Mécanique, l'autre est « Electrodynamique ».

Dans les manuels du programme de 1992, le *pourcentage P des chapitres énergétiques* (Tableau 1) est toujours plus grand que dans ceux de 2000 (presque deux fois plus grand). L'Energie occupe donc un volume plus grand en 1992 qu'en 2000. Dans les manuels de 1992, les chapitres énergétiques apparaissent systématiquement. Après un chapitre d'introduction, les termes E apparaissent presque dans tous les chapitres suivants. Dans les manuels de 2000, les chapitres énergétiques ne se développent pas jusqu'à la fin du manuel, ils se rassemblent au milieu. Ils présentent bien le contenu du programme qui comprend quatre parties séparées (Interactions fondamentales ; Force, Travail et énergie ; Electrodynamique ; Optique). L'Energie est abordée dans les parties 2 et 3. Les parties 1 et 4 ne concernent pas du tout l'Energie, elle n'apparaît donc pas.

Cette image de l'habitat correspond bien à notre analyse des programmes de Lycée du chapitre A.2. Dans les manuels du programme de 1992, l'Energie est introduite par l'approche universelle ; puis elle est considérée de manière large dans plusieurs domaines par l'approche particulière. Dans le programme de 2000, c'est dans le domaine de la Mécanique et par l'AU que l'Energie est introduite. Dans la suite du programme, elle a peu d'occasions pour apparaître.

Cependant dans les manuels de 2000, le *pourcentage P' des chapitres fortement énergétiques* (Tableau 1) est toujours plus grand que dans ceux de 1992. Ceci montre que si dans les manuels de 2000, l'Energie occupe un plus petit volume, quand elle apparaît, elle est plus concentrée. Joue t'elle pour autant un rôle plus systématique ? C'est ce que nous analysons de manière plus détaillée dans les chapitres qui suivent.

Comparaison Université – Lycée

Niveau	Université	Lycée																												
Chapitres énergétiques P	<table border="1"> <caption>Chapitres énergétiques P - Université</caption> <thead> <tr> <th>Publisher</th> <th>Méca</th> <th>Elec</th> <th>Thermo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Masson</td> <td>50%</td> <td>48%</td> <td>90%</td> </tr> <tr> <td>Dunod</td> <td>50%</td> <td>42%</td> <td>65%</td> </tr> <tr> <td>Inter</td> <td>80%</td> <td>68%</td> <td>100%</td> </tr> </tbody> </table>	Publisher	Méca	Elec	Thermo	Masson	50%	48%	90%	Dunod	50%	42%	65%	Inter	80%	68%	100%	<table border="1"> <caption>Chapitres énergétiques P - Lycée</caption> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Hachette</th> <th>Bréal</th> <th>Bordas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1992</td> <td>50%</td> <td>72%</td> <td>60%</td> </tr> <tr> <td>2000</td> <td>35%</td> <td>45%</td> <td>40%</td> </tr> </tbody> </table>	Year	Hachette	Bréal	Bordas	1992	50%	72%	60%	2000	35%	45%	40%
Publisher	Méca	Elec	Thermo																											
Masson	50%	48%	90%																											
Dunod	50%	42%	65%																											
Inter	80%	68%	100%																											
Year	Hachette	Bréal	Bordas																											
1992	50%	72%	60%																											
2000	35%	45%	40%																											
Chapitres fortement énergétiques P'	<table border="1"> <caption>Chapitres fortement énergétiques P' - Université</caption> <thead> <tr> <th>Publisher</th> <th>Méca</th> <th>Elec</th> <th>Thermo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Masson</td> <td>15%</td> <td>20%</td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td>Dunod</td> <td>30%</td> <td>18%</td> <td>15%</td> </tr> <tr> <td>Inter</td> <td>30%</td> <td>28%</td> <td>0%</td> </tr> </tbody> </table>	Publisher	Méca	Elec	Thermo	Masson	15%	20%	10%	Dunod	30%	18%	15%	Inter	30%	28%	0%	<table border="1"> <caption>Chapitres fortement énergétiques P' - Lycée</caption> <thead> <tr> <th>Year</th> <th>Hachette</th> <th>Bréal</th> <th>Bordas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1992</td> <td>65%</td> <td>62%</td> <td>42%</td> </tr> <tr> <td>2000</td> <td>68%</td> <td>85%</td> <td>58%</td> </tr> </tbody> </table>	Year	Hachette	Bréal	Bordas	1992	65%	62%	42%	2000	68%	85%	58%
Publisher	Méca	Elec	Thermo																											
Masson	15%	20%	10%																											
Dunod	30%	18%	15%																											
Inter	30%	28%	0%																											
Year	Hachette	Bréal	Bordas																											
1992	65%	62%	42%																											
2000	68%	85%	58%																											

Tableau 1 : Résumé des informations des documents français.

Les lieux de présence de l'Energie dans ces deux institutions sont différents, particulièrement pour le Lycée de 1992. En revanche, les pourcentages P dans les institutions Université et

Lycée de 1992 ne diffèrent pas tellement, étant au moins de 50%, tandis que pour les manuels de 2000, les pourcentages sont moins élevés qu'à l'Université. Globalement, l'Energie occupe un volume plus important à l'Université qu'au Lycée de 2000, alors que le volume de ce thème était tout aussi important à l'Université qu'au Lycée de 1992.

Par contre, les pourcentages P' sont très différents. Au Lycée, P' est toujours beaucoup plus grand qu'à l'Université. La place de l'Energie à l'Université est en quelque sorte moins concentrée qu'au Lycée.

III.3. Université au Vietnam (Annexe B.1, §III)

Comme dans les livres universitaires français, l'Energie est présenté ici dans différents chapitres correspondant à des domaines séparés. Les titres des chapitres qui traitent de l'Energie se réfèrent donc essentiellement aux domaines de la Physique et non à l'Energie : « Champ gravitationnel », (Mécanique, collection du Ministère de l'éducation), « Lois fondamentales pour les circuits électriques en régime permanent » (Electricité, collection de l'Université de Hanoi), « Quantité de chaleur et Premier principe de la Thermodynamique » (Thermodynamique, collection du Ministère de l'éducation).

Le *pourcentage P des chapitres énergétiques* (Tableau 2) est 100% pour le domaine de la Thermodynamique dans les deux collections. Cette image ressemble à l'image française. En Electricité et en Thermodynamique, l'Energie occupe un volume important.

Comme dans deux collections françaises, le *pourcentage P' des chapitres fortement énergétiques* (Tableau 2) dans le domaine de l'Electricité est nul. L'Energie est simplement un thème secondaire dans ce domaine, elle n'est pas concentrée.

Par rapport aux manuels français, le lieu d'apparition et la position de l'Energie dans ces manuels sont semblables. Les chapitres portant les termes E sont nombreux ; le pourcentage P' est très petit par rapport au pourcentage P . Finalement, l'Energie est traitée très largement mais les points de concentration sur l'Energie sont peu nombreux dans la collection du Ministère de l'éducation et il n'y a aucun point de concentration dans celle de l'Université de Hanoi.

III.4. Lycée au Vietnam (Annexe B.1, §IV)

Dans la classe de 10^{ème} où ils sont introduits, les termes E se trouvent dans deux chapitres du manuel pour cette classe : « Loi de conservation de l'énergie » et « Energie interne du gaz idéal ». Le premier appartient à la grande partie « Mécanique » du manuel. L'autre chapitre, lui, est dans la partie « Physique moléculaire et thermique » domaine privilégié pour l'Energie.

(Tableau 2) L'Energie n'est pas un thème important en volume dans ce manuel, les chapitres énergétiques ne sont que deux, dont un seul a une densité D plus grande que 0,5. Cependant l'autre a aussi une densité assez haute : 0,4. Ceci montre que dans les chapitres énergétiques, l'Energie est plutôt concentrée.

Par rapport aux manuels de Lycée français, les pourcentages du manuel vietnamien sont plus petits. L'Energie occupe donc une place réduite dans l'enseignement au Lycée au Vietnam.

Comparaison Université – Lycée

Niveau	Université	Lycée
Chapitres énergétiques P		
Chapitres fortement énergétiques P'		

Tableau 2 : Résumé des informations des documents vietnamiens.

Les lieux de présence de l’Energie dans ces deux institutions sont différents.

A l’Université, le pourcentage P est beaucoup plus élevé qu’au Lycée. L’Energie y occupe un grand volume, ce qui n’est pas le cas au Lycée. Au contraire, au Lycée le pourcentage P’ est plus grand qu’à l’Université. Au Lycée, dans les chapitres où il apparaît, l’Energie est beaucoup plus concentré que dans son traitement à l’Université.

IV. Conclusion

Après l’analyse qui précède, dégageons les points les plus remarquables de la comparaison entre deux institutions : Lycée et Université, d’un pays à l’autre, et entre les différentes collections françaises.

Entre les deux pays, les images de l’habitat de l’Energie dans les deux institutions, Lycée et Université, offrent bien des ressemblances. A l’Université, l’habitat de l’Energie est morcelé dans plusieurs manuels correspondants à différents domaines. Au Lycée, l’Energie se présente dans un seul manuel, le manuel de Physique. C’est toujours au Lycée que le pourcentage P’ des chapitres fortement énergétiques est le plus grand. Que l’Energie occupe un volume grand ou petit, elle est considérée de manière très concentrée au niveau du Lycée (avec $P' > 50\%$).

Remarquons qu’à l’Université des deux pays, dans le domaine électrique, l’Energie apparaît moins concentré, moins important qu’au Lycée. Le pourcentage des chapitres fortement énergétiques P’ de ce domaine est souvent 0%.

Mais les images des habitats présentent une différence au niveau du Lycée. En effet, si les pourcentages P de chapitres énergétiques indiquent que l’Energie occupe pareillement un grand volume au niveau de l’Université, en France comme au Vietnam ($P > 50\%$), ils font aussi apparaître que les volumes occupés par l’Energie au niveau du Lycée diffèrent nettement. Au

Lycée au Vietnam, l'Energie occupe un volume très faible (P= 18%). Au Lycée en France, en 1992, le volume occupé est semblable à celui occupé à l'Université, puis en 2000, il s'affaiblit (33% <P < 44%). Si le volume du thème de l'Energie a diminué au Lycée en France, son importance demeure plus grande qu'au Vietnam.

En France, il existe souvent plusieurs collections pour un même niveau. Dans les manuels de Lycée analysés, la place de l'Energie n'est pas différente d'une collection à l'autre. Remarquons, pour les collections universitaires, que dans les manuels de Masson, l'Energie est davantage privilégiée que dans les deux autres collections. Au Vietnam, c'est dans les manuels de la collection du Ministère de l'éducation que ce thème est le plus concentré.

L'étude de l'Energie menée dans ce chapitre correspond à un **premier niveau** de l'analyse écologique, celui du **repérage** et de la **caractérisation de l'habitat** du thème. Dans les chapitres suivants, nous allons nous employer à un deuxième niveau d'analyse écologique, celui qui fait intervenir la notion de **niche**. Il s'agira de saisir les formes d'existence que peut avoir le thème dans les différents habitats et, finalement, d'en rendre compte de manière comparative. Nous devons donc, dans un premier temps, nous donner les moyens de décrire et de comparer ces formes d'existence.

CHAPITRE B.2

Identifications

Dans le paragraphe consacré à l'histoire de l'Energie au chapitre A.1, nous avons souligné l'existence d'une synthèse visant à rassembler les propriétés particulières de l'Energie et dont la manifestation la plus remarquable est l'émergence du Principe de conservation de l'énergie :

« Au XIX^{ème} siècle, la Physique évolue de manière considérable et les principes fondamentaux d'une nouvelle science, l'Energétique, se mettent en place. [...]

L'Energétique correspond à une volonté commune des scientifiques à vouloir rassembler des branches de la physique qui jusque là n'avait pas de liens, et démontrer ainsi qu'il n'existe pas des physiques mais une physique. [...]

La communauté scientifique s'acharne à ce moment à trouver un réseau d'interconnexion entre les différentes formes de 'force' qui apparaissent dans chacune des branches de la physique. [...] Ce réseau de conversions entre les différentes forces physiques va tendre vers un concept unique : l'énergie, ainsi que sa propriété de conservation. » (Bécu-Robinault, 1997a, p.18-19).

Au travers de l'examen des programmes successifs de la Physique au lycée en France, nous avons vu au chapitre A.2 que le *programme de 1992* apporte une synthèse dans l'étude de l'Energie. En effet, le programme présente l'Energie à la fois comme « thème » et comme « fil conducteur », une nouveauté bien précisée dans les travaux de COAST-MAFPEN concernant l'enseignement de l'Energie : « *La façon d'introduire l'énergie dans ce nouveau programme est très différente de celle des précédents. [...] Cette nouvelle forme est plus proche de la façon dont la physique actuelle utilise le concept d'énergie.* » (COAST-MAFPEN, p.8). Pour l'étude de nos questions sur la vie de l'Energie, la référence à une synthèse est donc incontournable.

Dans le chapitre A.1, partant du rôle de la synthèse dans l'histoire du thème, nous avons distingué deux approches : *l'Approche Universelle (AU)* est celle qui est le résultat de la synthèse, *l'Approche Particulière (AP)* est celle par laquelle l'Energie est abordée de manière plus locale, dépendante d'un domaine de la Physique. Pour notre étude sur les programmes, nous avons disposé des caractéristiques de ces approches données au chapitre A.1.

L'étude de manuels que nous voulons mener vise à rendre compte des formes d'existence de l'Energie dans ses différents habitats. Pour cela, nous avons besoin d'une description d'un traitement de l'Energie en thème indépendant qui nous serve de référence. Nous choisissons de nous appuyer sur le programme novateur de 1992. Nous identifions et définissons alors des notions spécifiques que nous présentons dans ce chapitre et qui seront utilisées tout au long de nos analyses écologiques.

Dans ce programme, le thème de l'Energie est construit à l'aide d'un ensemble d'objets que la synthèse met en relation. Nous appelons *Objets énergétiques O(e)* ces objets constitutifs de la synthèse. Dans un premier paragraphe, leur identification permet de déterminer les « propriétés » de l'Energie.

Les objets énergétiques sont divers. Ils peuvent apparaître dans un thème consacré à l'Energie ou bien être objets de différents domaines de la Physique, dans un contexte énergétique ou non. Nous présentons dans un deuxième paragraphe des notions importantes pour notre

travail, celles de *Raisonnement énergétique R(e)* et de *Raisonnement non-énergétique R(ne)*. L'identification de ces raisonnements nous permettra de rendre compte du fonctionnement des objets énergétiques.

Dans un troisième paragraphe, nous décrivons le document COAST-MAFPEN en termes d'approches, avec l'identification des objets énergétiques qui y sont présents et les relations qu'ils entretiennent. Par la suite, ce document nous servira de référence comme habitat des deux approches.

I. Liste des objets énergétiques

Dans l'étude de l'évolution du concept d'énergie menée au chapitre A.1, nous avons vu que celui-ci est fortement lié à des concepts comme ceux de travail, chaleur, transformation, conservation, qui sont de différentes natures. Nous les considérons donc comme objets ou propriétés constituants de l'Energie, soit encore ce que nous nommons *Objets énergétiques [O(e)]*. Dans l'étude des programmes du chapitre A.2, nous avons pointé des ensembles plus ou moins structurés de notions et propriétés qui nous permettraient éventuellement de reconnaître le caractère d'indépendance dans le traitement de l'Energie : nous avons là des objets énergétiques. Nous allons retrouver ces objets parmi tout un ensemble d'objets en étroite relation dans le programme de Première S de 1992 et les manuels qui lui correspondent.

I.1. L'énergie dans le programme de Première S de 1992

Comme nous l'avons indiqué plus haut, ce programme a mis en place un enseignement innovant sur l'Energie. Du point de vue des deux approches, l'Approche Universelle (AU) y apparaît nettement avec le rôle premier du principe de conservation.

« La façon d'introduire l'énergie dans ce nouveau programme est très différente de celle des précédents.

[...] Une lecture rapide du nouveau programme peut laisser croire que le changement est minime et que ce qui convenait jusqu'à maintenant peut encore largement servir. Et pourtant, le fait d'énoncer tout de suite le principe de conservation de l'énergie va profondément changer le sens des notions et des expériences que l'on propose. Il ne faut pas se cacher qu'elle exige une remise en cause de l'enseignement sur l'énergie. Cette nouvelle forme est plus proche de la façon dont la physique actuelle utilise le concept d'énergie. » (COAST-MAFPEN, p.8).

Avec deux parties sur trois consacrées à l'Energie, la seconde et la troisième, ce programme traduit une volonté particulièrement forte d'introduire l'Energie comme un thème principal. Il permet alors de construire une image assez complète de l'Energie, d'où notre choix.

Présentons le contenu de la partie « Conservation de l'énergie » où l'Energie est introduite, en soulignant les objets introduits par le programme pour construire le thème et qui constituent autant d'objets énergétiques distincts. Ces objets sont utilisés pour l'étude de différents systèmes (c'est-à-dire de différents domaines) dans la partie suivante « Bilan énergétique ».

Partie « Conservation de l'énergie »

Analyse des échanges énergétiques concernant un système donné. Introduction au *principe général de conservation de l'énergie*.

Différentes *formes d'énergie* : énergie cinétique et énergie potentielle. Aspects macroscopique et microscopique.

Transferts d'énergie : travail, conduction de la chaleur, convection, rayonnement.

Analyse d'une ou deux chaînes énergétiques.

I.2. Une liste en référence au programme de 1992

En nous appuyant par ailleurs sur les trois manuels de ce programme qui ont fait l'objet d'analyse au chapitre B.1 (manuels des éditions Hachette, Bordas et Bréal) nous dégagons finalement douze objets énergétiques O(E). Nous les présentons par les noms que nous avons choisis dans une liste ordonnée par leur importance.

1 - Forme d'énergie (E) : C'est naturellement l'objet de l'Energie. Dans le programme et les manuels, de très nombreuses formes d'énergie apparaissent. Nous les regroupons sous le nom « Forme d'énergie », ainsi que l'énergie générale qu'on peut retrouver sous le simple terme « énergie ».

2 - Principe de la conservation de l'énergie (PCE) : Il est la caractéristique de base de ce thème. Comme on a pu le voir au chapitre A.1, dans l'histoire de l'Energie, c'est lui qui amène la naissance de la synthèse. Il est un objet énergétique incontournable, et nous choisissons de le présenter avant les autres. En outre, le premier principe de la thermodynamique est exactement le principe de conservation de l'énergie. C'est pourquoi, avec cet objet, nous abordons simultanément ces deux principes.

3 - Chaîne énergétique (Ch) : Cet objet apparaît dans le contenu ainsi que dans les compétences exigibles du programme. Dans les manuels, il apparaît régulièrement, surtout pour présenter l'AU. Cet objet qui n'apparaît jamais dans l'histoire de l'Energie, du côté scientifique comme du côté de l'enseignement antérieur, est une **création didactique** du programme de 1992. Sa présentation en schéma dans les manuels permet d'étudier la conservation de l'énergie en abordant de nombreux O(e).

4 - Bilan énergétique (BL) : Il est le titre de la troisième partie du programme. Dans les compétences exigibles, on remarque précisément que l'on attend que l'élève sache « faire un bilan dans des cas simples ». De plus, cet objet figure dans le titre de plusieurs chapitres des manuels.

5 - Transformation de l'énergie (TrA) : Cet objet n'apparaît pas explicitement dans le programme. Mais dans les manuels, pour construire une chaîne énergétique, il est un objet incontournable. Il est normalement une propriété attachée avec la conservation. Nous l'introduisons pour distinguer avec l'objet Transfert d'énergie.

6 - Transfert d'énergie (TrE) : C'est aussi un objet relié à la conservation de l'énergie. Dans les manuels, il est bien identifié grâce aux trois modes de transfert que nous allons présenter ci-dessous.

7 - Travail (W) : Dans le programme et les manuels, le travail est toujours considéré comme un mode de transfert d'énergie. Remarquons que, généralement, il est le concept de base pour définir la notion d'énergie.

8 - Chaleur (Transfert thermique – dans le programme de 2000) (Q) : C'est aussi un mode de transfert.

9 - Rayonnement (R) : Le troisième mode de transfert.

10 - Puissance (P) : Cet objet apparaît dans le programme comme un objet du domaine de l'électricité (« Puissance électrique »). Mais il est vraiment un objet du thème de l'énergie, c'est l'énergie par le temps. C'est pourquoi, nous l'introduisons.

11 - Rendement (Rnt) : Comme l'objet Puissance, le Rendement n'est pas abordé dans la partie « Conservation de l'énergie » du programme. Mais il apparaît dans la partie « Bilan énergétique », chaque fois qu'on aborde la conservation de l'énergie ou bien la transformation

de l'énergie pour différents systèmes. En plus, dans les manuels, il se présente presque toujours avec l'objet Bilan énergétique. Donc nous ne pouvons pas le laisser.

12- Théorèmes de l'énergie (ThE) : Nous ajoutons ce douzième objet, alors qu'un entre eux ne figure pas dans le programme de 1992 mais se présente dans celui de 2001 (que nous aurons à comparer ultérieurement à celui de 1992). Il s'agit des « théorème de l'énergie cinétique » et « théorème de l'énergie mécanique ». Nous ne les regroupons pas avec l'objet « Principe de la conservation de l'énergie », même s'ils sont déduits de ce principe. Car après leur déduction du Principe général, ils deviennent des objets particuliers des domaines et leur formule peut être présentée sans la présentation des formes d'énergie.

Les objets de notre liste n'ont pas tous le même statut : certains sont des objets traditionnels de l'Energie comme le Principe de conservation et les Forme d'énergie, la Puissance, le Rendement ou, un peu moins courant sur le plan terminologique, le Bilan énergétique ; certains sont des objets qui sont mis en avant spécifiquement dans l'enseignement innovant de 1992 comme la Chaîne énergétique, le Transfert d'énergie et les modes de transfert.

I.3. Deux groupes d'objets énergétiques

L'indentification de l'Approche Universelle (AU) a des conséquences dans le regroupement des objets énergétiques en deux catégories.

- Tout d'abord le fait de vivre en tant que thème indépendant suppose qu'il y ait un lieu où ce thème vit, un habitat. De plus, le fait d'exposer le thème requiert nécessairement le développement d'*objets fondamentaux*, objets propres au thème que nous appelons *Objets emblématiques de l'Energie*. Ce sont les *six premiers objets de notre liste* : Forme d'énergie, Principe de la conservation de l'énergie, Chaîne énergétique, Bilan énergétique, Transfert d'énergie, Transformation de l'énergie. Ils appartiennent au thème de l'énergie, ils ne peuvent pas exister sans relation à l'Energie.

- Quant aux *six derniers* objets (Travail, Chaleur, Rayonnement, Puissance, Rendement et Théorèmes de l'énergie), en dehors d'être des objets énergétiques, ils ont aussi capables d'être objets d'un autre domaine comme la Mécanique (pour W), la Thermodynamique (pour Q) et l'Électricité (pour P). Ils n'appartiennent pas seulement au thème de l'énergie. Ils peuvent avoir aussi une autre vie qui n'est pas énergétique. Nous les appelons donc *Objets mixtes*.

II. Raisonnement énergétique et Raisonnement non-énergétique

A partir de textes de programmes et de manuels, nous venons établi une liste de noms d'objets énergétiques O(e) parmi lesquels nous avons distingué deux groupes : les six premiers, les noms d'objets emblématiques de l'Energie, et les six autres, les noms des objets mixtes, ceux qui ne sont pas de purs objets de l'Energie.

Inversement, dans une situation donnée et précisée par un texte, considérons la simple présence de tel ou tel nom figurant dans notre liste. Quelle signification peut-on donner à cette présence ? Quelle fonction a t'elle ? S'il s'agit d'un objet mixte, a t'il le rôle d'objet énergétique dans la situation ? S'il s'agit d'un objet caractéristique de l'AU, on peut supposer qu'il apparaît bien dans son rôle d'O(e). Et finalement, comment peut-on s'assurer que l'objet présent a une signification d'objet énergétique ? Ces questions nous amènent à prendre en compte le contexte dans lequel l'objet est pris et le traitement qui en est fait.

II.1. Définitions

Nous introduisons ainsi l'idée de Raisonement comme indicateur du rôle des objets nommés « énergétiques ». Pour nos différents objets énergétiques, les raisonnements sont les contextes qui leur permettent d'apparaître ou encore les conditions sous lesquelles ils sont présents et en relation entre eux. Nous distinguons deux types de raisonnements que nous allons considérer dans l'analyse des O(e) : Raisonement énergétique [R(e)] et Raisonement non-énergétique [R(ne)].

Raisonement énergétique : c'est le contexte qui permet à un objet donné, d'apparaître en tant qu'O(e) dans une vie énergétique, c'est à dire en relation avec différents O(e) auxquels il est lié. Autrement dit, ce Raisonement fait apparaître l'Energie. A priori, ce raisonnement est privilégié par l'AU où l'Energie existe en elle-même, indépendante d'autres domaines. Cependant ce Raisonement peut aussi exister dans l'Approche Particulière.

Raisonement non-énergétique : c'est, au contraire, le contexte où les objets de notre liste ne se présentent pas en tant qu'O(e). On s'attend donc à ce que ce Raisonement soit privilégié dans l'AP. La vie de ce Raisonement n'est pas énergétique. Ce type de raisonnement ne met en relation l'O(e) qu'avec des objets non-énergétiques.

Cette idée est un peu délicate car la détermination d'un raisonnement dépend du contexte, du découpage des paragraphes, des sous-chapitres. Cependant, nous l'utilisons car cette distinction nous permet de caractériser les occurrences des O(e) par le fait que les O(e) apparaissent dans une vie énergétique ou simplement comme outil de la Physique ou comme objet d'un domaine de la Physique qui n'est pas celui de l'Energie.

Cette distinction correspond donc au groupement des objets qu'on a fait dans I.3. Des Objets emblématiques de l'Energie attache a priori au Raisonement énergétique et des Objets mixtes peuvent apparaître dans les deux raisonnements, un raisonnement mixte.

Exemple : Le Travail est un objet mixte. C'est un mode de transfert de l'énergie qui a une vie énergétique. Par exemple il intervient dans la pratique de Bilan énergétique où il est mis en relation avec d'autres modes de transfert, diverses formes d'énergie, etc. C'est aussi un objet du domaine de la Mécanique. Par exemple il peut servir pour calculer une vitesse en faisant intervenir des forces et des déplacements. Dans ce cas, le Travail n'est pas considéré en tant qu'O(e). Il n'y a pas de R(e) et on est dans un contexte de R(ne).

II.2. Relations entre Raisonsnements et Approches d'étude de l'Energie

Le R(e) peut apporter à sa suite une présentation de l'Approche Universelle (AU), où l'on peut retrouver des objets de notre liste dans leur rôle énergétique et des liens entre eux. Ceci d'autant plus qu'il fait intervenir un grand nombre de relations entre O(e). En plus, a priori, il nous semble que des objets propres à l'AU apparaissent plus avec le R(e) qu'avec l'autre raisonnement. D'un autre côté, l'AU est favorable à la mise en place d'un traitement des objets où on peut retrouver facilement le R(e), ce qui n'est pas le cas pour l'Approche Particulière (AP). Nous chercherons à vérifier ces liens dans notre analyse.

Comme nous l'avons dit plus haut, l'AU est le résultat d'un processus synthétique. Le raisonnement est lui aussi un processus de synthèse pour amener à une conclusion. C'est ce point commun qualitatif qui nous amène à proposer la relation entre l'AU et le R(e).

Notons bien que ce lien entre le raisonnement et la synthèse dans l'apprentissage des sciences physiques est mis en avant par la Commission Lagarrigue. Dans la discussion sur les buts de l'Enseignement Général des Sciences Expérimentales et des Techniques (EGSET), l'un des trois buts énoncés place haut l'entraînement aux modes de raisonnement des sciences physiques. L'Energie satisfait aux deux recommandations énoncées pour dégager les grands « points d'ancrage » de disciplines comme la Physique et la Chimie :

« - Insister sur les concepts : les notions de masse, énergie, etc., interviennent au niveau microscopique et macroscopique. Mais les élèves font parfois très mal le lien entre les idées qui leur sont présentées dans des cadres différents. *Un effort vers une revue synthétique, soulignant l'unité de l'ossature conceptuelle des sciences physiques*, peut être suggéré.

- Insister également sur les principes fondamentaux reliés à ces concepts. Un certain nombre de conditions générales sont exprimées par des principes (de conservation, d'invariance, d'incertitude, de symétrie, etc.) » (M. Hulin, 1992).

La Commission souligne bien l'idée de la synthèse dans le mode de raisonnement des sciences physiques.

« - présenter des grands concepts avec un effort synthétique pour permettre aux élèves de mieux percevoir l'unité conceptuelle de la discipline au travers de l'étude de phénomènes très divers » (M.Hulin, 1992, p.122).

III. Document COAST-MAFPEN comme mise en œuvre des deux approches (un document de référence)

Dans les paragraphes précédents, nous nous sommes appuyée sur l'étude épistémologique du chapitre A.1 et sur le programme de 1992 pour dégager des outils d'analyse de l'enseignement de l'Energie. Nous nous intéressons maintenant à l'ouvrage de COAST-MAFPEN que nous avons cité à plusieurs reprises pour préciser certaines caractéristiques du programme : innovation légitimée par la Physique contemporaine, programme organisé autour du Principe de conservation.

Cet ouvrage destiné aux enseignants est publié en 1998, sous le titre « Introduction à l'énergie. Contenus de l'enseignement et compléments didactiques ». Il se présente comme un document d'accompagnement du programme de 1992, dans une collection du Centre Régional de Documentation Pédagogique intitulée « Appliquer le programme ». Il est donc a priori dans la « ligne » du programme. Le décalage dans le temps correspond à la mise en œuvre d'une recherche expérimentale sur l'enseignement. En effet, ce document est le produit d'un travail d'équipe entre des chercheurs du laboratoire COAST de Lyon, un inspecteur pédagogique régional et des enseignants de la région lyonnaise. Il est le résultat de deux événements :

« Le premier événement est la réforme des programmes. Les nouveaux programmes [de 1992] de première S introduisent l'énergie d'un point de vue très différent des précédents. Le second événement est l'existence de travaux de recherche de didactique sur l'enseignement et l'apprentissage de l'énergie. Dans ces travaux, l'introduction de l'énergie est très proche de celle proposée dans les nouveaux programmes. » (COAST-MAFPEN, p.7).

Il s'agit finalement d'un produit pour lequel des chercheurs se sont placés en position de noosphériens.

Le modèle de l'Energie qui est présenté dans cet ouvrage est solidement argumenté à la fois du point de vue de la didactique, de l'épistémologie et de la Physique. Pour nous, la

présentation de ce modèle permet une présentation claire de l'Approche Universelle de l'Energie et l'application de ce modèle fait apparaître l'Approche Particulière. D'où notre attention toute particulière à cet ouvrage comme exemple d'approche de l'Energie pour l'enseignement.

Le titre de ce document « Introduction à l'énergie » montre explicitement que l'Energie est l'objet principal et que ce thème est *indépendant* des autres domaines (premier critère de l'AU). Le manuel comporte deux parties centrées sur l'enseignement de l'Energie correspondant au programme de 1^{ère} S de 1992 :

La partie A présente un contenu de savoir et décrit des séquences d'enseignement commentées, conçues et expérimentées en classe par l'équipe. Les activités proposées sont prévues pour être utilisées dans les classes, et comprennent des fiches de Travaux Pratiques, des exercices, des évaluations, des propositions de cours (exposé des connaissances).

« La partie B présente les raisons des choix faits pour le cours et analyse certains résultats obtenus dans les classes. [Elle] développe des points de vue pris habituellement en compte par la didactique : la Physique elle-même, son histoire et ses méthodes, l'élève et sa façon d'apprendre et enfin le professeur [...] » (p.7).

Ce qui nous intéresse ici est la partie A pour laquelle nous étudions comment l'Energie est introduite dans l'enseignement. Cette partie possède cinq chapitres dont les trois premiers sur l'enseignement de l'Energie en Physique en 1^{ère} S ; le quatrième en Chimie ; le cinquième chapitre fait le lien entre les programmes de 1^{ère} S et de Terminale S.

Dans le premier chapitre, l'Energie est introduite par son Principe de conservation indépendamment des domaines phénoménologiques, ce qui correspond au critère d'indépendance de l'AU. Un « *modèle énergétique* » général, indépendant des domaines phénoménologiques, est présenté comme un guide pour aider les élèves à aborder l'Energie dans différents systèmes physiques (*transversalité*). Ce modèle présente une image complexe de l'Energie. Les domaines phénoménologiques n'apparaissent que dans les exercices et les travaux pratiques qui utilisent ce modèle dans des situations physiques précises. Par contre, les deux chapitres suivants sont consacrés chacun à un domaine phénoménologique précis de la Physique, l'un à la Mécanique, l'autre à l'Electricité. Le premier chapitre définit plusieurs éléments pour caractériser l'Energie (p.19) ; le modèle s'appuie sur des propriétés de l'Energie, un principe et un outil qui correspondent à ce que nous appelons Objets énergétiques :

- Stockage : « le réservoir stocke l'énergie »
- Transformation : « le transformateur transforme l'énergie »
- Transfert (avec trois modes de transfert : travail, chaleur, rayonnement) : « Entre un réservoir et un transformateur, ou entre deux réservoirs, ou entre deux transformateurs, il y a transfert d'énergie. Les différents modes de transfert de l'énergie d'un système à un autre système sont... »
- Principe fondamental de conservation : « L'énergie se conserve quels que soient les transformations qu'elle subit, ses transferts et ses formes de stockage. »
- La Chaîne énergétique est un outil qualitatif qui se dessine avec des symboles caractérisant certaines propriétés (réservoir, transformateur, transfert, modes de transfert) et que l'on fait fonctionner en suivant des règles : « *une chaîne énergétique complète commence et se termine par un réservoir ; le réservoir initial est différent du réservoir final* »

En outre, il faut ajouter à ces éléments d'autres concepts énergétiques et un autre outil qui viennent compléter le modèle dans un second temps :

- Puissance et Rendement.
- Bilan énergétique. Cet outil vient compléter la présentation schématique de la Chaîne énergétique, permettant une analyse quantitative complète d'une situation physique du point de vue de la Conservation de l'énergie.

Dans les chapitres suivants du document, ces objets sont systématiquement utilisés pour étudier l'Energie dans différents domaines (mécanique, électricité, chimique). Ceci correspond à l'étude proposée dans la partie du programme « Bilan énergétique » où sont étudiés différents systèmes. L'Energie apparaît alors avec l'Approche Particulière, mais en utilisant les outils développés précédemment par une Approche Universelle (*critère de transversalité*).

Enfin, ce document qui vise à aider les enseignants, six ans après une première mise en œuvre certainement difficile du programme de 1992, s'attache bien à respecter la forme et le contenu de l'enseignement de l'Energie demandé par ce programme et à rendre raison de choix nouveaux. Pour nous, il est représentatif de la mise en oeuvre et de l'articulation possibles des deux approches l'AU et l'AP. De plus, avec l'introduction du « modèle énergétique », l'utilisation de schémas pour décrire la Chaîne énergétique et le Bilan énergétique, et l'idée de stockage de l'Energie, le document de COAST-MAFPEN nous paraissent bien représentatif de la part de création didactique qui découle l'introduction de l'Energie comme thème dans ce programme.

CHAPITRE B.3

Vie de l’Energie - Méthodologie de l’analyse écologique et résultats intermédiaires

Ce chapitre B.3 ouvre des études sur la vie de l’Energie dans différentes institutions. Il s’agit maintenant de conduire un deuxième niveau d’analyse écologique, pour rendre compte des formes de vie de l’Energie dans ces habitats que nous avons décrits au chapitre B.1.

Au chapitre B.1, pour repérer les habitats de l’Energie et la place occupée, nous nous sommes contentée d’indicateurs superficiels avec les termes E. Pour décrire comment vit l’Energie, nous allons maintenant considérer ces objets caractéristiques du thème, et qui contribuent à le constituer, que nous avons appelés « objets énergétiques » au chapitre B.2.

Dans ce chapitre, pour différentes institutions représentées par des manuels, nous allons préciser quels objets énergétiques O(e) y sont présents, quelles relations ils entretiennent entre eux ou avec d’autres objets ; nous allons distinguer ces objets énergétiques de manière qualitative par les raisonnements (énergétiques R(e) ou non énergétiques) dans lesquels ils sont pris. Autrement dit, en termes de la théorie écologique, nous passons à l’analyse des niches de l’Energie et de ses objets.

La perspective d’une étude comparative nous amène à établir deux étapes :

- La première est une analyse brute qui décrit systématiquement la vie des objets énergétiques dans les différents manuels. C’est l’objet de ce chapitre B.3.
- La deuxième est celle des comparaisons entre les différentes institutions. Elle sera présentée dans les chapitres suivants (B.4 et partie C)

Ce présent chapitre comporte trois parties. D’abord, le choix des manuels pour l’analyse. Puis, la méthodologie. Enfin, une présentation de résultats de l’analyse brute sous forme de schémas.

I. Choix des manuels

Dans le chapitre B.1, nous avons analysé l’habitat occupé par l’Energie dans plusieurs manuels de différentes institutions. Cette analyse montre que, dans un même niveau, l’habitat de ce thème et la place qu’il occupe ne changent pas. Cela nous permet de limiter le nombre de documents pour réaliser une analyse écologique détaillée. Nous choisissons une collection pour chaque niveau de chacun des deux pays, ce qui nous fait retenir neuf documents.

Université en France

Pour étudier la vie de l’Energie présentée aux futurs enseignants, nous choisissons *les ouvrages de l’éditeur Masson*.

Parmi les trois collections étudiées au chapitre B.1, nous avons montré que celle de l’éditeur *Masson* est la plus favorable à l’Energie. Rappelons que notre questionnement général porte sur les difficultés des professeurs dans l’enseignement de l’Energie au lycée. Pour envisager

d'éventuelles difficultés pour les futurs enseignants, il est donc intéressant d'examiner une collection universitaire où l'Energie est en position favorable

Par rapport aux autres collections étudiées pour ce niveau, il faut remarquer que celle-ci n'est pas seulement une série complète des domaines principaux de la Physique, puisque les trois livres de la série sont dirigés par une même personne, *Pérez J-P*. Cela est favorable à une unité dans la présentation et dans le contenu des ouvrages.

Enfin, cette collection est utilisée par beaucoup d'enseignants comme la référence de la Physique.

- **Mécanique fondements et applications (Pérez, 1997)**
- **Electromagnétisme fondements et applications (Pérez et al., 1997)**
- **Thermodynamique fondements et applications (Pérez, 1997)**

Première S en France

Pour ce niveau, nous choisissons la *collection Durandea*, éditeur Hachette, dont nous sommes informée par les formateurs et étudiants de l'IUFM qu'elle est la plus utilisée dans les lycées. Nous analysons les deux manuels qui correspondent aux deux programmes les plus récents.

- **Physique 1^{ère} S (1994) (éditeur Hachette)**
- **Physique 1^{ère} S (2001) (éditeur Hachette)**

L'analyse de ces deux documents nous permettra de préciser l'évolution de l'enseignement de l'Energie entre les programmes de 1992 et de 2000.

Nous analysons aussi le document particulier que nous avons présenté comme exemple relatif aux deux approches, universelle (AU) et particulière (AP). Nous l'utilisons comme base de comparaison, surtout pour l'approche universelle.

- **L'ouvrage de COAST-MAFPEN (1998).**

Tous ces documents nous permettent de présenter la vie de l'Energie au niveau du lycée.

Université au Vietnam

Comme le cas français, entre les deux collections étudiées dans le chapitre B.1, *les ouvrages de édités par le Ministère de l'éducation* est les favorables à l'Energie et ils sont aussi dirigés par une même personne, *LUONG Duyen Binh*. Nous choisissons donc cette collection pour ce niveau d'analyse. Mais pour nous conformer à la délimitation choisie, nous en analysons seulement les parties qui correspondent aux trois domaines choisis.

- **Mécanique-Thermodynamique**
- **Electricité-Oscillations-Ondes**

Classe 10^e au Vietnam

Nous analysons le manuel unique du pays pour cette classe du programme de 1975.

- **Physique classe de 10^e (2003)**

II. Méthodologie d'analyse

En reprenant le questionnement de l'analyse écologique en didactique (Arthaud, 1998), nous formulons nos premières questions sur la vie de l'Energie dans les manuels choisis. Au chapitre B.2, nous avons identifiés les objets énergétiques O(e) comme des éléments constitutants de l'Energie. C'est pourquoi nos questions écologiques sont formulées pour ces objets :

- « Quels objets énergétiques existent ? Lesquels n'existent pas ? »
- « Dans quelles conditions un objet énergétique existe t'il ? » ou encore « A quoi son existence dans le manuel sert-il ? »

Pour rendre ainsi compte de la vie des O(e) dans les manuels, nous menons une étude de leurs occurrences dans leur partie « cours ».

Nous disposons d'une liste de douze objets énergétiques O(e) de référence établie au chapitre B.2. La même méthodologie est utilisée pour les différents objets, pour chacun des différents manuels. Les résultats seront présentés sous forme de schémas, chaque schéma présentant la vie d'un objet dans un manuel. Au final, si les douze O(e) de notre liste sont présents dans un manuel, celui-ci donnera lieu à douze schémas. Cet ensemble de schémas constituera une représentation de la vie de l'Energie dans le manuel.

II.1. Principe de dénombrement

Remarquons d'abord qu'un O(e) donné peut être présent a priori dans des chapitres qui n'ont pas été définis en B.1 comme des chapitres énergétiques. En effet, le crible des termes « E » peut « laisser passer » des chapitres où vit un tel O(e). Nous considérons donc pour ce deuxième niveau d'étude tous les chapitres.

Dans le chapitre B.2, nous avons présenté les objets énergétiques en leur donnant des noms choisis en référence à des termes utilisés dans le programme de 1992 ou dans les manuels correspondants. Suivant Beaudoin (1998), « *un objet peut exister sans avoir de nom mais on ne peut alors pas y faire référence de façon spécifique par la langue* ». Pour pouvoir réaliser des analyses et des comparaisons, nous devons pouvoir repérer les occurrences d'un objet, non seulement par la présence du nom choisi, mais aussi par différents termes synonymes ou même par un phénomène. En même temps, nous devons regrouper ces occurrences sous la même étiquette.

Les noms que nous avons donnés aux objets énergétiques de notre liste vont servir d'outil : ils sont manipulés comme des « étiquettes ». Nous donnons ici les termes ou les phénomènes qui nous permettent de repérer un objet énergétique (ou, du moins, d'attribuer une étiquette d'objet énergétique).

1. **Forme d'énergie (E)** = « énergie », « énergie cinétique », « énergie potentielle », « énergie mécanique », « énergie électromagnétique », « énergie thermique » etc. (Toutes les formes de l'énergie).
2. **Principe de la conservation de l'énergie (PCE)** = ce nom ; ou « premier principe de thermodynamique » ; ou une formule pour l'un de ces principes.
3. **Chaîne énergétique (Ch)** = ce nom ; ou son schéma.
4. **Bilan énergétique (BL)** = ce nom ; ou « bilan de puissance » ; ou son schéma.

5. **Transformation de l'énergie (TrA)** = ce nom ; ou son phénomène où la transformation se présente derrière des termes comme transformateur, convertir, convertisseur (ex : « *L'énergie chimique du propergol a été convertie par les réacteurs en énergie mécanique de la fusée.* » (Physique 1^{ère} S, 1994, Hachette, p.129)).
6. **Transfert d'énergie (TrE)** = ce nom ; ou son phénomène où le transfert d'énergie se présente derrière les termes comme : échanger, perdre, gagner, etc. (ex : « *Dans chaque maillon d'une chaîne électrique, de l'énergie est perdue ; elle est dissipée sous forme de chaleur et de rayonnement.* » (idem, p.234)).
7. **Travail (W)** = ce nom ou le symbole choisi dans le manuel.
8. **Chaleur (Transfert thermique – programme de 2000) (Q)** = ces deux noms ou le symbole choisi dans le manuel.
9. **Rayonnement (R)** = ce nom ou le symbole choisi dans le manuel.
10. **Puissance (P)** : = ce nom ou le symbole choisi dans le manuel.
11. **Rendement (Rnt)** = ce nom ou le symbole choisi dans le manuel.
12. **Théorèmes de l'énergie (ThE)** = « Théorème de l'énergie cinétique » ; « théorème de l'énergie mécanique » ; ou leur formule.

Dans un manuel choisi, pour un objet donné, nous relevons toutes les occurrences de cet objet. Nous les dénombrons, chapitre après chapitre, après les avoir classés selon *différentes fonctions*, avec les choix suivants :

- L'unité de référence est le sous-chapitre. C'est le premier niveau de subdivision dans un chapitre.
- Si l'objet apparaît pour sa propre définition, ses propres caractérisations ou pour sa propre construction (en l'absence de définition), on compte l'occurrence pour une « *relation interne* ». Il faut remarquer une caractéristique particulière de l'objet *Forme d'énergie* dans ce décompte. Cet objet comporte de nombreux éléments, ce sont les différentes formes d'énergie comme : énergie mécanique, énergie potentielle, énergie cinétique, énergie interne, etc. C'est pourquoi, cet objet peut donner lieu à de très nombreuses relations internes. Par exemple, quand l'énergie cinétique apparaît pour construire l'énergie potentielle, puis que ces deux formes sont toutes deux utilisées pour définir l'énergie mécanique, cela peut donner lieu à trois relations internes.
- On compte l'occurrence pour un « *lien d'usage* » si l'objet est présent pour étudier/considérer/présenter un autre objet qui peut être énergétique ou non. L'objet donné est appelé « *objet-source* », le deuxième objet est appelé « *objet-cible* ». (Les objets absents de notre liste sont nommés objets non-énergétiques). Dans un même sous-chapitre, un même lien avec un même objet-cible est compté pour une fois. Par exemple : si l'énergie cinétique apparaît pour construire le Principe de conservation de l'énergie, puis pour présenter le Transfert d'énergie, on compte deux liens. Mais si dans un même sous-chapitre l'énergie cinétique apparaît deux fois pour présenter le Transfert d'énergie, on compte ce lien seulement une fois.

Ce dénombrement, objet après objet, permet une première appréhension de la complexité de l'Énergie dans les manuels.

II.2. Fonction des occurrences

Le dénombrement précédent s'accompagne nécessairement d'une analyse qualitative pour distinguer les fonctions envisagées.

Avec le dénombrement séparé des relations internes et des liens d'usage, des précisions sur la fonction des objets étiquetés comme objets énergétiques peuvent donner un premier aperçu de leurs « raisons d'être » dans le manuel. Il s'agit de se demander pour chacun : « A quoi son existence dans le manuel sert-il ? Quels objets le « poussent » à vivre ? »

Une première précision peut être apportée par les questions :

« A quoi servent les différentes occurrences de l'objet ? Quels sont les objets-cibles de l'objet-source O(e) étudié ? ». Autrement dit, « quels sont les objets qui apparaissent dans le lien d'usage de l'objet-source, pour être étudiés, considérés ou présentés ? »

Si ces objets-cibles sont des O(e), nous les recensons, si ce sont des objets non-énergétiques O(ne), nous le signalons.

Etudier ces objets-cibles relatif à un objet donné nous permet de :

- Dégager une signification de l'objet donné : « Pour étudier quoi apparaît-il ? »
- Voir l'importance de cet objet dans la vie de l'Energie : « Pour combien d'objets énergétiques est-il présent ? N'est-il présent que pour des objets non énergétiques ? ».

Etudier systématiquement tous les objets énergétiques repérés permet la construction d'une image de la complexité de leurs liens. Leurs conditions de vie peuvent être alors précisées par l'étude de leur « façon » d'apparaître : « Comment les O(e) apparaissent-ils ? De quelle manière se présentent-ils ? »

II.3. Contexte des raisonnements

La question précédente nous conduit à étudier le contexte dans lequel les O(e) se présentent. Nous avons distingué deux contextes que nous avons appelés respectivement « Raisonnement énergétique (R(e)) » et « Raisonnement non-énergétique (R(ne)) ». D'où la question :

« Dans quels contextes les O(e) se présentent-ils ? Par le raisonnement énergétique ou par le raisonnement non énergétique ? »

Un objet se présente dans un R(ne) quand :

- l'objet n'est pas en relation avec d'autres O(e)
- ou quand l'objet ne figure en relation avec d'autres O(e) que comme simple dénomination. Par exemple : quand il se présente sans discours explicatif dans une formule pour calculer/appliquer.

L'apparition d'un objet est considérée comme prise dans un R(e) quand :

- l'objet est en relation avec plusieurs O(e) avec des explications.
- Cette relation existe à l'intérieur, soit d'un paragraphe, soit d'un sous-chapitre. Par exemple : dans une phase d'étude d'un système mécanique, il peut n'y avoir que la relation entre le Travail et la force. Mais juste avant, dans le même paragraphe ou dans le même sous-chapitre, ce Travail a été présenté comme un mode de Transfert d'énergie. Nous considérons que le Travail est associé à un R(e).

Pour les objets énergétiques repérés, distinguer ainsi les contextes de leur présence nous permet de :

- caractériser les réseaux de relations dans lesquels ils sont pris ;
- rendre compte par cette caractérisation de la vie de ces objets dans le thème de l'Énergie.

Après avoir repéré (ou étiqueté) les objets énergétiques par la référence à la liste et caractérisé leur contexte, nous pouvons finalement apprécier si ces objets sont globalement ou non dans un « environnement énergétique ». Ceci passe par un examen de l'ensemble des résultats obtenus objet après objet.

II.4. Exemples de mise en œuvre

Extrait du Manuel « Physique de 1^{ère} S » - Hachette (1994)

Par cet extrait, nous voulons montrer un exemple de différentes fonctions de différents objets énergétiques.

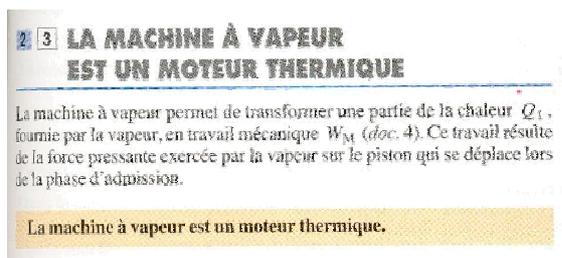


Figure 1. Exemple deux contextes différents de l'apparition des objets énergétiques dans le manuel Hachette (1994, p.181)

Trois O(e) sont présents dans ce sous-chapitre : Transformation de l'énergie, Chaleur et Travail.

- La Transformation de l'énergie apparaît pour étudier la machine à vapeur qui n'est pas un objet énergétique de notre liste.

L'objet Transformation de l'énergie a donc une occurrence pour l'étude d'un objet O(ne), associée à un R(e) car il est en relation avec le Travail et la Chaleur pour présenter un phénomène énergétique.

- Le Travail et la Chaleur sont là pour faire apparaître la Transformation de l'énergie. Ils sont aussi associés à un R(e).

- Dans la deuxième phrase, le Travail a encore une autre occurrence pour se caractériser lui-même en relation avec la force. C'est donc R(ne), une définition mécanique.

Extrait du Manuel « Physique de 1^{ère} S » - Hachette, 2001 (p. 126 et 128)

Par cet extrait, nous voulons montrer la nature particulière de l'objet Forme d'énergie avec plusieurs relations internes possibles.

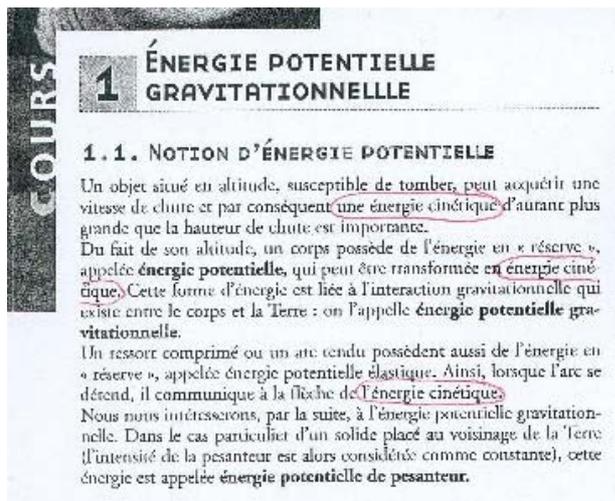


Figure 2. Exemple des contextes d'apparition des objets énergétiques dans le manuel Hachette (2001, p.126)

III. Résultat

La méthodologie est compliquée. C'est pourquoi, pour simplifier l'expression des résultats, nous les présentons sous forme de schéma. Celui ne présente pas seulement la façon dont un concept est construit dans un enseignement mais il précise les détails de « la vie » de l'objet au de la de sa construction.

Chaque manuel peut posséder les douze schémas de douze objets de notre liste. Nous choisissons de ne présenter ici que les schémas d'un seul manuel, à titre d'exemple. Notre intérêt pour le programme de 1992 comme référence relative à l'approche universelle (cf. Ch. B.2) nous amène à présenter les schémas du manuel de lycée français de ce programme. Les autres résultats figurent dans l'annexe.

Les schémas possèdent des symboles qui sont présentés par la légende suivante :

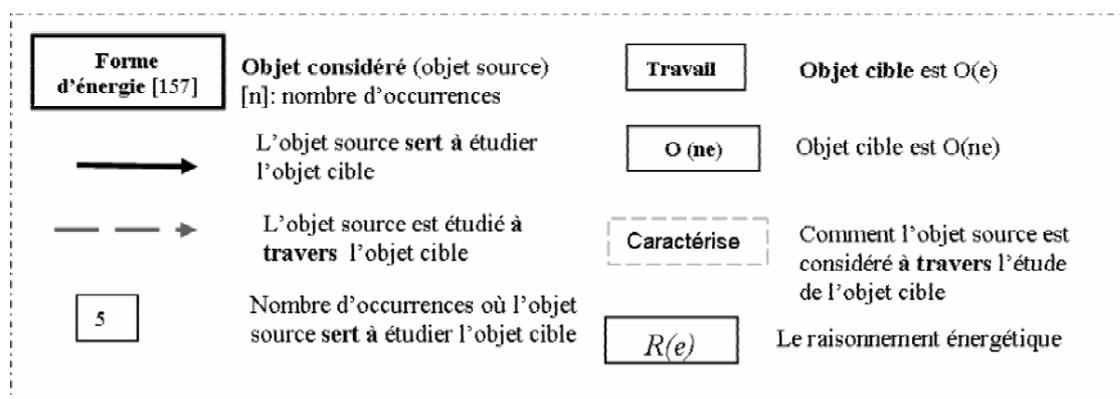
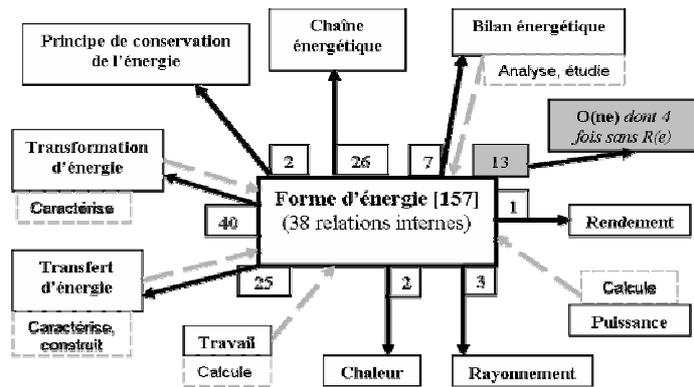


Figure 3. Légende des schémas présentant « la vie » des Objets énergétiques

Dans ce sous-chapitre 1, l'énergie cinétique se présente trois fois pour deux fonctions. La première fois et la troisième fois sont comptées pour une seule occurrence car elles ont le même but : construire l'énergie potentielle. Ces occurrences de l'énergie cinétique servent à aborder des relations internes de l'objet Forme d'énergie. La deuxième fois a pour fonction de décrire la Transformation de l'énergie.

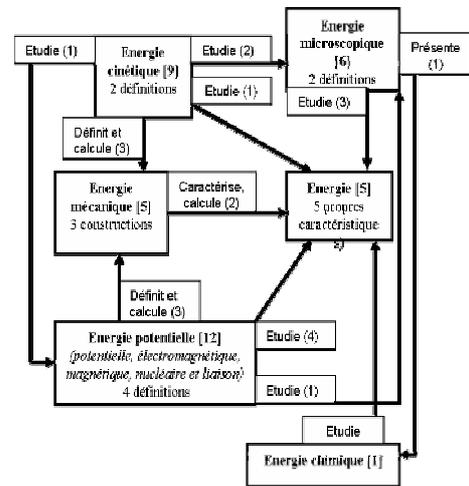
Ici, la Transformation de l'énergie est donc considérée avec la fonction de construire l'énergie potentielle.

La « vie » des objets dans le manuel de Collection Durandeu, *Physique 1^{ère}* S, Hachette éducation (1994) : schémas synthétiques

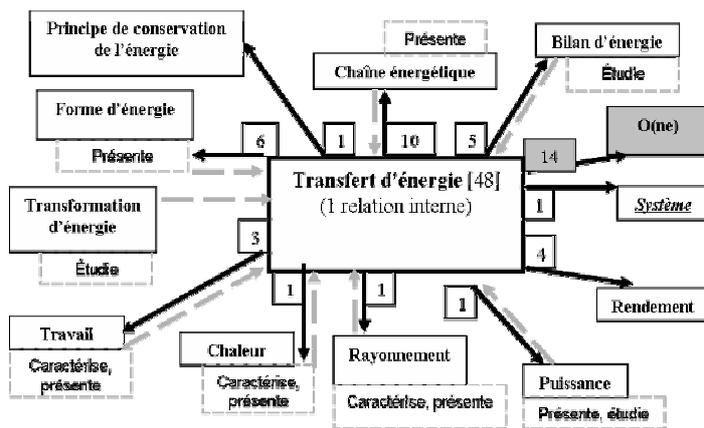


« La vie » des Formes d'énergie

Les Formes d'énergie apparaissent pour étudier 8 O(e). En dehors de 38 relations internes (24% des occurrences), la plupart sont utilisées pour étudier et présenter la Transformation (25%), le Transfert (16%) et la Chaîne (17%). Inversement, elles interviennent dans l'étude de 5 autres objets : Transfert, Transformation, Bilan, Puissance et Travail. En outre, 13 occurrences servent à étudier des O(ne) dont 4 fois sans R(e), ils sont simplement des dénominations
 Sans relation avec : Théorèmes de l'énergie.

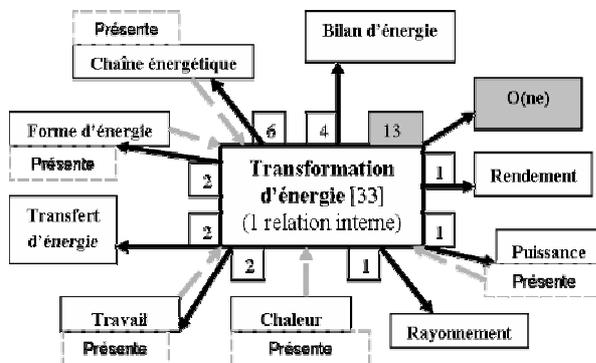


38 relations internes entre des formes d'énergie



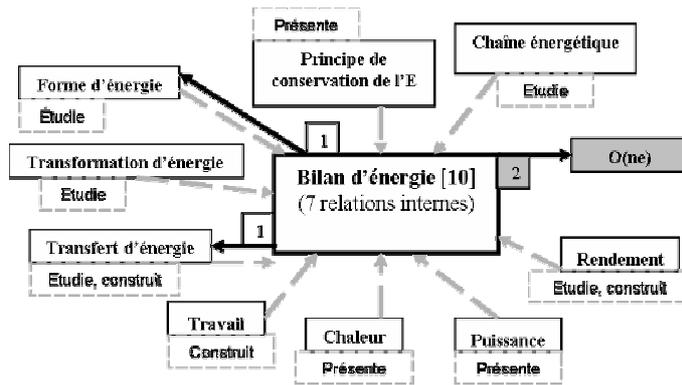
« La vie » du Transfert d'énergie

Le Transfert d'énergie apparaît pour étudier 9 O(e). En dehors de la relation interne pour sa construction (2% des occurrences), il est utilisé surtout pour construire et caractériser la Chaîne (21%), les Formes d'énergie (13%) et le Bilan (10%). Inversement, il intervient dans des études de 8 autres objets. En outre, la plupart de ses occurrences sont pour étudier des O(ne) (29%).
 Sans relation avec : Théorèmes de l'énergie.



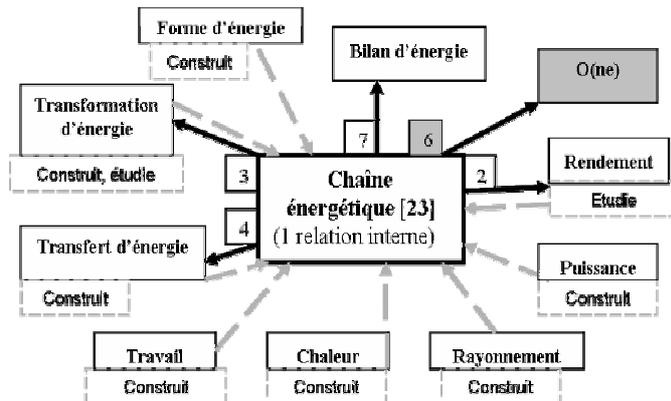
« La vie » de la Transformation d'énergie

La Transformation d'énergie apparaît pour étudier 8 O(e). En dehors de la définition (3% des occurrences), elle est surtout utilisée pour étudier la Chaîne (18%) et le Bilan (12%). Inversement, elle intervient dans l'étude de 6 autres éléments : Forme d'énergie, Chaîne, Travail, Puissance, Chaleur et Transfert. En outre, la plupart de ses occurrences sont pour étudier des O(ne) (39%).
 Sans relation avec : Principe de conservation de l'énergie, Théorèmes de l'énergie.



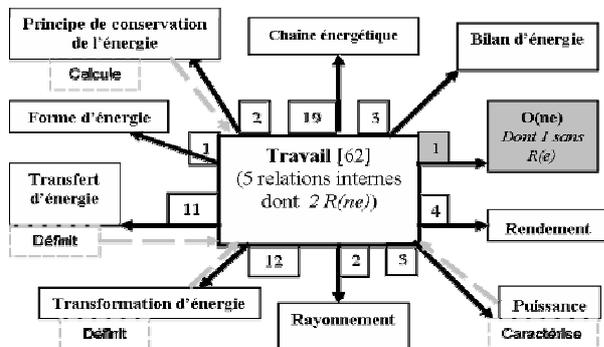
« La vie » du **Bilan énergétique**

En dehors de 7 relations internes (70% des occurrences), le Bilan énergétique apparaît pour étudier Formes d'énergie (10%) et Transfert d'énergie (10%). Inversement, il intervient dans l'étude de plusieurs O(e). En outre, il a 2 occurrences (20%) pour étudier des O(ne) (39%).
 Sans relation avec : Rayonnement, Théorèmes de l'énergie.



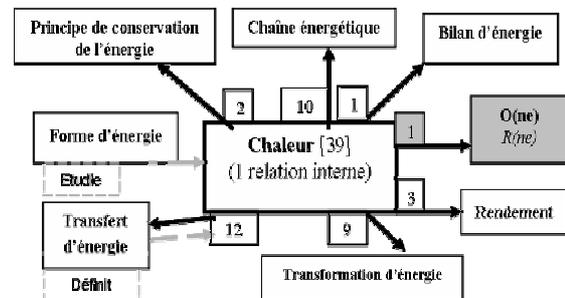
« La vie » de la **Chaîne énergétique**

La Chaîne énergétique apparaît pour étudier 4 O(e). En dehors de la définition (4% des occurrences), elle est utilisée surtout pour présenter le Bilan (30%). Inversement, elle intervient dans l'étude de plusieurs autres O(e) : Transformation, Transfert, Rendement, etc. La plupart de ses occurrences (26%) est pour étudier des O(ne).
 Sans relation avec : Principe de conservation de l'énergie, Théorèmes de l'énergie.



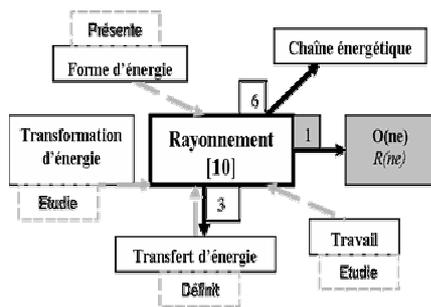
« La vie » du **Travail**

Le Travail apparaît pour étudier 9 O(e). En dehors de 5 relations internes (8% des occurrences) dont 2 R(ne), il est utilisé surtout pour étudier : Chaîne (31%), Transformation (19%), Transfert (18%). Inversement, il intervient dans l'étude de 4 autres O(e). Il n'y a qu'une occurrence pour étudier des O(ne) sans R(e), c'est simplement une dénomination.
 Sans relation avec : Chaleur, Théorème.



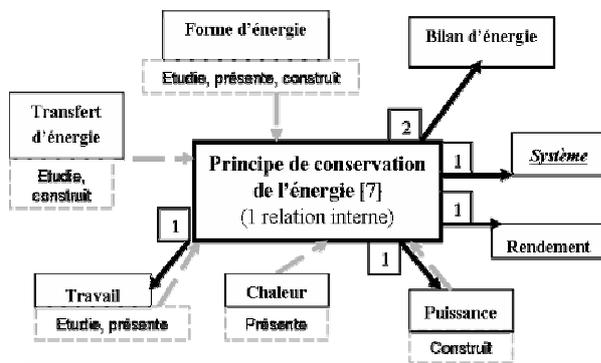
« La vie » de la **Chaleur**

La Chaleur apparaît pour étudier 6 O(e). En dehors de la définition (3% des occurrences), elle est utilisée pour étudier: Transfert (31%), Chaîne (26%), Transformation (23%). Inversement, elle intervient dans l'étude de 2 autres O(e) : Transfert et Formes d'énergie. Il n'y a qu'une occurrence pour étudier des O(ne) avec R(ne).
 Sans relation avec : Travail, Rayonnement, Puissance, Théorème.



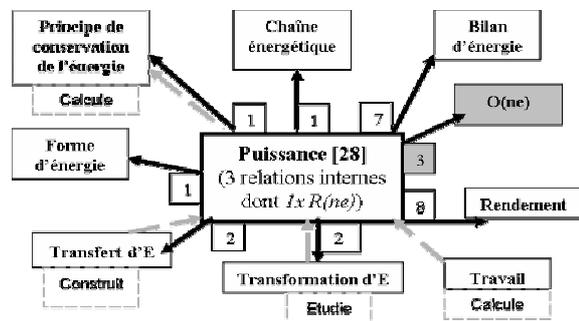
« La vie » du Rayonnement

Le Rayonnement apparaît pour étudier 2 O(e) : Transfert (30%), Chaîne (60%). Inversement, il intervient dans l'étude de 4 autres objets. Il n'y a qu'une occurrence pour étudier des O(ne) avec R(ne). *Sans relation avec : Travail, Rendement, Puissance, Bilan, Principe, Transformation, Chaleur, Théorème.*



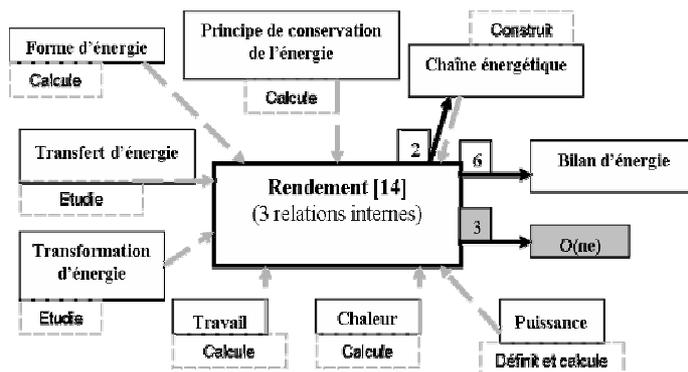
« La vie » du Principe de conservation de l'énergie

Le Principe de conservation de l'énergie apparaît pour étudier 4 O(e) de notre liste. En dehors de l'énoncé (14% des occurrences), il est utilisé surtout pour construire et caractériser des formes d'énergie (29%). Inversement, il intervient dans l'étude de 5 autres O(e). *Sans relation avec : Rayonnement, Chaîne, Théorème.*



« La vie » de la Puissance

La Puissance apparaît pour étudier 7 O(e). En dehors de 3 définitions (11% des d'occurrences) dont 1 R(ne), elle est utilisée surtout pour présenter le Bilan (24%) et calculer le Rendement (29%). Inversement, elle intervient dans l'étude de 4 autres O(e). En outre, 11% ses occurrences sont pour étudier des O(ne). *Sans relation avec : Chaleur, Rayonnement, Théorème.*



« La vie » du Rendement

En dehors de 3 relations internes (21% des occurrences), le Rendement est utilisé pour étudier 2 O(e) de notre liste : Bilan (43%) et Chaîne (14%). Inversement, il intervient dans l'étude de plusieurs autres O(e). En outre, il a 3 occurrences (21%) étudier des O(ne). *Sans relation avec : Rayonnement, Transformation, Théorème.*

CHAPITRE B.4

Existence des deux approches – influence sur la vie de l’Energie dans différentes institutions

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté la méthodologie de notre analyse écologique et ses résultats sous forme de schémas. Maintenant, nous traitons ces résultats pour comparer les différents rapports institutionnels à l’objet d’Energie dans différentes institutions. En visant à la Q1- « deux approches », dans ce chapitre, nous commençons notre comparaison par la vie de l’Energie dans deux approches Universelle (AU) et Particulière (AP) afin de chercher à répondre à la question Q2 – « décalage ».

Nous présentons donc cette analyse en deux phases de plus en plus précises:

- Recherche de l’existence des deux approches dans les manuels. Parmi les deux approches, l’AU est la moins courante et nous montrerons que son introduction va nécessiter quelques créations didactiques comme la chaîne énergétique. Par contre, l’AP est une approche habituelle de l’Energie. Nous nous intéressons ici particulièrement à l’existence de l’AU.
- Caractérisation de la présence de ces approches suivant trois critères : densité de présence des objets énergétiques O(e) - Raisonnement énergétique [R(e)]- Réseau des liens entre ces objets. Nous présentons ensemble ces trois catégories car leurs informations se concernent mutuellement.

Du fait que nous la centrons sur l’Energie, notre analyse porte seulement sur les chapitres où les objets énergétiques apparaissent. Nous pourrions les qualifier de Chapitres à contenus énergétiques. Pour simplifier, nous parlerons de *Chapitre énergétique* (appellation utilisée pour un repérage au chapitre B.1. On utilise la notation E pour «énergie» ou «énergétique») : un *chapitre énergétique* comprend au moins un objet énergétique.

I. Existence des deux approches Universelle (AU) et Particulière (AP) dans les manuels choisis

Dans cette première partie, nous soulignons les chapitres traitant de l’AU dans les manuels. La méthode d’analyse est semblable à celle de l’analyse des programmes mais plus simple car ici nous cherchons seulement à repérer l’existence de l’AU. Nous nous appuyons sur les deux propriétés qui caractérisent cette approche pour la reconnaître : la Transversalité (objet principal dans trois domaines : Mécanique, Thermodynamique et Electricité) et l’Indépendance.

I.1. Université en France : collection de Masson

A l’université, nous analysons trois manuels correspondant à trois domaines différents de la physique. Aucun chapitre de ces trois documents ne présente l’Energie de manière *indépendante*. Il existe des chapitres présentant l’Energie comme l’objet principal mais toujours dans l’habitat caractéristique du domaine étudié. Par exemple : « Energétique d’un point matériel » (Mécanique), « Energie potentielle. Potentiel électrostatique »

(Electromagnétisme), « Premier principe de la thermodynamique : l'énergie » (Thermodynamique). Il n'y a donc que des **Approches Particulières** de l'Energie.

I.2. Lycée en France

I.2.1. Programme de 1992 : Manuel de l'édition Hachette

Dans ce manuel l'Energie apparaît **par les deux approches**. Le manuel possède douze chapitres énergétiques (c'est-à-dire les objets énergétiques apparaissent dans $12/23=52\%$ des chapitres) dont deux présentent l'Energie par l'AU. Ce sont les deux premiers chapitres énergétiques, et les chapitres s'appuyant sur l'AP viennent après.

Les deux chapitres de l'AU sont le chapitre 9, intitulé «Conservation de l'énergie» et 10 «Transfert d'énergie». Le titre de ces deux chapitres atteste que leur sujet est clairement l'Energie indépendamment d'un domaine de l'énergie (*Indépendance*). Ces chapitres correspondent donc à des habitats propres à l'Energie.

Les objectifs du chapitre 9 sont : « identifier les différentes sources d'énergie ; distinguer les différentes formes d'énergie ; énoncer le Principe de conservation de l'énergie ». On introduit tout d'abord différentes sources d'énergie (source fossile, source nucléaire, source renouvelable). Puis, en étudiant les différentes formes d'énergie, on distingue l'énergie macroscopique et l'énergie microscopique. Tous ces concepts sont des matériaux pour construire la Chaîne énergétique sous forme de schéma permettant de présenter l'aspect énergétique d'une situation transphénoménologique (Transversalité). Elle conduit à énoncer la Conservation de l'énergie à la fin du chapitre.

Le chapitre 10 a les objectifs suivant : « *reconnaître les transferts d'énergie ; définir un rendement ; analyser une chaîne énergétique* ». Trois modes de transfert d'énergie sont successivement présentés : Travail mécanique, Travail électrique, Transfert d'énergie par Rayonnement, Chaleur. La caractérisation d'un Transfert d'énergie, est faite à travers l'analyse de plusieurs phénomènes physiques appartenant à des domaines différents de la physique. A la fin, le concept de Rendement est introduit en relation avec le Principe de conservation de l'énergie.

On voit bien que dans ces deux chapitres, la présentation de l'Energie ne dépend d'aucun autre domaine et que les phénomènes étudiés appartiennent à plusieurs domaines.

I.2.2. COAST-MAFPEN

Ce document est un peu particulier : ce n'est pas un manuel comme nous l'avons expliqué dans le chapitre B.2. Il ressemble à un document d'accompagnement des programmes et comporte 2 parties : la partie A présente des contenus d'enseignement, et la partie B aborde les raisons des choix de ces contenus. Notre analyse porte sur la partie A et plus exactement sur les 3 premiers chapitres qui correspondent à l'institution étudiée ici, la classe de Première S.

Dans ce document, les chapitres sont tous énergétiques (100% des chapitres). Comme dans le manuel du programme de 1992, le premier chapitre s'appuie sur l'AU, alors que les suivants développent l'Energie pour des phénomènes **particuliers** dans une AP relative au domaine de la physique concerné. Dans le chapitre 1, intitulé « Conservation de l'énergie », l'Energie est

dans son habitat propre, avec les caractéristiques d'indépendance et de transversalité : on introduit dès le début un modèle énergétique permettant de réaliser des analyses énergétiques sous forme d'un schéma applicable à différents phénomènes (*transversalité*). Ce modèle comporte plusieurs objets énergétiques de notre liste (cf. Ch. A2). La suite du chapitre est consacrée à la présentation d'exemples d'analyse pour des phénomènes physiques variés dans des domaines variés de la physique : Mécanique, Thermodynamique, Electricité.

I.2.3. Programme de 2000 : Manuel de l'édition Hachette

Ce manuel utilise aussi **les deux approches** de l'Energie. Il possède 7 chapitres énergétiques sur 18 chapitres au total (39%) dont un chapitre correspond à l'AU avec ses deux propriétés mais dans une organisation très différente par rapport aux documents précédents. On commence par deux chapitres énergétiques dans une AP, avant celui de l'AU, et on retrouve ensuite des chapitre dans l'AP.

Le chapitre dans l'AU est le chapitre 9 intitulé « Transfert d'énergie et énergie interne ». Il manifeste *l'indépendance* de l'Energie. Les objectifs sont « *Savoir que l'énergie reçue sous la forme de Travail peut modifier l'énergie interne d'un corps ; savoir ce qu'est le transfert thermique ; Aborder la conservation de l'énergie* ». Tout d'abord, on présente différents effets du Travail (dans les chapitres précédents, le Travail est déjà défini comme un objet de la Mécanique et aide à définir et à calculer l'énergie), pour mettre en évidence le rôle de mode de transfert de l'énergie. Puis, on généralise en introduisant les autres modes de transfert, le Transfert thermique et le transfert par Rayonnement. A la fin, on présente la Conservation de l'énergie à partir de l'étude de l'Energie d'un système, comme dans le manuel du programme de 1992. Ce chapitre offre un habitat propre au Transfert d'énergie, où les modes de transfert sont étudiés dans plusieurs domaines de la Physique (*transversalité*).

Par rapport au programme précédent, l'AU est moins explicite. D'abord, elle n'apparaît pas en première position, avant les chapitres en AP. Ces deux chapitres en AU sont insérés à l'intérieur d'une Partie ayant une grande proximité avec le domaine de la Mécanique : « Force, travail et énergie ». La propriété d'indépendance ne ressort pas car l'Energie n'est plus vraiment l'objet central. La propriété de transversalité n'est pas totale à cause de la forte prédominance de la Mécanique. De plus, il n'y a plus de chapitre propre au Principe de la conservation de l'énergie : il y a juste un petit paragraphe à la fin du chapitre sur le Transfert d'énergie. Alors que dans le manuel du programme de 1992, le chapitre sur le Principe de conservation met particulièrement en évidence le critère d'indépendance.

I.3. Université au Vietnam : collection du Ministère de l'éducation

A l'université vietnamienne comme à l'université française, le contenu d'enseignement (réparti dans deux manuels) est sectionné en 4 domaines différents : Mécanique, Thermodynamique, Electricité et Ondes, Oscillations.

Dans le domaine de la Mécanique, un seul chapitre « Energie » (Ch. 4) présente l'Energie comme l'objet principal. Dès le début, l'énergie est définie de manière générale : « *L'énergie est une grandeur caractérisant le degré de mouvement de la matière* » (p.89). Puis la loi de conservation de l'énergie générale est alors énoncée. En fin de ce sous-chapitre une remarque annonce que « dans la partie mécanique, on n'étudie que l'énergie mécanique, c'est-à-dire la forme d'énergie correspondant au mouvement mécanique des objets » (p.91). Cette remarque atteste bien que c'est l'AU qui est en jeu dans ce sous-chapitre, et permet de passer de l'AU à

l'AP en mécanique. L'énergie potentielle est définie grâce au concept de champ de potentiel pour deux phénomènes (appartenant usuellement à deux domaines) : le champ de pesanteur et le champ électrostatique. Dans le reste de ce chapitre, le traitement de l'Energie concerne les objets et les phénomènes particuliers au domaine de la Mécanique. L'AU n'est donc présente qu'au début du chapitre.

Dans les autres domaines de la physique, aucun chapitre ne présente l'Energie de manière indépendante.

Dans les domaines de la Physique à l'université vietnamienne, l'Energie est abordée de manière générale par une AP, à l'exception toutefois de la Mécanique, où une AU **apparaît mais sans être véritablement construite**.

I.4. Lycée au Vietnam : manuel de la classe de 10e

Dans ce manuel, deux chapitres abordent l'Energie et ils appartiennent à deux domaines séparés : la Mécanique et la Thermodynamique. L'introduction de l'Energie est faite dans la partie Mécanique (AP), où l'AU existe aussi mais de manière très floue.

Le chapitre 9 intitulé « Loi de conservation de l'énergie » dans la partie consacré à la Mécanique, est le seul qui porte un titre ayant une tendance vers une AU (habitat propre à l'Energie). En réalité le contenu du chapitre est presque totalement limité aux objets et aux phénomènes du seul domaine de la Mécanique. Les concepts de Travail et de Puissance sont définis en premier et amènent à la loi de conservation du Travail (qui correspond à la notion de la force conservative). Ensuite la Forme d'énergie est introduite. On donne à ce stade une **définition de l'Energie** qui est donnée comme générale mais qui est en réalité mécanique parce qu'elle s'appuie sur le concept de Travail : « *L'énergie est une grandeur physique qui caractérise le capacité de réaliser du travail d'un objet ou d'un système d'objets* » (p.144). Cette définition est suivie de la présentation des formes d'énergie liées au domaine de la Mécanique : énergie cinétique, énergie potentielle, énergie mécanique et sa conservation. La loi de conservation de l'énergie est introduite de manière générale : « *Dans un système isolé, il y a la transformation de l'énergie d'une forme à l'autre forme mais l'énergie totale est conservée* » (p.154) Mais dans le paragraphe des applications, elle n'est utilisée que pour des situations mécaniques. Ce n'est donc pas vraiment un habitat propre à l'Energie, bien qu'il y en ait des traces.

Dans le chapitre 11 « L'énergie interne du gaz parfait » de la partie « Physique nucléaire et thermique », l'énergie interne est définie en premier pour introduire le Premier principe de la Thermodynamique. Tous les phénomènes étudiés dans ce chapitre sont propres au domaine particulier de la Thermique.

Dans ce manuel, on peut donc voir des traces d'un habitat propre à l'Energie au travers d'une définition générale de l'Energie et d'un énoncé général de la Conservation. L'AU existe donc de manière peu explicite et très limitée à l'intérieur d'une AP dominante.

I.5. Conclusion

Cette analyse nous permet à répondre à la première partie de la Question **Q1** – « **deux approches** » : « *Qu'en est-il dans deux approches AU et AP dans l'enseignement dispersé à l'université et au lycée, en France et au Vietnam ? Quelles différences présentent-elles ?* »

Pour le cas de la France, cette étude nous montre bien la différence dans la présentation de l'Energie entre les deux contextes : l'université et le lycée. A l'université, seule l'Approche Universelle est présente. L'Energie n'a jamais d'habitat propre, elle apparaît au sein des habitats spécifiques aux domaines étudiés de la Physique. Au lycée, l'AU apparaît toujours à côté de l'AP. Dans le programme de 1992, l'AU est forte de sa position première, alors que dans celui de 2001, sa présence est sensiblement moins forte.

Au Vietnam, l'AU apparaît dans les deux institutions, et accompagne l'AP au sein de chapitres dédiés à la Mécanique. Mais elle est peu explicite. On donne toujours une définition générale de l'Energie ainsi que l'énoncé du Principe de la conservation de l'énergie générale mais cela ne va pas plus loin, et tout le reste est spécifique à l'Energie en Mécanique. L'AP est largement dominante, les objets et les phénomènes appartenant toujours très clairement à un domaine spécifique (à l'exception des deux objets cités).

II. Densités des objets énergétiques O(e) - Raisonnement énergétique - réseau des liens entre les O(e)

II.1. Méthodologie

Comme nous l'avons vu dans le chapitre B.2, l'apparition de l'AU est liée au Raisonnement énergétique R(e). Nous allons nous intéresser au R(e) dans les manuels choisis afin d'étudier si l'apparition de l'AU influence ou non à la vie de l'Energie. Cette analyse est associée à une étude de la densité de présence des O(e) car la présence des Objets énergétiques est un critère important pour identifier un R(e). Nous définirons en fait deux densités pour les objets O(e). Ces études portent bien sûr sur les chapitres énergétiques des manuels.

II.1.1. Densité de présence D_{Objet} des objets énergétiques

Notre liste comporte 12 objets. La densité D_{Objet} est un nombre compris entre 0 et 1. Elle est égale à 0 quand il n'y a aucun O(e) dans aucun des chapitres énergétiques. Elle est égale à sa valeur maximale 1 si chacun des chapitres énergétiques contient le nombre maximum d'O(e), c'est à dire si tous les chapitres énergétiques contiennent chacun les douze objets. En réalité, les manuels ne font pas usage de tous les objets, et pour comparer les différents manuels, nous construisons plusieurs densités. Celle-ci nous permet de comparer les différents manuels par la densité de présence des O(e) dans leurs chapitres énergétiques : elle est à la fois représentative de la quantité des objets présents et de leur présence simultanée dans chacun des chapitres. Cela est intéressant parce qu'une propriété d'un raisonnement énergétique, c'est de mettre en jeu (et en relation) des objets énergétiques.

$$D_{\text{Objet}} = \frac{\sum_{i=1, N_{\text{ChapE}}} \text{Nombre}_{\text{O}(e)} \text{ dans le chapitre } C_i}{\text{Nombre}_{\text{Chapitres énergétiques du manuel}} \times \text{Nombre}_{\text{maximum d'O}(e)}} = \frac{\sum_{i=1, N_{\text{ChapE}}} N_{\text{O}(e)/C_i}}{N_{\text{ChapE}} \times 12}$$

En parallèle au calcul de cette densité, nous analysons le raisonnement dans lequel les O(e) interviennent dans chaque chapitre énergétique : R(e), R(ne) (voir chapitre B3) ou raisonnement mixte (pour les deux raisonnements énergétique et non-énergétique).

II.1.2. Densité D_{Liens} des liens entre les O(e)

Il est intéressant d'associer à D_{Objet} un autre critère : la *densité absolue* des relations, ou *liens d'usage* (cf. chapitre B.3), qui existent entre les O(e). Quand dans l'ensemble des chapitres énergétiques, les 12 objets sont tous en relation entre eux, on a au total 66 liens. Ce nombre est calculé par la formule $n(n-1)/2$ où $n = 12$. Mais ce nombre ne donne pas une information suffisante pour effectuer des comparaisons entre manuels car pour un manuel comportant un nombre inférieur d'O(e), les liens sont également moins nombreux. Or nous voulons voir si la densité des relations entre les O(e) est forte ou non dans chacun des manuels. C'est pourquoi nous choisissons d'étudier la *densité relative des liens entre O(e)*. Cette densité est calculée relativement aux objets existant dans le manuel. En appelant n_i le nombre des O(e) apparaissent dans le manuel, le nombre maximal de liens entre O(e) pour ce manuel est donc : $n_i (n_i - 1)/2$ (n_i est donc caractéristique du manuel concerné).

$\text{Densité relative des liens } D_{\text{Liens}} = \frac{\text{Nombre total des liens apparaissant dans les chapitres énergétiques}}{n_i (n_i - 1)/2}$
--

Comme la densité des O(e), la densité relative des liens d'usage D_{Liens} a une valeur comprise entre 1 et 0. Elle vaut 0 si aucun des O(e) n'est mis en relation avec aucun autre O(e). Elle vaut 1 si chacun des O(e) est mis en relation avec chacun des autres O(e).

Hypothèse : lorsque l'AU existe, elle conduit à l'apparition de nombreux O(e) (densité D_{Objet} élevée) qui ont un réseau riche de liens entre eux (densité des liens D_{Liens} élevée) et a priori les R(e) sont eux aussi nombreux.

II.1.3. Présentation en tableau et diagramme

Pour donner une vision claire et rapide, nous présentons les deux densités en utilisant un tableau et un diagramme pour chaque manuel. Je commenterai les lignes du tableau et du diagramme qui me semblent pertinentes par rapport à mon analyse.

Tableau de la densité des O(e) (Annexe 3) : Ce tableau possède deux variables :

- En ligne : la liste des O(e) (12).
- En colonne : le numéro et le titre du chapitre énergétique (qui a au moins d'un O(e)).

Légende des tableaux :

<div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 5px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; background-color: white; margin-right: 5px;"></div> <div>O(e) n' existe pas dans le chapitre</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; background-color: #e0e0e0; margin-right: 5px;"></div> <div>O(e) existe dans le chapitre avec le raisonnements non-énergétique $R(ne)$</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; background-color: #808080; margin-right: 5px;"></div> <div>O(e) existe dans le chapitre avec un raisonnement énergétique $R(e)$</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; background-color: #c0c0c0; margin-right: 5px;"></div> <div>O(e) existe dans le chapitre avec 2 raisonnements : $R(e)$ et $R(ne) \rightarrow R(mixte)$</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; background-color: white; margin-right: 5px; text-align: center; line-height: 15px;">□</div> <div>le raisonnement non-énergétique</div> </div> </div>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="padding: 2px;">Ch/O</th> <th style="padding: 2px;">BL</th> <th style="padding: 2px;">Ch</th> <th style="padding: 2px;">Pr</th> <th style="padding: 2px;">TrE</th> <th style="padding: 2px;">TrA</th> <th style="padding: 2px;">E</th> <th style="padding: 2px;">W</th> <th style="padding: 2px;">Q</th> <th style="padding: 2px;">R</th> <th style="padding: 2px;">P</th> <th style="padding: 2px;">Ent</th> <th style="padding: 2px;">ThE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">3 : Energie potentielle Potential electrostatique</td> <td></td> <td></td> <td style="background-color: #808080;"></td> <td></td> <td></td> <td style="background-color: #c0c0c0;"></td> <td style="background-color: #c0c0c0;"></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">5 : Dipôle electrostatique</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="background-color: #c0c0c0;"></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">8 : Conducteur en équilibre electrostatique</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="background-color: #c0c0c0;"></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Ch/O	BL	Ch	Pr	TrE	TrA	E	W	Q	R	P	Ent	ThE	3 : Energie potentielle Potential electrostatique													5 : Dipôle electrostatique													8 : Conducteur en équilibre electrostatique												
Ch/O	BL	Ch	Pr	TrE	TrA	E	W	Q	R	P	Ent	ThE																																									
3 : Energie potentielle Potential electrostatique																																																					
5 : Dipôle electrostatique																																																					
8 : Conducteur en équilibre electrostatique																																																					

Figure 1. Présentation de la légende des tableaux de densité de présence des objets énergétiques avec un exemple de tableau (cf. Annexe B.4).

Ce tableau donne plusieurs informations et nous l'utilisons pour deux études. La première pour étudier la densité de présence des objets énergétiques (on compte le total des occurrences

des O(e) dans les chapitres pour calculer la densité des O(e)). La deuxième donne des informations sur le raisonnement dans lequel l'O(e) est exposé.

Diagramme de la densité des liens entre les O(e) (Annexe B.4)

Le diagramme exprime les liens existant entre les objets de notre liste. Des liens que nous analysons ici sont les liens usages (cf. chapitre B.3) de chaque O(e) que nous avons présenté dans les schémas des O(e) de chaque manuel dans le chapitre B.3. Ils désignent les deux types de « flèches » du schéma présenté dans la figure 5 du chapitre B.3 (paragraphe III). L'une répond à la question : « Pourquoi l'O(e) source apparaît-il ? Pour quoi faire ? » C'est à dire quels sont les objets-sources auxquels il est utile ? L'autre flèche correspond à la question : « Sous quelles conditions existent-ils ? » C'est-à-dire quels sont les objets-cibles nécessaires pour que l'objet source puisse vivre ? En fait, prendre les deux flèches en compte revient à comptabiliser l'existence d'une relation entre les deux objets considérés, quelle que soit son « orientation ».

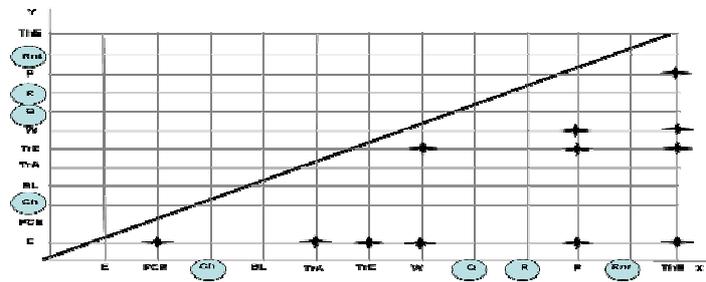


Figure 2. Présentation d'un exemple de diagramme de densité des liens entre les objets énergétiques du manuel Mécanique (Pérez, 1997). Les objets entourés sont des objets absents dans le manuel. (cf. Annexe B.4).

Le diagramme est donc symétrique, et pour cette raison seule la partie située sous la diagonale sera utilisée.

Ce diagramme permet de voir (et de synthétiser) pour un manuel donné, la présence ou l'absence des liens et des objets et à comptabiliser les liens pour calculer la densité D_{Liens} des O(e).

Nous allons maintenant examiner les résultats obtenus pour les différents manuels étudiés. Les diagrammes et les tableaux sont présentés en Annexe B4; les références précises dans l'annexe sont précisées pour chaque ouvrage. Nous précisons dans chaque cas, le nombre d'O(e) présents, les O(e) absents et les valeurs des densités. Nous ne détaillerons l'analyse que dans le cas du manuel universitaire de Mécanique, et uniquement à titre d'exemple. Nous présentons ensuite les confrontations des résultats pour les différents manuels et institutions.

II.2. Manuels universitaires en France

Les trois manuels étudiés se situent exclusivement dans des AP.

II.2.1. Mécanique (Annexe B.4, §I.1)

▲ 8 O(e) existent dans 18 chapitres. Les objets Chaîne, Chaleur, Rayonnement et Rendement n'existent pas. La densité des O(e) dans les chapitres énergétiques est : $D_{\text{Objet}} = 59/216 = 0,27$.

Le chapitre 20 intitulé « Energétique des systèmes matériels » a le plus grand nombre d'O(e). Le chapitre 5 porte aussi un titre évoquant l'Energie mais le nombre des O(e) est moindre car l'Energie est introduite mais il n'y a pas encore d'analyses énergétiques ; elles interviennent en revanche dans le chapitre 20 où l'O(e) Bilan apparaît, créant beaucoup d'opportunités de discussions et d'analyses. C'est aussi le cas pour le chapitre 22 dont le titre ne comporte pas le terme « énergie », mais où les O(e) sont nombreux.

Dans les chapitres 11, 15 et 27, l'objet principal n'est pas l'Energie, les O(e) n'ont pas beaucoup d'occasions pour apparaître : dans le chapitre 11, seule la Puissance est utilisée pour caractériser les oscillations sur le plan énergétique; dans les deux autres chapitres, les formes d'énergie sont simplement nommées pour étudier ou calculer d'autres objets non-énergétiques. Les O(e) dans ces chapitres sont tous employés en R(ne).

▲ R(e) : $27/59 = 46\%$. Dans le chapitre 13 il n'existe que des R(e). L'objet de ce chapitre n'est pas l'Energie, mais c'est celui dans lequel apparaît le Principe de conservation de l'énergie qui fournit alors l'occasion de mettre en relation plusieurs O(e) dans des R(e).

R(ne) : $18/59 = 30\%$. Dans les chapitres où il n'existe que le R(ne), on constate qu'il y a très peu d'O(e) comme on vient de le voir pour les chapitres 11, 15 et 27. C'est un résultat prévisible car le R(e) apparaît seulement quand il existe une relation entre plusieurs O(e). Il y a une exception dans le cas de l'objet Forme d'énergie car les différentes formes d'énergie sont souvent en relations entre elles dans des R(e) (relations et donc R(e) internes à l'O(e) Forme d'énergie). Ce type de raisonnement vaut donc pour les O(e) suivants : Travail, Théorèmes et Puissance qui sont des objets de la Mécanique ; par contre, la Forme d'énergie et le Principe de conservation sont parfois simplement cités sans qu'il y ait de R(e) comme par exemple dans les chapitres 6, 11 et 24, dont le sujet n'est pas l'Energie.

R(mixte) : $14/59 = 24\%$. Dans le chapitre 5, qui a un titre évoquant l'Energie, les O(e) ont de nombreux liens développant le R(e). Cependant trois O(e) sont définis en R(ne) : le Travail comme objet de la Mécanique en relation avec la force, et de manière analogue, la Puissance. Les formes d'énergie présentent essentiellement des relations internes entre elles, à part le cas de l'énergie cinétique qui ne sert que pour le Théorème de l'énergie cinétique (c'est pourquoi elle n'a pas de relation avec les O(e)). C'est aussi le cas pour le chapitre 20. L'objet du chapitre est l'Energie mais le Travail et la Puissance apparaissent encore comme des objets de la Mécanique.

▲ Dans ce manuel, il existe au total 13 liens. La densité absolue des liens est $13/66 = 0,20$ et la densité relative est $D_{\text{Liens}} = 13/28 = 0,46$. Malgré l'absence de quatre O(e), la densité relative des liens pour ce manuel est moyenne.

II.2.2. Electricité (Annexe B.4, §I.2)

Il y a 11 O(e) (la Chaîne n'existe pas) dans un total de 15 chapitres. La densité des O(e) dans les chapitres énergétiques est $D_{\text{Objet}} = 57/180 = 0,32$.

- R(e) : $36/57 = 63\%$. Trois chapitres, 10, 19 et 28, fonctionnent uniquement en R(e). Le chapitre 10 est centré sur l'Energie, c'est pourquoi il contient plusieurs O(e) apparaissent et fonctionne seulement en R(e). Pour les deux autres chapitres, c'est le Bilan énergétique qui donne l'occasion de mettre en relation plusieurs O(e) en R(e).
- R(ne) : $9/57 = 16\%$; R(mixte) : $12/57 = 21\%$.

Dans ce manuel, il existe au total 25 liens. La densité absolue des liens est $25/66 = 0,38$ et la densité relative est $D_{\text{Liens}} = 25/55 = 0,45$. Avec un seul objet absent, la densité relative des liens est moyenne.

II.2.3. Thermodynamique (Annexe B.4, §I.3)

Il y a 11 O(e) (la Chaîne n'existe pas) dans un total de 19 chapitres. $D_{\text{Objet}} = 80/228 = 0,35$.

- R(e) : $39/77 = 51\%$; R(ne) : $10/77 = 13\%$.
- R(mixte) : $28/77 = 36\%$. Le chapitre 20 « Tension superficielle » n'apporte que ce type de raisonnement. En dehors des études dans l'aspect d'énergie, plusieurs fois les O(e) sont simplement nommés.

Dans ce manuel, il existe au total 27 liens. La densité absolue des liens est $27/66 = 0,41$ et la densité relative est $D_{\text{Liens}} = 27/55 = 0,49$. Comme dans le manuel de l'Electromagnétisme, il y a un objet absent et la densité relative des liens est moyenne.

II.2.4. Comparaison entre des domaines (Tableau 1)

On remarque que le nombre des O(e) est très variable suivant les domaines. En Mécanique, il y a plus d'objets absents, mais ce sont clairement des objets non spécifiques à ce domaine. Dans les deux autres manuels, on a presque tous les O(e) de la liste. La Chaîne énergétique est le grand absent de tous ces manuels, ce qui est cohérent avec le statut de création didactique que nous lui avons attribué.

La densité de présence des O(e) est relativement homogène, autour de 30%. C'est en Thermodynamique que la densité des O(e) est la plus grande. C'est logique car un des principes fondamentaux de ce domaine, le 1^{er} Principe de la Thermodynamique, correspond au Principe général de conservation de l'énergie. Les études qui le concernent sont autant d'occasions de présence pour les O(e). C'est analogue pour la densité des liens, car plus les O(e) apparaissent souvent, plus la possibilité d'être en lien est grande. On remarque que le R(mixte) est fréquent en Thermodynamique : plusieurs O(e) sont aussi des objets caractéristiques de ce domaine.

Comparativement à la Thermodynamique, qui constitue traditionnellement un habitat privilégié pour l'Energie, on remarque que l'Electricité apparaît comme un assez bon habitat pour l'E, avec le plus fort taux de R(e) (63% contre 51% en Thermodynamique). Paradoxalement, c'est la mécanique, domaine traditionnel de l'introduction des concepts énergétiques, qui possède les plus faibles scores. De par une plus grande absence d'objets, le manuel de la Mécanique a naturellement la densité absolue des liens la plus petite, mais sa densité relative est comparable aux autres domaines. Le réseau entre les O(e) est un peu

moins dense. En Thermodynamique et en Electricité, ces densités sont moyennes relativement aux densités observées dans d'autres institutions (voir ci-dessous). Ceci indique qu'il existe dans ces manuels universitaires une vie énergétique relativement développée. On ne peut pas considérer que l'Energie n'y apparaît que comme un outil, un accessoire, pour le domaine particulier considéré, même si les approches sont exclusivement particulières.

II.3. Manuels du Lycée en France

II.3.1. Manuel du programme de 1992 (Annexe B.4, §II.1)

Il y a 11 O(e) (Théorèmes n'existe pas) dans 12 chapitres au total : $D_{\text{Objet}} = 82/144 = 0,57$. On a donc ici une forte densité de présence des O(e).

- Deux chapitres 9 et 10 (ceux qui présentent l'Energie par l'AU), comportent de nombreux O(e), mais aussi des objets mixtes et tous ces objets n'apparaissent qu'en R(e). Bien que n'étant pas un chapitre dans une AU, le chapitre 16 « Bilan énergétique d'un générateur » comporte aussi presque tous les O(e) et fonctionne en R(e). C'est un cas particulier. Les autres chapitres possèdent moins d'O(e), ou bien fonctionnent en R(ne) ou R(mixte).

- Dans ce manuel, les deux premiers chapitres énergétiques présentent l'AU, et les chapitres suivant, bien qu'en AP, servent de domaines d'application de l'AU. C'est pourquoi les O(e) et les R(e) sont nombreux.

- R(e) : $73/82 = 89\%$.

- R(ne) : $1/82 = 1\%$, on peut donc considérer le R(ne) comme absent de ce manuel. (L'objet du chapitre concerné (chapitre 20) n'est pas l'Energie. Un seul O(e) y existe, le Rayonnement, mais il n'est pas employé ici comme un objet énergétique : il s'agit d'introduire le rayonnement γ .)

- R(mixte) : $8/82 = 10\%$.

Dans ce manuel, il existe au total 46 liens. La densité absolue des liens est $46/66 = 0,70$ et la densité relative est $D_{\text{Liens}} = 46/55 = 0,84$. Avec un seul objet absent, la densité relative des liens de ce manuel est très importante. Dans les chapitres présentant l'AU, les liens sont moins denses que dans chapitres présentant l'AP. En particulier, le Bilan n'apparaît que dans les chapitres de l'AP, et cet objet transversal est générateur de nombreuses mises en relation dans les différents domaines de la physique considérés dans ces chapitres en AP.

II.3.2. COAST-MAFPEN (Annexe B.4, §II.2)

Il y a 11 O(e) (Théorèmes n'existe pas) dans un total de 3 chapitres : $D_{\text{Objet}} = 32/36 = 0,88$. La densité de présence des objets est donc extrêmement importante.

- Le chapitre 1, que nous avons analysé pour l'apparition de l'AU, comporte presque tous les O(e) et ils sont tous en R(e).

- A part le chapitre 2 qui concerne plus particulièrement la Mécanique et où le Rendement n'apparaît pas, les trois chapitres comportent tous les O(e).

R(e) = 100% ; R(ne) et R(mixte) = 0%. Comme dans le manuel précédent, et conformément au programme, le chapitre présentant l'Energie en général dans une AU est le premier, et les chapitres suivant servent à appliquer l'AU dans différents domaines de la physique.

Tous les chapitres sont énergétiques, comportent quasiment tous les O(e) et ne fonctionnent qu'en R(e). Ces résultats sont donc parfaitement cohérents avec le fait que ce manuel soit consacré à l'Energie dans une AU.

Dans ce manuel, il existe au total 35 liens. La densité absolue des liens est $35/66 = 0,53$ et la densité relative est $D_{\text{Liens}} = 35/55 = 0,64$. Avec un seul objet absent (le même que dans le manuel précédent), la densité relative des liens est forte, mais toutefois elle est sensiblement moins importante que dans le manuel. Dans le premier chapitre en AU les liens sont plus denses que dans les deux autres chapitres en AP. En particulier, et contrairement au manuel scolaire, le Bilan énergétique, générateur de liens, apparaît dans ce premier chapitre.

II.3.3. Manuel du programme de 2000 (Annexe B.4, §II.3)

10 O(e) (Chaîne et Rendement n'existent pas) existent dans un total de 7 chapitres : $D_{\text{objet}} = 34/84 = 0,40$.

- Le chapitre 9 est celui où l'AU apparaît de manière «floue». Il comporte de nombreux O(e) et il fonctionne uniquement en R(e). Avec son titre mettant en avant l'Energie, le chapitre 10 « Transfert d'énergie dans un circuit électrique » comporte également beaucoup d'O(e).
- Par rapport au manuel de 1992, l'Energie ne couvre pas tous les chapitres et la densité des O(e) est sensiblement moindre. Le chapitre en AU n'intervient qu'après trois chapitres en AP (chapitre 6, 7 et 8). Le chapitre 9 est un peu une synthèse des chapitres qui le précède. De la même façon, le chapitre 10 qui le suit peut être considéré comme une application dans le domaine de l'Electricité. Dans les deux derniers chapitres, l'Energie n'est plus l'objet principal et les O(e) sont moins nombreux.

- R(e) : $31/34 = 91\%$. On constate que le R(e) reste très important. Comme pour le manuel du programme de 1992, le chapitre de l'AU comporte de nombreux O(e) et fonctionne toujours en R(e).

- R(ne) : $2/34 = 6\%$. Cela correspond à l'usage du Travail et de la Puissance en tant qu'objets du domaine.

- R(mixte) : $1/34 = 3\%$. On peut le considérer comme à peu près nul.

Dans ce manuel, il existe au total 27 liens. La densité absolue des liens est $27/66 = 0,41$ et la densité relative est $D_{\text{Liens}} = 27/45 = 0,60$. Par rapport au programme de 1992, il y a moins d'O(e). La densité relative des liens est sensiblement plus faible mais reste cependant relativement importante. On note que comme le manuel du programme de 1992, les chapitres en AU ont une plus faible densité de liens que dans les chapitres présentant l'AP. On remarque qu'ici aussi, l'exploitation du Bilan énergétique n'apparaît que dans les chapitres en AP.

II.3.4. Comparaisons (Tableau 1).

Manuel de programme de 1992 et COAST-MAFPEN (1998).

Dans le document COAST-MAFPEN par rapport au manuel, on constate que le R(e) prend toute la place, et que les R(ne) et R(mixte) sont très faibles ou n'existent pas. La densité des O(e) est plus forte mais la densité de liens est sensiblement plus faible.

Dans les deux documents, les premiers chapitres sont en AU et les chapitres en AP qui les suivent sont des applications. Dans le manuel de 1992, les chapitres dans une AP de l'Énergie sont plus nombreux. Pour les chapitres en AU des deux documents, le nombre des liens entre les O(e) n'est pas très différent, quoique plus grand dans le document COAST-MAFPEN. C'est dans les chapitres de l'AP que le nombre de liens est sensiblement plus faible pour le document COAST-MAFPEN.

Il faut prendre en compte le fait que la nature de ces deux documents est différente. Le document de 1992 est un manuel et notre analyse est réalisée dans la partie de cours. Le COAST-MAFPEN est pris comme un document d'accompagnement des enseignants : il présente des activités pour les élèves et la partie de cours est insignifiante. Le premier chapitre introduit l'Énergie dans une AU (avec l'objectif d'exploiter l'approche et les Objets dans des activités dans les chapitres suivants), ce qui justifie la présence de presque tous les O(e). C'est pourquoi les liens entre les O(e) dans ce chapitre sont plus denses que dans les chapitres de l'AU du manuel où les connaissances sont introduites au fur et à mesure.

Dans les chapitres qui suivent en AP, c'est essentiellement une partie de cours qui est analysée dans le manuel, alors que ce sont des activités pour le document COAST-MAFPEN. Il semble donc que la densité des liens dans un cours est plus importante que dans un ensemble d'applications.

Dans les deux ouvrages, les R(e) sont très largement dominants. Dans le document COAST-MAFPEN, il n'y a que des R(e) alors que le manuel utilise quelques R(mixtes), ce qui indique que la vie des O(e) dans le manuel n'est pas exclusivement tournée vers l'Énergie. L'Énergie étant le seul sujet du document COAST-MAFPEN, et les activités étant le lieu privilégié pour les raisonnements, ce contexte favorise une exclusivité du R(e). Dans les deux ouvrages, l'Énergie n'est jamais exploitée comme un outil pour le domaine de la physique considéré, puisqu'il n'existe pour ainsi dire pas de R(ne). Particulière ou Universelle, l'approche est donc toujours et avant tout énergétique.

Evolution des manuels du programme de 1992 au programme de 2000.

Dans le manuel de 2000, la place de l'AU est plus limitée (1 chapitre) par rapport à celui de 1992 (2 chapitres). De plus ce chapitre n'est pas le premier chapitre, il fait suite à trois chapitres en AP.

L'abandon de 2 O(e) (Chaîne et Rendement) conduit à une diminution de la densité des O(e). Cela limite les possibilités de mise en relation entre les O(e), et fait baisser la densité absolue des liens. Cependant, la densité relative des liens est également plus petite.

Le pourcentage de R(e) n'est pas affecté, mais le R(mixte) a disparu en laissant la place à des R(ne). On peut dire que dans le manuel de 2000, soit on aborde un O(e) comme un objet non-énergétique, soit on l'aborde comme un O(e) dans un contexte énergétique. Les chapitres de l'AU comportent toujours un nombre élevé d'O(e) et fonctionnent toujours en R(e).

Dans les deux manuels, les liens entre les O(e) des chapitres présentant l'AU sont moins denses que les chapitres de l'AP. Le Bilan apparaît seulement dans les chapitres de l'AP.

Lycée – Université

A l'université l'AU n'existe pas. Ceci n'affecte pas vraiment le nombre des O(e), qui reste sensiblement le même, sauf peut-être en Mécanique. L'objet Chaîne est le grand absent des ouvrages universitaires, ainsi que l'on pouvait s'y attendre. On peut noter que le seul objet absent pour le programme de 1992, c'est l'objet Théorème. Dans le programme de 2000, cet objet réapparaît et c'est la Chaîne et le Rendement qui disparaissent à leur tour. (Les apparitions et disparitions de ces objets sont reprises et analysées finement dans la partie C).

La densité de présence des O(e) et la densité des liens sont toujours sensiblement plus petites à l'université qu'au lycée (nous avons vu cependant que la densité des liens pourrait dépendre de la nature des textes analysés).

D'autre part, les pourcentages de R(e) sont toujours très inférieurs à ceux observés au Lycée. A l'université, très peu de chapitres de l'AP ne comportent que du R(e) : 1 chapitre pour la Mécanique et la Thermodynamique, 3 pour l'Electricité, alors qu'au Lycée le R(e) est dominant dans quasiment tous les chapitres (en AU il n'y a que du R(e), et c'est aussi souvent le cas dans les AP).

Quant à l'absence de la Chaîne énergétique des manuels universitaires, elle est cohérente avec le statut de création didactique que nous lui avons attribué.

On voit ici clairement par comparaison des ouvrages concernant le Lycée avec les ouvrages universitaires, que la présence d'une AU augmente sensiblement la densité de présence des O(e), la densité relative des liens, et les R(e). Cette augmentation devient très forte lorsque la place de l'AU devient dominante, comme dans le manuel du programme de 1992 et le document COAST-MAFPEN. Il semble donc que ces fortes valeurs de densité et de R(e) soient bien caractéristiques de l'AU. Cependant, on remarque que l'AP dans ces manuels scolaires, est très favorable au développement de liens nombreux entre les O(e).

Une autre remarque importante à partir de ces deux ouvrages, c'est que l'Approche Universelle n'exclut pas l'Approche Particulière, alors que l'inverse est possible lorsque l'habitat est circonscrit dans un seul domaine de la physique, comme on l'a vu pour les manuels universitaires.

Une conséquence possible est qu'une approche complète de l'Energie, reposerait sans doute sur un usage conjoint des deux approches, qui ont toutes deux leurs raisons d'être. La question est peut être de savoir comment les articuler harmonieusement entre elles.

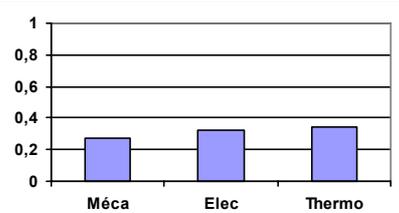
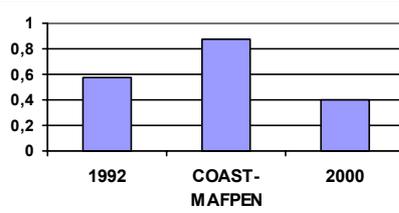
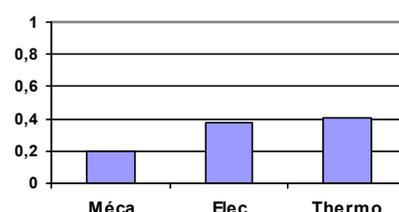
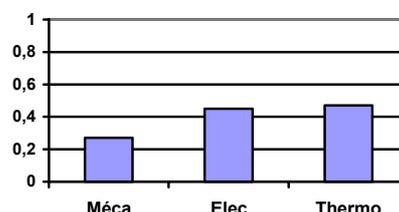
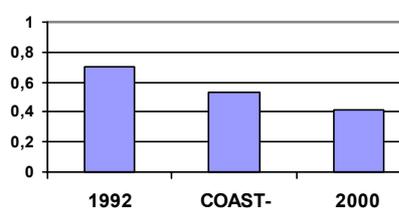
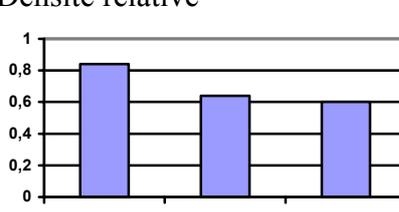
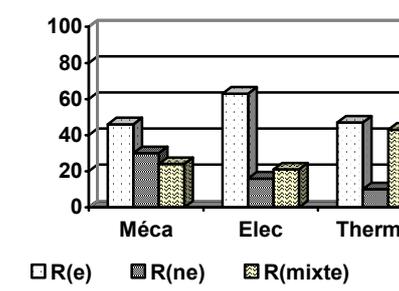
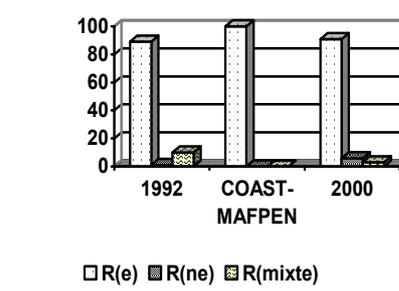
Niveau	Université	Lycée
Objet absent	<p>Mécanique</p> <p>C B L TrE E PCE TrA W Q R P Rnt ThE</p> <p>Electricité</p> <p>C B L TrE E PCE TrA W Q R P Rnt ThE</p> <p>Thermodynamique</p> <p>C B L TrE E PCE TrA W Q R P Rnt ThE</p>	<p>1992 et COAST</p> <p>Ch B L TrE E PCE TrA W Q R P Rnt ThE</p> <p>2000</p> <p>C B L TrE E PCE TrA W Q R P Rnt ThE</p>
Densité de présence O(e)		
Densité des liens	<p>Densité absolue</p>  <p>Densité relative</p> 	<p>Densité absolue</p>  <p>Densité relative</p> 
Raisonnement		

Tableau 1. Résumé des informations des documents français.

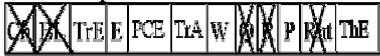
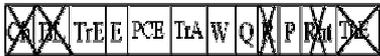
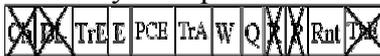
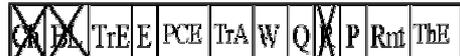
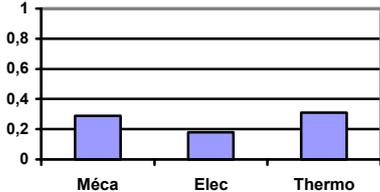
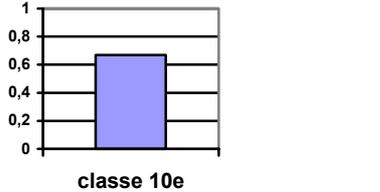
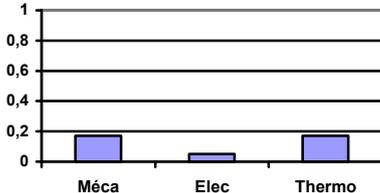
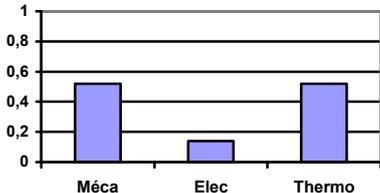
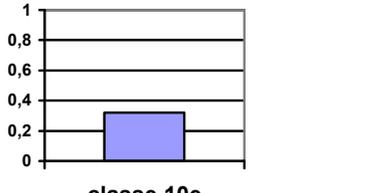
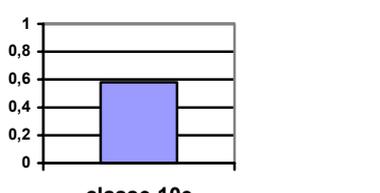
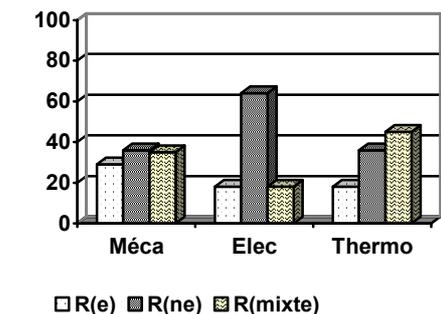
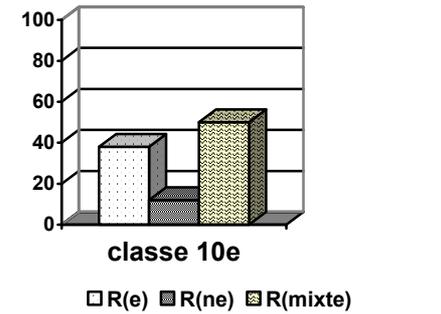
Niveau	Université	Lycée
Objet absent	Mécanique  Electricité  Thermodynamique 	1975 
Densité de présence O(e)		
Densité des liens	Densité absolue  Densité relative 	Densité absolue  Densité relative 
Raisonnement		

Tableau 2. Résumé des informations des documents vietnamien.

II.4. Université au Vietnam

II.4.1. Mécanique (Annexe B.4, §III.1)

Il y a 7 O(e) (Chaîne, Bilan, Chaleur, Rayonnement et Rendement n'existent pas) existent dans un total de 4 chapitres : $D_{\text{Objet}} = 14/48 = 0,29$. Le chapitre 4 dans lequel l'AU apparaît en introduction, comporte le plus grand nombre d'O(e). Son titre « Energie » annonce l'Energie comme objet principal.

$R(e) : 4/14 = 29\%$; $R(ne) : 5/14 = 36\%$; $R(\text{mixte}) : 5/14 = 35\%$.

Dans ce manuel, il existe au total 11 liens. La densité absolue des liens est $11/66 = 0,17$ et la densité relative est $D_{\text{Liens}} = 11/21 = 0,52$. La densité absolue est donc très petite à cause du faible nombre d'O(e) mais la densité relative est moyenne. Dans le chapitre présentant une AU, les liens sont plus denses que dans les chapitres exclusivement en AP. Ce chapitre comporte presque tous les liens existant dans le livre.

II.4.2. Electricité (Annexe B.4, §III.2)

Il y a 7 O(e) (Chaîne, Bilan, Rayonnement, Théorème et Rendement n'existent pas) existant dans 5 chapitres au total. Ce sont les mêmes objets qu'en mécanique. Par contre la densité des O(e) dans les chapitres énergétiques est plus faible $11/60 = 0,18$.

$R(e) : 2/11 = 18\%$; $R(ne) : 7/11 = 64\%$ (Le Travail et la Puissance sont considérés ici comme des objets de la Mécanique ou de l'Electricité) ; $R(\text{mixte}) : 2/11 = 18\%$.

Dans ce manuel, il existe 3 liens au total. Donc, la densité absolue des liens est : $3/66 = 0,05$ et la densité relative est : $3/21 = 0,14$. Les liens sont rares et les deux densités sont très faibles.

II.4.3. Thermodynamique (Annexe B.4, §III.3)

Il y a 7 O(e) (Chaîne, Bilan, Théorèmes, Rayonnement et Puissance n'existent pas) dans 6 chapitres : $D_{\text{Objet}} = 22/72 = 0,31$. Les deux chapitres concernant les principes de la thermodynamique, concentrent la plupart des O(e). Les autres chapitres en ont très peu à part le chapitre 12 qui en possède 5 mais uniquement en R(ne).

- $R(e) : 4/22 = 18\%$: Ce type de raisonnement existe dans 2 chapitres (8 et 11). Le sujet du chapitre 8 est l'Energie, donc le R(e) et les O(e) sont les plus nombreux.

- $R(ne) : 8/22 = 36\%$; $R(\text{mixte}) : 10/22 = 45\%$.

Dans ce manuel, il existe au total 12 liens (Annexe 3, Diagramme 8). La densité absolue des liens est $11/66 = 0,17$ et la densité relative est $11/21 = 0,52$. Les liens sont peu nombreux, la densité absolue est très petite, mais la densité relative est moyenne grâce aux deux chapitres sur les Principes de la Thermodynamique.

II.4.4. Comparaison avec les manuels français (Tableaux 1 et 2)

Les objets existant sont strictement limités au domaine étudié, et ils sont en nombre très faible par rapport aux manuels français. Cependant leur densité de présence est similaire à celle des manuels universitaires français, exception faite du domaine de l'Electricité. On remarque qu'un O(e) traditionnel et transversal comme le Bilan (et le Rendement), qui montre une

capacité très forte à susciter des liens entre les objets, est totalement absent des manuels vietnamiens. Ceci peut expliquer en partie la faible densité relative des liens en l'Electricité.

Dans le domaine de la Mécanique, l'apparition rapide de l'AU dans un chapitre coïncide avec une augmentation sensible du R(e), de la présence des O(e) et des liens. Cependant ces valeurs restent faibles en comparaison des manuels universitaires français. Dans les autres domaines, le R(e) est très faible. Cela semble indiquer que l'approche adoptée est très peu énergétique et que l'Energie sert plus souvent comme un outil pour le domaine considéré.

II.5. Lycée au Vietnam

II.5.1. Programme de 1975 : trois caractéristiques de l'analyse (Annexe B.4, §IV)

Il y a 9 O(e) (Chaîne, Bilan et Rayonnement n'existent pas) dans deux chapitres au total. La densité des O(e) dans les chapitres énergétiques est $D_{\text{Objet}} = 16/24 = 0,67$. Dans le chapitre 9 où nous avons considérons qu'il existe les traces de l'AU, les O(e) et les R(e) sont plus nombreux.

$R(e) : 6/16 = 38\%$; $R(ne) : 2/16 = 12\%$; $R(\text{mixte}) : 8/16 = 50\%$.

Dans ce manuel, il existe au total 21 liens (Annexe 3, Diagramme 10). La densité absolue des liens est $21/66 = 0,32$; la densité relative est $21/36 = 0,58$. En l'absence de deux O(e), la densité absolue des liens est assez petite, mais la densité relative est moyenne. Les liens sont sensiblement plus denses dans le chapitre présentant l'AU que dans les autres chapitres. Les conditions de vie de l'Energie sont un peu plus riches au Lycée qu'à l'université.

II.5.2. Comparaison avec l'université

Les meilleures conditions de vie de l'Energie dans les deux institutions (sauf pour l'Electricité à l'université) sont restreintes à un ou deux chapitres seulement parmi les chapitres énergétiques. Cela se traduit par une forte augmentation de la densité de présence des O(e) dans ces chapitres, et une densité relative de lien moyenne. C'est particulièrement net au Lycée où ces valeurs sont comparables à celles du Lycée français (2000).

L'AU n'existe quasiment pas. Cependant à l'université comme au Lycée, l'habitat offert par la Mécanique admet une trace d'AU, et semble de ce fait un peu plus favorable à une vie énergétique des O(e). Cependant, l'approche adoptée est très peu énergétique dans l'ensemble comme le souligne la faiblesse du R(e).

On remarque l'existence d'un décalage entre le programme du Lycée et la formation universitaire des enseignants dans laquelle l'objet Rendement est totalement absente.

III. Conclusion

Nous avons développé et exploité ici des outils d'analyse pour identifier la présence de l'AU et de l'AP d'une part et d'autre part pour caractériser la vie de l'Energie, dans les manuels Universitaires et du Lycée, en France et au Vietnam. Pour analyser la vie de l'Energie, nous avons utilisé essentiellement trois critères : la présence et la densité de présence des O(e) dans les chapitre énergétiques, les taux de raisonnement énergétique (non-énergétique et mixte) et la densité des liens entre O(e) dans les manuels.

III.1. Existence et coexistence des deux approches

A l'université française l'AU n'existe pas alors au lycée elle est toujours clairement présente, voire dominante en 1992. Au Vietnam, elle est quasi-absente dans les deux institutions.

Ces résultats pour le Lycée français montrent que l'Approche Universelle n'exclut pas l'Approche Particulière, alors que l'inverse est possible lorsque l'habitat est circonscrit dans un seul domaine de la physique, comme on l'a vu pour les manuels universitaires. Ces deux approches sont donc susceptibles de coexister. Nous montrons ici que cette coexistence n'adopte pas la même forme dans les deux programmes français analysés, et que les places relatives de l'AU et de l'AP varient. L'analyse ci-dessous de l'influence de l'AU sur la vie énergétique donne un éclairage plus précis.

III.2. Analyse critique des choix et des critères utilisés

III.2.1. Pertinence dans la sélection des chapitres analysés.

Contrairement au chapitre B.1, l'analyse menée ici n'est pas limitée à certains Objets emblématiques de l'Energie (terme d'énergie E), mais elle concerne tous les objets énergétiques de notre liste. Certains chapitres des manuels étudiés n'ont pas été pris en compte dans le chapitre B.1, alors qu'ils ont été considérés comme des chapitres énergétiques ici. L'analyse menée ici confirme que ce ne sont pas vraiment des chapitres énergétiques car ils comportent peu d'objets et ne fonctionnent qu'en raisonnement non-énergétique.

III.2.2. Pertinence de la densité de présence des O(e)

Le découpage en chapitres adopté par l'ouvrage considéré introduit un biais non négligeable dans la densité de présence : certains ouvrages, comme le manuel du Lycée vietnamien, ont tendance à concentrer l'information, faisant augmenter la densité de présence par rapport aux manuels français. Cependant les informations portées par la densité de présence pour les manuels français, sont comparables.

III.2.3. Pertinence du critère de densité des liens.

Nous voudrions examiner de plus près la pertinence de la densité des liens. Il semblerait que la nature du contenu d'un texte joue également beaucoup sur la densité des liens activés : par exemple une partie de cours pourrait générer plus de liens, qu'une partie présentant un ensemble limité d'applications. Il se pourrait que pour procéder à une analyse comparative fine entre différents ouvrages, il faille donc prendre compte la nature des contenus de l'ouvrage afin d'éviter des biais. Nous pouvons cependant considérer qu'à l'exception du document COAST, les textes analysés sont comparables du point de vue des contenus : une proportion importante de cours, assortie de quelques exemples.

Si on met en semble tous les diagrammes (Annexe B4, Diagramme 3') des trois domaines étudiés au niveau universitaire pour étudier le lien entre des O(e), la densité des liens augmente. En France on obtient une densité absolue de $38/66 = 0,58$ et relative $38/55 = 0,69$, et au Vietnam, une densité absolue de $16/66 = 0,29$ et relative de $16/28 = 0,57$. Les diagrammes sont alors aussi denses que ceux du Lycée pour chacun des deux pays. Ceci amène une série de remarques :

- Cela peut vouloir dire qu'un domaine particulier de la physique ne met en lien qu'un nombre limité d'O(e), et que chaque domaine active des liens qui lui sont spécifiques; en

conséquence en faisant la synthèse sur un ensemble significatif de domaines, on retrouve une forte densité des liens. A ce compte, cela indique une cohérence entre les institutions Lycée et université dans chacun des deux pays.

- Cela souligne aussi une évidence : dans les classes du Lycée, on étudie l'Energie dans différents domaines de la physique.

- La forte densité de liens observée systématiquement dans les chapitres en AU, peut ainsi être interprétée comme significative de l'**origine synthétique de l'AU, fondée sur la propriété de transversalité.**

III.3. Vie de l'Energie et les décalages

Les différents outils d'analyse utilisés nous permettent de caractériser la «vie énergétique» de l'Energie dans les ouvrages : nous avons vu que la manière d'aborder et d'utiliser l'Energie peut être totalement énergétique, comme dans le cas du document COAST-MAFPEN, ou bien peut ne pas être énergétique comme dans le manuel universitaire vietnamien d'Electricité. Dans ce cas, l'Energie sert d'outil pour le domaine considéré. Le critère le plus parlant est la valeur du taux de raisonnement énergétique (ie non-énergétique) : une valeur élevée du R(e) associée à une faible valeur du R(ne) indique une approche fortement énergétique (l'inverse pour une approche non-énergétique). Un R(e) étant caractérisé par le fait qu'il met en relation des O(e), les deux autres critères utilisés sont corrélés; par exemple moins il y a d'O(e) dans un chapitre (D_{Objet} faible), moins il y a de possibilité de liens (D_{lien} faible), et moins il y a de possibilité de R(e).

III.3.1. Cohérence du choix des O(e) entre les institutions du Lycée et de l'université.

Les O(e) présents dans un manuel varient quelque peu suivant les domaines (ouvrages universitaires), mais la population des O(e) présents dans les 3 manuels examinés correspond toujours à celle des O(e) présents au Lycée, en France comme au Vietnam (exception faite bien sûr pour la Chaîne énergétique qui est une création didactique du Lycée français). Il y a donc là une cohérence dans la sélection des O(e) traditionnels enseignés au Lycée et à l'université qui n'est pas trop surprenante.

III.3.2. Vie énergétique dans une AP. Vie non énergétique

- La densité de présence des O(e) varie : elle est remarquablement homogène à l'université où elle tourne autour de 30% en France comme au Vietnam, exception faite pour l'Electricité au Vietnam. Cela signifie que la quantité moyenne d'O(e) présents dans un chapitre énergétique est de 3,6 objets. (Au Lycée, cette valeur est toujours plus élevée et varie de 40% à 70%, soit une moyenne de 4,8 à 6,8 O(e) par chapitre (8 au Vietnam)).

A une exception près (Electricité au Vietnam) la densité relative des liens tourne autour de 50% dans les ouvrages n'ayant pas d'AU : cela signifie que les O(e) qui apparaissent dans un manuel sont mis en relation avec en moyenne la moitié des autres O(e) présents, et ceci dans une proportion relativement stable à partir du moment où l'habitat permet une vie énergétique à ces objets.

- Le manuel universitaire vietnamien d'Electricité montre un exemple exceptionnel de vie non-énergétique de l'Energie : le nombre d'O(e) est le même que pour les autres manuels universitaires vietnamiens, et le nombre de chapitres comparable. Cependant la densité d'existence et le taux de R(e) sont les plus faibles observés : il y a 2,4 O(e) en moyenne par chapitre, un taux de R(ne) le plus élevé et une quasi absence de liens entre les objets. Il n'y a

presque pas de vie énergétique, et cet habitat exploite essentiellement l'Energie comme un outil.

III.3.3. Vie énergétique au Lycée et à l'université

Dans les deux pays, on constate que la vie de l'Energie est toujours plus intense et plus «énergétique» au Lycée qu'à l'université, timide au Vietnam et fortement dominante en France dans les deux programmes considérés. On peut donc considérer qu'il s'est produit en France une évolution significative dans l'enseignement du Lycée. En France, on peut dire que grossièrement que la vie énergétique des O(e) occupe environ la moitié de leur vie dans l'institution universitaire, alors qu'elle occupe de l'ordre de 80% de leur vie au Lycée (suivant les critères utilisés dans notre analyse).

Dans l'enseignement universitaire la proportion des différents types de raisonnements, la sélection plus limitée d'O(e) et spécifique au domaine, ... varient avec le domaine de la physique considéré. L'existence des O(e) change donc suivant les domaines, «l'Energie n'est pas unifiée». D'un autre côté, on peut dire que les raisonnements sont plus diversifiés, que la vie de l'Energie est plus intégrée dans la vie du domaine et donc plus reliée aux objets spécifiques du domaine.

Par contre dans une AU au Lycée qui «unifie» l'Energie, tous les O(e) sont présents, les liens entre O(e) se densifient, les raisonnements se concentrent principalement sur un type donné, le R(e), et la faiblesse des autres types de raisonnement peut laisser penser que les relations avec des objets non-énergétiques sont assez rares.

III.3.4. Influence de l'Approche Universelle sur la vie de l'Energie.

Toutes les analyses ci-dessus attestent bien une différence dans la vie de l'Energie entre les manuels qui comportent une proportion d'Approche Universelle (AU) et ceux qui ne fonctionnent qu'en Approche Particulière (AP). Dans les « lieux » (manuels, chapitres) où l'AU s'exprime pleinement, ce qui se traduit par une forte densité de la population énergétique (D_{Objet}) à l'échelle du manuel et des chapitres, et une forte intensité des relations entre O(e) (R(e) et densités de liens).

On voit de manière très claire que la présence de l'AU a toujours un effet sur la vie énergétique : suivant la place qui lui est donnée, son influence est plus ou moins forte.

- Par exemple au Vietnam, tant au Lycée qu'à l'Université, sa place est extrêmement limitée dans un seul domaine de la physique, la Mécanique; l'effet est surtout important dans le chapitre dans lequel elle apparaît, mais la Mécanique a de façon globale une vie énergétique sensiblement plus intense que les autres domaines. Il ne semble pas que cela soit un effet lié au domaine car le manuel de Mécanique est celui qui a la vie énergétique la plus pauvre parmi les manuels universitaires français.

- D'autre part nous avons vu que la vie énergétique pour le manuel du programme de 2000 est moins riche que celle du manuel du programme de 1992, conformément à la moins bonne situation de l'AU dans ce programme.

On peut donc considérer que l'AU favorise sensiblement la vie énergétique. Nous dirons que l'AU joue un rôle d'unificateur et de généralisateur de l'Energie.

En conséquence, la vie énergétique plus intense de l'AU au Lycée français peut se trouver en décalage par rapport aux AP des enseignements universitaires. (Cela peut se traduire par le sentiment d'une perte de contenu et de cohérence si des liens entre les deux approches ne sont pas établis.) . Cela indique donc bien une différence entre l'organisation du savoir de l'Energie du Lycée et celle de l'université, donc entre les rapports institutionnels à l'Energie des deux institutions : celle où sont formés les futurs enseignants et celle où ils enseignent.

Le rapport personnel des enseignants se construisant principalement sous les contraintes de ces deux rapports institutionnels, les décalages liés à l'introduction de l'Approche Universelle au Lycée sont donc susceptibles de créer des difficultés pour les enseignants. Ceci nous ramène approfondir et compléter cette analyse. Dans la partie qui suit (C), nous allons procéder à des analyses détaillées de la vie de certains O(e) dans le but de répondre à cette question : **Q3 – difficultés** : « *De tels décalages peuvent-ils expliquer certaines difficultés d'enseignement du concept d'énergie (difficultés particulièrement visibles chez les jeunes enseignants) ?* »

Partie C
Vie écologique de certains objets énergétiques

Introduction de la partie C

Dans le chapitre précédent nous avons montré qu'en France l'Approche Universelle est quasi-absente dans l'enseignement de l'Energie à l'Université française alors que cette approche apparaît fortement au Lycée à partir de la réforme de 1992. On peut ainsi prévoir l'existence d'un malaise chez les enseignants de physique au Lycée français dû au décalage AU/AP repéré entre les deux rapports institutionnels à l'Énergie, Université et Lycée : ce sont principalement eux en effet, qui modèlent le rapport personnel à l'Energie des enseignants de Lycée.

Au Vietnam, le décalage AU/AP n'existe pas entre l'Université et le Lycée puisque l'AU est quasi-absente dans ces deux institutions. En ce qui concerne ce décalage, nous n'étudierons le cas des enseignants vietnamiens qu'en tant que population-témoin.

Dans cette partie, nous approfondissons l'analyse écologique de certains objets énergétiques dans différentes institutions en nous centrant plus particulièrement sur la réforme de 1992 au lycée en France. Notre objectif est de confronter la manière de vivre de ces objets dans les différentes institutions et de préciser les décalages éventuels.

Notre analyse dans cette partie porte en premier lieu sur l'institution du Lycée français. Cette analyse sera détaillée, afin que dans un second temps, nous puissions analyser les autres institutions en procédant par comparaison.

Les questions écologiques que nous allons examiner pour la réforme de 1992 sont :

- *QE1-Objets Permanents* : Quels objets sont présents de manière permanente dans l'enseignement, c'est-à-dire avant, pendant et après la réforme de 1992 ? Comment leur habitat est-il modifié, et quelle adaptation subissent-ils au niveau conceptuel et de la niche écologique ?
- *QE2-Objets Disparus* : Quels objets présents avant 1992 ont disparu lors de la réforme de 1992 ? Pourquoi ?
- *QE3-Objets Nouveaux* : Quels objets nouveaux ont été introduits en 1992 ? Pourquoi ?
 - Quels sont ceux qui subsistent en 2000 ?
 - Quels sont ceux qui disparaissent en 2000 ? Pourquoi ? En quoi ces disparitions influent-elles sur la vie des autres objets énergétiques ?

Ces questions nous amènent à poser une autre question concernant les deux programmes de 1992 et 2000 du lycée français :

- *QE4- Cohérence AU* : La réforme de 1992 est ancrée dans une recherche de cohérence épistémologique qui correspond pour l'essentiel à l'AU. La disparition en 2000 de certains objets emblématiques de l'AU pour des raisons didactiques détruit-elle cette cohérence ? Quel nouvel « équilibre » entre AU et AP s'établit en 2000 ?

L'objectif général de cette partie est de chercher à répondre à la question **Q3 – difficultés** : « De tels décalages [entre formation des enseignants à l'université et l'enseignement au lycée] peuvent-ils expliquer certaines difficultés d'enseignement du concept d'énergie (difficultés particulièrement visibles chez les jeunes enseignants) ? »

L'organisation des chapitres de cette partie suit le fil des questions écologiques et donc tient compte du destin (permanence, création, disparition, ...) des objets. Nous prenons le parti de

ne traiter que certains de ces objets. Les raisons de ce choix sont exposées dans le paragraphe suivant.

I. Objets choisis et structure du chapitre

L'analyse des chapitres précédents nous permet d'emblée de trier les objets énergétiques selon cette classification :

- *Objets énergétiques permanents*: Forme d'énergie, Principe de conservation de l'énergie, Bilan énergétique, Transformation de l'énergie, Transfert d'énergie, Travail, Chaleur, Puissance.
- *Objets énergétiques nouveaux en 1992* : Rayonnement (subsiste en 2000) Rendement (disparaît en 2000) et Chaîne énergétique (disparaît en 2000).
- *Objets énergétiques disparus en 2000* : le Théorème de l'énergie cinétique.

Nous avons choisis d'analyser quelques *objets énergétiques permanents* afin de suivre leur évolution avant, pendant et après la réforme de 1992 et de mettre en évidence leurs relations avec les autres objets énergétiques.

Nous nous centrons sur deux objets, le *Principe de conservation de l'énergie* et le *Transfert d'énergie* car ce sont les objets fondateurs de la réforme de 1992.

« La façon d'introduire l'énergie dans ce nouveau programme [*de 1992*] est très différente de celle des précédents.

[...] Dans les programmes actuels [*1992*], le principe de conservation est énoncé dès le premier alinéa consacré à l'énergie [...]. Les différents modes de transfert d'énergie sont décrits également d'emblée. Cette partie 2 se termine par l'analyse d'une ou deux chaînes énergétiques. Du fait de ce choix de présentation, les élèves se trouvent dans une situation originale pour l'enseignement : tout au long du reste de l'année [...] ils analyseront diverses situations selon un principe qui sera déjà présent. » (COAST-MAFPEN, p.8).

Le *Principe de conservation de l'énergie* apparaît en première position dans le programme. Notre étude épistémologique (chapitre A1) montre son rôle unificateur pour l'Énergie dont il est l'objet fondamental. Il apparaît derrière presque toutes les analyses énergétiques et son apparition en première position dans le programme de 1992 a des répercussions sur la vie d'autres objets :

« Une lecture rapide du nouveau programme [*1992*] peut laisser croire que le changement est minime et que ce qui convenait jusqu'à maintenant peut encore largement servir. Et pourtant, le fait d'énoncer tout de suite le principe de conservation de l'énergie va profondément changer le sens des notions et des expériences que l'on propose. » (COAST-MAFPEN, p.8).

Un autre point du changement du programme de 1992 que nous voulons aborder est l'apparition du *Transfert d'énergie et des modes de transfert*. Le fait de réunir les différents modes de transfert d'énergie issus de différents domaines de la Physique (Approche Particulière) pour construire un objet commun « Transfert d'énergie », nécessite de procéder à une synthèse transdisciplinaire.

Notre analyse consiste à examiner la façon dont l'objet est introduit dans les programmes, puis à déterminer sa niche écologique dans les manuels, c'est-à-dire sa position dans l'ordre d'introduction des objets, ses relations avec les autres objets, son rôle dans la vie de l'Énergie.

Cependant, nous souhaitons examiner avant tout autre, un objet nouveau de cette réforme, la Chaîne énergétique, création didactique du programme de 1992. La raison est que les autres objets ne sont pas totalement nouveaux et qu'il est nécessaire de présenter cet objet nouveau au préalable afin de pouvoir discuter dans notre analyse de la façon dont il intervient dans la vie des deux autres objets.

Dans les deux pays (France et Vietnam), nous avons procédé à un entretien avec une personne occupant une position importante dans la noosphère (cf grille d'entretien en annexe C) :

- en France, Guy Robardet, didacticien de la physique et membre de la Commission du programme de 2000
- au Vietnam, Mme LE Thi Thanh Thao, Maître de Conférence du Département Physique de l'Université Pédagogique de Hochiminh ville, spécialiste des méthodes d'enseignement et participante de la réflexion sur un nouveau programme qui devrait être mis en place en 2006.

II. Objet physique, objet para-physique, objet proto-physique

A priori, la vie des objets dépend des institutions dans lesquelles ils sont présents. Nous empruntons à Chevallard la notion de *perception didactique* (Chevallard, 1985) pour conduire cette analyse. Nous parlerons ici de la plus ou moins grande visibilité didactique d'un objet.

La visibilité (didactique) se traduit dans le système d'enseignement par des exigences plus ou moins fortes sur ce que l'enseignant et l'élève devront dire ou faire au sujet d'un objet (contrat didactique). La comparaison de la vie des objets dans les institutions différentes nous permet d'étudier les contraintes du contrat didactique qui influent sur la signification des objets enseignés. La notion de visibilité est donc pour nous l'une des manières d'examiner la signification d'un objet.

Dans le cadre théorique de la Transposition didactique, Chevallard (1985) distingue différents statuts pour les objets présents dans l'enseignement selon leur plus ou moins grande « visibilité didactique ».

L'objet le plus visible est « l'objet de savoir ».

« Qu'est-ce qu'un « objet de savoir » ? Pour l'enseignant de mathématiques, il faut ranger dans cette catégorie certainement les « notions mathématiques » : par exemple, l'addition, le cercle, la dérivation, [...]

A propos des *objets de savoir* que sont les *notions mathématiques*, l'enseignant attend que l'élève sache (éventuellement) :

- donner la *définition* (ou retracer la *construction*) ; - donner les *propriétés* (« principales »), les *démontrer* ; - reconnaître un certain nombre d'*occasions d'emploi* ; - etc. » (Chevallard, 1985, p.49-51)

Les objets ayant une visibilité moindre sont qualifiés par Chevallard de paramathématique et de protomathématique.

« [...] des notions qu'on peut dire « paramathématiques » : par exemple, la notion de paramètre, la notion d'équation, la notion de démonstration. Les notions paramathématiques sont des *notions-outils* de l'*activité mathématique* ; elles ne sont pas « normalement » des *objets d'étude* pour le mathématicien.

[...] Les notions paramathématiques [...] *ne font pas l'objet d'un enseignement* : ce sont des *objets de savoir* « *auxiliaires* », nécessaires à l'enseignement (et à l'apprentissage) des objets mathématiques proprement dits. Ils doivent être « appris » (ou plutôt « connus »), mais ils ne sont pas « enseignés ».

Il existe une strate plus profonde de « notions », mobilisées implicitement par le *contrat didactique*. Pour elles, j'ai proposé le qualificatif de « protomathématiques »

[...] Les notions protomathématiques, [...], se situent à un niveau d'*implication* plus profond (pour l'enseignant, pour l'élève) « (p.49-51 et 55).

Nom d'un objet d'enseignement : nous dirons qu'un objet possède un « nom », s'il est désigné exclusivement par un mot réservé dans le langage de la physique. Un objet qui n'a pas de « nom », peut apparaître de manière implicite dans un texte, ou bien il peut être désigné explicitement mais il n'y a pas un mot réservé et souvent plusieurs termes sont utilisés indistinctement. Nous verrons que le nom joue un rôle important dans la visibilité didactique des objets physiques analysés.

Nous distinguons ainsi trois niveaux de visibilité didactique pour les objets d'enseignement de la physique :

- **Objet Physique** (objet de savoir) : C'est un objet bien construit avec un « nom » une définition et/ou des propriétés. Cet objet doit être su, c'est-à-dire qu'on peut demander à l'élève de savoir non seulement l'utiliser dans un exercice mais aussi donner sa définition ou ses propriétés pour justifier une démarche de résolution. Un Objet Physique est donc très visible.

- **Objet paraPhysique** : Il apparaît explicitement dans le manuel avec son « nom » mais sans définition, simplement comme un *outil* pour l'activité en physique. Il est visible. Les exigences ne sont pas de même nature que pour un objet de savoir : l'élève doit l'apprendre, c'est-à-dire qu'il peut montrer qu'il sait s'en servir dans un exercice sans avoir à justifier son usage.

- **Objet protoPhysique** : cet objet est peu visible et donc ne peut pas être évalué pédagogiquement. Il existe à travers des phénomènes et des situations physiques. Sa définition, ou sa construction, est hors de la responsabilité de l'enseignement. Son apparition est souvent implicite et il n'a pas de « nom ».

CHAPITRE C.1

Chaîne énergétique

La Chaîne énergétique est un objet qui *n'existe* dans aucune institution avant le *programme de 1992* du lycée français et qui apparaît comme un *objet physique dans la réforme de 1992*. C'est un *objet nouveau* voire une création didactique de cette réforme.

« C'est une création didactique [...] faite pour aider à l'apprentissage des concepts. Cette représentation vient de la nécessité, aussi bien en physique que dans d'autres domaines scientifiques, d'un support graphique : les schémas électriques et les représentations vectorielles d'une situation avec des forces par exemple. » (COAST-MAFPEN, p.154)

Ce nouvel objet est assorti d'une représentation nouvelle, sous forme schématique, de l'analyse énergétique. Nous allons commencer par l'analyse de cette représentation schématique. Ensuite, nous étudierons, d'un point de vue écologique, les fonctions de cette représentation et les raisons de sa mort dans le programme de 2000.

La Chaîne énergétique n'apparaissant pas dans les autres institutions considérées (université française ou lycée et université du Vietnam), nous examinerons seulement à la fin de ce chapitre, les schémas énergétiques présentes dans ces institutions.

I. Représentation schématique de la Chaîne énergétique dans le programme de 1992

I.1. Schémas dans les manuels

Les manuels d'avant 1992 contiennent souvent des schémas de forces, de mouvement, etc., mais aucun schéma permettant de faire une analyse énergétique. Dans les manuels du programme de 1992 (Hachette et Bréal, 1994), ce type de schéma apparaît presque systématiquement sous le nom de Chaîne énergétique, en accord avec les consignes du programme : » *L'usage de schémas pour décrire et analyser les chaînes énergétiques est d'une aide importante* ».

Dans le manuel étudié (Hachette, 1994), la Chaîne énergétique est introduite dans le chapitre « Conservation de l'énergie », dans le cas de l'étude d'une fusée. Elle apparaît sous la forme d'un schéma accompagné de règles de construction explicites (figure 1) : ce schéma illustre les événements énergétiques (en particulier le Transfert d'énergie) qui ont lieu dans l'ensemble des systèmes en jeu de la situation.

« L'ensemble, propergol – réacteur – fusée – environnement, constitue une **chaîne énergétique**.

Dans une chaîne énergétique, réservoirs et convertisseurs échangent entre eux de l'énergie : on parle de **transfert d'énergie**. Ils peuvent également échanger de la matière. » (Physique 1^{ère} S, Hachette, 1994, p.130).

On conviendra de schématiser les réservoirs d'énergie par des *rectangles* et les convertisseurs d'énergie par des *cercles*. Les transferts énergétiques (cf. chapitre 10) entre convertisseurs et réservoirs seront traduits par des *flèches colorées*. Un transfert de matière sera représenté par une flèche noire.

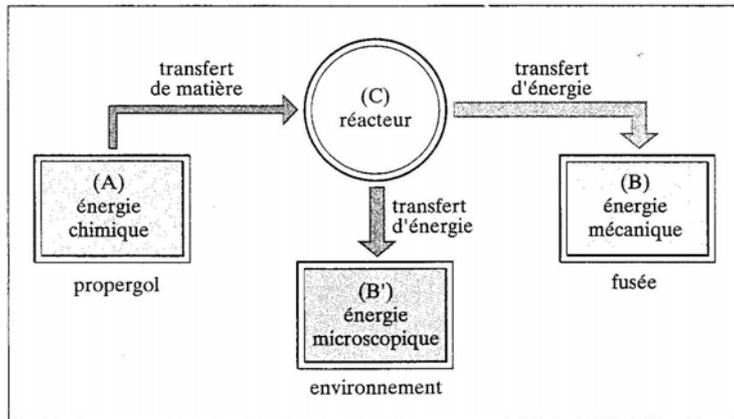


Figure 1. Schéma illustrant la construction d'une Chaîne énergétique du manuel Hachette (1994, p.130)

Dans les apparitions suivantes, sur les flèches représentant le Transfert d'énergie, les modes de transferts d'énergie sont aussi symbolisés de façon classique par : W , Q , R (figure 2).

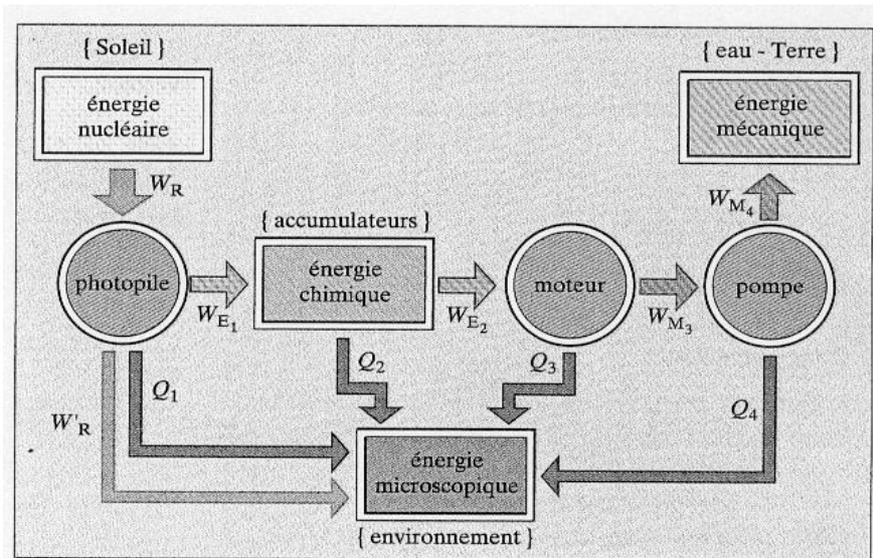


Figure 2. Schéma de la Chaîne dans un exercice résolu du manuel Hachette (1994, p.149)

Dans le document COAST-MAFPEN (figure 3) la Chaîne énergétique est traitée de manière très spécifique. Elle est construite dans le cadre d'un modèle énergétique avec des règles explicites plus précises que dans le manuel d'Hachette : « *L'énergie peut être caractérisée par ses propriétés : Stockage, [...] ; Transformation ; Transfert [...] une chaîne énergétique complète commence et se termine par des réservoirs ; le réservoir initial est différent du réservoir final [...]* »¹ (p.19) ; le nom de différents modes de transfert est écrit en toutes lettres et n'utilisent pas les symboles W et Q qui sont réservés à la quantité d'énergie transférée.

¹ Dans le Document d'accompagnement du programme de 1992 et le document COAST-MAFPEN, le stockage est énoncé de manière indépendante du transfert. Cependant, ceci n'est pas souligné fortement ni dans le programme, ni dans le manuel. C'est pour cela que nous ne l'avons pas retenu dans la liste des objets énergétiques définie au chapitre B1.

Fonctionnement d'un moteur

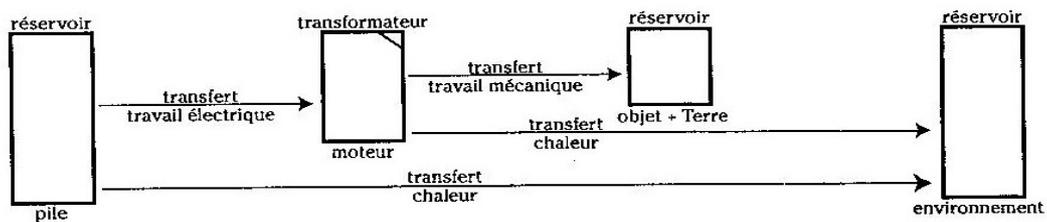


Figure 3. Exemple d'une Chaîne énergétique dans le document COAST-MAFPEN (1998, p.22)

Soulignons que le programme de 1992 ne spécifie aucun schéma ni règles de construction. Dans le Document d'accompagnement de ce programme, la Chaîne énergétique est décrite par le biais d'exemples présentant le traitement des questions d'énergie dans des situations diverses. Elle n'a pas de définition mais le document spécifie des « notations » en légende des schémas qui précisent les différents éléments constitutifs du schéma (figure 4). C'est dans les manuels que le schéma est le plus explicite mais il varie d'un ouvrage à un autre.

4.1 Exemples de chaînes énergétiques

Les six exemples ci-dessous, empruntés à des situations diverses sont présentés à titre purement indicatif dans le but d'illustrer l'esprit dans lequel il y a lieu de traiter les questions d'énergie.

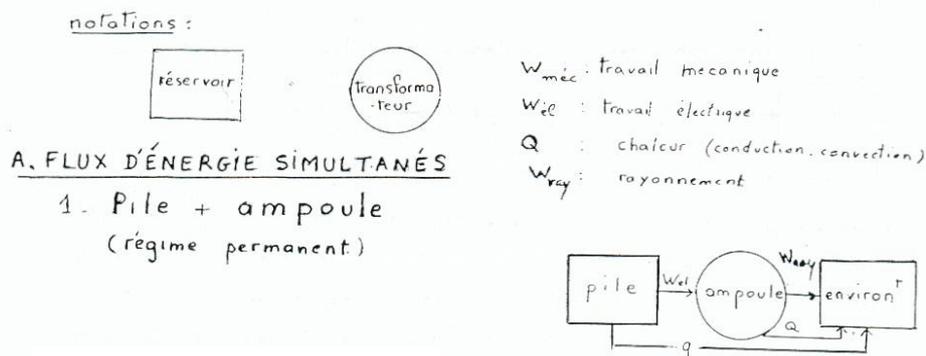
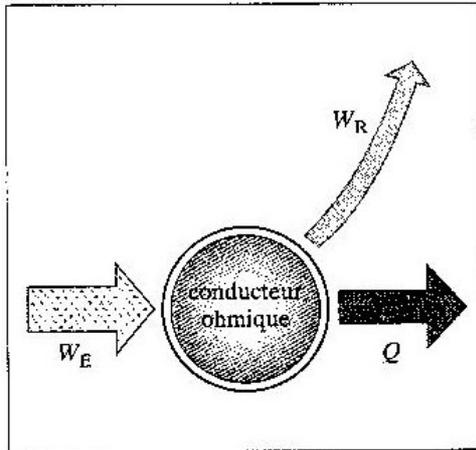


Figure 4. Chaîne énergétique du Document d'accompagnement du programme de 1992 (1993, p.15)

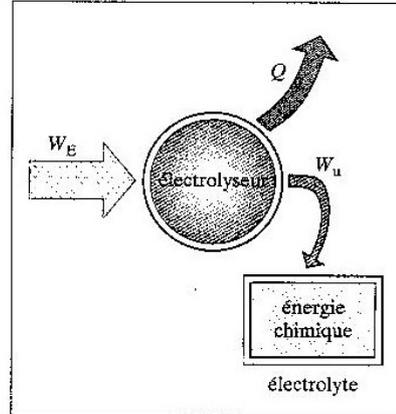
I.2 Deux types de chaînes

Dans la plupart des manuels du programme de 1992, on trouve en réalité deux types de Chaînes qui correspondent en général à deux types d'usage différents, et à deux types de situations physiques. La première est une chaîne à « maillons multiples » (figure 2 par exemple) correspondant à un usage essentiellement qualitatif pour comprendre des situations complexes à systèmes multiples (éventuellement utilisée de manière quantitative pour certains calculs de rendement). Le second type de chaîne ne comporte qu'un « maillon unique » (figure 5). Il est en général destiné à l'analyse énergétique quantitative d'un système unique, c'est-à-dire à la réalisation du bilan énergétique de ce système. Ces deux types ne sont pas différenciés explicitement dans ce manuel : c'est le type de chaîne « à maillons multiples » qui est présenté en premier et dont le schéma est défini assez précisément par des règles de construction. Mais lors de son utilisation, ces règles ne sont pas totalement suivies. Dans l'exemple de la figure 5, le schéma de la Chaîne énergétique présente un seul objet (conducteur ohmique par exemple) : c'est donc une chaîne à « maillon unique ». Mais elle ne comporte pas « un réservoir de départ et un réservoir d'arrivé » comme le spécifient les règles

posées au départ. On rencontre souvent un tel schéma sous le titre de « Bilan énergétique », ce qui peut amener à une confusion entre ces deux objets (voir paragraphe II.2.2). Par exemple, les trois schémas de la figure 6 apparaissent dans un même chapitre. Bien que portant des titres différents (Chaîne énergétique, Bilan énergétique, Bilan de puissance), ils sont construits de façon quasi identique.

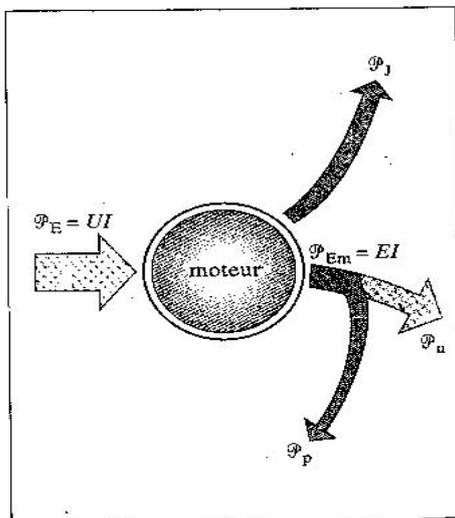


4. Chaîne énergétique d'un conducteur ohmique (W_R , W_E et Q sont positives). En fonctionnement normal, l'énergie rayonnante W_R est négligeable devant la chaleur Q .
Donc $W_E \approx Q$; or $W_E = R \cdot I^2 \cdot \Delta t$, d'où $Q \approx R \cdot I^2 \cdot \Delta t$.



9. Bilan énergétique d'un électrolyseur :

$W_E = U \cdot I \cdot \Delta t$.
 $W_u = E \cdot I \cdot \Delta t$ est l'énergie utile transformée en énergie chimique.
 $Q = r \cdot I^2 \cdot \Delta t$ est la chaleur transférée à l'environnement.
 $\eta = \frac{W_u}{W_E} = \frac{E}{U}$ est le rendement énergétique.



12. Bilan de puissance d'un moteur.

P_u est la puissance mécanique disponible sur l'arbre moteur ; P_J est la puissance perdue par effet Joule dans les circuits électriques ; P_P est la puissance perdue à cause des frottements et transformée en chaleur. Les puissances sont choisies positives.

Figure 5. Différents schémas du type « maillon unique » sous les titres différents « Chaîne » ou « Bilan » dans le manuel Hachette (1994, p.205, 207 et 208)

De la même façon, le Document d'accompagnement de ce programme (1992) présente implicitement ces deux types de schémas. Le premier (figure 4) est une chaîne à « maillons multiples » qui porte le nom de Chaîne énergétique. Le deuxième (figure 7) n'a qu'un seul

maillon et n'a ni définition, ni titre, ni légende contrairement au premier schéma nommé Chaîne. Les termes permettant d'identifier qu'il s'agit bien d'une étude de bilan énergétique sont explicités dans le titre du paragraphe « Analyse avant-après » et « schéma-bilan ».

Le document COAST-MAFPEN distingue clairement les deux types de chaînes, sous les noms de « Chaîne pendant » et de « Chaîne état initial-état final », identifiant officiellement ces deux usages. Mais contrairement au manuel et au document d'accompagnement, le deuxième type de chaîne peut être à 'maillons multiples ».

On notera que la pratique traditionnelle du bilan énergétique, telle qu'on la trouve couramment dans les ouvrages universitaires et les manuels scolaires d'avant 1992, correspond à l'analyse d'une situation centrée autour d'un système unique. On voit donc que dans les manuels, les usages de schémas pour un Bilan énergétique correspondent à l'usage traditionnel.

II. Les différentes fonctions de la Chaîne énergétique dans le programme de 1992

II.1. Première fonction : Mettre en évidence le Transfert d'énergie

Les schémas présentés ci-dessus montrent que la Chaîne énergétique permet de mettre en évidence les Transferts d'énergie, représentés par des flèches. Ce rôle de mise en évidence est ainsi explicité dans le programme:

« Analyse d'une ou deux chaînes énergétiques. [...] Traduire sous la forme d'un schéma les variations d'énergie et les transferts d'énergie opérés dans une chaîne énergétique » (Programme de 1992).

Dans les manuels, la Chaîne énergétique apparaît presque systématiquement dans tous les chapitres pour schématiser les situations à étudier comme par exemple une machine thermique et son rendement, récepteur/générateur électrique et son bilan énergétique. Mais elle est rarement exploitée dans les exercices. Dans le chapitre d'introduction du schéma de la Chaîne, il n'y a que 2 exercices sur 26 (Hachette, 1994) qui l'utilisent, par exemple pour « Compléter la schématisation de la chaîne énergétique correspondant au déplacement d'un motard et de sa moto » (exercice 8, p.135). Quelques exercices utilisent la Chaîne énergétique dans le chapitre « Transfert d'énergie » (5/35 exercices du chapitre). La Chaîne est employée pour représenter et identifier le Transfert d'énergie, par exemple : « Indiquer, sur un schéma, les transferts et les réservoirs d'énergie mis en jeu » (exercice 15, p.151). Comme la Chaîne énergétique est le seul schéma construit dans le cours et qu'il permet d'indiquer les transferts d'énergie, on comprend par défaut que c'est le schéma attendu : dans cet exemple l'appel à l'usage de la Chaîne énergétique est implicite.

Cette fonction de la Chaîne énergétique est également explicite dans le document COAST-MAFPEN où les modes de transfert d'énergie sont explicitement désignés (figure 3) dans le schéma de la Chaîne énergétique.

« N'oublions pas que les trois modes de transfert de l'énergie (chaleur, travail, rayonnement) se traduisent par la possibilité de trois flèches (pas plus) entre deux réservoir ou transformateurs.» (COAST-MAFPEN, p.20).

La Chaîne énergétique permet alors de mettre en évidence la position du Transfert d'énergie et les modes de transfert dans une situation à travers leur visualisation.

L'analyse de l'objet Transfert d'énergie que nous allons présenter plus loin montrera qu'il existe une confusion entre le Transfert et la Transformation et que cette confusion recouvre une confusion entre modes de transfert et formes d'énergie. Pour dessiner une Chaîne énergétique, on doit désigner l'événement orienté « Transfert d'énergie » par une flèche entre deux systèmes, et le mode de transfert par son nom au-dessus de la flèche, alors que l'événement « Transformation » de formes d'énergie apparaît à l'intérieur d'un système étudié. Le schéma de la Chaîne énergétique aide donc à identifier, distinguer, situer et mettre en relation ces objets.

II.2. Deuxième fonction : schématiser une situation physique afin de réaliser un Bilan énergétique

II.2.1 Bilan énergétique dans les manuels

Avant 1992, le Bilan énergétique est présent dans le programme pour étudier les transferts d'énergie mais sans être défini. Dans la rubrique « Bilan énergétique dans un circuit électrique », on aborde le Bilan pour caractériser la chaleur « *On dit aussi que chaleur a un rôle équivalence du point de vue bilan d'énergie, leur propriété qualitatives son différentes : le travail est un transfert ordonné d'énergie, la chaleur un transfert désordonné d'énergie.* » (Programme de 1988, p.113, 114).

Dans les manuels étudiés (Hachette et Nathan, 1988), le Bilan énergétique apparaît plusieurs fois dans le domaine de l'Electricité mais aussi sans définition. Il est assez rarement utilisé comme un outil pour conduire l'étude énergétique d'une situation. Et il est presque systématiquement accompagné d'un schéma (figure 6):

« Le bilan énergétique dans le circuit considéré, qui ne comporte qu'un seul générateur, peut donc être schématisé par le dessin en haut de cette page : $\mathcal{P}_g = EI = U_{PN}I + rI^2$. » (Physique 1^{ère} S, Nathan, 1988, p.194).

Le schéma (figure 6) ne suit pas de règles explicites, le Bilan n'est pas défini et par conséquent le Bilan énergétique possède ici un statut *d'objet paraphysique*.

Dans le *manuel du programme de 1992* étudié, le Bilan est également un objet paraphysique mais il occupe une place plus importante. Il ne prend pas place seulement dans un domaine particulier de la Physique mais il est l'intitulé de l'une des trois parties du programme : « Bilan énergétique ». Cette partie concerne l'étude du point de vue énergétique de différents systèmes appartenant à des domaines particuliers de la Physique. Elle s'accompagne de schémas construits sur le modèle de la Chaîne énergétique. Dans le manuel, ce type de schéma peut être désigné par deux noms différents : Bilan énergétique, Bilan de puissance (figure 5).

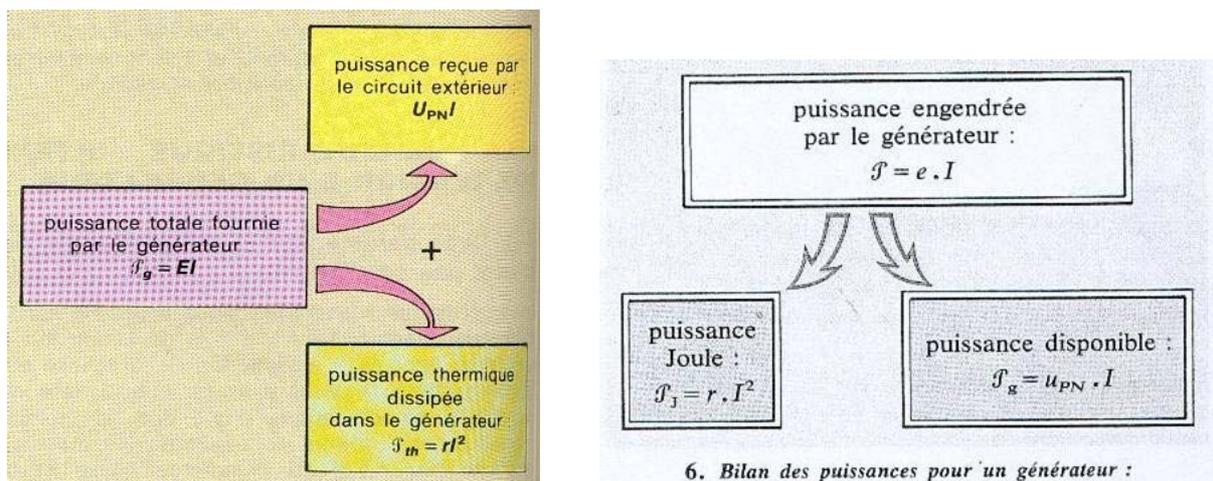


Figure 6. Schéma illustrant le Bilan énergétique dans deux manuels du programme de 1988 : Nathan (à gauche) (1988, p.194) et Hachette (à droite) (1988, p.169)

Dans le Document d'accompagnement de ce programme (1992), deux types de schémas sont présents distingués seulement implicitement. Le premier (figure 4) est identifié en tant que Chaîne énergétique. Le deuxième (figure 7) n'a ni définition, ni « notation ». Le seul indice présent qui le rattache à une étude de bilan énergétique est le titre du paragraphe « Analyse avant-après ».

B. ANALYSE AVANT - APRÈS

5 - Le rebond d'une balle - schémas - bilans

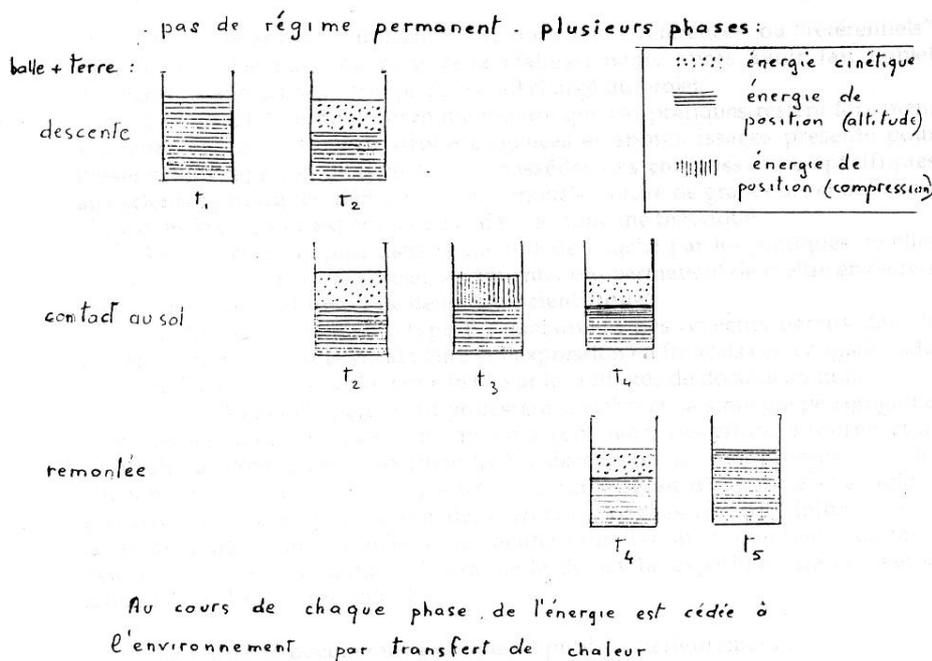


Figure 7. Seul schéma du Bilan énergétique dans le Document d'accompagnement du programme de 1992 (1993, p.17)

Dans le document COAST-MAFEN, le Bilan est explicitement distingué d'avec la Chaîne. Il est représenté par la Chaîne spécifique nommée Chaîne « état initial- état final » (figure 8) :

«Le professeur précise que les chaînes construites jusque-là correspondent à des situations pour lesquelles les transferts et les transformations de l'énergie sont en train de se produire ; on les appelle

des « chaînes pendant ». On a parfois besoin, pour faire un bilan énergétique, de représenter la situation avant que les transferts et les transformations ne se produisent et après qu'ils ont eu lieu. On construit alors des chaînes « état initial- état final. » (COAST-MAFPEN, p.29).

On propose une autre possibilité de représentation : « état final-état initial ».

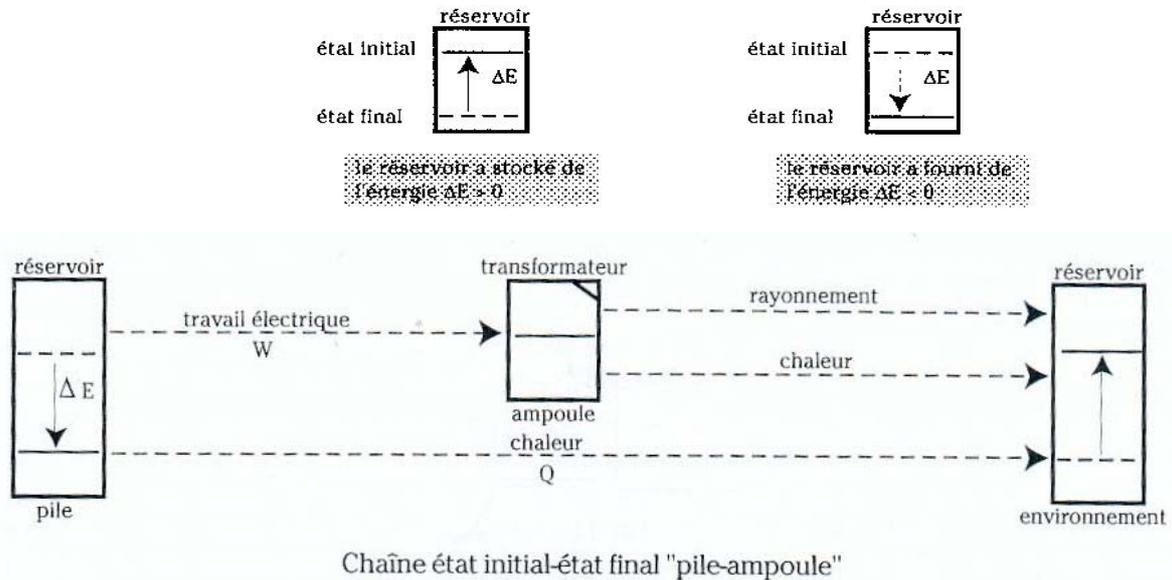


Figure 8. Document COAST-MAFPEN : Principe de la construction du Bilan énergétique (p.30) et un exemple (p.83)

II.2.2. Chaîne énergétique, une base de règles de construction schématique

Un Bilan énergétique permet donc d'étudier comment évolue l'état du système choisi, entre un état initial et un état final. Il détaille et quantifie ce qui se passe dans une maille centrée sur le système étudié (ie un système auquel l'on s'intéresse plus particulièrement). Ainsi la plupart des règles de construction établies pour le schéma de la Chaîne énergétique « Pendant » (COAST-MAFPEN) ou « à maillons multiples » (Manuel, Document d'accompagnement) sont également utiles pour construire le schéma du Bilan énergétique : elles permettent d'identifier et de caractériser les différents systèmes en jeu dans la situation, ainsi que les événements énergétiques qui se produisent. On notera que la dimension temporelle n'est pas explicitement spécifiée par les manuels (Hachette, Bréal).

Parce qu'un bilan est nécessaire à toute quantification s'appuyant sur un Principe de conservation, le bilan énergétique est une procédure préalable à l'exploitation du Principe de conservation de l'énergie pour quantifier une situation énergétique.

II.3. Troisième fonction : servir de base de raisonnement pour le Principe de conservation de l'énergie.

Dans le manuel (Hachette, 1994), la Chaîne énergétique est introduite dans le chapitre « Conservation de l'énergie ». Ce fait montre que *le raisonnement sur une Chaîne énergétique pourrait servir à établir les bases de la conservation de l'énergie.*

« Reprenons l'exemple de la fusée lors du décollage.

Nous pouvons raisonnablement considérer que l'énergie perdue par le réservoir A (le propergol) se retrouve dans les réservoirs B (fusée) et B' (atmosphère), le convertisseur C (réacteur) n'emmagasinant pas d'énergie. Ainsi, l'énergie du système global formé par A, B et B' est constante.

Ce raisonnement nous suggère d'émettre l'hypothèse d'une **conservation de l'énergie**. » (Physique 1^{ère} S, Hachette, 1994, p.131)

La Chaîne énergétique donne à voir les phénomènes énergétiques qui se passent dans un système fermé et/ou isolé (pour une fusée par exemple), comme des transferts d'énergie entre les sous-systèmes élémentaires qui la composent, la Transformation de l'énergie à l'intérieur d'un des sous-systèmes, pour aboutir à l'écriture de la Conservation de l'énergie du système global complexe fermé et/ou isolé. Cette citation reste au niveau d'une hypothèse non vérifiée. Or cette hypothèse a été testée longuement et difficilement par les scientifiques afin d'établir le Principe de conservation de l'énergie. Par contre, la Chaîne devrait permettre de décrire la situation physique du point de vue énergétique pour permettre l'écriture quantitative de la Conservation de l'énergie dans cette situation précise : elle permet de rassembler tous les éléments physiques (identifier, caractériser et mettre en relation des objets) de la situation, nécessaires pour la comprendre puis pour la quantifier via un Bilan énergétique.

Dans le schéma de l'analyse écologique (Chapitre B2) du manuel du programme de 1992, nous avons constaté que la Chaîne énergétique n'a pas de relation directe avec le Principe de conservation de l'énergie alors qu'elle en a avec d'autres objets énergétiques : dans ce manuel, aucun exercice ne demande de schématiser une Chaîne énergétique pour établir la Conservation mais plutôt pour étudier les Transferts d'énergie d'un système. Nous verrons lorsque nous étudierons l'objet Principe de conservation de l'énergie dans le programme de 2000, que ce principe peut aussi être reformulé en relation avec le Transfert d'énergie. Ceci montre le rôle de fondamental de la Chaîne pour supporter le raisonnement énergétique qui sous-tend la Conservation de l'énergie.

Cependant, nous pouvons supposer qu'une conséquence du peu d'exploitation de cet usage fondamental dans les manuels, particulièrement dans les exercices, est la perte pour la chaîne énergétique d'une grande partie de sa raison d'être.

II.4. Quatrième fonction : organiser les objets énergétiques.

Comme on vient de le voir, le schéma de la Chaîne énergétique aide à identifier, distinguer, situer et mettre en relation des objets énergétiques. *Elle est donc un « organisateur »* des objets énergétiques, donc *de l'Energie*. Ce rôle d'organisateur s'illustre par la capacité de schématiser une situation concernant plusieurs domaines de la physique du point de vue énergétique (chaîne à « maillons multiples »). C'est-à-dire à mettre en lumière la propriété de Transversalité de l'Approche Universelle. Ceci est explicitement mentionné dans le document COAST-MAFPEN.

« Une chaîne énergétique se justifie chaque fois que plusieurs domaines de la physique sont mis en jeu ce qui est le cas en particulier dans la partie « systèmes électriques » car la mécanique intervient aussi (générateur, récepteur). » (p.25).

« La représentation de la chaîne énergétique est particulièrement adaptée à des situations où il y a plusieurs domaines phénoménologiques simultanément ; or, c'est un des objectifs de cet enseignement. » (COAST-MAFPEN, p.155).

Le schéma est présent dans toutes les activités pour les élèves (TD et TP) de ce document. Dans un premier temps, différentes activités sont proposés pour s'entraîner à construire le schéma. Les concepts du thème de l'Energie sont introduits à travers cette activité comme les formes d'énergie, les modes de transfert et la Conservation de l'énergie. Dans un deuxième temps, le schéma sert aussi à introduire d'autres concepts : « *Les chaînes énergétiques suggèrent une analyse plus globale qu'un schéma du circuit de par la mise en évidence de*

l'ensemble des phénomènes énergétiques se produisant au cours de l'expérience. Elles sont ainsi bien adaptées à l'introduction d'un concept énergétique comme la puissance. » ² (COAST-MAFPEN, p.42). Par exemple dans une séance de TP, la fiche d'instructions destinée aux élèves propose une activité de découverte de la grandeur physique Puissance : « *Nous nous proposons [...] de faire une analyse énergétique de la situation. A partir de mesures que vous réalisez, nous vous demanderons de chercher une formule mathématique faisant intervenir l'énergie et qui vous permettra d'introduire une nouvelle grandeur.* » (COAST-MAFPEN, p.40). Pour les systèmes mécaniques, le schéma permet de représenter la situation afin de calculer le rendement (idem, p.62). Pour les systèmes électriques, il amène à étudier l'effet Joule, à représenter le fonctionnement du générateur, du récepteur, etc. La construction d'un schéma de Chaîne énergétique permet donc de réunir et de relier entre eux, les concepts concernant l'Energie.

III. Mort de la Chaîne énergétique dans le programme de 2000

Dans le *programme de 2000* et les manuels correspondants, l'objet Chaîne énergétique disparaît officiellement en même temps que son nom et son schéma.

Pour les manuels de ce programme, les schémas de type Chaîne énergétique sont en général très rares et n'apparaissent jamais dans les exercices. Dans le manuel étudié (Hachette, 2001), il n'existe aucun schéma présentant l'analyse énergétique. Dans un autre manuel (Bréal, 2001), nous n'avons trouvé qu'un seul schéma intitulé « bilan des transferts » dans un exercice résolu (figure 9) et il n'est accompagné d'aucune règle de construction.

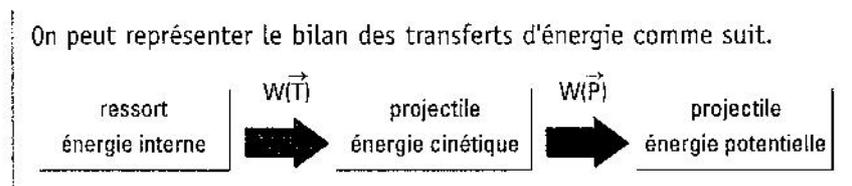


Figure 9. Le schéma énergétique du manuel Bréal, 2001 (p.125)

Par contre, le Document d'accompagnement du programme 2000 propose un schéma explicitement construit, mais sans les noms de Chaîne énergétique ou de Bilan énergétique. Il est simplement désigné comme une « représentation graphique » (figure 10). Ce schéma comporte les principales règles de construction du schéma de la Chaîne des manuels de 1992 et du document COAST (figure 2 et 3) : le système étudié est au centre entouré des autres systèmes ; les Transferts sont représentés par une flèche accompagnée du nom du mode de transfert ; à l'intérieur du symbole représentant le système étudié, sont indiquées par des jauges les variations quantitatives des différentes formes d'énergie. Nous le considérons comme un objet paraphysique, en dépit de la présence du nom générique de représentation graphique.

² C'est nous qui soulignons.

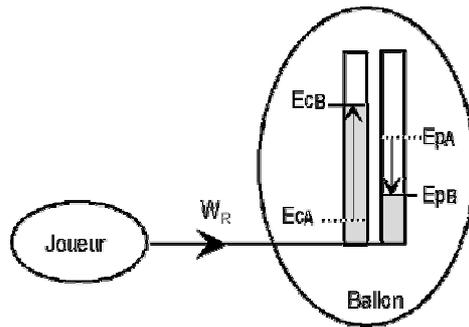
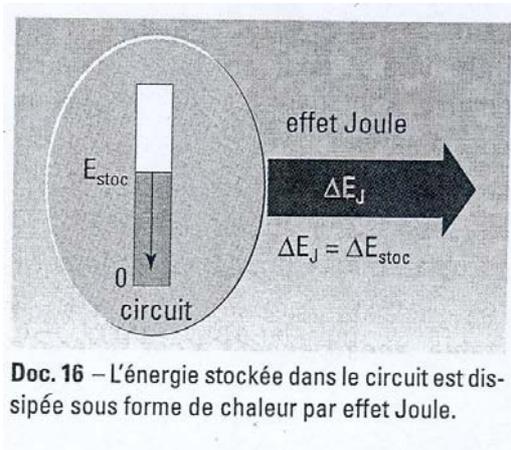


Figure 10. Un schéma énergétique respectant les règles de construction du Document d'accompagnement du programme de 2000 : Exemple pour la situation « smash sur un ballon de volley-ball » dans le Document d'accompagnement (2002, p.34).



Doc. 16 – L'énergie stockée dans le circuit est dissipée sous forme de chaleur par effet Joule.

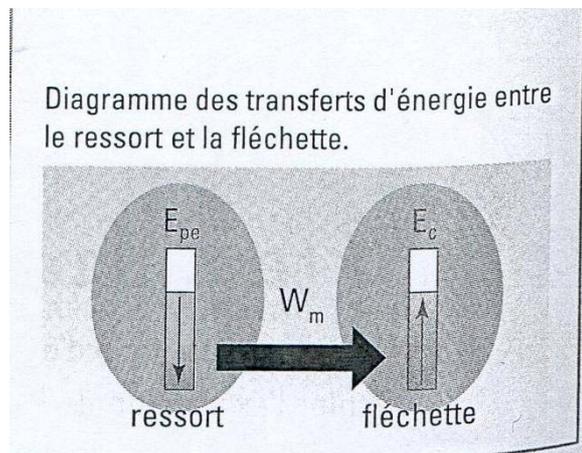
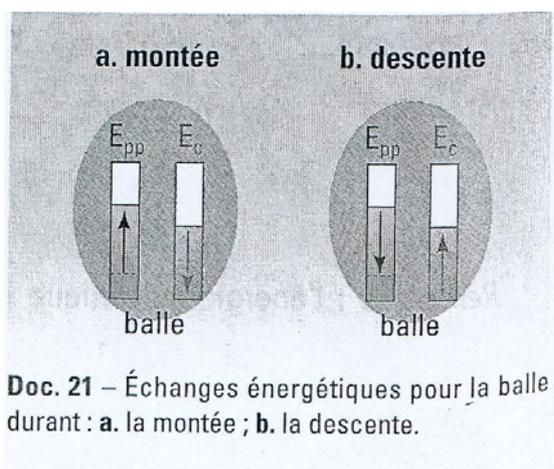


Figure 11. Apparition du schéma typique du Document d'accompagnement du programme de 2000 dans le manuel Terminal S de Bréal (2002, p.201, 344, 350)



Doc. 21 – Échanges énergétiques pour la balle durant : **a.** la montée ; **b.** la descente.

Ce graphique n'apparaît pas dans les manuels de 1^{ère} S, une raison pouvant être que le document est paru après le programme ainsi que les manuels. Par contre il est employé dans un manuel de Terminale S (Bréal 2002) pour représenter le Transfert d'énergie (figure 11). Dans la partie cours de ce manuel, il apparaît six fois mais n'est jamais attendu dans les exercices. Ses rares apparitions et l'absence d'utilisation dans les exercices suggèrent que la vie de ce schéma est problématique dans ce manuel.

IV. Schémas énergétiques dans d'autres institutions

Dans l'institution de 1^{ère} S, les schémas énergétiques apparaissent souvent sous les noms de Chaîne énergétique ou de Bilan énergétique. Dans les autres institutions, le terme « Chaîne énergétique » n'existe pas. Par contre le terme « Bilan énergétique » est parfois présent dans l'institution universitaire française, mais sans être attaché à des schémas semblables à ceux construits au lycée (1992 ou 2000). Quelques schémas apparaissent à quelques rares exemplaires, et seulement dans le domaine de la thermodynamique. Aucune règle de construction n'est explicitée et aucune désignation comme « Chaîne énergétique » ou « Bilan énergétique » ne leur est attribuée.

Dans le manuel de Thermodynamique de *l'université française* (figure 12), les quelques exemplaires de schémas énergétiques sont présents dans 7 pages (sur plus de 500) et sont différents les uns des autres. L'un de ces exemplaires ressemble au schéma du lycée (FIG. 16.2) : il illustre la relation de Conservation de l'énergie mais sans que l'Énergie en soit le seul objet :

« lorsque le système est ouvert, c'est-à-dire qu'il peut échanger aussi des particules avec le milieu extérieur S_{ex} ; le nombre N_S de particules du système n'est donc pas fixé (Fig.16.2). On a alors, entre les énergies et les nombres de particules, les relations suivantes : $\epsilon_0 = \epsilon_S + \epsilon_{ex}$ et $N_0 = N_S + N_{ex}$. » (Pérez, Thermodynamique, 1997, p.288).

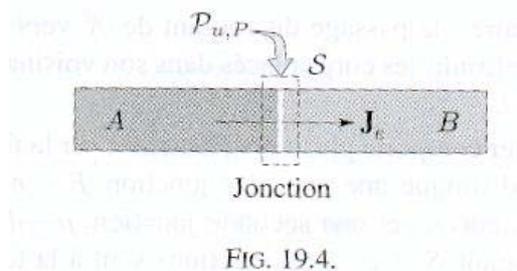
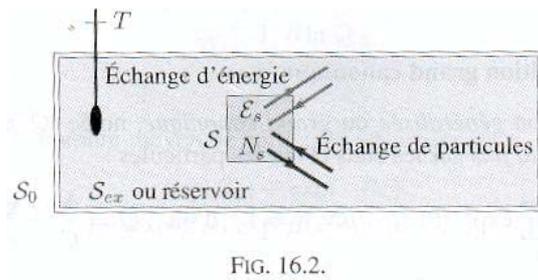
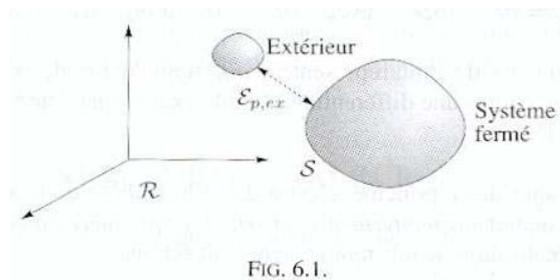


Figure 12. Schémas énergétiques dans le manuel Thermodynamique (Pérez, 1997, p.85, p.289 et p.353)

Nous voulons aussi souligner que dans les manuels universitaires français, le Bilan énergétique peut apparaître dans le titre d'un paragraphe où sont présentées des études énergétiques comme par exemple : échange énergétique, variation de l'énergie, présentation de l'énergie, rendement. Cependant, aucun schéma n'est associé à ce Bilan.

Dans le manuel de Physique *de classe 10 du Vietnam* (figure 13), un schéma apparaît une unique fois pour illustrer le fonctionnement d'une moteur thermique.

« Du principe de fonctionnement du moteur thermique, on voit facilement que chaque moteur thermique doit avoir trois parties constitutives fondamentales suivantes (figure 159) : 1) Source chaude [...] 2) Partie motrice [...] 3) Source froide [...] » (Physique 10, 2003, p.194 et 195).

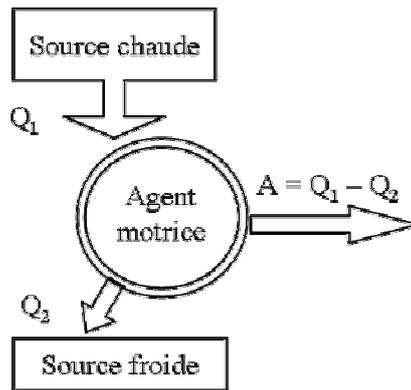


Figure 13. Seul schéma énergétique du manuel de Physique, Classe 10 Vietnam (Education, 2003)

Dans les manuels *universitaires du Vietnam*, les schémas énergétiques n'existent pas.

V. En guise de conclusion : pourquoi la Chaîne énergétique meurt elle en 2000 ?

En résumé, la Chaîne énergétique (et les autres schémas d'usages similaires), se révèle être un objet instable et multiple. Cette représentation schématique possède une bonne visibilité didactique dans le programme de 1992, mais elle montre une grande variabilité, tant dans le temps (programmes 1992, 2001), qu'entre les documents (programme, manuels, documents d'accompagnement, ...), ou même à l'intérieur d'un même ouvrage où elle peut avoir des apparences et/ou des usages divers. Les deux formes/usages principales sont, suivant les ouvrages, distinguées explicitement (COAST-MAFPEN) ou non (manuel Hachette 1992, Document d'accompagnement des programmes). Les règles de construction sont plus ou moins bien définies et explicites et suivies avec plus ou moins de rigueur : les règles, mêmes définies explicitement, peuvent changer en cours de route dans un même ouvrage (Hachette, 1994). Cette variabilité peut constituer une des causes importantes de la disparition de la Chaîne énergétique dans les manuels.

D'autre part, nous avons constaté, qu'à l'exception du document COAST-MAFPEN et du Document d'accompagnement de 2001, les différentes chaînes servent très peu (voire pas du tout) au travail attendu des élèves dans les manuels étudiés.

En fait, c'est la chaîne à « maillons multiples », utilisée essentiellement pour des analyses qualitatives, qui meurt véritablement en 2001. La chaîne-bilan (« à maillon unique ») tente de survivre à travers la représentation schématique du Document d'accompagnement de 2001, mais cette tentative n'est suivie que très faiblement par un unique manuel de Terminale.

De plus, la Chaîne énergétique n'est qu'une création didactique destinée à aider à enseigner dans la réforme de 1992, sans être un objet de la physique (voir aussi Chapitre B5) :

« ...nous affirmons que clairement, que pour des physiciens cette présentation est inutile. C'est une création didactique [...] faite pour aider à l'apprentissage des concepts. Cette représentation vient de la nécessité, aussi bien en physique que dans d'autres domaines scientifiques, d'un support graphique : les schémas électriques et les représentations vectorielles. » (COAST-MAFPEN, p.154).

La Chaîne énergétique n'a donc pas de bonnes conditions de vie dans les manuels.

Cependant ce schéma est significatif de la volonté d'introduire une approche universelle dans l'enseignement de l'Énergie comme l'atteste la représentation graphique du Document

d'accompagnement du programme actuel. C'est pour cette raison que nous posons l'hypothèse suivante :

Hypothèse : la représentation graphique de la chaîne énergétique – élément de l'Approche Universelle - est une technique didactique pour aider les enseignants dans leur enseignement de l'Energie à :

- Organiser les objets énergétiques pour traiter les questions énergétiques d'un phénomène physique.
- Distinguer et identifier, caractériser, organiser les objets énergétiques d'une situation physique (Transfert- Transformation, Mode de transfert- Forme d'énergie).
- Introduire la Conservation de l'énergie.

Paradoxalement, les mauvaises conditions de vie de cet objet nouveau, nous amènent également à formuler l'hypothèse suivante : l'instabilité et la variabilité de la Chaîne énergétique, son peu d'usage dans les manuels (en particulier l'absence d'utilisation dans les exercices), et son inexistence dans le monde du savoir savant, constituent un obstacle majeur à sa survie ultérieure; cet objet a donc peu de chance d'être adopté par les enseignants (et *a fortiori* par les élèves). Par conséquent, il est probable que ce mode de représentation ne sera utilisé que par très peu d'enseignants.

L'étude des institutions vietnamiennes et universitaires françaises confirment que la chaîne énergétique du programme de 1992, est véritablement une création didactique originale. Ceci est d'autant plus vrai qu'on ne trouve quasiment pas de schémas pour organiser les situations physiques du point de vue énergétique, et bien que la pratique de Bilan énergétique soit relativement courante, il n'existe que quelques schémas très succincts en thermodynamique servant à identifier les transferts (modes et quantités transférées) pour un système.

CHAPITRE C.2

Transfert d'énergie

Dans les programmes du lycée français, nous considérons le Transfert d'énergie comme un des objets énergétiques permanents : il apparaît dans les programmes d'avant 1992 mais il est moins visible au sens didactique que dans la réforme de 1992. Si la présentation dans la réforme de 1992 lui donne le statut d'un *objet physique*, dans les programmes précédents c'est un objet *paraphysique*.

En premier lieu nous allons analyser sa présence ainsi que sa vie dans les programmes du lycée français (Bui-Thi, 2005). Ensuite, comme précédemment, nous étendrons cette analyse aux autres institutions. Dans le dernier paragraphe, nous examinerons des indices de confusions existant entre le Transfert et la Transformation de l'énergie (Bui-Thi, 2005).

I. Transfert d'énergie dans les programmes du lycée français

I.1. Présence du Transfert d'énergie

Pour le programme d'avant 1992, le terme de Transfert d'énergie est utilisé comme un qualificatif pour caractériser le Travail et la Chaleur. L'objet n'est pas défini, sa définition est laissée à la charge de l'élève.

« [...] le travail est un transfert ordonné d'énergie, la chaleur un transfert désordonné d'énergie. »
(Programme de 1988, p.114).

Dans le manuel étudié pour ce programme, le Transfert d'énergie apparaît à travers les concepts de Travail et de Chaleur sous une même catégorie mais de manière sporadique et implicite (cette catégorie correspond à la catégorie « modes de transfert », définie un peu plus loin).

« Il ne faut pas confondre chaleur et travail : [...] Si la chaleur est un transfert désordonnée d'énergie, par opposition le travail est un transfert ordonnée d'énergie. [...] En conclusion, travail et chaleur sont deux transferts différents d'énergie » (Physique Première S/E, Hachette, 1988, p.107).

Dans le programme de 1992, le Transfert est amené à la position de titre d'une rubrique caractérisée par différents concepts : « 2.3. Transfert d'énergie : travail, conduction de chaleur, convection, rayonnement » (Programme de 1992).

Dans les manuels de ce programme, le Transfert d'énergie n'a pas de définition mais un chapitre lui est dédié, dans lequel il est construit à travers ses propriétés. L'événement Transfert d'énergie apparaît sous plusieurs termes mais le nom de « Transfert d'énergie » est privilégié d'une part dans le programme, et d'autre part dans le manuel par le titre du chapitre qui lui est dédié et dans le résumé des connaissances dites exigibles par le programme. Les Transferts font donc partie des connaissances qui doivent être sues par l'élève (figure 1).

L'objet Transfert d'énergie devient donc un objet physique, clairement visible, en 1992. (On notera que dans le programme de 1992, on distingue deux modes de transfert thermique (ou chaleur), la « conduction de chaleur » et la « convection » (p.142, 143). Ces deux notions ne seront plus enseignées en 2000).

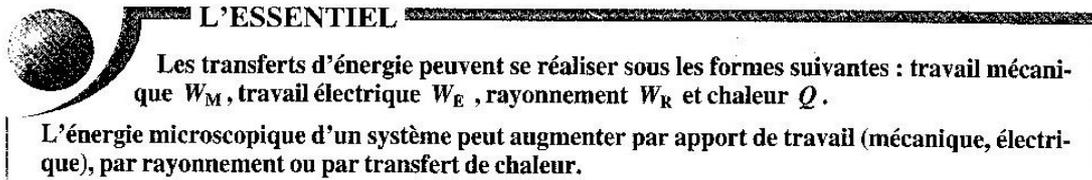


Figure 1. Résumé sur le Transfert d'énergie dans l'Essentiel du chapitre « Transfert d'énergie » (Hachette, 1994, p.132)

Dans le *programme de 2000*, la présentation du Transfert d'énergie correspond à peu près à celle d'avant 1992, en gardant toutefois la notion de mode de transfert. Le terme générique « Transfert d'énergie » n'existe plus dans le programme car on fait alors référence à une catégorie, les « Modes de transfert de l'énergie » qui rassemblent les différents modes transferts : « 2. Le travail : un mode de transfert de l'énergie. [...] 3. Le transfert thermique. [...] Autre mode de transfert énergétique : le rayonnement. » (Programme de 2000). Dans le manuel un chapitre reste toujours dédié à ces concepts (figure 2), et les deux termes sont employés. On remarque que dans le cours comme dans les exercices, on n'identifie jamais un Transfert d'énergie dans une situation physique sans préciser le mode du transfert, quel que soit le document : sur un schéma par exemple la flèche qui désigne un transfert est toujours accompagnée d'un symbole ou du nom qui désignent le mode.

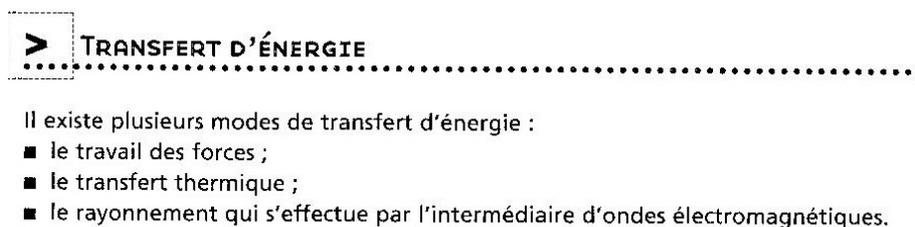


Figure 2. Résumé sur le Transfert d'énergie dans l'Essentiel du chapitre « Transfert d'énergie et énergie interne » (Hachette, 1994, p.132)

I.2. Evolution du Transfert de la réforme de 1992 au programme de 2000

En analysant en détail le manuel Hachette (1994 et 2001) lors de la construction des schémas du chapitre B2, nous avons vu que l'événement physique du Transfert d'énergie est aussi décrit par d'autres termes comme : échanger, évacuer, envoyer, céder, recevoir, gagner, perdre, fournir, transporter, etc. Nous utilisons également l'apparition de ces termes dans l'analyse du chapitre B2. Dans le programme de 2000, le nombre des occurrences de l'objet Transfert d'énergie en terme « transfert » ou « transférer » augmente sensiblement (en 1992 : $20/48 = 42\%$; en 2000 : $11/17 = 65\%$). De plus, les modes de transfert y sont nommés de manière plus explicite. Tous les manuels présentent les trois modes en tenant en compte du changement de signifiant « Transfert thermique » imposé par le programme en relation avec un risque de confusion entre les notions de Chaleur et de Température chez des élèves. Ce fait pérennise l'existence de cet objet et confirme son statut d'objet physique.

La visibilité didactique d'objet physique du Transfert d'énergie se maintient entre 1992 et 2000, tout en évoluant.

II. La catégorie « Mode de transfert » - une catégorie universelle attachée au Transfert d'énergie.

Comme nous l'avons vu ci-dessus, les concepts de Travail et de Chaleur sont permanents à travers les différents programmes, et attachés au phénomène de Transfert d'énergie alors que le Rayonnement est fluctuant. Dans la réforme de 1992, ces trois concepts sont explicitement réunis pour définir ensemble une catégorie, celle de Mode de transfert. Le nom de « mode » n'est fixé que par le programme de 2000.

II.1. Avant 1992

Dans les programmes d'avant 1992, le Transfert d'énergie est l'une des caractéristiques du Travail et de la Chaleur mais ces deux concepts ne sont pas définis en référence à cette idée.

« La présentation officielle du programme qui est la même depuis 1988 souligne l'aspect délicat et ambitieux des notions qui sont étudiées en classe de première S, et tout particulièrement en ce qui concerne le domaine énergétique. [...]

La définition du concept travail ne fait aucunement allusion au fait qu'il puisse s'agir d'un transfert d'énergie.

[...] La chaleur est définie ici en termes d'énergie et non de transfert. (Bécu-Robinault, 1993, p.27, 28)

Ainsi ces concepts apparaissent dans les exercices comme des Grandeurs Physiques qui servent simplement aux calculs comme par exemple : « *Quelle est la quantité de chaleur Q dissipée par le choc ?* » (Ex.3, p.133). Aucun exercice ne pose de question sur le mode qui caractérise le Transfert d'énergie.

II.2. Programme de 1992. Catégorie « Mode de transfert »

Dans le programme de 1992, ces deux objets sont réunis dans une *catégorie* commune emblématique du Transfert d'énergie intitulée « Mode de transfert »¹. Cette catégorie n'est jamais considérée comme un objet physique ni dans le savoir savant, ni dans l'enseignement. Le « Mode de transfert d'énergie » apparaît pour la première fois comme un objet d'enseignement dans le programme de 1992 mais sans être défini. Il se présente à travers les concepts qui le constituent : Travail, Chaleur et Rayonnement². *Le Mode de transfert en étant une catégorie emblématique du Transfert d'énergie permet de conférer et de désigner une fonctionnalité énergétique commune à trois objets différents.* Il est donc une création didactique attachée à l'Approche Universelle car il permet d'explicitier une qualité commune à des objets énergétiques différents apparaissant dans des domaines différents de la Physique. Le Transfert d'énergie est donc un événement qui peut être « vu » sous trois modes et ces trois modes sont contenus dans une « *catégorie* » commune intitulée « Mode de transfert ».

Pour guider la lecture de la thèse, nous soulignons ici les termes utilisés pour les différents concepts concernant l'événement de Transfert d'énergie :

- le « *Mode de transfert* » = catégorie commune, emblématique du Transfert d'énergie.

¹ Mode avec M et non « mode »

² Dans les manuels du programme de 1992 et également dans le document COAST-MAFPEN, les modes de transfert d'énergie sont au nombre de trois. Seul le manuel Hachette, (figure 1), établit une distinction entre le travail mécanique et le travail électrique. Nous choisissons donc de considérer trois modes comme la plupart des manuels et en accord avec le programme de 2000.

- le « *mode de transfert* » = l'un des trois modes de transfert. Un mode de transfert implique soit le Travail, soit la Chaleur, soit le Rayonnement.
- les « *modes de transfert* » = ensemble des modes constitutifs de la catégorie (Travail, Chaleur, Rayonnement).

La catégorie de Mode de transfert d'énergie permet donc d'amener les objets constitutifs (Travail, Chaleur et Rayonnement) à un statut d'*objets physiques* dans le programme de 1992. La définition du Travail est complète. Elle comprend deux aspects : quantitatif (en relation avec la force) et qualitatif (notion de Transfert d'énergie et de Mode de transfert). C'est analogue pour la Chaleur. Parmi ces trois modes de transfert d'énergie, la vie du *Rayonnement* est peu développée mais il existe, ce qui n'est pas le cas dans les programmes précédents. Il reste tout juste à un niveau d'*objet paraphysique* : il est utilisé seulement pour présenter le Transfert d'énergie et il n'est accompagné d'aucune expression algébrique qui pourrait permettre une quantification (et donc permettre d'aborder des exercices quantitatifs). En fait, l'étude du phénomène physique du Rayonnement est absente de ce programme alors que les phénomènes physiques associés au Travail et à la Chaleur sont étudiés. Son rôle dans ce programme est donc principalement de compléter la notion de Transfert d'énergie et de Mode de transfert, en étendant la dimension transdisciplinaire de ces concepts. Sa présence participe donc ici à l'Approche Universelle.

Dans les exercices de tous les manuels (manuels universitaires ou scolaires, avant ou après 1992), les modes de transfert Travail et Chaleur apparaissent essentiellement sous une forme quantitative. Nous nous intéressons maintenant aux exercices où l'aspect qualitatif du Transfert d'énergie apparaît. Dans le chapitre « Transfert d'énergie », 7 exercices sur 35 posent une question sur l'identification des Transferts d'énergie et de leurs modes. Si la question sur le mode du transfert n'est en général pas explicite, en réalité aucune réponse sur les transferts ne peut omettre de mentionner le mode.

1 A1 Transferts d'énergie
Citer quatre transferts d'énergie.

6 A2 Travail électrique et énergie rayonnante
Une lampe est alimentée par une pile électrique.

- 1) Analyser les transferts énergétiques de ce système.
- 2) Représenter ces transferts par un schéma.

26 Rendement d'un moteur électrique
Un moteur électrique consomme une puissance électrique de 1,5 kW. Il produit une puissance mécanique utile de 1,2 kW ; les circuits électriques cèdent une puissance thermique de 0,2 kW à l'environnement.

- 1) **C1** Quelles sont les autres pertes d'énergie possibles dans ce convertisseur ? Sous quelles formes sont-elles transférées à l'extérieur ?
- 2) **A2** Calculer le rendement de ce moteur.

Figure 3. Des exercices possédant la question sur le Transfert d'énergie du manuel Hachette (1994) : exercice 1 et 6 (p.150) ; exercice 26 (p.152)

Dans la figure 3, l'exercice 1, typique de la rubrique « *connaissances essentielles du cours* » destiné à « *vérifier si le cours est connu* », demande de dénombrer les modes de transfert d'énergie. L'exercice 6 est un exemple d'exercice d'« *applications directes du cours* », qui demande une analyse du Transfert d'énergie avec un schéma, et où les modes de transfert restent implicites. Dans l'exercice 26, typique de l'« *utilisation des acquis* », les modes de transfert sont abordés à travers l'énergie perdue par le système.

Comme nous l'avons montré dans le chapitre C1, le Transfert d'énergie et les modes de transfert sont des objets élémentaires pour construire la Chaîne énergétique et le Bilan énergétique, ils sont aussi utilisés dans les exercices qui portent sur ces deux objets. Par exemple, dans la question « *Quelle est le bilan énergétique d'un réfrigérateur* » (Ex.22,

p.192) ils interviennent mais ne sont pas les objets centraux de cette question. Les textes d'exercices où leurs noms apparaissent dans une question sont rares : en dehors du chapitre « Transfert d'énergie », on trouve seulement trois exercices dans le chapitre « Bilan énergétique d'une chaîne électrique » : « Schématiser la chaîne électrique décrite et représenter les transferts énergétiques. » (Ex.11, p.241) ; « Faire un nouveau schéma traduisant les différents transferts énergétiques. » (Ex.12, p.241) ; « Représenter le schéma de la chaîne montrant les transferts d'énergie » (Ex.19, p.244). Ces questions demandent toutes de réaliser un schéma qui correspond à la Chaîne énergétique (cf. II). Comme on l'a vu précédemment, le schéma de la Chaîne met en évidence le phénomène mais ne fait pas intervenir de relation algébrique, donc de quantification.

II.3. Evolution dans le programme de 2000

Comme le statut du Transfert d'énergie dans le *programme de 2000* ne change pas par rapport au programme de 1992, il n'y a qu'une seule modification pour les modes de transfert : le signifiant « Transfert thermique » remplace celui de « Chaleur » pour éviter une confusion des concepts de Chaleur et de Température. Le statut des objets constitutifs du Mode de transfert ne change donc pas. En particulier, le rôle du Transfert dans la réalisation d'un Bilan énergétique est précisé par le fait que son nom est associé au Bilan énergétique dans une rubrique du programme. Ce n'est plus « Bilan énergétique » mais « Bilan du transfert d'énergie » : « *Bilan du transfert d'énergie pendant la durée Δt .* » (programme de 2000)

Pour le manuel du *programme de 2000*, dans le chapitre « Transfert d'énergie et énergie interne », 10 exercices (sur 39) proposent des questions sur le Transfert et les modes de transfert. Les questions sur la schématisation n'existent plus (figure 4).

2. TRANSFERTS THERMIQUES

1. Dans quel sens a lieu un transfert thermique ?
2. a. Citer les deux modes de transferts thermiques.
b. Qu'est-ce qui différencie ces deux transferts ?
3. a. Comment est appelé le transfert d'énergie par les ondes électromagnétiques ?
b. Quelle est la particularité d'un tel transfert ?

18. CAPTEUR SOLAIRE

La puissance solaire moyenne reçue par un capteur solaire, entre 12 h et 14 h un jour d'été, est de $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. La surface du capteur est égale à 4 m^2 .

1. Quel est le mode de transfert d'énergie reçu par le capteur ? Quelle est sa particularité ?
2. De l'eau pénètre dans le capteur à la température de $20 \text{ }^\circ\text{C}$. À quelle valeur doit-on régler le débit si on veut que l'eau ressorte à $35 \text{ }^\circ\text{C}$?

Donnée : $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Figure 4. Des exercices possédant la question sur le Transfert d'énergie du manuel Hachette (2001) : exercice 2 (p.148) et exercice 18 (p.149)

III. Transfert d'énergie dans d'autres institutions

Pour les *manuels universitaires français*, l'objet Transfert d'énergie apparaît comme un *objet protophysique* car il n'est pas défini et n'a pas de *nom*.

« Nous avons vu que l'énergie mécanique d'un système matériel fermé n'était pas une grandeur conservative, c'est-à-dire que, dans le bilan de cette grandeur, le travail des forces extérieures traduit l'échange avec le milieu extérieur [...] et le travail des forces intérieures représente le terme de production d'énergie mécanique. » (Pérez, Mécanique, 1997, p.304).

« Ainsi l'énergie électromagnétique fournie pour assurer le déplacement des charges mobiles... et ainsi dissipée sous forme thermique (effet Joule) » (Pérez, Electromagnétisme, 1997, p.233).

L'idée de Transfert d'énergie apparaît au travers de termes différents comme échange, fournir, dissiper. Les modes de transfert sont associés au Transfert de manière implicite : « *le*

travail des forces extérieures traduit l'échange avec le milieu extérieur » (Pérez, 1997, Mécanique, p.304) ou « *Ainsi l'énergie électromagnétique fournie [...] et ainsi dissipée sous forme thermique* » (Pérez, 1997, Electromagnétisme, p.304).

Parmi les manuels universitaires, le Transfert d'énergie apparaît comme plus explicite dans le domaine de la Thermodynamique lors de la caractérisation de la Chaleur et du Travail. Comme nous l'avons vu dans l'histoire de l'Energie (chapitre A1), le domaine de la Thermodynamique est étroitement lié au thème de l'énergie. En particulier le Premier principe de la thermodynamique (Principe de conservation) est construit en s'appuyant sur la notion de Transfert de l'énergie. C'est pourquoi les phénomènes énergétiques apparaissent explicitement dans ce domaine. Le Transfert d'énergie apparaît dans deux paragraphes qui lui sont dédiés : « *le travail que reçoit [...] un système S, à travers la surface qui le délimite [...] exprime un échange d'énergie [...] entre le système et l'extérieur* » (paragraphe « Echange d'énergie par travail », Pérez, Thermodynamique, 1997, p.4); « *Ainsi définie, la chaleur, comme le travail, n'est pas une énergie mais un transfert d'énergie. C'est finalement un transfert d'énergie interne* » (paragraphe « Echange d'énergie par chaleur », Pérez, Thermodynamique, 1997, p.87).

Dans les *manuels universitaires vietnamiens*, le transfert est mentionné *presque comme un objet physique* au moment où l'on donne une définition de l'Energie.

« Le transfert d'énergie peut se faire de plusieurs manières. Si l'on ne considère que le mouvement mécanique, le transfert d'énergie est fait ainsi : l'objet considéré exerce des forces sur des objets extérieurs et ces forces produisent du travail. Ce travail est donc une grandeur qui caractérise le processus de transfert d'énergie entre les objets. Expliqué d'une autre façon : quand un système réalise un travail, son énergie change. » (Mécanique-Thermique, Partie Mécanique p.90)

Le mode de transfert y apparaît également pour caractériser le transfert, mais de manière implicite et limitée au domaine de la mécanique parce que c'est là que l'Energie est définie. Par conséquent le seul mode de transfert abordé est le travail. Dans ces circonstances, il n'est donc pas possible de définir une catégorie générale Mode de transfert. Dans le domaine de la Thermodynamique, on distingue les deux modes Travail et Chaleur pour étudier le Premier principe ; le Rayonnement n'est jamais mentionné comme un mode de transfert de l'énergie.

« Il y a deux formes de transfert d'énergie : l'une est ce qui fait augmenter le mouvement ordonné d'un objet... on appelle cette forme de transfert d'énergie « travail ». ... Dans la deuxième, l'énergie est transférée directement entre les molécules en mouvement désordonné d'objets en contact. On appelle cette forme de transfert d'énergie « chaleur ». » (Mécanique-Thermique, 2003, Partie Thermodynamique, p.153)

Dans le *manuel du lycée vietnamien*, le Transfert est un *objet protophysique*. Il n'est jamais défini et n'a pas de nom, mais il est décrit au travers de plusieurs termes. Par exemple pour définir un système isolé en mécanique :

« L'énergie ne peut se transférer que par une interaction entre des objets. Si le système n'a pas d'interaction avec l'extérieur, alors il n'a pas d'échange d'énergie avec l'extérieur ». (Physique classe 10, 2003, p.153)

Dans le manuel du lycée comme dans l'institution universitaire, le Travail et la Chaleur sont mentionnés comme des modes de transfert dans la partie Thermodynamique.

« Si l'énergie interne d'un objet n'est pas transférée à l'autre objet par le travail, on l'appelle le transfert thermique » (Physique classe 10, 2003, p.184).

En conclusion, la catégorie Mode de transfert n'existe pas au Vietnam et à l'université française. L'existence et le statut des concepts de Travail, Chaleur et Rayonnement, changent suivant les domaines de la Physique. Par exemple, avec un nom et une définition, le Travail

est un *objet physique* en Mécanique, alors que c'est un objet quasiment *paraphysique* en Thermodynamique, car sa définition n'apparaît pas mais il est utilisé comme un outil. La Chaleur est un objet physique en Thermodynamique et paraphysique dans d'autres domaines. Le Rayonnement est un *objet protophysique* en Electromagnétisme et Thermodynamique où il est utilisé parfois comme un mode de transfert de l'énergie, parfois comme un objet comme en Optique (il n'existe pas en Mécanique).

IV. Des indices d'un malaise autour du Transfert d'énergie et de la Transformation de l'énergie

IV.1. Au lycée français : distinction dans le schéma énergétique mais pas dans le cours (texte)

Un objet, la Transformation de l'énergie, côtoie l'objet Transfert d'énergie dans le même habitat. Des similarités entre ces deux objets provoquent un malaise dont nous allons chercher les indices dans les manuels.

Dans tous les manuels étudiés (avant 1992, 1992 et 2000 ainsi que les autres institutions), le statut de la Transformation de l'énergie oscille entre le *paraphysique* et le *protophysique*. Elle est utilisée pour étudier le Principe de conservation, mais sans définition. Mais elle apparaît aussi derrière tout événement désigné par les termes de « *transformation* » ou de « *conversion* » par exemple. Ce statut ressemble à celui du Transfert d'énergie dans l'institution universitaire en France et au Vietnam (lycée, Université).

Par contre, dans les manuels du programme de 1992 et de 2000 du lycée français, grâce aux schémas de la Chaîne énergétique (programme 1992) ou du Bilan énergétique (2000), la Transformation de l'énergie est clairement distinguée du Transfert d'énergie par l'usage :

- de symboles de transformateur/convertisseur présentant la Transformation
- de flèches pour le Transfert.

Cependant, l'objet Transformation est moins visible que l'objet Transfert d'énergie. En effet, le Transfert d'énergie correspond à un événement caractérisé par des modes de transfert, alors qu'aucun critère ni définition ne caractérise la Transformation de l'énergie dans ces manuels.

Le signifiant « Transformation de l'énergie » évoque un phénomène concernant les formes d'énergie, c'est-à-dire le changement de nature (de forme) de l'énergie. Cette idée est présente dans le schéma de la Chaîne et du Bilan où l'on annote les formes d'énergie dans les « transformateur » ou « convertisseur ».

Dans le document COAST-MAFPEN, on trouve une analyse linguistique portant sur les deux verbes Transfert et Transformation (p.163-168) : « *La comparaison des résultats des analyses de transformer et transférer [...] montre des ressemblances fortes, qui sont à l'origine d'un certain nombre de confusions faites par les élèves.* » L'analyse propose trois éléments pour différencier ces deux notions : « *un transfert doit préserver l'entité [l'énergie transférée], alors que qu'une transformation doit changer radicalement une de ses propriétés [sa forme] » ; « un transfert doit forcément créer un déplacement [entre deux systèmes], alors qu'une transformation le peut à la rigueur » ; « on ne peut pas définir un transfert sans nommer l'entité transférée [l'énergie], alors qu'on peut définir une transformation. »* Nous

allons voir dans les paragraphes qui suivent que des confusions plus complexes sont largement répandues, jusque dans les manuels.

IV.2. Confusion des modes de transfert d'énergie avec la quantité d'énergie transférée

D'une part la Transformation n'est pas toujours distincte des transferts d'énergie ou des modes de transfert. D'autre part, elle est parfois appliquée à d'autres objets que les formes d'énergie : on trouve parfois l'évocation de la transformation d'un mode en un autre, ou d'une forme d'énergie en un mode de transfert, Par exemple, pour décrire le fonctionnement d'une machine à vapeur d'un train, on écrit : « *La machine à vapeur permet de transformer une partie de la chaleur Q_1 , fournie par la vapeur, en travail mécanique W_M . Ce travail résulte de la force pressante exercée par la vapeur sur le piston qui se déplace lors de la phase d'admission.* » (Physique 1er S, Hachette, 1994, p.181). Dans cet exemple, pour illustrer le calcul de rendement, un schéma (figure 5) montre que la chaleur concerne un phénomène de transfert entre la chaudière et le moteur (le système étudié), et le travail concerne un autre phénomène de transfert, entre le moteur et la transmission. On peut traduire la phrase ainsi : le moteur reçoit de l'énergie thermique de la chaudière (quantité Q_1) et transfère de l'énergie mécanique (quantité W_M) à la transmission. Une partie de l'énergie thermique reçue par le moteur est donc transformée en énergie mécanique et transfère Q_1 à la transmission : le moteur est donc un transformateur d'énergie. La confusion vient de l'usage des termes chaleur et travail, qui désignent non pas les transferts ou leur mode, mais les quantités d'énergie Q_1 et W_M transférées entre le système et le milieu extérieur (on mentionne de manière confuse la forme des énergies transférées : chaleur pour l'énergie thermique et travail pour l'énergie mécanique). Le texte cité ne s'intéresse qu'à l'aspect de changement de forme, et évoque les formes d'énergie en les désignant par les mêmes termes que les quantités d'énergie transférées, que l'on pourrait elles-mêmes confondre avec les modes du transfert.

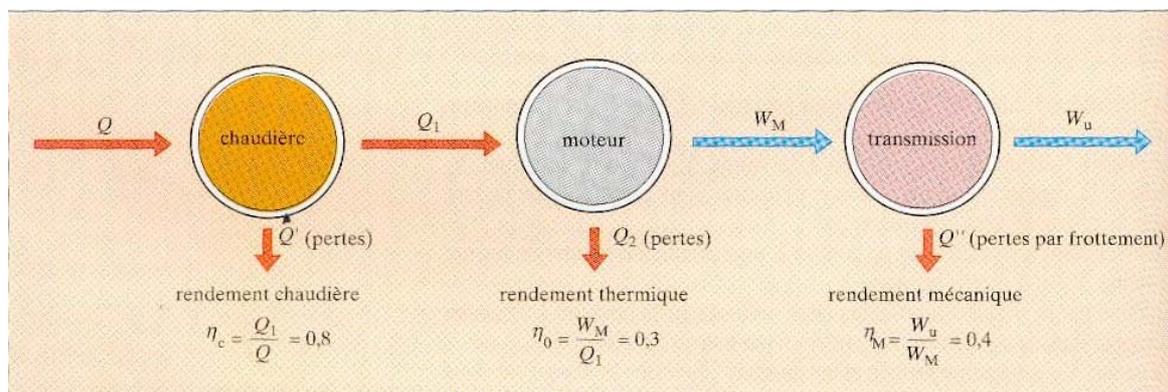


Figure 5. Chaîne énergétique (sert à calculer le rendement) illustre les modes de transfert par des symboles (Hachette 1994, p.182)

On trouve des exemples similaires dans différents ouvrages comme par exemple dans les manuels universitaires vietnamiens et français « *La machine thermique est un système fonctionnant périodiquement qui convertit le travail en chaleur ou bien la chaleur en travail.* » (Mécanique-Thermique (VN), 2003, p.183). « *Il existe plusieurs causes d'irréversibilité, [...] la première [...] est constituée par l'ensemble des forces de frottement visqueux ou solide dont le travail se transforme systématiquement en énergie interne ou en chaleur.* » (Pérez, Thermodynamique, 1997, p.98). Dans cette dernière citation l'énergie interne est mise au même niveau que la chaleur, alors que la thermodynamique usuelle distingue bien entre les grandeurs d'état (formes d'énergie comme E mécanique, E interne,

Eth) et les autres grandeurs (quantités transférées désignées traditionnellement par les termes de chaleur, travail). L'expression explicite pourrait être : Il existe plusieurs causes d'irréversibilité, [...] la première [...] est constituée par l'ensemble des forces (extérieures au système) qui par leur travail, transforment systématiquement l'énergie mécanique (du système) en énergie interne (du système) ou en énergie thermique (du système, du milieu extérieur, ...). On remarque que le fait d'utiliser traditionnellement un même terme (travail ou chaleur) pour désigner le mode de transfert et la quantité d'énergie transférée, introduit une possibilité supplémentaire de confusion. Par conséquent les confusions entre d'une part forme d'énergie et mode de transfert, et d'autre part forme d'énergie et quantité d'énergie transférée, semblent étroitement liées par une question de vocabulaire.

IV.3. Discussion

On peut penser que de tels usages peuvent créer un trouble autour des notions de Transfert et Transformation de l'énergie, qui peut ensuite amener à une confusion entre modes de transfert et formes d'énergie.

Cependant Robardet (entretien du 3/4/2003) défend une position différente. Pour définir une transformation, il aborde ainsi les formes d'énergie et les modes de transfert :

« La transformation d'énergie c'est quand on passe d'une forme à une autre ; ou d'un mode à un autre. Il y a transformation d'énergie lorsque ça change d'état entre l'entrée et la sortie d'un système, ou à l'intérieur d'un système au cours du temps, et on n'a pas 2 fois la même chose. Soit transformation d'énergie cinétique en énergie potentielle ou d'énergie cinétique en énergie interne, par exemple ; soit une transformation de travail en chaleur, de travail en énergie cinétique ; soit de travail en rayonnement... Chaque fois qu'on change de mode ou qu'on change de forme ou on passe d'une mode à une forme... » (Entretien avec Robardet)

Pour lui, « formes d'énergie » et « modes de transfert » sont interchangeables, ce sont des catégorisations :

« [...] on continue à parler de « forme » d'énergie et de « mode » de transfert mais le « modes » de transfert correspondent à des « formes » de transfert. Finalement le mot « forme » pourrait toujours être utilisé. Que ce soit des formes d'énergie stockée ou des formes d'énergie transférée. Je ne sais pas s'il faut attacher de l'importance par rapport à ces deux mots là.

[...] on n'a pas jugé pertinent d'abandonner l'idée de mode de transfert ou de forme d'énergie. D'ailleurs le concept de « forme » ou le concept de « mode » c'est très proche. C'est l'idée de catégorie. Je dis des formes d'énergie pour définir des catégories d'énergie... On dira plutôt d'énergie stockée. Et puis modes de transferts, c'est des catégories de transfert, donc d'énergies transférées. C'est une catégorisation qu'on essaie de faire. Il y a transformation chaque fois qu'il y a changement de catégorie. » (Entretien avec Robardet).

Cependant, l'idée d'une distinction entre forme d'énergie - une grandeur d'état - et mode de transfert – caractéristique d'un transfert – existe :

« Le mot « **chaleur** » est largement utilisé (et compris) non seulement comme caractéristique d'un transfert d'énergie (« la chaleur se déplace », « se propage », etc.), mais aussi dans le sens d'une grandeur d'état, même chez des élèves avancés ou chez des étudiants. » (Document d'accompagnement du programme de 2000, 2002).

Au Vietnam, le Transfert d'énergie et la Transformation de l'énergie ne sont pas distingués.

« En classe 10, pour la notion « transfert d'énergie », on considère essentiellement le transfert thermique et ses applications techniques. On n'attache pas suffisamment d'importance au transfert d'énergie (énergie de translation ↔ énergie de rotation ; énergie potentielle → énergie de translation (ou énergie de rotation) ; énergie élastique ↔ énergie cinétique et énergie potentielle). Je pense qu'il serait mieux de l'exploiter plus soigneusement. Surtout, il faut analyser des exemples d'application pour que les élèves puissent bien comprendre le transfert d'énergie. [...] C'est l'échange d'énergie d'un objet

à l'autre (même forme d'énergie) [...] La transformation de l'énergie (d'une forme à une autre) est suffisamment enseignée comme on l'a vu précédemment, dans des exemples d'applications techniques et de la vie quotidienne, dans des exercices qualitatifs et quantitatifs. » (Entretien avec Mme. Le, 20/10/2003)

On voit dans le discours de Mme. Le, que la notion de Transfert d'énergie n'est pas précise et qu'elle est confondue avec celle de Transformation de l'énergie : d'une part les deux termes Transfert et Transformation sont utilisés indifféremment; d'autre part, les exemples donnés comme manquant dans l'enseignement, ne concernent que le changement de forme de l'énergie, alors que le Transfert est donné un peu plus loin comme un échange entre deux objets, ce qui correspond bien à l'idée du Transfert des programmes français.

V. Conclusion

Nous avons vu que dans la réforme du programme de 1992, la *visibilité didactique* du Transfert d'énergie augmente : il occupe une place importante dans les manuels puisqu'il est le titre de chapitres et/ou de paragraphes. *Le Transfert d'énergie* devient un objet physique alors que dans les autres institutions il n'est que protophysique. Nous avons vu (chapitre B4) que dans les manuels français (programmes de 1992 et 2000), le réseau des relations du Transfert d'énergie avec d'autres objets énergétiques est très dense. Les discussions ci-dessus montrent en effet l'importance des relations avec des objets tels que la Chaîne énergétique, le bilan énergétique, ou plus loin le Principe de conservation de l'énergie. *Le Transfert d'énergie* participe donc intensément à la vie des objets énergétiques.

Dans les programmes récents, la définition des modes de transfert est l'occasion de réunir des concepts initialement attachés à l'Approche Particulière (*Travail, Chaleur, Rayonnement*) dans une catégorie nouvelle emblématique de l'AU : le Mode de transfert. Dans le programme de 2000, ces objets et leur catégorie conservent le même statut. Au Vietnam et à l'Université française par contre, la visibilité des différents modes de transfert varie selon les domaines de la Physique et la catégorie Mode de transfert n'existe pas.

La réforme de 1992 au Lycée français, a donc modifié de manière permanente (jusqu'à aujourd'hui) l'enseignement de l'Energie dans le secondaire par la création des notions universelles de transfert et de mode de transfert. Mises en avant par toutes les représentations graphiques énergétiques, ces notions sont caractéristiques de l'analyse énergétique d'une situation physique, et indissociables de la notion de conservation (Transfert) et d'énergie (Mode). Cependant, l'abandon des représentations graphiques dans le manuel du programme de 2000, s'accompagne d'un recul de l'exploitation du Transfert et du mode de Transfert dans le cours et les exercices.

D'autre part, nous avons identifié dans toutes les institutions, les indices d'un malaise autour du Transfert d'énergie et de la Transformation de l'énergie. Nous avons dégagé deux éléments qui peuvent conjointement ou séparément, être responsables de confusions multiples. Le premier repose sur la polysémie des «noms» des deux modes de transferts (travail et chaleur) les plus usités dans les manuels étudiés : le même nom désigne à la fois le mode de transfert et la quantité d'énergie transférée. En second lieu, le statut de la Transformation de l'énergie est mal défini : il peut être une simple propriété associée de manière variable au Forme d'énergie, au Transfert d'énergie ou au Mode de transfert, avec une visibilité d'objet protophysique. Cependant dans la réforme de 1992, il accède parfois au statut d'objet paraphysique, en particulier pour outiller la Chaîne énergétique. On peut envisager que ce statut pourrait même aller jusqu'à celui d'un objet physique, en énonçant un Principe de Transformation comme proposé dans certaines études didactiques (Bécu-Robinault, 1997a). Néanmoins nous devons reconnaître que la notion de Transformation est complexe et toujours sujette à controverse pour les experts.

CHAPITRE C.3

Principe de conservation de l'énergie

Parmi les objets énergétiques, le Principe de conservation de l'énergie (ou PCE) est le plus fondamental, étant donné le rôle primordial qu'il a joué dans la genèse de l'Energie (chap. A1). Nous commençons ici par examiner la cohérence entre les aspects épistémologiques du PCE et l'enseignement de l'Energie dans les deux approches Universelle (AU) et Particulière (AP). A partir de là, nous considérerons la manière dont le PCE apparaît dans les programmes de lycée français en relation avec ces deux approches. Le troisième paragraphe est consacré à l'analyse de la vie et de l'évolution du PCE dans les manuels. Nous terminerons comme dans les chapitres précédents, par l'étude de la vie de cet objet dans les autres institutions.

I. Cohérence épistémologique du Principe de conservation de l'énergie (PCE) dans l'enseignement

La Conservation de l'énergie est un principe fondamental de l'Energie et de la Physique, c'est donc un objet permanent dans tous les programmes du secondaire français étudiés. C'est un objet physique avec un nom, un énoncé, etc. Nous verrons cependant que sa visibilité varie suivant les programmes, dépendant de la forme qu'il prend selon que l'approche est de type Universelle ou Particulière.

I.1. De l'Approche Universelle

Principe de divers phénomènes, principe de transformation

D'un point de vue épistémologique, lorsqu'on se place dans l'optique d'une AU, nous avons vu que le Principe de conservation de l'énergie est considéré comme faisant partie des grandes lois de Conservation de la Physique (Feynman, 1963). Cependant la loi de Conservation de l'énergie est plus complexe que les autres lois : dans les autres lois de Conservation, un seul phénomène est en jeu et toutes les quantités transférées qui interviennent dans le bilan préalable à l'écriture de la Conservation, sont de même nature. Au contraire, pour écrire la Conservation de l'énergie, il faut prendre en compte divers phénomènes physiques, auxquels sont associés des quantités de nature différentes (Forme d'énergie) : il se produit des changements de formes (Transformations), en même temps que des transferts d'énergie. La quantification des énergies transférées fait appel à des lois qui varient avec les phénomènes en jeu, donc avec les formes d'énergie en jeu, et par conséquent avec les modes de transfert en jeu. La propriété de transformation d'une forme d'énergie dans une autre, implique donc une complexité dans la quantification de l'énergie qui n'existe pas pour les autres lois de Conservation. La Transformation de l'énergie est une caractéristique fondamentale du Principe de conservation de l'énergie. D'ailleurs, Bécu-Robinault émet l'idée d'un « principe » de transformation :

« Ainsi, après la découverte du principe de conservation, l'énergie est caractérisée par ce principe, mais également sa propriété de transformation. L'énergie peut prendre des formes multiples tout en se conservant.

[...] L'énergie comme caractérisée par son principe de conservation et son principe de transformation. Les manifestations énergétiques peuvent alors mettre en jeu plusieurs domaines phénoménologiques simultanément » (Bécu-Robinault, 1997, p.20, 22).

On devrait donc observer un lien fort entre ces deux objets dans une AU : le Principe de conservation et la Transformation de l'énergie.

Le PCE, unificateur de l'Energie

Le Principe de conservation, comme beaucoup de lois physiques, est exprimé au travers d'une relation algébrique, c'est-à-dire qu'il permet d'établir une relation quantifiable entre différentes grandeurs physiques de la situation étudiée (ce sont en général des quantités d'énergie). Pour établir cette relation dans une situation physique donnée, comme pour toute loi de Conservation, il convient de procéder à un bilan de la grandeur conservée. Ce bilan va donc être plus complexe du fait de la propriété de Transformation de l'énergie. Ceci implique une diversité et une densité importantes de relations entre le Principe de conservation et les autres objets : des relations étroites avec le Bilan et la Chaîne énergétique, et donc avec tous les objets qui interviennent dans la chaîne énergétique (Transformation et Transfert). Ceci explique aussi la complexité des représentations graphiques proposées au Lycée pour schématiser un bilan énergétique. Par exemple dans le cas du schéma proposé par le document d'accompagnement de programme de 2000 (figure 11, chap.C1) il faut identifier les systèmes en jeu, les transferts, les formes d'énergie et leur variation, ... Nous avons vu au chapitre B4 que le réseau de liens pour le Principe de conservation est effectivement très dense dans le cas du document COAST-MAFPEN. C'est aussi le cas pour le manuel du programme de 1992 (il n'y a pas de relation visible entre le PCE et la Chaîne, car dans ce cas il s'agit de la chaîne de type « maillon multiples », et non pas d'une chaîne de type « bilan », qui est comptabilisée comme un bilan).

Dans une Approche Universelle, le Principe de conservation apparaît donc comme unificateur de l'Energie. La réforme de 1992 semble bien cohérente avec l'état actuel de la science, comme l'affirme Robardet :

« Sur le plan de l'épistémologie, il me semble que l'introduction de 92 est plus conforme à la science contemporaine, parce qu'on part des principes, puis on construit rationnellement sur les principes » (Entretien avec Robardet le 3/4/2003)

Une seconde raison tient à ce que le statut du PCE a une influence considérable sur la vie des autres objets énergétiques, comme l'annonce le document COAST-MAFPEN :

« La façon d'introduire l'énergie dans ce nouveau programme [de 1992] est très différente de celle des précédents. Dans les programmes actuels, le principe de conservation est énoncé dès le premier alinéa consacré à l'énergie. »

« Une lecture rapide du nouveau programme [1992] peut laisser croire que le changement est minime et que ce qui convenait jusqu'à maintenant peut encore largement servir. Et pourtant, le fait d'énoncer tout de suite le principe de conservation de l'énergie va profondément changer le sens des notions et des expériences que l'on propose. » (COAST-MAFPEN, p.8)

Dans la réforme de 1992, la mise en avant du PCE coïncide avec la création d'objets énergétiques, et l'apparition d'une forte densité des relations entre les objets énergétiques, et d'une forte augmentation des raisonnements énergétiques (voir Chapitres B3, B4 et annexe B3). Tout ceci est caractéristique d'une AU. On constate en 2000 un appauvrissement sensible sur ce plan avec le recul du PCE, mais aussi la disparition de la Chaîne énergétique et l'affaiblissement du Bilan énergétique. Cependant, le recul n'est pas total en comparaison avec l'Université, et en particulier le raisonnement énergétique reste dominant.

I.2. De l'Approche Particulière

La Conservation de l'énergie peut être exprimée sous différentes formes, dont la forme générale correspond à la super-loi de la physique attachée à l'AU. Les autres formes sont des formes adaptées aux situations physiques du domaine de la physique traité, conformément à une AP.

En mécanique, la Conservation de l'énergie mécanique et le théorème de l'énergie cinétique sont des objets physiques de ce domaine.

La Conservation de l'énergie mécanique n'est valide que pour une classe de situations physiques très limitée, celle des systèmes conservatifs : c'est donc une loi très locale de la mécanique, et suivant les programmes et les classes de situations pris en compte par ces programmes, on est obligé de formuler la Conservation et/ou la non-Conservation de l'énergie mécanique.

Le Théorème de l'énergie cinétique n'exprime pas en réalité la Conservation de l'énergie (figure 1). Mais pour un ensemble restreint de situations, celui de la mécanique du point matériel, l'expression algébrique de ce théorème est équivalente à l'écriture de la Conservation de l'énergie mécanique (cas des systèmes conservatifs) ou de la non-Conservation de l'énergie mécanique (cas des systèmes non-conservatifs).

On trouve ainsi dans les manuels des programmes successifs, une grande variabilité dans les relations algébriques proposées pour la résolution des problèmes en mécanique : Théorème de l'énergie cinétique, Conservation de l'énergie mécanique, non-Conservation de l'énergie mécanique, ...

En thermodynamique, on énonce le premier principe de la thermodynamique soit sous une forme particulière du PCE adaptée à ce domaine

« Au cours d'une transformation quelconque d'un système donné, l'accroissement de l'énergie interne du système, fonction d'état, est égal à la somme des énergies reçues par le système. » (Physique 1ère S, Hachette, 1979, p.84)

soit sous une forme correspondant au PCE général ; il arrive que cette équivalence soit clairement annoncée :

« Pour tout système fermé, on peut définir une fonction U des variables d'état, extensive, appelée énergie interne, telle que l'énergie totale [...] soit *conservative*, c'est-à-dire constante lorsque le système n'échange pas d'énergie avec l'extérieur. » (Perez, 1997, Thermodynamique, p85).

En électricité, le principe général apparaît souvent sous forme d'une équation entre des puissances pour étudier la Conservation de l'énergie dans une situation en régime permanent.

II. Variations successives entre AP et AU dans les programmes du lycée français. Forme générale et formes particulières du PCE.

II.1. Avant 1992

Dans les programmes de 1979 et 1988, l'Energie est introduite par la mécanique, et c'est la Conservation de l'énergie mécanique et/ou le Théorème de l'énergie cinétique qui sont

exploités comme *objets physiques* spécifiques au domaine de la mécanique. Le Principe de conservation de l'énergie sous sa forme générale n'existe pas dans ces programmes (sauf dans le programme de 1957 et 1979).

Avant le programme de 1992, la Conservation est souvent présentée en dernier lieu, après avoir introduit les concepts qui lui sont attachés. L'ordre d'introduction des concepts commence par le Travail et la Puissance, puis les Formes d'énergie en mécanique, pour continuer par l'étude de la Transformation entre énergie cinétique et énergie potentielle qui permet d'amener à la Conservation de l'énergie mécanique (programme de 1957 et 1979).

II.2. 1992 et 2000

Le Principe générale apparaît dans les deux programmes de 1992 et 2000 mais son statut n'est pas le même. Dans le programme de 1992, le Principe général apparaît en première position avec son nom alors que le programme de 2000 l'énonce sans lui donner de nom. Nous allons détailler son évolution dans le paragraphe suivant. Nous n'analysons ici que les formes particulières de la Conservation parce qu'elles suscitent des discussions dans les programmes. Il s'agit du Théorème de l'énergie cinétique et de la Conservation de l'énergie mécanique.

Dans le manuel Hachette de 1994 comme dans le programme (1992), la Conservation de l'énergie mécanique est proposé sous deux versions, la Conservation et la non-Conservation de l'énergie mécanique. Le Théorème de l'énergie cinétique n'apparaît pas. Par contre le manuel de 2001 propose la seule Conservation de l'énergie mécanique et le Théorème de l'énergie cinétique est présent.

On trouve dans ces programmes et leurs documents d'accompagnement, des discussions à propos de l'usage du Théorème de l'énergie cinétique dans les études énergétiques. Dans le contexte particulier de la mécanique du point matériel, le Théorème de l'énergie cinétique peut prendre une signification principalement mécanique et perdre sa signification énergétique (figure 1).

« Appeler théorème le résultat limité ci-dessus est lui donner un statut pouvant conduire par généralisation abusive à des énoncés erronés si on oublie les conditions restrictives de son obtention.

Un second danger vient du fait qu'il [le théorème de l'énergie cinétique] peut être confondu avec un autre résultat tiré de l'équation d'évolution de la mécanique. [...] les relations découlent de la seconde loi de Newton pour le centre d'inertie [...] [qui] exprime un bilan global de quantité de mouvement et non d'énergie. » (Document d'accompagnement du programme de 2000, 2002, p.39, 40)

> THÉORÈME DE L'ÉNERGIE CINÉTIQUE

Dans un référentiel galiléen, la variation d'énergie cinétique d'un solide, entre deux instants, est égale à la somme des travaux des forces appliquées à ce solide :

$$E_c(B) - E_c(A) = \Sigma W_{AB}(\vec{F}_i)$$

<p>■ Pour un solide en translation, soumis à des forces constantes, dont le centre d'inertie se déplace de la position A à la position B, le théorème s'écrit :</p> $\frac{1}{2} m v^2(B) - \frac{1}{2} m v^2(A) = \Sigma W_{AB}(\vec{F}_i)$ $= \overline{AB} \cdot \vec{F}$	<p>■ Pour un solide de masse m soumis à son seul poids et subissant une variation d'altitude, le théorème s'écrit :</p> $\frac{1}{2} m v^2(B) - \frac{1}{2} m v^2(A) = W_{AB}(\vec{P})$ $= m \cdot g \cdot (z_A - z_B)$
--	--

où $\vec{F} = \Sigma \vec{F}_i$ est la résultante des forces appliquées au solide.

Figure 1. Résumé du Théorème de l'énergie cinétique dans « Essentiel » du cours (Hachette, 2001, p.115)

Contrairement au Théorème de l'énergie cinétique dont la signification peut donc être dynamique autant qu'énergétique, la loi de Conservation (ou de non-conservation) de l'énergie mécanique indique quant à elle, une approche purement énergétique, même si elle relève d'une approche particulière.

Ainsi la présence simultanée du Théorème de l'énergie cinétique et de la Conservation de l'énergie mécanique semble créer des difficultés, le choix de l'un et l'élimination de l'autre est posé comme une solution en 1992 : dans cette réforme, le choix de mettre en avant le Principe de conservation général dans une Approche Universelle, détermine un choix en faveur de la Conservation de l'énergie mécanique, et donc la suppression du Théorème de l'énergie cinétique, qui était permanent avant 1992.

« Il [le Théorème de l'énergie cinétique] constituait alors le «morceau de choix» de l'enseignement [...]. Il était [...] largement exploité au début d'une formation « scientifique » plus solide qu'en classe de 2de et permettait d'insister sur la formation des élèves à l'analyse rigoureuse d'une situation, à l'application raisonnée d'une seule et même propriété dans des situations diverses.

Dans le programme présenté [1992], c'est l'application de la loi de conservation de l'énergie qui va, pédagogiquement jouer ce rôle [...] avec l'avantage d'embrasser un ensemble de situations plus diverses. » (Document d'accompagnement du programme de 1992, 1993, p.11)

« Dans les programmes en vigueur jusqu'alors, les deux approches « théorème de l'énergie cinétique » et « conservation ou non de l'énergie mécanique » étaient exploitées. C'était en soi une difficulté importante pour les élèves de passer d'un mode d'analyse à l'autre. Souvent la deuxième approche était jugée plus difficile, peut-être parce que moins assimilée faute de temps.

La nouvelle présentation n'a voulu garder qu'un seul mode de raisonnement, celui qui était le plus en accord avec l'énoncé à priori du principe de conservation de l'énergie [ie la conservation ou non de l'énergie mécanique]. » (Document d'accompagnement du programme de 1992, 1993, p.11).

Le Théorème de l'énergie cinétique apparaît comme un remplaçant possible et donc comme un concurrent d'une loi de Conservation de l'énergie en mécanique. De fait, en 2000, le Principe de conservation perd considérablement de son importance et le Théorème de l'énergie cinétique réapparaît, en contradiction avec les arguments avancés en 1992, qui semblent n'avoir plus cours. La présence plus ou moins forte du Théorème de l'énergie cinétique semble donc être un indice important de l'affaiblissement ou du renforcement de l'AU dans un programme ou un manuel. C'est le cas en 2000 comme nous allons le voir dans ce qui suit.

III. Evolution de la visibilité du PCE entre 1992 et 2000

III.1. Visibilité dans les programmes

Ce qui différencie fondamentalement le programme de 1992 d'avec le programme précédent, repose principalement sur deux points : d'une part l'introduction du Principe de conservation de l'énergie dans sa forme la plus générale, comme un *objet physique* et qui n'est plus restreint au seul domaine de la mécanique, et d'autre part la position du Principe par rapport aux autres objets énergétiques dans l'enseignement de l'Energie.

« La façon d'introduire l'énergie dans ce nouveau programme [de 1992] est très différente de celle des précédents.

Dans les programmes actuels, le principe de conservation est énoncé dès le premier alinéa consacré à l'énergie. » (COAST-MAFPEN, p.8)

En 1992 le PCE général apparaît de façon claire en tant qu'objet physique, avec un nom et un énoncé, grâce à sa position première dans la partie « Conservation de l'énergie » et grâce au choix d'une AU.

Dans le programme de 2000, la partie « Conservation de l'énergie » n'existe plus, la position première du Principe est abandonnée. Le PCE n'apparaît que dans la conclusion de la partie « Force, travail et énergie » :

« Différentes formes d'énergie sont introduites à partir de la notion du travail d'une force, tout en montrant que selon les situations, ces différentes formes sont susceptibles de se transformer les unes dans les autres. L'objectif est ainsi de progresser vers l'idée de conservation. ...On pourra conclure cette partie présentant le principe de conservation de l'énergie sous la forme : à tout système dans un état donné, on peut associer une grandeur appelée « énergie ». Si l'énergie d'un système augmente ou diminue, c'est qu'il a reçu ou cédé de l'énergie, que ce soit sous la forme de travail, de transfert thermique ou de rayonnement » (Programme de 2000)

Ainsi, l'objectif visé n'est pas l'énoncé du PCE. Il ne s'agit que de d'approcher l'idée de la conservation, et l'énoncé du PCE n'est pas obligatoire et ne peut intervenir qu'en toute dernière position. Le PCE peut donc apparaître comme un objet physique avec son nom et un énoncé, mais il peut tout aussi bien ne pas apparaître explicitement, avec un statut de l'ordre du protophysique. Par rapport au programme précédent, sa visibilité est donc sensiblement moins forte.

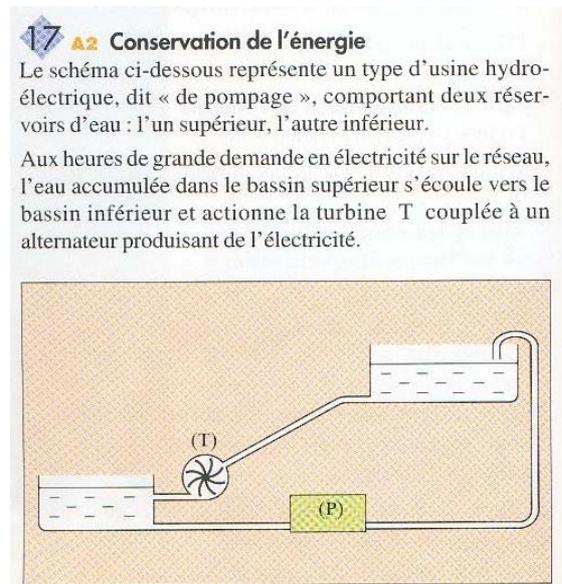
III.2. Visibilité dans les manuels

Dans le manuel Hachette 1994, le PCE général est construit en s'appuyant sur la construction d'une chaîne à « maillons multiples ». Mais cette relation PCE/Chaîne n'est que rarement exploitée dans les études qui suivent : dans le cours des différentes parties, le PCE est parfois écrit pour introduire les calculs de rendement accompagné du schéma d'une chaîne.

Dans la partie « Bilan énergétique », le PCE apparaît à travers son équation dans des études de bilan énergétique d'un système unique. Deux chapitres de cette partie sont dédiés aux systèmes mécaniques, et ils introduisent la Conservation de l'énergie mécanique sous les deux formes (conservation et non-conservation); cependant la relation entre cette forme particulière de conservation et le PCE général n'est pas établie clairement. Les exercices faisant appel à l'écriture de la Conservation de l'énergie dans ces chapitres ne se réfèrent qu'à la conservation de l'énergie mécanique. Dans les sous-parties concernant l'électricité et les machines thermiques, les nombreux exemples de bilan et de calcul de rendement font apparaître l'écriture du PCE général, mais pas de manière systématique. Les exercices demandent d'effectuer des bilans et de calculer des rendements, sans faire appel explicitement au PCE (en réalité effectuer un bilan ou calculer un rendement ne nécessite pas l'écriture de la conservation, ni même qu'il y ait conservation). On constate donc que le PCE n'est pas très exploité sous sa forme générale, en particulier dans les exercices proposés aux élèves, où son usage n'est en général pas indispensable (figure 2).

Dans le manuel Hachette de 2001, le PCE général n'existe que dans le tout dernier paragraphe de la partie dédiée à l'Energie, où il est présenté de manière similaire à l'édition de 1994. Cependant le titre ne fait plus référence au PCE mais à « L'énergie d'un système ». L'exploitation du PCE dans les études de bilan énergétique est semblable à celle du programme de 1992. Cependant, il n'existe plus une grande partie dédiée au bilan énergétique, qui n'est étudié ici que de manière restreinte, dispersée sur deux chapitres de la

partie Electrodynamique. La position du PCE général dans ce manuel et dans ce programme est donc très fortement affaiblie.



Aux heures creuses (par exemple, la nuit), des pompes électriques P alimentées par le réseau font remonter l'eau dans le bassin supérieur.

- 1) Sous quelle forme l'énergie est-elle mise en réserve dans le bassin supérieur ?
- 2) Quelle est la forme d'énergie acquise par l'eau arrivant sur la turbine ?
- 3) Globalement, une telle usine fournit-elle de l'énergie au réseau ? Quelle est alors son intérêt ?

Figure 2. Un exercice ayant pour titre « Conservation de l'énergie ». Cependant aucune question ne met en jeu le PCE. (Hachette, 1994, p.136, 137)

III.3. Système isolé ou non : une autre difficulté liée à la formulation du principe de conservation

Une autre difficulté spécifique au Principe de conservation apparaît dans les commentaires autour des programmes.

« Difficultés rencontrées avec le principe de conservation.

Les élèves et les étudiants associent souvent la conservation de l'énergie à l'identification d'un système isolé dont l'énergie totale reste constante au cours du temps. Ils rencontrent alors des difficultés tant au niveau du choix du système qu'à celui de l'écriture du bilan. **La perte ou le gain d'énergie d'un système non isolé n'est pas systématiquement associé à la conservation de l'énergie.** » (Document d'accompagnement du programme de 2000, 2002, p.31)

Cette difficulté (identifiée précédemment, Bui-Thi 2001) est liée à la manière d'utiliser le principe, c'est-à-dire de restreindre ou non son énoncé et son usage au *cas d'un système isolé*, c'est-à-dire à des situations où le système considéré ne subit pas de Transferts d'énergie. On trouve ainsi deux formulations différentes du principe de conservation dépendant de la situation : système isolé ou non isolé.

« Le principe de conservation [...] peut être énoncé de deux façons équivalentes sur le fond, mais différentes quant à la mise en œuvre et la dynamique de compréhension.

La première considère un système isolé, pour lequel le principe peut s'énoncer la manière suivants : « A tout système dans un état donné on peut associer une grandeur appelée énergie. L'énergie d'un système isolé est constante. » » (Document d'accompagnement du programme de 2000, 2002 p.32)

Suivant les ouvrages, l'un ou l'autre cas, ou les deux cas, sont présents. Le programme de 1992 avait choisi de n'aborder que le cas du système isolé. Les concepteurs du programme de 2000 critiquent ce choix en arguant qu'il fait rencontrer de nouvelles difficultés aux élèves :

« Pour appliquer la conservation de l'énergie sous cette forme, il faut donc identifier les systèmes avec lesquels le système choisi initialement interagit, puis considérer un système plus général qui les contient

tous et qui pourra être considéré comme isolé. Cette gymnastique est difficile pour un élève, et il n'est du reste pas indispensable de s'y livrer. » (Document d'accompagnement du programme de 2000, 2002, p.32).

C'est pourquoi l'introduction de la Conservation de l'énergie est modifiée dans le programme de 2000 en proposant la deuxième formulation du Principe¹

« Une autre façon de procéder consiste en effet à exprimer le principe de conservation de l'énergie pour un système non isolé, c'est-à-dire soumis à des transferts. C'est le choix du nouveau programme. [...] En mettant dès le début l'accent sur le transfert d'énergie, le programme fait l'économie de la recherche d'un système isolé. De plus, on incite à accompagner le raisonnement par le recours à une schématisation du stockage et des transferts (diagrammes d'énergie) qui devrait contribuer à faciliter la différenciation conceptuelle souhaitée. » (Document d'accompagnement du programme de 2000, 2002, p.32)

Cette formulation du Principe de conservation propose donc de préserver les objets énergétiques construits par l'Approche Universelle dans la réforme 1992, c'est-à-dire le Transfert d'énergie, les modes de transfert et la représentation schématique. Dans ce document et dans les manuels, le statut du Transfert d'énergie et des modes de transfert ne change donc pas. Par contre, le diagramme de l'énergie n'est présent que dans le Document d'accompagnement, pas dans les manuels. Une des raisons repose sans doute sur le retard de publication de ce document, sorti en 2002 après l'édition des manuels (édités en 2001). On remarquera cependant qu'aucun manuel n'a spontanément proposé de représentation graphique, ni nouvelle, ni héritée des programmes de 1992. Si les concepteurs de programme restent attachés à l'usage d'une représentation graphique, ce n'est pas le cas pour les auteurs de manuels, qui semblent revenir aux pratiques antérieures.

III.4. Pourquoi une telle évolution entre les programmes de 1992 et de 2000?

Guy Robardet, qui a participé à l'élaboration du programme de 2000, explique le changement de position du Principe de conservation et son évolution de la manière suivante :

« Sur le plan de l'épistémologie, il me semble que l'introduction de 92 est plus conforme à la science contemporaine, parce qu'on part des principes et puis on construit rationnellement sur les principes. [...] je dirais que ce qui m'a convaincu [pour abandonner cette approche] c'est un principe de réalité. C'est-à-dire que ça échappe à 80% des enseignants, le résultat c'est qu'ils n'arrivent pas enseigner l'énergie convenablement à partir du principe. Ça les dérangeait, ils mélangeaient tout, c'est-à-dire qu'ils mélangeaient les propriétés et les définitions, ils faisaient une espèce de... mélange entre l'ancienne approche et les nouvelles approches, et le résultat c'est que les élèves n'y comprenaient plus rien. » (Entretien avec Robardet).

Il semble donc que la démarche de partir du Principe de conservation, qui est une manifestation de l'Approche universelle, provoque des difficultés pour les enseignants et par conséquent pour les élèves. D'où le choix des concepteurs du programme de 2000 de revenir à l'introduction de l'Energie par une approche particulière dans le domaine mécanique. La raison profonde de ce choix repose donc sur la reconnaissance et le contournement d'un

¹ Le choix d'un système isolé paraît en contradiction avec les nouveautés introduites en 1992, en particulier les transferts d'énergie et la représentation schématique des systèmes et des transferts : quelle peut être la vie d'un objet s'il n'a pas d'usage lors de la résolution de problèmes, puisque non requis par la méthode de résolution choisie? En réalité, et comme le souligne la citation, la résolution découpe le système dit isolé en sous-systèmes pour lesquels on procède à des bilans énergétiques, avec transferts et schémas éventuels. On s'aperçoit qu'il n'y a en réalité aucune économie : si la formulation du principe de conservation est simplifiée par le choix d'un système isolé, c'est alors la démarche de résolution qui est un peu plus complexe...

obstacle pour les enseignants, et par conséquent pour les élèves. Robardet rapporte cette décision à un autre point de vue épistémologique que celui adopté en 1992, ancré dans une Approche Particulière :

« Ca n'était pas la peine de s'accrocher à une démarche épistémologiquement plus propre. Il valait mieux essayer d'avancer comme la science avait avancé. Ce serait plus facile pour les élèves d'une part, ça serait plus facile pour les profs, et je pense que c'est le cas, et c'est plus en conformité avec une démarche sur l'énergie qui s'appuie fortement sur la mécanique newtonienne. Ce qui n'était pas le cas avant, parce que l'énergie n'était pas introduite préférentiellement en mécanique, on faisait l'énergie en général... on commençait par des expériences, où intervenait aussi bien de l'énergie interne, que de l'énergie potentielle, que de l'énergie électrique, que ce qu'on voulait... Alors que là, on rentre vraiment par le mouvement, donc par la mécanique et par l'énergie cinétique. (Entretien avec Robardet)

On perçoit bien ici pourquoi ce programme revient en arrière, en particulier parce que l'Energie est introduite dans le domaine de la mécanique : dans ces propos, l'AU paraît totalement abandonnée. Cependant, nous avons vu à propos du Transfert d'énergie et des modes de transfert, que ce n'est pas totalement le cas : ces objets gardent en fait un statut assez proche de celui donné dans une Approche Universelle par la réforme de 1992. Par exemple, l'Energie est introduite avec le concept de travail en tant que mode de transfert. Cela représente une évolution sensible dans l'enseignement de l'Energie.

IV. Le PCE dans les autres institutions

Dans les *manuels universitaires français*, la vie du Principe change suivant les domaines. Ce sont toujours les principes particuliers de chacun des domaines de la physique qui sont énoncés et non le principe général. Dans le domaine de la Mécanique, on retrouve la Conservation de l'énergie mécanique et le Théorème de l'énergie cinétique. L'écriture algébrique du principe général (accompagnée souvent du nom) apparaît cependant quelques fois comme un outil par exemple pour établir une équation de mouvement, ou pour caractériser une collision élastique. Son statut est donc ici plus proche d'un objet paraphysique. La situation est analogue pour le domaine de l'Electromagnétisme. Par contre dans le domaine Thermodynamique, le PCE général est construit comme un objet physique mais sous le titre de « premier principe de la thermodynamique ». C'est le seul cas où le Transfert d'énergie sert à raisonner sur la conservation de l'énergie d'un système non isolé. Dans les autres cas particuliers (mécanique ou électromagnétisme), on travaille sur l'équation de conservation d'un système isolé.

Pour le manuel vietnamiens de classe 10, le Principe général est toujours énoncé pour un système isolé.

« Dans un système isolé, il y a la transformation de l'énergie d'une forme à une autre forme mais l'énergie totale est conservée » (Physique de classe 10, 2003, p.154).

Tous les énoncés apparaissent dans le domaine de la Mécanique, en respectant l'ordre classique de ce domaine : Travail, Puissance, Forme d'énergie en mécanique/Théorème de l'énergie cinétique, pour continuer par l'étude de la Transformation entre énergie cinétique et énergie potentielle qui permet d'amener à la conservation de l'énergie mécanique, puis à celle de l'énergie générale.

Dans les *manuels universitaires vietnamiens*, l'Energie apparaît pour la première fois de façon classique, c'est-à-dire dans le domaine de la Mécanique. Comme dans le manuel du Lycée, l'approche n'est pas totalement particulière : d'une part l'Energie est définie de manière générale et d'autre part on énonce le PCE général. Ceci est renforcé à l'Université

par la position de ces deux objets qui sont introduit très tôt. L'ordre d'introduction suit la séquence : Travail, Puissance, Energie générale et PCE général, Forme d'énergie mécanique et lois associées (énergie cinétique, Théorème de l'énergie cinétique, énergie potentielle, énergie mécanique et sa Conservation).

Deux formulations du PCE, spécifiques à la mécanique du solide, correspondant à un système isolé ou non, apparaissent mais sans l'idée de les distinguer explicitement (*attention la notation W désigne l'énergie totale, et A le travail*) :

« $W_2 - W_1 = A$ (énoncé 4-9). On peut énoncer : La variation de l'énergie d'un système pendant un processus quelconque possède une valeur qui est égale au travail que le système reçu de l'extérieur dans ce processus. [...]

Dans le cas d'un système isolé [...] $W_2 = W_1 = \text{constant}$ (énoncé 4-10). *L'énergie d'un système isolé est conservée.*

Les énoncés (4-9) ou (4-10) expriment la loi de conservation de l'énergie ; c'est-à-dire : l'énergie ne peut pas être perdue ou naître en soi, l'énergie se transfère seulement un système à un autre. » (Mécanique-Thermique, 2003, p.90, 91).

On remarque que ces énoncés, qui ne sont pas le PCE général, sont toutefois reliés avec la loi universelle de la Conservation de l'énergie. Le PCE général justifie les énoncés particuliers. Il joue le rôle d'une technologie (au sens praxéologique) pour ces énoncés.

Dans ces manuels vietnamiens, le PCE général n'apparaît toutefois jamais dans les exercices, à part une unique fois dans le manuel de Mécanique-Thermodynamique, où il est présenté comme une autre manière de résoudre une situation mécanique : « *Appliquer les lois de conservation de l'énergie pour résoudre l'exercice d'exemple 5 du chapitre 3* » (exemple 4.4, p.55, Exercice de la Physique général, 2003). Cependant dans la résolution, c'est la Conservation de l'énergie mécanique qui apparaît : « *On a : Augmentation de l'énergie cinétique du système = Diminution de l'énergie potentiel du système* ».

V. Conclusion

La Conservation de l'énergie est un objet physique permanent de l'enseignement de la physique. Le PCE sous sa forme générale est caractéristique d'une AU, et il y apparaît comme unificateur de l'Energie. Comme le montrent les études épistémologiques, le PCE étant la raison d'être originelle du concept d'énergie, il se positionne également à l'origine de tous les autres objets énergétiques et justifie leurs relations.

Cependant cette loi fondamentale de la Physique apparaît sous une grande diversité de formes, diversité qui se retrouve dans les programmes successifs et dans les manuels du secondaire. Les différentes formes de la conservation s'y livrent une concurrence dont un enjeu majeur reposerait sur le choix d'une AU ou d'une AP, et dans ce dernier cas, d'un raisonnement énergétique ou non. Ceci se traduit par une variation de la visibilité de l'Energie dans l'enseignement : cela va du cas où la loi de conservation est un objet physique universel occupant une position centrale, jusqu'au cas où elle n'apparaît que comme objet paraphysique, un outil pour le domaine physique considéré. En particulier, la position et l'importance donnée au Théorème de l'énergie cinétique en mécanique comparées à celles du PCE général, peut apparaître comme un indice de la force ou de la faiblesse de l'AU. D'autre part, la situation du Principe de conservation de l'énergie, fortement liée à la nature de l'Approche, va influencer sur la vie et l'existence des autres objets énergétiques.

C'est ainsi que le PCE passe d'un statut d'objet physique en 1992 dans une AU, à celui d'un objet protophysique en 2000 dans une AP. Ceci est à mettre en relation avec la disparition en 2000 de la Chaîne énergétique, autre objet emblématique de l'AU. Le programme de 2000 revient donc radicalement en arrière par rapport au programme de 1992. L'AU pourrait paraître totalement abandonnée si le statut d'autres objets énergétiques comme le Transfert d'énergie et les modes de transfert, n'était pas maintenu, ce qui représente malgré tout une évolution sensible dans l'enseignement de l'Energie.

Dans les manuels universitaires français, le statut du PCE contraste totalement avec celui proposé par la réforme de 1992 du secondaire. Mis à part peut-être dans le domaine de la Thermodynamique, la Conservation de l'énergie n'existe en tant qu'objet physique que sous des formes particulières. Le PCE général n'apparaît presque pas, et uniquement en tant qu'objet paraphysique. Il n'est donc quasiment pas visible.

Par contre, le cas des manuels vietnamiens est intéressant : dans le domaine de la mécanique dans lequel le concept d'Energie est très classiquement introduit, l'approche est clairement particulière. Cependant elle propose une définition générale de l'Energie accompagnée de l'énoncé du PCE général, et dans le manuel universitaire, les lois particulières sont mises en relation avec le PCE général. Toutefois le PCE général n'est pas exploité dans les exercices.

D'après l'entretien avec G. Robardet, la décision des concepteurs du programme de 2000 d'abandonner l'AU et de retourner vers une AP, repose en particulier sur d'importantes difficultés d'enseignement ressenties par les enseignants. Or, en examinant la situation de la loi de Conservation de l'énergie en 1992 dans le détail, on voit apparaître diverses sources de complexité et de confusion.

Certaines sont directement liées à l'AU et révèlent des difficultés dans le manuel à intégrer le PCE dans une AU de manière cohérente. On peut citer l'absence de mise en relation entre les lois particulières utilisées (conservation de l'Energie mécanique) et le PCE général, la faible exploitation du PCE général en particulier dans les exercices, ou bien la complexité et le manque de visibilité de l'objet Transformation, étroitement lié au PCE, et qui semble ne pas avoir encore atteint une maturité suffisante.

D'autres sources importantes de complexité ne sont pas liées directement à l'AU, mais s'y superposent (formulation du PCE uniquement pour un système isolé, choix du système pour l'énergie potentielle).

L'accumulation de telles difficultés pourrait bien avoir joué un rôle dans le rejet global par les enseignants des propositions formulées en 1992, et par conséquent dans l'échec de l'AU.

CHAPITRE C.4

Hypothèses sur les contraintes et les difficultés possibles

Les chapitres précédents nous ont permis de montrer comment existent les Approches AU et AP, et tout particulièrement l'influence de l'AU sur la vie de l'Énergie (B), ainsi que la vie de certains objets énergétiques (C) dans les institutions étudiées.

Nous allons, pour conclure les parties théoriques (B et C), formuler sous forme d'hypothèses et de questions certains des résultats pour montrer comment les rapports institutionnels contraignent le rapport personnel des enseignants à l'Énergie et les difficultés possibles qui peuvent en résulter. Ces hypothèses seront mises à l'épreuve d'une expérimentation (partie D).

Nous faisons d'emblée une constatation pour **le cas du Vietnam**. Dans les chapitres précédents, nous montrons qu'en France il existe un décalage important entre la vie de l'Énergie dans la formation disciplinaire des enseignants à l'Université et sa vie dans l'enseignement au lycée, alors que ce n'est pas le cas au Vietnam où la vie des objets énergétiques analysés dans les chapitres C1, C2 et C3 est semblable quelque soit l'institution. Nous étudions donc **le cas des enseignants vietnamiens comme une population témoin**.

Pour formuler ces hypothèses et ces questions, nous faisons référence à :

- L'écart existant entre l'approche particulière de la formation disciplinaire des enseignants français et vietnamiens à l'Université, et l'Approche Universelle (AU) au lycée en France.
- L'évolution de l'AU dans les programmes récents, 1992 et 2000.

Cette référence nous conduit à définir deux catégories d'enseignants de 1^{ère} S du Lycée :

- « les jeunes enseignants » : ce sont des enseignants de physique qui n'enseignent ou n'ont enseigné que sous le programme 2000 ; de ce fait, ils ont peu d'expérience de l'enseignement et l'on peut faire l'hypothèse que leur rapport personnel à l'Énergie reste dominé par leur formation disciplinaire. Nous considérons que les étudiants PLC1 sont un cas extrême des jeunes enseignants puisqu'ils viennent de sortir de leur formation universitaire. Et les enseignants vietnamiens aussi car pour eux, le rapport institutionnel de l'Énergie au lycée français est totalement étranger.
- « les enseignants experts » : ce sont des enseignants de physique qui ont enseigné en 1^{ère} S au moins sous le programme de 1992.

Notre hypothèse vise plutôt les jeunes enseignants qui ont un rapport personnel avec l'Énergie que nous supposons peu contraint par le rapport institutionnel du lycée, et encore proche de celui de l'université. Le cas des enseignants experts nous est utile pour comparer et étudier l'influence des évolutions qui ont eu lieu entre le programme de 1992 et de 2000.

Nous avons choisi d'étudier trois objets dans les analyses écologiques des chapitres C, mais nos résultats ont fait émerger certains d'autres objets dont nous tiendrons compte. Nous classons les hypothèses suivant les objets examinés.

I. Chaîne énergétique (Ch)

Dans la réforme de 1992 du lycée français, la Chaîne énergétique est un objet nouveau qui meurt dans le programme de 2000. Cet objet est absent des autres institutions. Nous posons donc des hypothèses sur les raisons de la mort de la Chaîne : cet objet n'est pas stabilisé en 1992, il n'est pas suffisamment bien défini, et les deux formes de schémas existants ne sont pas différenciées dans le manuel. Il n'a donc pas de bonnes conditions de vie dans le manuel de 1992. Cette variabilité peut constituer une des causes importantes de la disparition de la Chaîne énergétique dans les manuels de 2000. Comme son rôle est d'organiser la vie énergétique et d'outiller les autres objets, (il est en relation avec presque tous les objets *a priori*), son instabilité rend problématique l'aide qu'elle devrait apporter et par là elle perd de son intérêt. Comme elle occupe une place importante en 1992, et qu'elle a une certaine complexité exigeant une longue maturation, son efficacité en tant qu'outil risque d'être difficile à mettre en place par les enseignants (et par les élèves). Cette difficulté est interne à l'enseignement de 1992, mais peut d'autant plus être ressentie par les enseignants qu'ils ne perçoivent pas son utilité en dehors de l'enseignement de 1^{ere} S : en effet, en terminale, à l'université, l'AP domine largement et la chaîne énergétique en est absente.

On peut donc faire l'hypothèse que pour convaincre les enseignants de son utilité, elle doit la démontrer aussi dans des approches particulières : faute de quoi, son usage reste un isolat, pour un coût d'apprentissage élevé².

Nous avons donc certaines questions pour étudier le comportement des enseignants avec un tel objet qui est déjà mort.

Q – Chaîne énergétique La chaîne énergétique existe-t'elle pour les enseignants experts ?

H- Chaîne énergétique Nous faisons l'hypothèse que la réponse est non pour les jeunes enseignants, et aussi pour les enseignants experts.

II. Schéma énergétique

Le schéma énergétique est absent des manuels actuels du lycée en France comme à l'Université alors que le Document d'accompagnement 2000 recommande son usage dans l'enseignement de l'Énergie.

A l'université (française ou vietnamienne,) il n'existe pas de schéma énergétique pour représenter une situation physique du point de vue de l'Énergie ; seul un schéma thermodynamique est présent dans le cas français.

Nous avons montré la présence dans les manuels du programme de 1992 et dans les documents pour les enseignants comme ceux de COAST, d'une création didactique de schémas énergétiques, forte et opératoire, pour la compréhension de l'Énergie, mais l'instabilité et la diversité de ces schémas rend leur vie future fragile.

² C'est la chaîne-bilan qui peut jouer ce rôle, pas la chaîne-multiple : il convient alors de bien les différencier, comme dans COAST - d'ailleurs c'est la chaîne bilan qui persiste un peu en 2000 dans le document d'accompagnement.

Le Document d'accompagnement du programme de 2000 continue à préconiser l'usage de d'un schéma énergétique, et va jusqu'à donner des règles de construction. Son absence dans les manuels de ce programme nous amène à formuler une hypothèse.

Hypothèse H – schéma énergétique : Les jeunes enseignants français et les enseignants vietnamiens ne disposent pas de schéma énergétique universel pour étudier une situation physique du point de vue de l'Énergie.

Question Q- schéma énergétique :

- Pour les enseignants experts : quel type de schéma vont-ils proposer ? Celui de 2000 n'apparaissant pas dans les manuels va t'il être utilisé ? Est-ce qu'ils respectent les règles de construction des schémas qu'ils choisissent d'utiliser ?

- Si on propose aux jeunes enseignants le schéma énergétique recommandé par le document d'accompagnement 2000, perçoivent-ils ce schéma comme une aide pour enseigner l'Énergie, comme le laisse entendre cette recommandation ?

- Pour le cas vietnamien, où les enseignants ne manipulent jamais de schémas énergétiques, si on leur propose plusieurs schémas parmi les types étudiés (programmes de 1992 et 2000, COAST-MAFPEN), lequel est jugé le plus utile comme aide à la résolution d'une situation énergétique ?

III. Bilan énergétique (BL)

À l'université en France, le Bilan est une pratique (technique) qui vit dans la plupart des approches particulière des différents domaines. A l'université au Vietnam, il n'existe pas.

Au niveau du lycée français c'est un objet paraphysique mais l'apparition du schéma énergétique le rend plus visible. Il s'enrichit des relations entre les objets que la représentation graphique met en évidence.

Le Bilan énergétique est une analyse énergétique qui met en relation la plupart des objets énergétiques. L'absence du schéma énergétique à l'université rend ces relations moins visibles qu'au lycée. D'où notre hypothèse

H – Bilan énergétique : Le bilan énergétique proposé par les jeunes enseignants sera moins riche, en nombre d'objets énergétiques, que celui attendu au Lycée.

IV. Principe de conservation de l'énergie général (PCE)

Dans la réforme de 1992 du lycée français, le PCE sous sa forme générale est caractéristique d'une AU, et il y apparaît comme unificateur de l'Énergie. Il est mis en avant et s'éloigne des formes particulières dans lequel il peut s'incarner. La relation entre forme générale et formes particulières ne peut donc s'établir. Au Vietnam, cette relation existe (au lycée et à l'université). Dans le programme de 2000, sa présence s'affaiblit, mais le Théorème de l'énergie cinétique, qui est absent des programmes de 1992 revient.

A l'Université, le statut du PCE contraste totalement avec celui mis en place par la réforme de 1992 du secondaire. Il est quasiment invisible dans sa forme générale. Seules les formes particulières existent.

Les formes particulières du PCE sont des objets permanents des institutions, et le retour du Théorème de l'énergie cinétique en 2000 renforce cette stabilité. Ceci nous amène à formuler l'hypothèse suivante :

H – Principe : La visibilité du principe général de la Conservation de l'énergie est plus faible que celle des formes particulières.

Un indice de la visibilité est pour nous l'usage ou le non usage de la forme générale comparé à celui des formes particulières comme le Principe de conservation de l'énergie mécanique et/ou le Théorème de l'énergie cinétique.

Q- Principe :

Quelle forme particulière sera utilisée en mécanique : la Conservation de l'énergie mécanique ou le Théorème de l'énergie cinétique ? Pour le Théorème de l'énergie cinétique, quel raisonnement sera utilisé, énergétique ou non énergétique ?

Nous prévoyons que la forme générale sera rarement utilisée mais nous voulons quand même examiner si elle est abordée. Une relation entre cette forme et les formes particulière est-elle effectuée ?

V. Transfert d'énergie (TrE)

À l'université française et vietnamienne, le Transfert d'énergie ainsi que les modes de transfert sont des objets paraphysiques. Leur vie dans une Approche Particulière se disperse dans différents habitats. Les concepts de Travail, Chaleur et Rayonnement apparaissent dans une vie non-énergétique : leur existence énergétique est donc morcelée dans des domaines particuliers.

Au niveau du lycée français (programmes de 1992 et de 2000), l'AU fait émerger des objets qui influent sur la vie du Transfert d'énergie et des modes de transfert. Ce sont :

- Les schémas énergétiques : Chaîne énergétique (1992) et Bilan énergétique (2000)
- La catégorie « Mode de transfert ».
- Les termes « Transfert d'énergie » et « modes de transfert »

Le Transfert d'énergie ainsi que les modes de transfert sont mis en lumière. Ils prennent un statut d'objets physiques dans l'enseignement de l'Énergie et sont réunis dans l'habitat de l'Énergie. Cependant leur vie ne change pas fondamentalement : leur vie énergétique est cependant plus dense et plus intense au Lycée qu'à l'université en particulier pendant la période de la réforme de 1992.

Le décalage entre la formation disciplinaire des enseignants et ce qu'ils doivent enseigner nous conduisent à avancer une hypothèse et deux questions.

H – Transfert d'énergie : L'usage du Transfert d'énergie et des modes de transfert n'est pas problématique pour les enseignants. Mais les jeunes enseignants ne perçoivent pas l'utilité

pour les élèves d'une Approche Universelle de ces objets, et ils ne font pas usage de la notion de Mode de transfert.

Q - Transfert d'énergie : Est-ce que les termes de « transfert » et de « mode de transfert » sont présents dans les réponses des enseignants ? Y a-t-il une différence entre les jeunes enseignants et les enseignants experts ?

VI. Transformation de l'énergie (TrA)

La vie de l'objet Transformation de l'énergie est peu visible dans toutes les institutions. Cependant, au lycée comme nous l'avons déjà dit (C2), les schémas énergétiques peuvent rendre cet objet plus explicite.

Nous avons mis en avant le risque de confusion entre le Transfert d'énergie et la Transformation de l'énergie dans toutes les institutions. Nous posons alors une hypothèse sur cet objet.

H - Transformation de l'énergie : Les enseignants (aussi bien jeunes qu'experts) du lycée ne distinguent pas les deux événements Transfert d'énergie et Transformation de l'énergie dans une situation énergétique qui la nécessite.

PARTIE D
Expérimentation

CHAPITRE D.1

Questionnaire

Notre expérimentation est organisée autour d'un questionnaire destiné aux enseignants que nous allons présenter dans ce chapitre, en précisant le choix des items et les raisons de ces choix, ainsi que l'analyse a priori des exercices intégrés à ce questionnaire.

L'objectif de ce questionnaire est de rechercher des éléments de réponse aux questions dégagées dans le chapitre C4 qui portent sur la perception qu'ont les enseignants de lycée en France et au Viêt-nam à propos de l'Approche Universelle (AU) et des objets emblématiques à l'Energie analysés.

Le recueil des données de notre expérimentation comprend trois phases :

- Phase 1 : enquête auprès d'enseignants français avec le questionnaire.
- Phase 2 : observation d'un scénario expérimental de formation concernant un groupe des stagiaires préparant le CAPES à l'Institut de Formation Universitaire de Maîtres (IUFM) de Grenoble dans un travail dirigé sur l'Energie. Ce scénario est basé sur les exercices du Questionnaire.
- Phase 3 : enquête auprès d'enseignants vietnamiens avec un questionnaire légèrement modifié pour l'adapter à la situation vietnamienne.

I. Texte et élaboration du questionnaire

Le questionnaire comprend deux grandes parties. Les questions A, B et C ont été construites pour recueillir des informations sur l'organisation de l'enseignement des objets énergétiques de l'AU (réforme 1992) et sur les difficultés de leur enseignement. La question D propose deux exercices dont les solutions possibles exigent la manipulation d'objets énergétiques.

I.1. Organisation et difficultés de l'enseignement des objets énergétiques

A. Dans la liste suivante, quelles sont les notions que vous introduisez dans votre enseignement sur l'énergie en 1^{ère} S (que vous introduiriez si vous n'enseignez pas en 1^{ère} S).

Numérotez celles-ci dans l'ordre dans lequel vous les abordez

- | | | |
|---|---|---|
| <input type="checkbox"/> Bilan énergétique | <input type="checkbox"/> Principe de conservation d'énergie | <input type="checkbox"/> Système |
| <input type="checkbox"/> Chaîne énergétique | <input type="checkbox"/> Puissance | <input type="checkbox"/> Transfert d'énergie |
| <input type="checkbox"/> Chaleur | <input type="checkbox"/> Rayonnement | <input type="checkbox"/> Transfert thermique |
| <input type="checkbox"/> Formes d'énergie | <input type="checkbox"/> Rendement | <input type="checkbox"/> Transformation d'énergie |
| | | <input type="checkbox"/> Travail |

Autres :

Commentez vos choix de la question A :

- Choix d'introduire une notion donnée
- Choix de l'ordre dans lequel vous introduisez les notions

B. Dans cette liste, quelles sont les notions qui vous semblent difficiles à enseigner. Pourquoi ?

C. Pour la notion « formes d'énergie », à votre avis et avec votre expérience, quelles formes d'énergie vous paraît-il fondamental de présenter aux élèves.

(Par exemple : énergie mécanique, énergie cinétique, énergie potentielle, énergie électrique, énergie solaire, énergie nucléaire, énergie électrique, autres...)

Les questions A et B3 cherchent à caractériser :

- les objets énergétiques qui sont réellement enseignés, les raisons pour lesquelles ils le sont et l'ordre d'enseignement choisi (question A). Ceci permet **d'examiner l'existence des objets**. Les objets qui ne sont pas choisis ne sont donc pas visibles.

- les difficultés perçues par les enseignants dans cet enseignement (question B).

Les caractéristiques observées à travers les réponses des enseignants au questionnaire seront confrontées à celles de l'enseignement actuel de l'Énergie au lycée (2000) ou à la synthèse de la réforme de 1992 telles que nous les avons précisées dans la partie C.

I.2. Correction et explication par les enseignants de deux exercices emblématiques des deux approches de l'Énergie

D. Nous vous proposons 2 énoncés d'exercices. Pour chacun d'eux, je suis intéressée par l'usage que vous feriez de ces exercices en tant qu'exemple en classe de 1^{ère} S (le proposer ou non, le modifier, le corriger, analyser les difficultés)

Nous proposons deux exercices emblématiques des deux approches, l'Approche Universelle et l'Approche Particulière. Nous nous sommes appuyés sur les exercices des manuels pour construire ces exercices que nous allons expliquer après.

Nous avons montré qu'au lycée français la vie des objets énergétiques choisis et analysés dans la partie C est clairement imprégnée par une AU de l'Énergie. En particulier, leur changement de statut dans les programmes de 1992 puis de 2000 est marqué par l'apparition de l'AU. C'est pourquoi nous avons choisi des exercices susceptibles de les mettre en jeu. Les objets à examiner sont : Principe de conservation de l'énergie, Bilan énergétique et Schéma énergétique, Transfert d'énergie et modes de transfert, Transformation de l'énergie.

I.2.1. Questions communes aux deux exercices.

Nous avons posé les mêmes questions pour ces deux exercices :

- 1) Pouvez-vous écrire la correction que vous proposeriez aux élèves de 1^{er}S pour leur faire comprendre ce qu'est l'énergie et son usage en physique. (Ce qui nous intéresse est le côté explication plutôt que le côté correction d'exercice)
- 2) Pensez-vous qu'un schéma peut aider les élèves à comprendre l'exercice ? Si oui, lequel ? (le réaliser et l'expliquer si nécessaire)
- 3) Proposeriez-vous cette tâche dans une classe de 1^{er}S ? Oui Non
Pourquoi ? Quelles modifications apporteriez-vous à cet exercice ?
- 4) Quelles difficultés des élèves prévoyez-vous ? Pourquoi ?

En demandant une correction privilégiant l'explication, nous cherchons à accéder aux éléments du savoir qui, dans la position d'enseignant, justifient certaines manipulations des objets énergétiques présents ou pouvant être présents dans la solution. Le texte de la correction donne des observables sur ce qu'un enseignant peut attendre des élèves, la résolution d'un exercice appartenant au topos de l'élève.

L'explication d'une solution dans l'enseignement est le plus souvent orale. L'explication écrite (ou texte explicatif) demandée est une rupture du contrat didactique par rapport à ce que

3 Nous ne traiterons pas ici de la question C.

fait d'habitude l'enseignant. Ce texte explicatif faisant l'objet d'une construction personnelle de l'enseignant se situe du côté du rapport personnel des enseignants aux objets intervenant dans la solution expliquée. Ce texte peut alors combiner deux rapports institutionnels à l'Energie qui contraignent le rapport personnel, celui du lycée et celui de l'université.

Cela nous conduit à formuler deux hypothèses :

H1- deux rapports institutionnel : Les explications des solutions des exercices écrits par les enseignants (textes explicatifs) combinent deux rapports institutionnels à l'énergie qui contraignent le rapport personnel, celui du lycée et celui de l'université.

H2- jeunes enseignants : les textes explicatifs des « jeunes enseignants » se libèrent plus que ceux des « enseignant expert » du rapport institutionnel à l'Energie du lycée.

En effet, un jeune enseignant est plus proche du rapport institutionnel à l'Energie de l'Université qu'un enseignant expert.

Rappelons que les schémas énergétiques sont des créations didactiques de la réforme de 1992 pour l'enseignement de ce thème au lycée et qu'ils sont variables, nous demandons (question 2) aux enseignants de proposer un schéma susceptible d'aider les élèves à « comprendre l'exercice », pour les deux exercices. Soulignons que pour l'exercice 2, emblématique de l'Approche Universelle, cette question est abordée à propos du Bilan, lieu privilégié pour l'usage d'un schéma énergétique.

Pour les questions 3 et 4, les commentaires des enseignants sur ces exercices permettent de savoir si ces exercices sont des exercices habituels de leur pratique d'enseignants de 1^{ère} S et s'ils sont perçus comme difficiles.

I.2.2. Exercice 1

Exercice 1 : Un pendule est constitué d'une petite sphère métallique S, suspendue à un support fixe par un fil fin, de longueur $l = 1\text{m}$. On écarte la sphère de sa position d'équilibre, d'un angle $\alpha_0 = 45^\circ$, le fil étant tendu. On l'abandonne ensuite sans vitesse initiale.

- L'énergie mécanique de S est constante ? Pourquoi ?
- Calculer la vitesse de S lorsqu'elle passe par sa position d'équilibre.

Cette exercice oriente les réponses vers une Approche Particulière en abordant un phénomène mécanique : le pendule simple. Les questions sont posées à propos d'un objet énergétique du domaine de la mécanique et donc du point de vue de l'AP.

Nous plaçons cet exercice en premier car nous souhaitons que les enseignants commencent par une situation habituelle au Lycée et donc a priori non problématique.

En effet les exercices portant sur le pendule sont présents dans l'ensemble des manuels français et vietnamiens. Ce type d'exercice existe aussi dans les manuels français avant 1992, 1992 et 2000. Nous avons construit le premier exercice du questionnaire à partir des exercices ainsi collectés (Figure1., Annexe C1)

L'explication de la Conservation de l'énergie peut demander à utiliser le raisonnement sur le phénomène de Transfert d'énergie, c'est une occasion pour que nous puissions observer l'usage du Transfert d'énergie dans la réponse des enseignants.

Pour répondre à question b), il faut appliquer les équations de la Conservation de l'énergie. Nous voulons observer quelles équations sont choisies : celui du principe général ou de la Conservation de l'énergie mécanique ou bien du Théorème de l'énergie cinétique. C'est ici que nous pouvons examiner l'hypothèse H-Principe avec les questions attachées.

II.2.3. Exercice 2

Exercice 2 : Le moteur d'une perceuse a une résistance interne $r = 3,5\Omega$. Il est alimenté par un générateur de tension de f.e.m. $E = 24V$, par l'intermédiaire d'un variateur électronique. Lorsque le moteur tourne à vide, à la vitesse constante de 120tr.s^{-1} , l'intensité du courant est $I = 0,27A$ et la tension à ses bornes est $U = 7,2V$.

a) Faire le bilan énergétique du moteur et le représenter par un schéma.
b) Quels sont les différents transferts énergétiques. Par quels modes de transfert se font chacun d'eux ?
c) Quelles transformations d'énergie se produisent lors du fonctionnement de la perceuse ?
d) Calculer les puissances mises en jeu.

Nous avons conçu le deuxième exercice dans l'idée de créer une occasion de manipuler d'autres objets de l'Approche Universelle, objets que nous avons sélectionnés pour l'expérimentation. Nous nous sommes basés sur des types d'exercices communs aux manuels du programme de 1992 et de 2000 (Figure 2, Annexe C1)

Les questions de l'exercice du questionnaire permettent d'étudier les manipulations d'objets énergétiques analysés dans la partie C. Elles permettent donc de mettre à l'épreuve les hypothèses que nous avons dégagés dans le chapitre C4.

La dernière question (Calculer les puissances mises en jeu) est typique de ce type d'exercice. Sa résolution met en jeu la Conservation de l'énergie, et sollicite donc ainsi le Principe de conservation de l'énergie de manière implicite.

II. Analyse *a priori* du questionnaire

Nous avons formulé nos hypothèses en fonction des objets examinés. Dans cette analyse a priori, nous explicitons pour chaque objet :

- les observables retenus et les sites (ie questions) dans le questionnaire dans lesquels les rechercher
- les réponses possibles au lycée, recueillies dans les manuels de lycée analysés dans les parties B et C.

II.1. Chaîne énergétique

Nous pouvons examiner cet objet par la question A sur l'organisation des objets énergétiques et l'évocation dans la question suivante B sur les difficultés. Grâce à la réponse à ces questions, on peut reconnaître **si cet objet existe ou non**. De plus, comme la Chaîne apparaît toujours sous forme de schéma (Chapitre C1), on peut aussi observer son apparition par le type de schéma présenté dans les réponses des enseignants. Si un schéma de type maillons-multiples apparaît, c'est une présentation de la Chaîne énergétique. C'est une réponse possible du programme de 1992 car dans le programme de 2000, le Chaîne n'existe plus.

II.2. Schéma énergétique

Sites du questionnaire où rechercher l'objet - Observables :

- Exercice 1 : résolution (question commune 1) de l'exercice et Question commune 2 sur l'exercice. Présence et type des schémas énergétiques.

- Exercice 2 : Question commune 1- question a) de l'énoncé. Question 2) sur l'exercice. Présence et type des schémas énergétiques.
- Question A –organisation des objets. L'enseignant ajoute t'il le Schéma énergétique comme objet à enseigner?

II.2.1 Question 2, Exercice 1 - Pendule

« Pensez-vous qu'un schéma peut aider les élèves à comprendre l'exercice ? Si oui, lequel ? (Le réaliser et l'expliquer si nécessaire) »

Cette question permet de savoir **si un schéma énergétique est estimé utile** pour étudier la situation d'un pendule simple. Elle permet également de solliciter l'enseignant à ce sujet, s'il n'a pas eu spontanément recours à un schéma dans la résolution de l'exercice (question 1). Un schéma du dispositif mécanique est habituellement présent dans cette situation. Mais comme nous situons notre questionnaire dans le sujet de l'Energie, la question sur le schéma est implicite sur son type, et nous attendons une réponse sur le plan énergétique.

Schémas énergétiques possibles au lycée

Des schémas énergétiques de type Chaîne et/ou Bilan sont préconisés *en 1992*. Dans les chapitres sur les systèmes mécaniques du manuel, il n'existe aucun schéma de type Chaîne ou Bilan. Pour des situations correspondantes à cet exercice, nous ne disposons donc d'aucune référence pour construire un schéma énergétique.

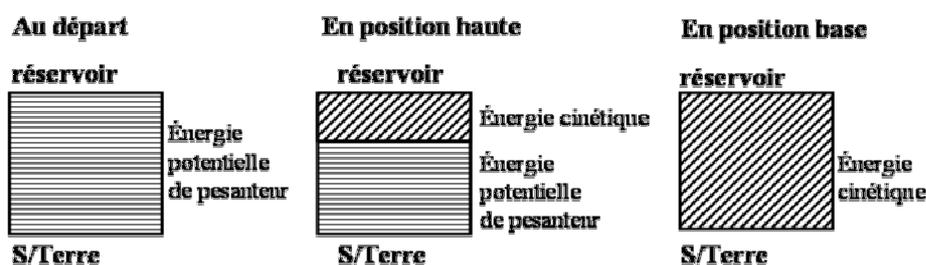


Figure 1. Schéma énergétique suivant ses règles de construction dans le document COAST-MAFPEN

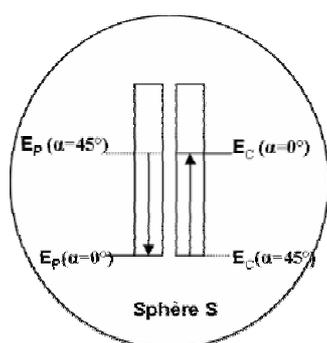


Figure 2. Schéma énergétique suivant ses règles de construction dans le document d'accompagnement du programme de 2000

Un schéma possible est celui présenté dans le document COAST-MAFPEN (p.137) (figure 1).

Dans les manuels de 1^o S du *programme de 2000*, il n'existe aucun schéma énergétique. Mais, si on suit le Document d'accompagnement du programme de 2000, un schéma énergétique est possible (figure 2)

II.2.2 Exercice 2 - Perceuse

Question a : Faire le bilan énergétique du moteur et le représenter par un schéma.

Dans cette question, le schéma demandé est celui à maillon-unique qui sert à présenter un Bilan énergétique. Nous pouvons **identifier le type de schéma utilisé par des enseignants**.

Question commune 2 : Pensez-vous qu'un schéma peut aider les élèves à comprendre l'exercice ? Si oui, lequel ? (Le réaliser et l'expliquer si nécessaire)

Cette question permet de savoir **si un schéma énergétique est estimé utile** pour étudier la situation. En particulier le schéma du circuit électrique de la perceuse peut être jugé utile par les enseignants. Le schéma énergétique étant imposé par l'énoncé, il est intéressant de connaître l'opinion des enseignants.

Schémas énergétiques possibles au lycée

Dans le manuel du *programme de 1992*, il existe deux schémas énergétiques pour cette situation : Bilan de puissance et Bilan énergétique (figure 4).

Un autre schéma possible est celui du document COAST-MAFPEN (figure 5).

En suivant les règles de construction d'un schéma énergétique dans le Document d'accompagnement du programme de 2000, un autre schéma est aussi possible.

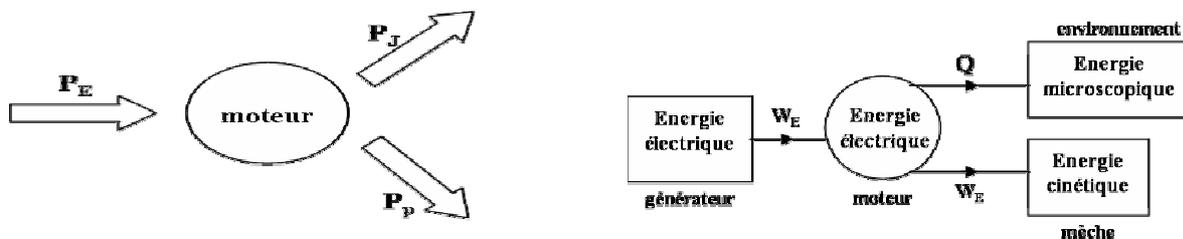


Figure 4. Schémas énergétiques possibles pour le Bilan énergétique dans le manuel Hachette (1994)

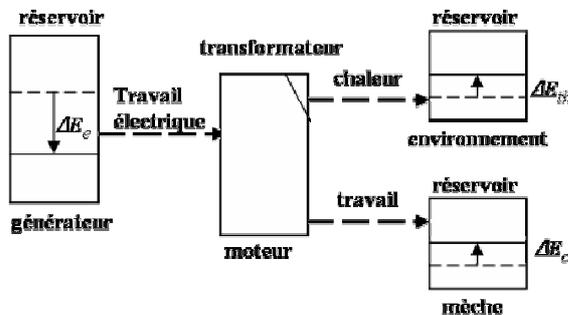


Figure 5. Schémas énergétiques possible pour un Bilan énergétique suivant les règles de construction dans le document COAST-MAFPEN

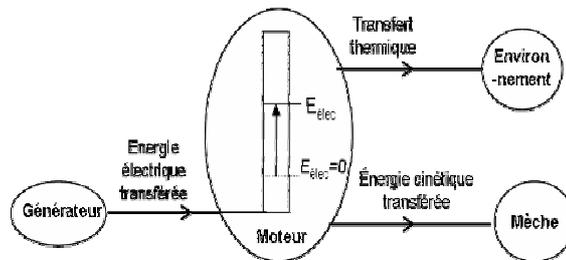


Figure 6. Schémas énergétiques possible pour un Bilan énergétique suivant les règles de construction dans le document d'accompagnement du programme de 2000.

II.3. Bilan énergétique

II.3.1. Observables

Sites du questionnaire où rechercher l'objet - Observables :

- Question A-organisation et question B-difficultés : **l'objet est-il sélectionné ? (ie considéré comme un objet à enseigner).**

- Exercice 1. Le bilan n'est pas demandé. On recherche donc des expressions spontanées des enseignants. Les observables les sites sont similaires à ceux de l'exercice 1.
- Exercice 2. La question a : *Faire le bilan énergétique du moteur et le représenter par un schéma* porte directement sur l'objet Bilan et nous permet de le caractériser dans le rapport personnel de l'enseignant. Les observables retenus et leurs sites sont listés ci-dessous.

Observables et sites pour caractériser la vie du Bilan dans les exercices :

- Usage du mot «Bilan». Sites : résolution de chaque exercice (question 1) et explications (questions 3 et 4) sur les difficultés des élèves et les modifications de l'énoncé.
- Existence et type de schéma énergétique utilisé dans chaque exercice. Nombre des O(e) intervenant dans le schéma.
- Combien d'O(e) interviennent dans la réponse à la question a) de l'exercice 2 sur le Bilan. Quels sont ces O(e)? (la question sur le bilan étant la première, il n'y a pas d'interférences possibles avec les autres questions). Nombre de relations entre les O(e).

II.3.2. Réponses possibles au lycée

Dans le manuel Hachette (1994), seuls 2 exercices posant la question sur le bilan sont résolus en calculant des puissances. Dans le cours sur cette situation « *La puissance électrique reçue est $P_E = UI$. La puissance mécanique utile est $P_u = 0$. La puissance Joule est $P_J = rI^2$. Aucune puissance utile disponible et pourtant le moteur reçoit une puissance électrique non nulle P_E . Une partie de P_E est dissipée en chaleur par effet Joule, P_J . L'autre partie, P_p , correspond aux pertes électromécaniques. A vide en régime permanent : $P_E = P_J + P_p$. A la vitesse de rotation 102 tr/s, les pertes électromécanique est $P_p = P_E - P_J$ » (p.233)*

Aucun exercice sur le Bilan n'est résolu dans les manuels étudiés pour le programme de 2000 (Hachette et Bréal, 2001). En nous appuyant sur le cours dans le manuel Hachette (2001, chapitre «Transfert d'énergie dans un circuit électrique») et sur les bilans existant (p.166, p168) nous construisons une réponse possible : « *Le générateur fournit la puissance électrique P_E au moteur. Une partie de cette puissance électrique est convertie en puissance sous forme mécanique utile P_U ; l'autre partie est dissipée par effet Joule P_J sous forme de chaleur à cause de la résistance interne. Le principe de conservation de l'énergie s'écrit : $P_E = P_U + P_J$. ».*

En résumé, les objets énergétiques peuvent apparaître dans un bilan énergétique pour la réponse du lycée sont au nombre de 5 : Puissance ; Transfert d'énergie, modes de transfert ; Transformation de l'énergie ; Conservation de l'énergie.

II.4. Principe de conservation de l'énergie (PCE)

Sites du questionnaire où rechercher l'objet - Observables :

- Question A—organisation et question B-difficultés - Comme **l'objet est-il considéré comme un objet à enseigner? Une de ses formes particulières est elle ajoutée à la liste?**
- Exercice 1, questions a et b - Présence du PCE général, de la conservation de l'énergie mécanique, du Théorème de l'énergie cinétique.
- L'exercice 2, question a. Présence du PCE, écriture en puissance ou en énergie.

II.4.1. Exercice 1- pendule : réponses possibles au lycée

Cet exercice nous permettre d'examiner :

- La **relation entre le PCE et ses formes particulières** (question a : *L'énergie mécanique de S est constante ? Pourquoi ?*).
- La **forme utilisée** pour résoudre l'exercice (question b : *Calculer la vitesse de S lorsqu'elle passe par sa position d'équilibre.*)

Dans le manuel Hachette (1994), la correction de l'exercice de référence, n'est pas donnée totalement. Dans le cours, la Conservation de l'énergie mécanique est ainsi énoncée : « *Pour un système isolé dans lequel il n'y a ni frottement, ni réactions chimiques : l'énergie mécanique est constante ; l'énergie microscopique est constante ; la variation d'énergie cinétique est égale à l'opposé de la variation d'énergie potentielle.* » (Hachette, p.169). La vitesse est calculée en utilisant l'équation de Conservation de l'énergie mécanique (Hachette, Application 1, p.169).

Dans le manuel Hachette (2001), une résolution succincte est proposée à la fin du manuel (ces notes très courtes ne comportent jamais de schémas) : « *La tension \vec{T} reste perpendiculaire au déplacement à chaque instant ; elle ne travaille pas. Seul le poids travaille. Si on néglige les forces de frottement de l'air, l'énergie mécanique se conserve.* » (p.312). La vitesse est aussi calculée en utilisant l'équation de Conservation de l'énergie mécanique. Dans le cours, le Théorème de l'énergie cinétique est aussi utilisé pour calculer la vitesse (p.132).

En résumé, dans le programme de 1992, la Conservation de l'énergie est donc formulée en relation avec l'idée de système isolé {S- Terre} dans des conditions idéales sans frottement (ce qui est le cas implicitement pour cet exercice). C'est l'équation de Conservation de l'énergie mécanique qui est utilisée pour calculer la vitesse. Dans le programme de 2000, la Conservation de l'énergie est formulée en relation avec l'analyse du travail des forces : seul le poids travaille, l'énergie mécanique est donc constante pour un système conservatif. Il y a donc deux possibilités pour calculer la vitesse en appliquant le Théorème de l'énergie cinétique ou la Conservation de l'énergie mécanique.

II.4.2. Exercice 2 -perceuse : observables retenus

Cet exercice nous permet d'examiner **l'usage du PCE** pour faire un Bilan énergétique (question a) : voir le paragraphe sur le Bilan énergétique.

II.5. Transfert d'énergie

Sites du questionnaire où rechercher l'objet - Observables :

- Question A—organisation et question B-difficultés - **Cet objet est-il considéré comme un objet à enseigner? Les modes de transfert sont ils aussi sélectionnés?**
- Exercice 1.
- Exercice 2.

II.5.1. Exercice 1- pendule : observables retenus

Cet exercice nous permet d'examiner **l'usage du Transfert et de ses modes** pour expliquer la Conservation de l'énergie ainsi pour calculer la vitesse. De plus, en observant le schéma proposé pour la question 2 sur cet exercice, nous pouvons voir **comment ces objets apparaissent** dans un schéma énergétique éventuel.

II.5.2. Exercice 2- perceuse : observables et réponses possibles au lycée

Cet exercice nous permet d'examiner :

- **Evocation des phénomènes de Transfert d'énergie et caractérisation par le mode de transfert** lors de la réalisation d'un Bilan énergétique (question a)
- **Présence de ces objets** dans le schéma énergétique (question a).
- **Identification des Transferts d'énergie et des modes de transfert** (question b).

Question b : « *Quels sont les différents transferts énergétiques. Par quels modes de transfert se font chacun d'eux ?* »

Dans les deux programmes, la vie des objets Transfert d'énergie et les modes de transfert sont à peu près la même.

En nous appuyant sur le cours dans le manuel Hachette (1994, chapitre « Transfert d'énergie »), nous construisons une réponse possible : « *La perceuse est alimentée par le générateur ; l'énergie est transférée du générateur à la perceuse sous forme du travail électrique. Le moteur tourne à vide, il transfère l'énergie à l'environnement sous forme de travail mécanique et aussi sous forme de chaleur à cause de l'effet Joule.* ».

La réponse proposée par le manuel Bréal (2001) : « *Quand le moteur fonctionne, il gagne de l'énergie électrique. Ce transfert d'énergie s'effectue grâce au travail. En même temps, le moteur perd son énergie électrique qui est transférée à la mèche par le travail et à l'environnement par le transfert thermique.* » (p.125)

Le phénomène de Transfert d'énergie est donc toujours décrit en précisant le mode.

II.6. Transformation de l'énergie

Sites du questionnaire où rechercher l'objet - Observables :

- Question A – organisation et question B - difficultés : **Cet objet est il considéré comme un objet à enseigner?**
- Exercice 1.
- Exercice 2.

Dans les deux exercices, nous voulons examiner **l'usage de la Transformation de l'énergie** ainsi que sa **confusion possible avec le Transfert d'énergie** et sa **présence dans le schéma énergétique.**

Question c : *Quelles transformations d'énergie se produisent lors du fonctionnement de la perceuse ?*

La vie de la Transformation ne change pas entre deux programmes, et des confusions entre Transformation et Transfert d'énergie existe dans ces deux programmes (chap.B4).

En nous appuyant sur le cours du manuel Hachette (1994, chapitre « Conservation de l'énergie ») nous construisons une réponse possible : « *L'énergie électrique du moteur est convertie en énergie cinétique.* » (p.129)

D'autres réponses sont proposées par le manuel de 2001 : « $E_{elec} \rightarrow E_c$ ». (Hachette, 2001, p.192) ; En nous appuyant sur un exercice résolu (Bréal, 2001, p.125), nous construisons une réponse possible plus détaillée : « *Le moteur a emmagasiné de l'énergie électrique. Cette énergie est intégralement transmise à la mèche sous la forme d'énergie cinétique par l'intermédiaire du travail.* »

En résumé, la Transformation est un événement entre deux formes d'énergie : l'énergie électrique se transforme à l'énergie mécanique. Nous avons noté dans le chapitre C2 une confusion possible entre la Transformation et le Transfert d'énergie. Par exemple on pourrait trouver pour l'exercice 2 : *Le moteur permet de transformer le travail électrique fourni par le générateur, en travail mécanique et en chaleur.*

II.7. Approche universelle (AU)

Les sites où l'on peut examiner cet objet : Question A–organisation.

« Dans la liste suivante, quelles sont les notions que vous introduisez dans votre enseignement sur l'énergie en 1^{ère} S (que vous introduiriez si vous n'enseignez pas en 1^{ère} S). »

L'ordre des objets choisis dans la réponse à cette question peut permettre de **caractériser l'approche de l'Energie utilisée.**

Réponses possibles au lycée

Proposer un ordre représentatif d'une approche est difficile car en fait cet ordre est très relatif. Nous dégagons donc les différences principales entre ces deux approches à partir des deux programmes du lycée. Celui de 1992 est emblématique à l'AU et celui de 2001 plus proche l'AP.

Programme de 1992 – emblématique de l'AU :

- la Chaîne énergétique est en première position.
- le PCE est au début. Cette position et celle de la Chaîne sont emblématiques de l'AU dans la réforme de 1992.
- le Travail est présenté simultanément avec le Transfert d'énergie et les autres modes de transfert : Chaleur, Rayonnement.
- la Chaleur est un mode de transfert.

Dans le programme de 2001 – emblématique à l'AP :

- la Chaîne énergétique est absente.
- le PCE est à la fin avant le Bilan.
- le Travail est en première position. Il est éloigné du Transfert d'énergie et des autres modes de transfert (Transfert thermique et Rayonnement), car le Travail a une vie indépendante du Transfert d'énergie.
- Chaleur est remplacé par « Transfert thermique » et « énergie thermique ».

III. Conclusion

L'analyse ci-dessus a dégagé les observables que nous pouvons retenir dans notre expérimentation à travers notre questionnaire. Nous avons aussi montré les réponses possibles au lycée comme une référence à comparer dans notre analyse des recueils. Dans les chapitres suivants, nous allons analyser les réponses des enseignants pour étudier les effets des rapports institutionnels du lycée et de l'université sur leur rapport personnel à l'Energie.

CHAPITRE D.2

Enquête auprès des enseignants français : une étude de cas

I. Recueil des données

Nous avons proposé ce questionnaire aux enseignants de 1^{ère} S mais nous n'avons pas pu recueillir que 5 réponses. Nous avons donc fait passer une seconde fois ce questionnaire à l'ensemble des enseignants du secondaire. En effet, les enseignants du secondaire ont tous reçu une formation disciplinaire à l'université et même s'ils n'enseignent pas dans la classe de 1^{ère} S, leurs réponses peuvent apporter des informations sur le décalage existant entre les deux rapports institutionnel à l'Énergie, celui de l'université et celui du lycée

Le nombre total de réponses au questionnaire est de douze, numérotés de 1 à 12 comme suit :

- De 1 à 6 : les réponses des enseignants de 1^{ère} S :

Les enseignants 1 et 2 ont enseigné avant et pendant le programme de 1992. L'enseignant 3 est formateur à l'IUFM pour la préparation orale au C APES et enseignante dans une classe de Terminale. Nous considérons ces trois enseignants comme des *enseignants experts* car ils enseignent depuis plus de 20 ans

Les enseignants 4, 5 et 6 ont commencé leur métier sous le programme actuel de 2000. Nous considérons comme des *jeunes enseignants*.

- De 7 à 12 : les réponses des enseignants de 2^{nde} (7) ou collège (8 à 12). Leur ignorance du programme de 1^{ère} S fait que, nous les considérons ici donc aussi comme des *jeunes enseignants*.

Nombres d'enseignant	1 ^{ère} S		2 ^{nde} ou Collège (jeunes enseignants)
	programme 1992 (enseignant expert)	programme 2000 (jeunes enseignants)	
12	1, 2 et 3	4, 5 et 6	7, 8, 9, 10, 11 et 12

Tableau 1. Répartition des enseignants selon trois groupes : « expert », « jeunes 1ère S », « jeunes collège »

Nous donnons en annexe C2 deux exemples de questionnaire remplis par des enseignants.

Dans l'analyse des résultats, pour chaque hypothèse à examiner, avant de détailler les réponses obtenues, nous représentons dans un tableau la répartition des types de réponses selon l'hypothèse que nous étudions.

Nous classons les réponses :

- soit suivant les catégories de notre analyse *a priori* en distinguant deux types de réponses : lycée français (RLFR), ou université (RUFN ou RUVN),
- soit selon les caractéristiques concernant l'hypothèse que l'on cherche à valider par exemple pour l'hypothèse H-Principe : le Principe de conservation de l'énergie général ou le Théorème de l'énergie cinétique ou bien la Conservation de l'énergie mécanique est utilisé pour résoudre des calculs de l'exercice.

Étant donné le nombre réduit des données (12 réponses au questionnaire), nous considérons notre analyse comme une étude de cas, dans lesquels les résultats peuvent appuyer nos hypothèses et les éclairer mais en aucun cas les valider.

II. Analyse des résultats

II.1. Chaîne énergétique (Ch)

Q – Chaîne énergétique La chaîne énergétique existe-t'elle pour les enseignants experts ?

H- Chaîne énergétique Nous faisons l'hypothèse que la réponse est non pour les jeunes enseignants, et aussi pour les enseignants experts.

Question	Nombre de réponses à la question A	Ch est choisi
A	9	5 dont 1 expert

Tableau 2. Effectif selon les réponses sur la Chaîne énergétique (Ch) dans l'Organisation des O(e)

La Chaîne énergétique est citée par cinq enseignants dont un expert (E2) mais uniquement dans la question A concernant l'ordre d'introduction des notions (numérotation), et sans commentaire à ce sujet. De plus tous ces enseignants n'utilisent pas de représentation graphique dans les exercices que l'on puisse rattacher de près ou de loin à une Chaîne énergétique. Il semble donc que ces réponses ne soient pas significatives. Aucun autre enseignant n'exploite de représentation schématique ressemblant à une Chaîne énergétique.

Pour les enseignants interrogés, jeunes ou experts, la chaîne énergétique n'existe pas. Malgré le faible nombre de réponses recueillies, l'unanimité des résultats obtenus paraît confirmer notre hypothèse.

Nous allons maintenant voir si les enseignants ont utilisé d'autres représentations schématiques pour l'Energie, et lesquelles.

II.2. Schéma énergétique

II.2.1. Rappel des hypothèses et questions de recherche, des résultats de l'analyse écologique et mise en perspective avec le questionnaire

Les hypothèses et les questions posées sont dans le cas de ces questionnaires pour les enseignants français :

Hypothèse H – schéma énergétique : Les jeunes enseignants français ne disposent pas de schéma énergétique universel pour étudier une situation physique du point de vue de l'énergie.

Question Q- schéma énergétique : Pour les enseignants experts : quel type de schéma qu'ils vont proposer ? Celui de 2000 n'apparaissant pas dans les manuels va t'il être utilisé ? Est-ce qu'ils suivent des règles dans les schémas qu'ils choisissent d'utiliser ?

Dans l'analyse écologique des manuels, nous avons vu qu'il n'y a aucun schéma énergétique dans le manuel de 1ère S en France pour le programme de 2000, et qu'à l'Université seul le domaine de la Thermodynamique en utilise parfois. Nous avons vu également que dans le manuel du programme de 1992, les schémas énergétiques de type «Chaîne énergétique» sont très fréquents dans les parties de cours, assez variables, et peu exploités dans les exercices.

Les situations proposées dans les exercices du questionnaire relèvent de la Mécanique et de l'Electricité. Le premier exercice, concernant la mécanique, ne demande pas la réalisation d'un schéma, alors que le deuxième exercice demande explicitement la représentation schématique du bilan énergétique. L'usage d'un schéma est donc spontané dans la correction du premier exercice. Nous examinons ici aussi la question qui suit la résolution de chaque exercice : «Pensez-vous qu'un schéma peut aider les élèves à comprendre l'exercice?».

II.2.2. Résultats et analyse

Question	Nombre de réponse à l'ex1	Schéma énergétique	Schéma de pendule
Ex. 1	12	0	12

Tableau 3. Effectif selon les réponses sur le schéma énergétique de l'exercice 1

Pour l'exercice 1, aucun schéma énergétique n'est proposé spontanément par les enseignants. Par contre tous font un schéma du dispositif physique du pendule simple, spontanément pour la plupart (9/12). A la question sur l'utilité d'un schéma, 3 enseignants dont 2 experts, proposent le schéma du dispositif qu'ils n'avaient pas fait spontanément; les autres renvoient au schéma du dispositif déjà donné dans la résolution.

Cependant certains enseignants portent quelques informations relatives à l'Energie sur ce schéma : il s'agit des valeurs minimales et maximales de l'énergie potentielle et cinétiques reportées aux points de l'espace où ces valeurs sont atteintes (E9. E2 ne reporte que « $E_p=0$ »). Notons également que l'enseignant E7 a recourt à des graphiques très classiques représentant les variations des formes d'énergie (E_p , E_m , E_c) en fonction de la position du mobile dans l'espace.

Question	Nombre de réponse à l'ex2	Schéma thermodynamique	Autre schéma	Schéma électrique
Ex. 2	8	6 (dont 3 experts)	1	1

Tableau 4. Effectif selon les réponses sur le schéma énergétique de l'exercice 2

Quant à l'exercice 2, seuls 8 enseignants sur les 12 ont répondu. 6 enseignants proposent un schéma qui ressemble à un schéma de Thermodynamique et un propose un schéma non répertorié représentant la Conservation de l'énergie (figure 1). Un jeune enseignant (E12) ajoute un schéma électrique, mais c'est le seul.

On peut caractériser un schéma classique de thermodynamique ainsi : au centre on désigne le système (moteur) par son nom dans une ellipse d'où partent 3 flèches matérialisant les transferts. A chaque flèche est associée un symbole qui représente la quantité d'énergie transférée et désigne le mode : W_e , Q_1 , ... Les «éléments extérieurs» avec lesquels ils échangent de l'énergie ne sont pas toujours représentés.

En fait seuls les schémas des 3 experts correspondent à ce schéma type Thermodynamique (figure 2). Les 3 autres n'indiquent pas le mode des transferts, et ce sont les formes d'énergie qui sont indiquées (figure 3), alors que la question suivante dans l'exercice demande explicitement de caractériser les transferts. Aucun des schémas ne fait référence aux «éléments extérieurs» et ils ne sont mentionnés dans les explications que par deux enseignants (E1 et E12). Pour la question «Pensez-vous qu'un schéma peut aider les élèves à comprendre l'exercice?», comme pour l'exercice 1, ils renvoient (quasiment) tous au schéma utilisé dans la résolution. Toutefois l'enseignant E10 déclare que «Non» [un schéma ne peut pas aider les élèves ...]; cet enseignant avait répondu pour le premier exercice qu'il faut «demander aux

élèves de schématiser (pour les guider)» et renvoie au minuscule schéma du dispositif qu'il propose dans la résolution.

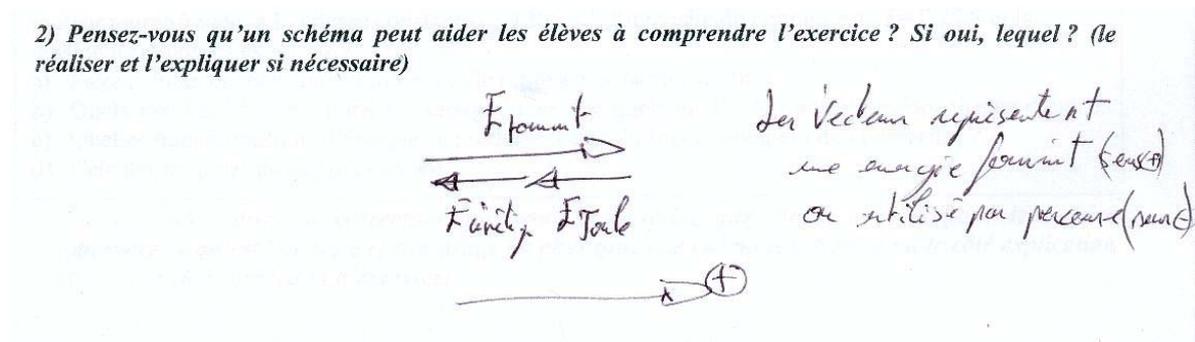


Figure 1. Schéma proposé par l'enseignant E7 montrant la conservation de l'énergie

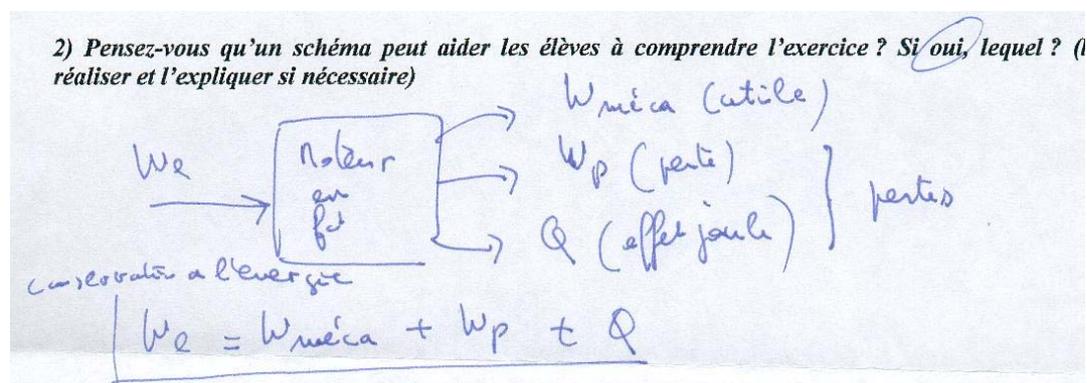


Figure 2. Les schémas proposés par l'enseignant expert E1

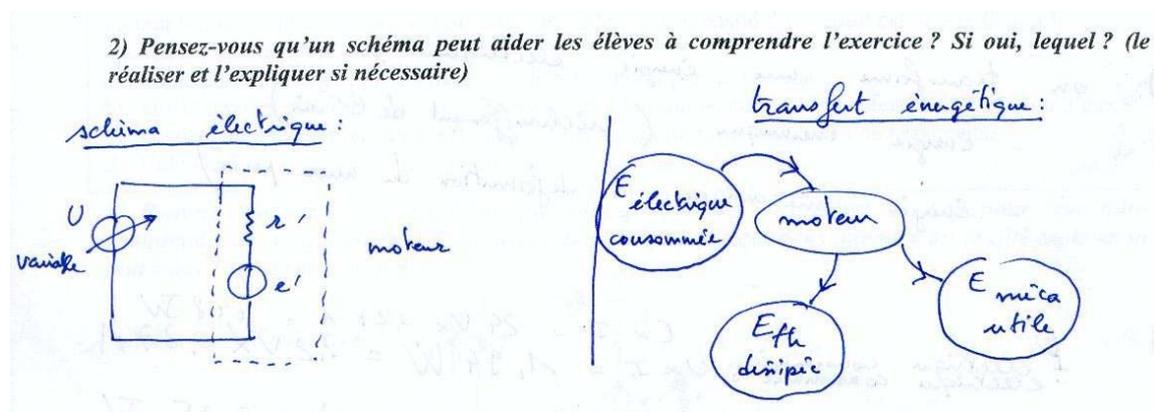


Figure 3. Les schémas proposés par un jeune enseignant E12

II.2.3. Conclusion

Ces quelques résultats vont totalement dans le sens de notre hypothèse : les jeunes enseignants ne semblent pas disposer vraiment d'un schéma de référence pour l'Énergie. Quant aux enseignants experts, leur seule référence semble être la Thermodynamique, même pour l'enseignant qui dit utiliser le document COAST et qui est le plus expérimenté dans l'enseignement de l'Énergie. Experts ou jeunes enseignants, aucun ne s'appuie spontanément

sur un schéma énergétique (en Mécanique tout du moins), ni n'en sent l'utilité. Leur référence semble donc essentiellement universitaire, c'est à dire RUFR suivant le code adopté.

Dans les analyses écologiques, nous avons montré qu'un type de Chaîne énergétique proposée en 1992 est associée à la pratique du bilan énergétique, pratique courante dans divers domaines de la physique. L'exercice 2 associe la réalisation d'un Bilan avec une représentation graphique, dans laquelle apparaissent divers objets dont le plus significatif est le Transfert d'énergie. Nous allons donc continuer l'analyse par les questions de recherche concernant le Transfert et nous poursuivrons par le Bilan énergétique.

II.3. Transfert d'énergie

II.3.1. Rappel des hypothèses et questions de recherche, des résultats de l'analyse écologique et mise en perspective avec le questionnaire

H – Transfert d'énergie : L'usage du Transfert d'énergie et des modes de transfert n'est pas problématique pour les enseignants. Mais les jeunes enseignants ne perçoivent pas l'utilité pour les élèves d'une Approche Universelle de ces objets, et ils ne font pas usage de la notion de Mode de transfert.

Q - Transfert d'énergie : Est-ce que les termes de « transfert » et de « mode de transfert » sont présents dans les réponses des enseignants ? Y a-t-il une différence entre les jeunes enseignants et les enseignants experts ?

L'Approche Universelle fait émerger des objets qui influent sur la vie du Transfert d'énergie et des modes de transfert. Ce sont :

- Les schémas énergétiques : Chaîne énergétique (1992) et Bilan énergétique (2000).
- La catégorie « Mode de transfert ».
- Les termes « Transfert d'énergie » et « modes de transfert ».

Nous avons donc recherché pour cette question les points suivants :

- Dans la question A, quels sont les modes sélectionnés? Comment sont ils associés entre eux et avec le transfert?
- Les termes «mode» et «transfert» apparaissent ils dans les exercices et les questions associées?
- Comment les objets Transfert, modes de Transfert et Mode apparaissent ils et sont ils associés dans la résolution des exercices et les questions associées.

Pour ce qui est de la catégorie Mode, le questionnaire ne permet pas d'aborder la question directement.

II.3.2. Résultats

Question	Nombre de réponses	TrE est choisi	Trois modes	Deux modes	Un mode
A	9	9	6 (dont 1 expert)	3 (dont 2 experts)	1

Tableau 5. Effectif selon les réponses sur la Transfert d'énergie (TrE) dans l'organisation des objets

Sur 9 réponses, tous les enseignants sélectionnent le Transfert. Deux enseignants experts ne sélectionnent que 2 modes (travail, transfert thermique) et un seul enseignant ne retient que le travail. L'ordre adopté est variable, mais le travail est souvent en premier (7/9), ce qui est

conforme au programme de 2000. Deux jeunes enseignants (E9, E10) proposent une organisation proche du programme de 1992 avec le Transfert en première position. 2 enseignants, dont un expert, donnent un arrangement explicitement conforme au programme de 2000. Il est rare que les notions soient présentées de manière groupée.

Pour l'exercice 1, le Transfert n'apparaît pas du tout, ni explicitement, ni implicitement.

Question	Nombre de réponses	Flèche dans le schéma énergétique	Modes absents	Modes dans le schéma énergétique
Ex.2	8	6 (dont 3 experts)	5	3 experts

Tableau 6. Effectif selon les réponses sur les schémas de l'exercice 2

Pour l'exercice 2, les flèches qui symbolisent le transfert sont toujours présentes dans les 6 schémas énergétiques du Bilan. Dans cette question (b), 5 enseignants sur 8 n'identifient pas le mode du transfert. Trois parmi eux n'associent le transfert qu'avec des formes d'énergie dans le schéma. Les trois enseignants qui portent le mode sur le schéma sont les 3 experts. Si l'on regarde dans la totalité de l'exercice, 4 enseignants ne parlent jamais des modes du transfert.

Ce qui est remarquable dans ces résultats, c'est l'absence du mode de transfert pour les jeunes enseignants. En réalité, le symbole utilisé (We , Q , ...) désigne à la fois le mode et la quantité d'énergie transférée. Ce sont les quantités d'énergie transférées identifiées qui sont ensuite utilisées pour écrire la Conservation de l'énergie. Les jeunes enseignants font référence dans leurs schémas aux formes d'énergie, c'est à dire plus au phénomène de la transformation qui a lieu qu'à des grandeurs quantifiables. Cependant la situation physique de l'exercice fait appel en réalité à un bilan de puissance : aucun des schémas proposés ne fait référence à la puissance, et donc n'est directement exploitable pour ce bilan.

Cependant deux des enseignants (un expert et un jeune enseignant) raisonnent en terme de puissance. Il faut dire que les schémas trouvés dans les manuels analysés font parfois intervenir la puissance, mais jamais à la fois le mode et la puissance, alors que l'estimation de la puissance, tout comme l'estimation des quantités d'énergie transférées dans un bilan d'énergie repose sur l'identification du mode en jeu dans le transfert. On voit que l'enseignant expert E1 a eu quelques difficultés avec ceci, car il commence la première question par des calculs de puissance qu'il raye pour dessiner un schéma de bilan énergétique.

II.3.3. Conclusion

Ceci contredit donc notre hypothèse : si l'usage du transfert semble effectivement ne pas poser de problème, aucun des jeunes enseignants n'ont un usage spontané du mode de transfert, voire certains ne s'en servent pas du tout. L'énoncé comporte une question explicite sur les transferts et leur mode, et un des jeunes enseignants déclare explicitement ne pas comprendre le terme de mode. Pour d'autres jeunes enseignants, cette même question ne semble pas poser de problème, même s'ils n'utilisent pas le mode de façon spontanée. Dans la résolution de l'exercice et dans les questions annexes qui suivent, le terme de «mode» n'est jamais employé. Il semble donc que l'indication du mode de transfert permette d'établir une différence entre les enseignants experts et les jeunes enseignants.

II.4. Bilan énergétique

II.4.1. Rappel de l'hypothèse, méthode d'analyse

H – Bilan énergétique : Le bilan énergétique proposé par les jeunes enseignants sera moins riche, en nombre d'objets énergétiques et de relations, que celui attendu au Lycée.

Le Bilan énergétique est une pratique qui vit dans toutes les institutions françaises analysées, et en général dans les approches particulière des différents domaines. Nous avons considéré qu'un schéma énergétique met en évidence les relations entre objets et l'enrichit.

Nous voyons cependant d'emblé que la pauvreté (voire l'absence) des schémas proposés par rapport à ce qui pourrait être dans une approche synthétique universelle répond déjà en partie à la question : le nombre des objets est assez faible.

L'exercice 2 demande explicitement la réalisation d'un Bilan énergétique. Un choix alternatif aurait pu être de laisser l'initiative aux enseignants dans une situation a priori favorable à la réalisation d'un Bilan (comme une situation électrique avec demande d'un calcul de rendement par exemple). Notre choix nous garanti la réalisation du schéma et du bilan.

Pour caractériser la vie du Bilan dans les réponses recueillies, nous avons recherché les informations suivantes :

- Sélection du Bilan parmi les O(e) dans la question A, et évocation dans la questions suivante B.
- Usage du mot «Bilan» dans la résolution de l'exercice et dans les questions b à d concernant l'usage d'un schéma, l'usage de l'exercice, les difficultés pour les élèves. Idem pour l'exercice 1.
- Existence et type de schéma énergétique utilisé pour chacun des exercices. Nombre des O(e) intervenant dans le schéma.
- Combien d'O(e) interviennent dans la réponse à la question a) de l'exercice 2 sur le Bilan. (la question sur le bilan étant la première, il n'y a pas d'interférences possibles avec les autres questions).

Certaines de ces informations ont déjà été rassemblées précédemment, en particulier concernant les schémas.

II.4.2. Résultats et analyse

Question	Nombre de réponses à la question A	BL est choisi
A	9	8

Tableau 7. Effectif selon les réponses sur le Bilan énergétique (BL) dans l'organisation des objets énergétiques

Tous les enseignants répondant à la question A sélectionnent le Bilan parmi les objets d'enseignement sauf E11. Mais ce n'est pas suivi d'explications significatives concernant le Bilan. Par conséquent nous n'en savons pas plus.

Pour ce qui est de l'exercice 1, il n'y a pas de référence explicite à un Bilan énergétique. Le mot n'est pas employé, et il n'y a pas de schéma énergétique.

Question	Nombre de réponses à l'ex2	BL avec schéma		BL sans schéma
		E expert	Jeune E	
Ex 2, Qa	8	3 (TrE, modes, E)	4 (TrE, E, PCE)	1

Tableau 8. Effectif selon les réponses sur le Bilan énergétique (BL) dans l'exercice 2

Pour ce qui est de l'exercice 2, le mot n'est pas employé non plus.

Le schéma étant explicitement demandé, sa présence ne peut pas être considérée comme significative. Cependant on peut examiner les O(e) qui interviennent : il y a en général 2 objets par schéma pour 7 réponses présentant un schéma : pour les experts il s'agit du Transfert et du mode de transfert, et un ajoute les formes d'énergie. Pour les jeunes enseignants, il s'agit des transferts et des formes d'énergie, sauf pour E7 qui représente les formes d'énergie et la Conservation.

Le nombre d'O(e) évoqués dans toute la question par leur nom, leur représentation graphique ou par un symbole, varie de 2 à 4 avec une moyenne de 3,3 pour 8 réponses exploitables. Le Transfert est toujours présent. Le mode pour les transferts est absent du Bilan pour 5 enseignants sur 8 : seuls les 3 experts y font référence. La Conservation de l'Énergie est absente pour 3 des enseignants dont un expert. Les autres objets qui interviennent sont la Puissance et de manière très implicite le Rendement (qualificatifs : utile, perdu ou dissipé, reçu ou fourni).

II.4.3. Conclusion

En fait, il est assez difficile de conclure sur cette question du bilan de manière isolée, ou même seulement avec la question du schéma. Il nous faut prendre en compte les questions relatives au Schéma, au Principe de conservation de l'énergie, et au Transfert d'énergie. D'autre part, nous avons vu que la richesse constatée dans les manuels était établie à partir du cours. Pour une activité délimitée comme un exercice se référant à une situation physique précise, il semblerait que le nombre d'O(e) et des relations chute. Nous n'avons pas développé de référence précise à ce sujet (il faut pour cela analyser des exercices résolus en nombre suffisant).

II.5. Principe de conservation de l'énergie

II.5.1. Rappel de l'hypothèse, méthode d'analyse

H – Principe : La visibilité du principe général de la conservation de l'énergie est plus faible que celle des formes particulières. Un indice de la visibilité est pour nous l'usage ou le non usage de la forme générale comparé à celui des formes particulières comme le principe de conservation de l'énergie mécanique et/ou le théorème de l'énergie cinétique.

Q- Principe : Quelle forme particulière sera utilisée en mécanique : la conservation de l'énergie mécanique ou le théorème de l'énergie cinétique ? Pour le théorème de l'énergie cinétique, quel raisonnement sera utilisé, énergétique ou non énergétique ?

Nous prévoyons que la forme générale sera rarement utilisée mais nous voulons quand même examiner si elle est abordée. Une relation entre cette forme et les formes particulière est-elle effectuée ?

Pour la question des formes particulières de la conservation, nous allons examiner les réponses concernant l'exercice 1, qui peut faire intervenir le Principe général, la Conservation de l'énergie mécanique comme le Théorème de l'énergie cinétique. Cependant la question a) porte sur la Conservation de l'énergie mécanique, et pourrait ainsi introduire un biais en favorisant l'emploi de cette loi. Nous regardons également la nature des explications fournies pour justifier de la Conservation de l'énergie mécanique dans la question a).

Pour ce qui est de l'exercice 2, le Principe de conservation n'est ni évoqué ni demandé dans l'énoncé, et la résolution de l'exercice ne nécessite son usage que pour la dernière question d) sur le calcul des puissances. Il est donc intéressant de voir si les enseignants ont ou non recours à ce Principe et sous quelle forme : on peut écrire le Principe général de conservation de l'énergie ou bien avoir recours à une écriture en terme de Puissance. La dernière question suggère l'usage des puissances.

Nous examinons d'autre part le type de raisonnement (énergétique, non-énergétique ou mixte) dans les deux résolutions d'exercice et dans les commentaires qui les suivent.

II.5.2. Résultats

Apparition du PCE général

Question	Nombre de réponses	PCE est choisi	PCE à la position milieu	PCE en dernière position
A	9	9	7 (dont 3 experts)	2

Tableau 9. Effectif selon les réponses sur le Principe de conservation de l'énergie général (PCE) dans l'organisation des objets énergétiques

A une exception non significative près, le Principe de Conservation est toujours sélectionné parmi les objets à enseigner. Les enseignants lui donne une position centrale de manière générale, à part deux jeunes enseignants qui le placent à la fin. L'un de ces deux enseignants indique que le rôle du PCE (associé au rendement) est de «finalise[r] le travail (étude de cas concrets simplifiés)». Un des enseignants expert explique son choix : «Choix d'arriver le plus rapidement possible à la conservation d'un système non-isolé», ce qui est clairement conforme au programme de 1992 pour la question de la place du PCE. Cependant sa réponse complète indique qu'il n'envisage pas comme possible d'introduire le PCE tout de go. On pourrait interpréter cette réponse ainsi : il est nécessaire d'introduire diverses notions avant de pouvoir aborder le PCE. Ceci remet en question la pertinence de la seule liste pour percevoir la place donnée au PCE dans le cours. De plus les commentaires des questions A,B, ne donnent aucune autre indication quant au PCE, qui n'est jamais donnée parmi les notions difficiles à enseigner.

Question	Nombre de réponses	Apparition du PCE	Avec le nom
Ex.2	8	5 (dont 2 experts)	1

Tableau 10. Effectif selon l'apparition du PCE dans l'exercice 2

Dans l'exercice 2 l'équation de conservation apparaît 5 fois sur 8 réponses, mais le nom n'est utilisé qu'une seule fois, et un jeune enseignant utilise un schéma pour traduire la conservation de l'Energie. Ecrire la conservation, sans toutefois la nommer (seulement 1 fois sur 5), paraît donc importante aux enseignants dans la résolution de cet exercice. L'écriture de la conservation est donnée essentiellement en terme d'énergie, très peu sous la seule forme de la conservation de la puissance (1/5). Ceci semble engendrer quelques difficultés. En effet parmi les 5 enseignants qui traitent cette question, 3 (dont le seul expert qui essaie) ne pensent pas à utiliser la conservation pour le calcul des puissances, et ne peuvent aller au bout de l'exercice. 1 seul parmi eux n'avait pas écrit la conservation (ni énergie, ni puissance). Ces enseignants tentent tous de calculer directement les différentes puissances au lieu de déduire la puissance mécanique de la conservation. Il se pourrait donc que certains enseignants, y compris experts, ne sachent pas relier la Conservation de l'énergie et celle de la puissance!

Formes particulières du PCE

Question	Nombre de réponses	PCE	ThEc	PCEm
Ex. 1, Q. b	12	0	6(dont 2 experts)	6 (dont 1 expert)

Tableau 11. Effectif selon les réponses sur le calcul de la vitesse suivant le loi énergétique utilisé de l'exercice 2

Dans l'exercice 1 la forme générale du Principe de conservation n'apparaît jamais.

La moitié des enseignants, dont deux experts, résolvent le problème (question b) en utilisant le Théorème de l'énergie cinétique, et l'autre moitié la Conservation de l'énergie mécanique. L'utilisation de ces deux formes est donc à égalité. Aucune mise en relation entre le Principe générale et ces formes particulières n'est proposée, par contre un enseignant met en relation le Théorème et la Conservation de l'énergie Cinétique.

Repose sur	Travail	ThEc	Frottement	Force conservative ou non	Pas pertinent
Ex. 1, Q. a	3 (dont 2 experts)	1 (met en relation les deux lois)	3	2	3

Tableau 12. Effectif selon les réponses sur la Conservation de l'énergie mécanique de l'exercice 1

Pour ce qui est de la question a) de l'exercice 1 (justification de la conservation de l'énergie mécanique), l'explication sur la Conservation de l'énergie mécanique sont variables (tableau 12). Pour les enseignants qui utilisent le Théorème, le raisonnement est toujours non-énergétique lors de la résolution, et pour les autres enseignants, un seul s'appuie explicitement sur un raisonnement énergétique. Si l'on considère également les commentaires qui accompagnent cet exercice (questions communes 2 à 4), 5 réponses sont clairement non-énergétiques, 2 clairement énergétiques, 2 mixtes.

On peut examiner également ces mêmes commentaires pour l'exercice 2, mais les réponses sont peu nombreuses. Il est plus intéressant de voir si les enseignants gardent une cohérence dans l'ensemble de leurs réponses et se situent clairement dans un type de raisonnement ou un autre : un enseignant expert utilise résolument le raisonnement non-énergétique dans la résolution mais ses commentaires dénotent cependant toujours des préoccupations d'ordre énergétique. Deux jeunes enseignants sont clairement toujours en raisonnement énergétique en approche particulière. Pour les autres, nous ne remarquons aucune stabilité particulière, et l'interprétation est souvent ambiguë. Le raisonnement non-énergétique domine toutefois largement dans l'exercice 1, où les questions ne sont pas contraintes.

II.5.3. Conclusion

Nous pouvons en conclure qu'aucun enseignant n'adopte à aucun moment une AU, même si quelques uns manifestent des préoccupations dans ce sens, ne serait-ce qu'à cause de l'absence manifeste du Principe général de conservation dans les résolutions d'exercice. Ceci est toutefois conforme au programme de 2000 et aux manuels universitaires. Mais c'est également conforme au manuel de 1992, dans lequel le PCE, comme un certain nombre des O(e) emblématiques de l'AU, est sous-exploité dans les exercices.

En résumé, le PCE n'est pas visible dans sa forme générale dans la résolution de l'exercice. Malgré un biais favorisant a priori la loi particulière de conservation, l'usage du théorème de l'énergie cinétique est à égalité avec la loi particulière de conservation. Toutefois, le raisonnement non-énergétique domine très largement dans la pratique, malgré l'expression de quelques préoccupations orientées vers un raisonnement énergétique ou mixte. Il n'y a pas de

mises en relations entre le Principe général et la loi particulière. Il semblerait que la conservation de la Puissance puisse poser des difficultés aux enseignants, y compris experts.

II.6. Transformation de l'énergie

II.6.1. Rappel de l'hypothèse, méthode d'analyse

H - Transformation de l'énergie : Les enseignants (aussi bien jeunes qu'experts) du lycée ne distinguent pas les deux événements Transfert d'énergie et Transformation de l'énergie dans une situation énergétique qui la nécessite.

Nous avons examiné dans un premier temps les questions A,B sur les notions à enseigner : la Transformation est-elle sélectionnée et si oui, comment est elle située par rapport au Transfert. Les enseignants mentionnent ils des difficultés à ce sujet?

Dans un deuxième temps, nous avons recherché des manifestations de cet objet dans les résolutions des deux exercices et dans les commentaires associés. Nous avons considéré en particulier la question c de l'exercice 2, qui demande explicitement d'identifier les transformations énergétiques en jeu dans la situation physique proposée.

II.6.2. Résultats

Question	Nombre de réponses	TrA est choisi	TrA, TrE à la suite
A	9	7 (dont 3 experts)	4 (dont 1 experts)

Tableau 13. Effectif selon les réponses sur la Transformation de l'énergie (TrA) dans l'organisation des objets

La Transformation de l'énergie est sélectionnée 7 fois sur 9 réponses valides, et dans 4 cas la Transformation et le transfert sont traités à la suite.

Question	Nombre de réponses	Réponde à chaque question	Réponde à la TrA
Ex. 2	8	2	5

Tableau 14. Effectif selon les réponses sur la question de Transformation de l'énergie, exercice 2

Dans la résolution de l'exercice 2, peu d'enseignants (2/8) répondent à chaque question séparément et il n'y a que 8 réponses à cet exercice, et uniquement 5 réponses (3 explicites) à cette question (y a t'il un effet de lassitude?). Or nous avons besoin de réponses assez détaillées pour que s'expriment les difficultés quant à la transformation.

Les enseignants experts ne semblent pas confondre transfert et transformation, mais leurs réponses ne sont pas toujours très explicites, voire parfois ambiguës.

Pour ce qui est des jeunes enseignants, la situation est complexe à analyser : tous ceux qui réalisent un schéma (5) n'identifient pas les modes de transfert, et par conséquent les confusions possibles ne sont pas toujours très explicites. Leurs schémas portent des symboles désignant habituellement des formes d'énergie (E_m , E_e , ...) en place des symboles désignant les quantités d'énergie transférée/modes (W_e , Q , ...) utilisés par les 3 experts. Pour 2 d'entre eux, la conservation est écrite avec des symboles de formes d'énergie : un signifie clairement qu'il s'agit d'énergie transférée ($E_{\text{électrique consommée}} = E_{\text{mécanique fournie à l'arbre moteur}} + E_{\text{thermique dissipée par la résistance}}$), alors que pour le second c'est ambigu « $P_{\text{cinétique}} = P_{\text{fournit}} - P_{\text{joule}}$ », un terme se référant à la forme d'énergie, le suivant évoquant un calcul de rendement, le troisième au phénomène en jeu.

On voit émerger dans ce dernier exemple, une préoccupation (que l'on peut associer au calcul de rendement, non demandé ici) qui incite la presque totalité des enseignants (tous sauf 1 expert) à caractériser l'énergie par les termes : utile, utilisée, dissipée, perdue, consommée, fournie. Ces qualificatifs remplacent parfois le qualificatif de la forme d'énergie qui n'est alors pas identifiée. On arrive donc fréquemment (4/6) à des mélanges de genre comme dans l'exemple précédent ou encore pour cet enseignant expert : «fct de la perceuse. L'énergie électrique se transforme en énergie mécanique (utile) et en énergie «perdue» par pertes magnétiques et frottements $W_{em} = W_{méca} + W_{pertes}$ » où la forme de l'énergie «perdue» n'est pas mentionnée. Ceci est confirmé à la référence construite pour le manuel de 2001 (Nous n'avons pas mentionné le mélange entre énergie et puissance qui apparaît dans ce manuel : « Un générateur électrochimique convertit une énergie chimique P_{ch} en énergie électrique P_e » (Hachette, p.168)) dans l'analyse a priori.

Nous pouvons repérer clairement quelques ambiguïtés de nature polysémique : emploi des symboles W, Q qui désignent à la fois le mode du transfert et les quantités d'énergie transférées par ce mode. Ceci est traditionnel dans l'enseignement universitaire et se manifeste chez les 3 experts et quelques jeunes enseignants. Mais comme ceux-ci emploient plutôt les symboles habituellement réservés aux formes d'énergie, la polysémie se reporte sur ces notions : forme d'énergie / quantité d'énergie de cette forme transférée.

Nous avons pu également relever quelques indices d'ambiguïtés ou de confusions entre transfert et transformations chez les jeunes enseignants. Par exemple dans les commentaires sur l'exercice 1 : « pour expliquer le transfert $E_c \rightarrow E_p \rightarrow E_c \dots$ », associe le terme de transfert à un schéma de transformation où des flèches relient des formes d'énergie et non pas des systèmes. D'autre part, un enseignant qui a traité très clairement et très complètement l'exercice 2, indique pour la question des transferts : «1- Transfert énergétique du générateur au moteur (électrique \rightarrow électrique) ; 2- transfert énergétique de la résistance à l'air (électrique \rightarrow thermique) ; 3- transfert énergétique au sein du moteur : électrique \rightarrow mécanique». Il est difficile ici de savoir si le problème est dû à une confusion transfert/transformation ou si c'est dû à une difficulté à caractériser 2 systèmes dans ce dernier cas lorsque la perceuse tourne à vide. On note que les autres transferts sont identifiés avec les systèmes en jeu et associés aux formes d'énergie en jeu et à une transformation éventuelle. Les Transformations d'énergie sont très bien identifiées dans la question suivante. Comme tous les jeunes enseignants, il ne précise jamais le mode du transfert, et la conservation et le schéma n'indique que des formes d'énergie (quantités d'énergie transférées d'une forme donnée).

On observe là un contraste assez net, malgré le peu de données, entre les enseignants experts qui disposent tous d'une même référence, et les jeunes enseignants, comme ce dernier qui répond avec beaucoup de précision et de compétence (en physique) à ce questionnaire.

III. Conclusion

Il semble que la référence universitaire reste forte chez les quelques enseignants experts ayant répondu à ce questionnaire. Ceci se manifeste sur les schémas énergétiques d'une part (la Chaîne énergétique semble bien morte) et aussi par le recours spontané à des raisonnements non-énergétiques, en opposition avec le programme de 2000. C'est également vrai pour les jeunes enseignants. Cependant et contrairement aux enseignants experts, ces derniers semblent ne pas disposer de références, y compris universitaire, sur bien plus d'objets que nous ne l'avons envisagé : pour la notion de Transfert d'énergie, pour les schémas qui ne correspondent à aucun des schémas étudiés dans la partie C ; pour la pratique qui consiste à

mentionner systématiquement le mode caractérisant un transfert; et pour certains enseignants pour lesquels le terme «mode de transfert» est incompréhensible.

Les jeunes enseignants paraissent donc bien plus démunis encore que nous ne l'avions supposé. Cela se traduit par des variations par rapport aux résultats apportés par l'analyse écologique des manuels. Pour les jeunes enseignants, la polysémie des modes de transfert (observées chez les enseignants experts) se reporte sur les formes d'énergie. Pour tous les enseignants, la pratique de l'estimation de rendements semble fortement marquer les comportements, même lorsque la question n'est pas envisagée. Cela se traduit par des qualificatifs adaptés pour cette pratique mais qui viennent interférer de façon problématique avec d'autres registres de qualificatifs de l'énergie, comme les modes ou les formes d'énergie. Nous n'avons pas soulevé jusqu'ici cette multiplicité de registres qui permettent de caractériser les transactions énergétiques et qui semblent amener des confusions : le mode d'un transfert, la nature de l'énergie en jeu et les transformations, l'« utilité » d'un transfert (rendement), ...

Nous remarquons également que tous les enseignants consultés se situent très loin d'une Approche Universelle de l'Energie (les deux approches ne coexistent donc pas). Cela se traduit par la présence forte du Théorème de l'énergie cinétique et la prédominance des raisonnements non-énergétiques, par l'absence totale d'un recours spontané à un schéma énergétique et au Principe général de conservation de l'énergie pour décrire une situation physique du point de vue énergétique, ... Aucune influence du programme de 1992 ne s'exprime dans les réponses des enseignants experts lorsqu'il s'agit de résoudre un exercice. Quelques enseignants manifestent cependant dans leurs commentaires sur les notions à enseigner, quelques préoccupations en faveur d'une Approche Universelle de l'Energie :

« L'énergie une grandeur polymorphe, nomade, mais conservée. Je reviendrais sur ces 3 adjectifs si je proposais cet exercice [2] » (E2)

« des différentes formes d'énergie à la chaîne énergétique et au transfert d'énergie, on traite de concepts généraux = culture général. Puis on passe aux termes/fonctions plus physiques » (E10).

« choix d'arriver le plus rapidement possible à la conservation de l'énergie d'un système non-isolé [...] pour pouvoir ensuite l'appliquer à la plupart des systèmes, notamment en prévision du cours d'électricité » (E1)

A part l'enseignant E1 qui situe les notions à enseigner dans une perspective proche de celle du programme de 1992, les deux autres enseignants experts manifestent leur respect du programme dans leurs choix : « Commencer par le travail d'une force car c'est l'ordre du programme et l'ordre du manuel adopté par la classe. » (E2) - « progression qui s'impose avec l'esprit et le contenu du programme en vigueur depuis 2001 en 1er S » (E3) (les termes sont soulignés par l'enseignant).

A ce propos, cet enseignant commente le peu de succès obtenu auprès de ses collègues qu'il avait sollicités pour ce questionnaire : « Je me suis longuement interrogée sur le silence des enseignants de 1^{ère} S à votre questionnaire. Les programmes sont réellement ficelés avec trop de documents disponibles et tellement peu de latitude, que le questionnaire devient déconcertant. [...] L'enseignant ne répond pas au questionnaire car il ne voit pas l'intérêt de reprendre le fil conducteur que tout le monde suit (réflexions reçues des collègues de 1^{ère} S). Ces quelques réflexions sont là pour vous aider à comprendre l'attitude des enseignants et non pour mettre en cause la pertinence du questionnaire. »

CHAPITRE D.3

Une expérimentation en première année d'IUFM

Préparation à l'épreuve sur dossier du CAPES : un TD sur l'Énergie

Les études de la partie B ont permis de préciser le rapport institutionnel à l'Énergie dans différentes institutions. Sachant que le rapport personnel des enseignants avec l'Énergie se construit sous les contraintes des institutions dont ils ont été les sujets, nous mettons à l'épreuve les hypothèses de recherche dans un processus de formation.

Le chapitre précédent présente les résultats expérimentaux obtenus pour un questionnaire soumis à des enseignants français. Maintenant, nous voulons étudier directement l'action de des influences de ces rapports institutionnels. Nous avons conduit une expérimentation pour observer le processus de transformation du rapport personnel des enseignants aux objets énergétiques et les difficultés rencontrées lors de ce processus dans une formation d'enseignants. Cette formation est organisée autour des deux exercices du questionnaire de l'expérimentation précédente. Elle se déroule auprès d'étudiants sortant de l'université et qui préparent le CAPES de Sciences Physiques.

I. Méthodologie

I.1. Observation des groupes PLC1

Cette observation est un scénario expérimental de formation dans deux séances de préparation à l'épreuve sur dossier du concours du Certificat d'Aptitude au Professorat d'Enseignement Secondaire (CAPES) à l'Institut Universitaire de Formation des Maîtres (IUFM) de Grenoble. Nous avons observées *trois groupes de 15 étudiants* dans un travail dirigé sur l'Énergie les exercices du Questionnaire. Pour chaque séance, *un étudiant volontaire* (tableau 1) reçoit un dossier sur lequel il lui est demandé de préparer un exposé public. Le travail comprend deux parties, l'une portant sur le contenu des objets à enseigner que nous appelons de manière abrégé « *cours* », l'autre sur le corrigé *d'exercices* typiques de 1^{ère} S (figure 1). Précisons l'organisation expérimentale que nous avons choisie.

Le tableau 1 donne la répartition des étudiants suivant les groupes et les séances. A priori un seul étudiant expose dans chaque séance de chaque groupe. En réalité et à cause du temps de préparation, les deux parties de l'exposé pour la 2^e séance, sont traitées de manière indépendante par deux étudiants différents dans les groupes 1 et 2 ; l'étudiant a explique le contenu d'enseignement (question 1 du TD) et l'étudiant b résout les deux exercices.

Groupe	1 ^e séance	2 ^e séance
Groupe 1	étudiant 1.1	étudiants 1.2a et 1.2b
Groupe 2	étudiant 2.1	étudiants 2.2a et 2.2b
Groupe 3	étudiant 3.1	étudiant 3.2

Tableau 2. Répartition des étudiants selon les groupes et les séances

TD de préparation à l'oral du CAPES

Titre: Energie

Classe concernée: 1ère S

Documents: Deux exercices en annexe

Travail à effectuer:

1- En les situant dans le contexte des programmes de 1ère S, présenter les notions de bilan énergétique, de transformation et de transfert de l'énergie au niveau de la 1ère S.

Comment la conservation de l'énergie est-elle abordée en 1ère S ?

2- Rédiger un corrigé détaillé des deux exercices joints en annexe.

Pour chacun des exercices :

- préciser les objectifs et les pré-requis, en les mettant en relation avec les objectifs du programme. Quel usage feriez-vous de cet exercice dans le contexte de la 1ère S ?

- préciser les compétences testées, et dégagez les difficultés éventuellement rencontrées par les élèves.

- vous pourrez proposer éventuellement des modifications du texte en vue de son amélioration.

Exercice 1

Un pendule est constitué d'une petite sphère métallique M, suspendue à un support fixe par un fil fin, de longueur $l = 1\text{m}$. On écarte la sphère de sa position d'équilibre, d'un angle $\alpha_0 = 45^\circ$, puis on l'abandonne sans vitesse initiale.

a) L'énergie mécanique de M est-elle constante ? Pourquoi ?

b) Calculer la vitesse de S lorsqu'elle passe par sa position d'équilibre.

Exercice 2

Le moteur d'une perceuse a une résistance interne $r = 3,5\Omega$. Il est alimenté par un générateur. Lorsque le moteur fonctionne, la mèche tourne mais sans fover. L'intensité du courant est $I = 0,27\text{A}$ et la tension aux bornes de la perceuse est $U = 7,2\text{V}$.

a) Faire le bilan énergétique du moteur et le représenter par un schéma.

b) Quels sont les différents transferts énergétiques. Par quels modes de transfert se font-ils ?

c) Quelles transformations d'énergie se produisent lors du fonctionnement de la perceuse ?

d) Calculer les puissances mises en jeu.

Figure 1. Enoncé du TD de préparation à l'épreuve oral sur dossier du CAPES sur l'Energie, utilisé pour les deux séances observées (1ère année, IUFM de Grenoble)

I.2. Séances et méthode de recueil des données

Dans le déroulement habituel d'une séance de TD de préparation, l'étudiant volontaire expose pendant trente minutes puis il répond à des questions et reçoit une critique à propos de son travail et du sujet exposé. Cette partie, qui dure de 30 à 45 minutes, est menée par l'enseignant avec la participation active des autres étudiants.

Pour la préparation de son exposé, l'étudiant volontaire dispose du programme et de manuels divers (en général 1ère S 2000 et manuels universitaires). Nous faisons l'hypothèse qu'il prépare son exposé avec un rapport personnel proche du rapport institutionnel de l'Université (Approche particulière AP) mais cependant en référence avec le programme et les manuels du Lycée sur lesquels l'étudiant s'appuie habituellement dans ce style de travail. Nous espérons donc pouvoir observer des difficultés résultant du décalage entre ce rapport et ce qui est demandé dans l'enseignement de 1^{ère} S. Dans ses interventions, en particulier lors de la première séance, nous avons demandé au formateur de s'efforcer de rester neutre par rapport au savoir de l'Energie, de ne pas apporter de réponses ni d'explications; le formateur choisi alors de procéder en sollicitant et questionnant les étudiants, celui qui expose comme ses pairs.

Pour la deuxième séance, on propose aux étudiants de refaire le même TD mais avec l'aide d'un extrait du Document d'accompagnement du programme de 2000 (pp33-35). Il apporte le schéma présenté et analysé dans le chapitre C1 pour conduire des analyses énergétiques et faisant apparaître des éléments que nous avons appelés objets énergétiques. Ainsi ce document précise les choix et les attentes du Lycée vis-à-vis de la synthèse de l'Energie. Nous pouvons donc observer les effets de ce document sur le rapport personnel des étudiants avec l'Energie.

Nous avons effectué des enregistrements audio et vidéo des deux séances (exposés des étudiants volontaires, discussions avec leurs pairs et le formateur) et collecté les transparents

et les notes de préparation des exposés. Nous disposons donc ainsi de toutes les traces écrites, y compris sur le tableau (vidéo et notes).

Comme précédemment pour chaque hypothèse nous donnons un tableau regroupant les types de réponses avant de détailler les réponses obtenues. En particulier nous allons comparer les résultats des deux séances pour voir l'évolution du rapport personnel des étudiants avec l'Énergie.

II. Analyses des résultats

L'analyse est menée pour chaque objet, pour lequel nous considérons chacune des deux séances dans deux sites de nature différente, le cours et les exercices.

II.1. Chaîne énergétique

Aucun étudiant ne parle de la Chaîne énergétique dans les deux séances. Ce résultat est conforme à notre hypothèse : dans le programme la Chaîne n'existe pas.

II.2. Schéma énergétique

II.2.1. Rappel des hypothèses et questions de recherche

Les hypothèses et les questions posées sont dans le cas de ces questionnaires pour les enseignants français :

Hypothèse H – schéma énergétique : Les jeunes enseignants français ne disposent pas de schéma énergétique universel pour étudier une situation physique du point de vue de l'énergie.

Question Q- schéma énergétique : Si on propose aux jeunes enseignants le schéma énergétique recommandé par le document d'accompagnement 2000, perçoivent-ils ce schéma comme une aide pour enseigner l'Énergie, comme le laisse entendre cette recommandation ?

Dans le chapitre précédent, l'analyse montre que le schéma énergétique n'est pas utilisé ni par les enseignants expert, ni par les jeunes enseignants. Nous continuons d'examiner cet objet avec des étudiants de PLC1 étant considéré comme les jeunes enseignants en une condition particulière, c'est l'apparition du schéma énergétique dans un document fourni aux étudiants.

II.2.2. Cours

Question	Schéma énergétique		Autre	
	1 ^e séance	2 ^e séance	1 ^e séance	2 ^e séance
Cours	0	2	1	0

Tableau 2. Nombre de réponses obtenues à propos du Schéma énergétique (cours)

Dans la 1^e séance, comme aucune question posée sur la représentation schématique, un seul schéma apparaît (figure 2). L'étudiant E2.1 le fait comme une synthèse à la fin de son exposé sur le Bilan énergétique et le Transfert d'énergie. En fait, il explique les signes des quantités d'énergie (représentations algébriques ΔE) en de transfert sur le schéma, les transferts sont des flèches orientées.

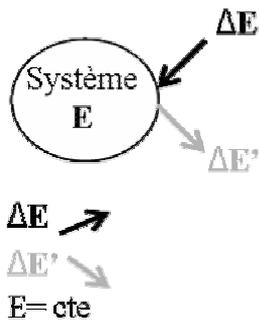


Figure 2. Schéma du résumé de cours fait par l'étudiant E2.1

Il dessine le schéma en le commentant :

« Pour conclure, [...] sur le bilan d'énergie et le transfert d'énergie. Quand on définit un système et puis on lui donne certaine valeur d'énergie, on l'appelle E [il désigne le système]. Et ce système, si on voit une variation sur l'énergie [il écrit $\Delta E \nearrow$ en bas]. En gros, c'est que l'énergie augmente. Et bien c'est que ce système a reçu une certaine d'énergie ΔE [il ajoute ΔE et \nearrow sur le système, en haut]. Alors si le $\Delta E'$ de ce système est négative [écrit $\Delta E' \searrow$ en bas], c'est que le système a fournit $\Delta E'$ [ajoute $\Delta E'$ et \searrow du système en haut]. Mais si le système est isolé finalement, l'énergie E est égale constante. » (E2.1).

Dans la 2e séance, nous observons trois comportements d'étudiants très différents vis à vis du document de son exploitation dans le cours. Deux étudiants insèrent le schéma énergétique proposé dans le Document d'accompagnement dans leur exposé.

- L'étudiant E1.2a utilise ce schéma de manière systématique pour expliquer les 6 situations physiques qu'il a choisies pour illustrer son cours sur le Transfert d'énergie et les modes de transfert (figure 3).

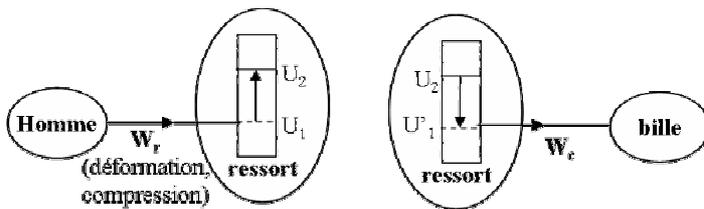


Figure 3. Exemple de schéma proposé par l'étudiant E1.2a dans son cours (2^e séance)

« Deuxième exemple, l'énergie est stockée dans un 1^e temps et ensuite elle est restitué par exemple un ressort de lanceur flipper. Dans un premier temps, au niveau de flipper on tire la tirette. En fait, on va comprimer le ressort, donc on va fournir un travail qui permet de déformer le ressort. En fait, on va donner de l'énergie au ressort, et cette déformation va travailler sur l'énergie interne, elle augmente. Ensuite, dans le 2^e temps de retirer, le ressort se détend. C'est le système qui fourni à la bille de plein de travail. Dans ce cas là, l'énergie interne du ressort va redescend, elle va diminuer donc elle fourni à l'extérieur. » (E1.2a)

- L'étudiant E3.2 explique le schéma à la fin de son exposé pour traiter le Bilan énergétique. Contrairement à l'étudiant E1.2a qui utilise le schéma comme un outil, il traite le schéma comme un objet à enseigner, qu'il présente avec ses règles d'usage, et dont il justifie l'utilité. Il l'expose à la fin du cours dans le paragraphe dédié au Bilan énergétique; il montre son utilité pour réaliser un Bilan énergétique et écrire la Conservation de l'énergie (PCE général).

« Je vais parler d'une proposition de graphique pour traiter le bilan énergétique de 1^{ère} S. [...] : il présente les règles]. L'énergie initiale du système plus l'énergie reçue moins l'énergie cédée est égale à l'énergie finale du système. Ce schéma là permet d'écrire l'équation de conservation de l'énergie totale. » (E3.2)

L'étudiant E2.2a, qui ne présente que la partie du cours, n'utilise pas du tout le schéma proposé, et déclare qu'il ne voit pas l'utilité du document fourni dans le cours, qu'il envisage plutôt comme un outil pour des exercices :

« Le document, je n'ai pas bien saisi en fait. Pour remettre dans le programme, je n'ai pas maîtrisé de m'en servir en fait. Parce que je trouvais que c'est assez compliqué quand même. Et par rapport au livre, on ne retrouve pas du tout les choses dedans. En fait, je n'ai pas trouvé le lien entre la question, le programme. Je pense que ça n'apporte pas grand chose par rapport à la dernière présentation [1^e séance], mais bon [...] Ce document, ça expliquait plutôt comment faire comprendre aux élèves avec plutôt des schémas que des calculs. Pour rentrer dans la présentation du programme, je n'ai pas réussi. » (E2.2a)

En fait on constate que cet étudiant prend la demande formulée dans le TD de manière très restreinte et formelle : il commence par situer la partie de cours dans le programme puis énonce oralement les définitions de chacun des objets demandés et en les situant dans le programme.

II.2.3. Exercice

Question	Schéma énergétique		Dispositifs mécanique/électrique	
	1 ^e séance	2 ^e séance	1 ^e séance	2 ^e séance
Exercice 1	0	3	3	3
Exercice 2	0	3	3	3

Tableau 3. Nombre de réponses obtenues à propos du Schéma énergétique (exercice 1 et 2)

1^e séance

Il n'y a aucun schéma énergétique dans les deux exercices. Par contre, il y a toujours un schéma du dispositif, mécanique ou électrique suivant l'exercice. Leur comportement semble proche du comportement spontané constaté chez les enseignants pour l'exercice 1 (chapitre D2). Mais pour l'exercice 2 où on demande explicitement de représenter le bilan énergétique, c'est surprenant car contrairement aux enseignants, ils sont soumis à un contrat didactique fortement contraint par la perspective du concours. Il se pourrait en fait que les schémas électriques tiennent lieu de réponse, comme semble l'indiquer un schéma proposé à la deuxième séance (figure 4). D'ailleurs certains étudiants commentent le bilan énergétique et la Conservation de l'énergie sur le schéma électrique (voir citation de E2.1 sur le Bilan, exercice 2).

2^e séance

On voit un changement important. A une exception près, les étudiants ajoutent aux schémas du dispositif, un schéma énergétique pour chaque exercice construit sur le modèle proposé par le document.

Nom utilisé pour les schémas : La plupart des étudiants désignent le schéma par le terme de schéma. Ils n'utilisent pas le terme de « Bilan énergétique » suggéré dans l'exercice 2. Un étudiant l'appelle « diagramme » (E1.2a) dans la partie de cours. Un étudiant (E2.2b) par contre propose un autre schéma sous le nom de « Bilan énergétique » (figure 4) à côté du schéma énergétique conforme au document fourni. Ce schéma associe la représentation classique du dispositif électrique avec les flèches de transfert traditionnelles des schémas thermodynamiques.

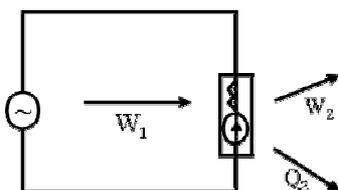


Figure 4. Schéma nommé « Bilan énergétique » (E2.2b)

Exercice 1

Les trois étudiants manifestent presque tous des difficultés dans l'exploitation de ce type de schéma pour cet exercice.

- L'étudiant E3.2 donne un seul schéma (figure 5) montrant peu d'information mais qui ressemble à celui que nous avons prévu dans l'analyse a priori.

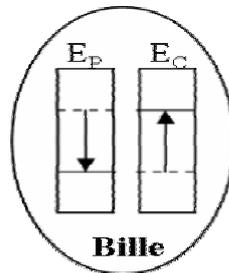


Figure 5. Schéma dessiné par l'étudiant E3.2

- L'étudiant E1.2b ne propose pas de schéma énergétique dans son exposé mais lorsque l'enseignant lui fait remarquer l'absence de schéma, il présente au tableau un schéma qu'il extrait de ses notes de préparation qu'il nous a ensuite données (figure 6). Il déclare avoir eu des difficultés pour placer l'énergie potentielle de pesanteur dans le schéma, ce qui s'exprime dans les deux schémas des notes.

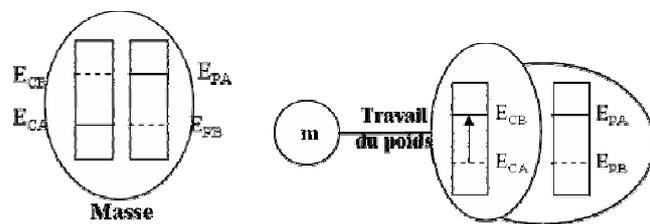


Figure 6. Schéma dessiné par l'étudiant E1.2b dans ses notes

Il y a effectivement un problème d'ordre conceptuel quant à la représentation graphique (liée à une difficulté conceptuelle sur l'énergie potentielle pour les interactions à distance) : faut-il ou non représenter la terre, faut-il une flèche de transfert (mode : travail), à quoi attribuer la quantité d'énergie cinétique «gagnée» (perdue) par le système?

En 2000, on attribue l'énergie potentielle au système étudié, et dans un cas comme celui-ci, on dit que la quantité d'énergie cinétique «gagnée» par la bille provient de la transformation d'une quantité d'énergie potentielle «perdue» par cette même bille : on dit que l'énergie mécanique de la bille est constante (système conservatif). Alors que l'on dit d'autre part que cette quantité d'énergie cinétique gagnée provient du travail mécanique de la force de pesanteur extérieure au système, due à l'interaction gravitationnelle entre la bille et la terre. Cette dernière assertion suggère de représenter une flèche de transfert W_p entre la bille et la terre. Par contre la première assertion suggère de dessiner la jauge de l'énergie potentielle à l'intérieur de l'ellipse qui représente le système-bille.

- L'étudiant E2.2b expose très bien cette difficulté (figure 7) :

« Le problème que j'ai eu c'est que vous me demandiez d'utiliser ce type de schéma. Et moi, j'ai commencé par essayer de voir le réel. J'ai le pendule là, et je mets l'air 2°, quelqu'un pour recevoir de l'énergie à un moment donné. Je ne sais pas quoi prendre. Au début, j'ai pris la Terre parce qu'il y a l'interaction entre le pendule et le Terre. Mais je me suis tombé sur la difficulté. Et puis, finalement comme l'énergie se conserve, ça veut dire que pas de travail, il n'y a pas de transfert d'énergie entre la Terre et le système. Alors que, s'il y a le travail du poids là, je me tombe sur la contradiction là. J'ai décidé qu'il ne faut pas prendre la Terre comme un objet extérieur et l'intérieur dans l'énergie

potentielle parce que l'énergie potentielle est toujours définie entre deux corps et je l'ai mis sur le pendule lui-même. Et ça [le pendule] c'est comme le système avec la Terre. » (E2.2b)

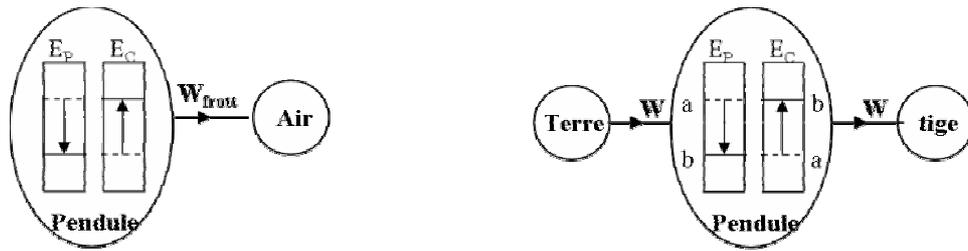


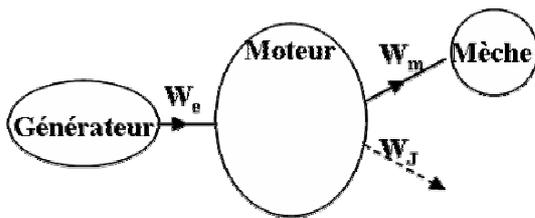
Figure 7. Schémas dessinés par l'étudiant E2.2b dans l'exposé (à gauche) et dans ses notes (à droite)

(Il fait une erreur dans son explication car il y a bien travail du poids, et donc a priori transfert). En réalité le discours (et la représentation schématique) en terme de Transfert d'énergie ne sont pas adaptés pour rendre compte de ce type d'interaction de manière satisfaisante. Les choix faits en 1992 posaient tout autant de difficultés. (La difficulté conceptuelle est contournée par une «pirouette» lorsqu'elle abordée dans l'enseignement universitaire).

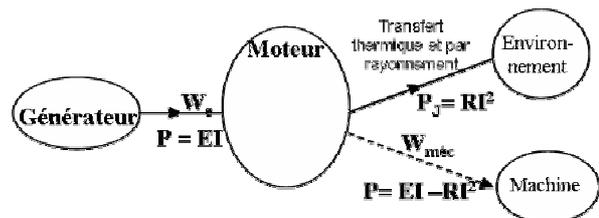
Cette difficulté majeure rencontrée avec force par ces deux étudiants met en jeu deux objets, l'énergie potentielle et le Transfert d'énergie, et fait émerger d'autres difficultés conceptuelles concernant la Conservation de l'énergie et le Travail (étudiant 2.2b).

Exercice 2

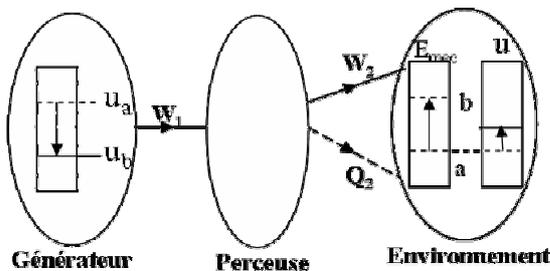
Pour cet exercice, les étudiants montrent plus d'assurance. Nous ne constatons pas de différences entre le schéma exposé et celui des notes. Cependant, ils varient d'un étudiant à l'autre. Le Transfert d'énergie est toujours présent mais pas la variation de l'énergie dans la «bulle» du système étudié. En particulier l'étudiant E2.2b (figure 8) montre la variation d'énergie du générateur et de l'environnement, mais pas du système-perceuse. Ce schéma fait penser à la chaîne énergétique de type «à maillons multiples» car (presque) tous les systèmes apparaissant sont étudiés.



Etudiant E1.2b



Etudiant E3.2



Etudiant E2.2b

Figure 8. Schémas dessinés par des étudiants de différents groupes pour l'exercice 2 (2e séance)

II.2.4. Conclusion

H- schéma énergétique : la première séance semble effectivement montrer une absence de référence en matière de représentation graphique de l'Energie. Les schémas des dispositifs, typiques du domaine de la physique concerné et de ses pratiques, occupent spontanément toujours une place importante, voire la première place. Le fait que le schéma électrique puisse tenir lieu de schéma énergétique pose question. Lorsque plusieurs étudiants superposent des informations énergétiques avec le schéma du dispositif électrique (oralement ou graphiquement), est peut être à rapprocher d'un comportement similaire de quelques enseignants de Lycée dans le cas du pendule simple. On peut s'interroger sur un besoin éventuel d'établir un lien entre les objets concrets représentés sur un schéma de dispositif familier avec les grandeurs abstraites qui caractérisent l'Energie.

Q- schéma énergétique : à travers l'utilisation des schémas dans les exposés des étudiants, il semble que le document fourni, avec ses règles de construction de schéma, aide les étudiants à comprendre et à expliquer le contenu d'enseignement ainsi que les exercices. Nous en verrons des traces lors de l'analyse des autres O(e).

« Moi déjà, j'ai bien compris. C'est plus clair. Pour moi, l'histoire de l'énergie est abstraite. Et ça permet d'effacer des abstraits. Je pense que c'est important pour l'élève » (E1.2b)

Cependant l'utilisation de la représentation graphique proposée se heurte très vivement à une difficulté d'ordre conceptuelle de haut vol, lorsqu'on l'applique à une situation mécanique des plus courantes. Il semble qu'aucune des représentations proposées dans les ouvrages étudiés (avec leurs règles d'usage) ne permette de se tirer aisément de cette difficulté. Etre confronté à une telle difficulté pourrait bien inciter un enseignant à juger cet outil graphique comme non utilisable.

II.3. Transfert d'énergie

II.3.1. Rappel des hypothèses et questions de recherche, des résultats de l'analyse écologique et mise en perspective avec le questionnaire

H – Transfert d'énergie : L'usage du Transfert d'énergie et des modes de transfert n'est pas problématique pour les enseignants. Mais les jeunes enseignants ne perçoivent pas l'utilité pour les élèves d'une Approche Universelle de ces objets, et ils ne font pas usage de la notion de Mode de transfert.

Q - Transfert d'énergie : Est-ce que les termes de « transfert » et de « mode de transfert » sont présents dans les réponses des enseignants ? Y a t-il une différence entre les jeunes enseignants et les enseignants experts ?

Nous avons donc recherché pour cette question les points suivants :

- Dans la question A, quels sont les modes sélectionnés? Comment sont ils associés entre eux et avec le transfert?
- Les termes «mode» et «transfert» apparaissent ils dans les exercices et les questions associées?
- Comment les objets Transfert, modes de Transfert et Mode apparaissent ils et sont ils associés dans la résolution des exercices et les questions associées.

II.3.2. Cours

Question	TrE est présent		Sans définition		Définition avec trois modes	
	1 ^e séance	2 ^e séance	1 ^e séance	2 ^e séance	1 ^e séance	2 ^e séance
Ex1, Q.b	3	3	2	1	1	2

Tableau 4. Nombre de réponses obtenues à propos du Transfert d'énergie (TrE) (cours)

Première séance

- Deux étudiants (E1.1, E2.1) se contentent de situer les différents modes de Transfert d'énergie dans le programme, en reprenant les termes exacts du programme. Ils ne construisent pas l'objet Transfert. On ne peut donc pas voir leur rapport personnel à l'objet Transfert, aux modes de transfert, à la catégorie Mode de transfert.

- L'étudiant E3.1 organise les notions d'une manière non conforme au programme de 2000. Il partage son cours en trois parties : Bilan, Transformation et Transfert. Dans le transfert, il distingue le stockage du Transfert d'énergie, puis présente les trois modes simultanément :

« L'énergie peut être stockée dans un système mais on peut aussi transférer cette énergie. Et les modes de transfert : par le travail des forces, par le transfert thermique et par rayonnement. » (E3.1)

Deuxième séance

- L'étudiant E3.2 reste très proche de la présentation de son camarade du même groupe E3.1 en ce qui concerne le Transfert.

- Les étudiants E1.2a et E2.2a suivent précisément l'organisation du programme et donnent un exemple pour illustrer chaque mode de transfert. E1.2a utilise systématiquement le schéma proposé pour expliquer chaque exemple. E2.2a tente de donner du Transfert d'énergie une explication autonome à partir de chacun des modes de transfert et des phénomènes énergétiques associés.

« En ce qui concerne le transfert d'énergie, c'est quasiment un chapitre dans le programme. [...] il situe le chapitre dans le programme] Donc, comment il s'exprime [le transfert]? [...] tout ce qui concerne le transfert de l'énergie vient de la grandeur qui est tout le temps le travail et l'énergie. Ça parle des forces qui travaillent, elles peuvent faire varier l'énergie cinétique et l'énergie potentielle du système. Après, il y a l'énergie interne qui est également abordé dans cette partie. Sinon, il y a un petit paragraphe sur le transfert thermique. Donc, là, c'est expliqué ce qu'est le transfert thermique entre 2 corps qui sont de températures différentes. Donc, si qu'on les met en contact, le corps chaud, il va donner la chaleur au corps froid. Et également, le transfert est abordé avec le rayonnement. Donc, en expliquant un corps qui rayonne, il va émettre des rayons électromagnétiques qui va transporter de l'énergie. » (E2.2a)

II.3.3. Exercices

Exercice 1

Le phénomène de Transfert n'apparaît jamais dans les réponses.

Exercice 2

Nous constatons que les termes de « transfert d'énergie » et « modes de transfert » n'apparaissent que dans la discussion, pas dans les exposés (sauf une fois, « transfert d'énergie » pour E3.2).

Question	Mode est absent		Mode dans schéma	
	1 ^e séance	2 ^e séance	1 ^e séance	2 ^e séance
Ex2, Q.b	2	1	1	2

Tableau 5. Nombre de réponses obtenues à propos du Transfert d'énergie et de modes de transfert (exercice 2)

Dans la première séance

- On retrouve chez certains étudiants (E1.1 et E3.1) comme chez les jeunes enseignants, des descriptions de Transferts d'énergie sans identification du mode de transfert.
- Concernant la question de TD sur les modes de transfert, l'étudiant E2.1 exprime dans son exposé, une difficulté de compréhension du terme de «mode de transfert», déjà manifestée par les jeunes enseignants dans les questionnaires (chapitre D2) :

« Ici, c'est un peu difficile à comprendre. Quels sont les différents transferts d'énergie. Alors, je comprends que l'on prend l'énergie sur le secteur et on récupère à la perceuse. Comme ça tout ce que je perçois. Mais après, par quel mode de transfert? Je préfère qu'on parle : est-ce qu'il y a la transformation électrique en mécanique, chimique – électrique. Alors, est-ce que c'est ça, je ne sais pas bien mais je me posais la question. » (E2.1)

Les trois étudiants montrent que les transferts sont associés à la Puissance, contrairement à ce qui a été observé pour quelques enseignants (chapitre D2). Ceci conduit un étudiant (E) à interpellé ainsi celui qui expose :

« E : Il y a plusieurs façons de *transfert de puissance* ?

E2.1 : Alors oui, plusieurs façons. Tu peux le transférer soit mécaniquement, soit électriquement. Je peux faire une conversion mécanique- électrique, c'est un moteur ; électrique- mécanique, c'est ton aspirateur ; et puis chimique- électrique, une pile. Et là, c'est mécanique –électrique. Je prends l'électricité, j'ai la mécanique à la perceuse. »

L'explication donnée évoque le travail mécanique et électrique, mais sans utiliser le terme de travail; elle glisse ensuite vers la Transformation de l'énergie, hors de la notion de Transfert.

Dans la deuxième séance, on peut observer un effet possible de la lecture du document d'accompagnement qui explique la raison d'être des objets emblématiques de l'Approche Universelle : le Transfert d'énergie est bien décrit par les étudiants dans les exercices et ils s'efforcent d'identifier les modes de transferts en jeu.

« Le transfert du générateur sur le moteur, le travail du générateur sur le moteur est égale $U_i \Delta t$, c'est un travail électrique. Le travail de l'extérieur sur le moteur est en fait négatif parce que l'extérieur reçoit le travail. Donc le moteur fournit le travail « $-e' i \Delta t$ », c'est « $-W_2$ », c'est un travail mécanique. Ensuite, la chaleur, le transfert d'énergie de l'extérieur vers le moteur de la perceuse électrique est égale « $-r_i^2 \Delta t$ », c'est un transfert thermique. » (E2.2b)

Il subsiste cependant une réponse dans la question sur les modes de transfert, sans modes de transfert :

« [Il explique que le schéma de la question a suffit à tout expliquer et que les autres questions lui paraissent inutiles] Pour la question « quels sont les différents transfert d'énergie », on voit entre le générateur et le moteur, il y a le transfert par l'énergie électrique; du moteur à la meche, l'énergie mécanique. Et il y a le transfert de l'énergie thermique, c'est-à-dire faite par effet Joule à partir de la résistance interne du moteur. » (Etudiant 1.2b)

Cette description correspond aux schémas énergétiques des jeunes enseignants, qui associent les flèches du transfert aux formes d'énergie. Cependant cet étudiant reporte bien les symboles des modes de transferts sur le schéma, mais sans jamais parler de travail, de transfert, des modes, ...

II.3.4. Transfert et modes de transfert dans les schémas énergétiques

Dans la deuxième séance on compte 8 sites comportant des schémas énergétiques : 2 étudiants proposent des schémas dans le cours et les trois étudiants réalisent un schéma pour chacun des exercices. Le Transfert d'énergie est dessiné 6 fois sur 8. Les deux cas manquant sont pour le schéma de l'exercice 1 à cause des difficultés liées à l'énergie potentielle : nous avons vu

dans l'analyse a priori que ce type de représentation peut de manière tout à fait officielle, ne pas montrer les transferts. Les symboles des modes de transferts sont toujours indiqués.

Pour l'exercice 2, dans la première séance seule la puissance apparaît sur les schéma (exercice 2), qui comme nous l'avons vu précédemment (D2) concurrence les modes de transfert. Par contre dans la deuxième séance sous l'effet du document fourni, la notion de Puissance disparaît des schémas au profit du Travail et de la Chaleur (symboles et expression orale) qui sont présentés comme des modes de transfert d'énergie.

Par contre la préoccupation relevée précédemment pour les enseignants et concernant l'usage d'un vocabulaire relatif au calcul de rendement (énergie utile, inutile) ressort pour un des étudiants à propos du schéma énergétique de l'exercice 2 (voir citation E1.2b pour le bilan).

II.3.5. Conclusion

Nous constatons que dans le cours le Transfert d'énergie et les modes de transfert sont précisément définis parce que les étudiants s'appuient largement sur les manuels et le programme. Par contre leur utilisation dans les exercices n'est pas spontanée comme on l'a vu pour les jeunes enseignants. Cependant nous venons de voir que le transfert est problématique dans un schéma énergétique pour l'exercice 1 et que la puissance concurrence à juste titre les modes de transfert pour l'exercice 2.

II.4. Bilan énergétique

II.4.1. Rappel de l'hypothèse, méthode d'analyse

H – Bilan énergétique : Le bilan énergétique proposé par les jeunes enseignants sera moins riche, en nombre d'objets énergétiques et de relations, que celui attendu au Lycée.

Les informations pour caractériser la vie du Bilan dans les réponses recueillies sont :

- Existence et type de schéma énergétique utilisé pour chacun des exercices. Nombre des O(e) intervenant dans le schéma.
- Combien d'O(e) interviennent dans la réponse à la question a) de l'exercice 2 sur le Bilan.

II.4.2. Cours et exercice 1

Le Bilan est toujours pris en compte dans le cours par les étudiants, de manière conforme au programme. Pour ce qui est de l'exercice 1, il n'y a aucune référence au bilan énergétique dans les deux séances. Les schémas présentés dans la deuxième séance ne sont pas commentés, ou bien sont commentés en terme des difficultés rencontrées pour le construire (voir II.2).

II.4.3. Exercice 2

Question	Bilan + schéma		BL sans schéma	
	1 ^e séance	2 ^e séance	1 ^e séance	2 ^e séance
Exercice 2	0	3	3	0

Tableau 6. Nombre de réponses obtenues à propos du Bilan énergétique (BL) (exercice 2)

Exercice	E1.2b		E2.2b		E3.2	
	1 ^e séance	2 ^e séance	1 ^e séance	2 ^e séance	1 ^e séance	2 ^e séance
Nombre des objets	2	4	2	4	5	4

Tableau 7. Nombre des objets intervenant dans les réponses obtenues à propos du Bilan énergétique (BL) (exercice 2)

Dans la première séance, nous avons vu que les étudiants abordent le Bilan sans l'appui d'un schéma énergétique et le nombre des objets intervenant dans les réponses est variable. Les étudiants E1.1 et E3.1 ne donnent que l'expression algébrique de chaque puissance en jeu et l'équation de conservation de la puissance.

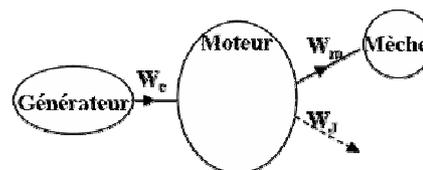
« Ici on fait le bilan de puissance au lieu de bilan d'énergie car en électricité, quand on parle d'énergie, on passe à la puissance, c'est l'énergie par le temps » (E3.1)

Par contre l'étudiant E2.1 commente le schéma électrique et l'équation de conservation et met en relation 5 O(e) :

« Moi, j'aimerais qu'ils sachent que la puissance électrique qui est fournie au système, c'est à dire le moteur correspond à la puissance qu'on appelle mécanique ici, ou chimique on va voir, plus une certaine puissance Joule qui est dissipée [il écrit : $P_e = P_m + P_j$]. En gros, c'est à dire quoi ? Ce que j'aimerais qu'ils comprennent à cette question là, c'est que quand je suis en générateur, je reçois et j'ai réussi à tout transformer sous forme d'énergie mécanique et une partie de cette énergie là va se dissiper à cause de la résistance. C'est pour ça qu'on schématise souvent la perceuse par un moteur avec une résistance. C'est à dire que quand j'apporte une certaine énergie au système, une partie de l'énergie sera disponible pour se transformer en énergie mécanique et une partie sera perdue par effet Joule. Donc ce que je voudrais c'est qu'ils arrivent à aborder cette équation que j'attends et puis arrivent à comprendre. » (E2.1)

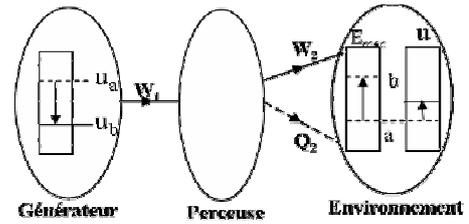
Dans la deuxième séance, les étudiants expliquent toujours oralement le bilan énergétique en dessinant le schéma proposé. Dans la réponse des étudiants, on retrouve les transferts d'énergie et les transformations de l'énergie mis en jeu dans le processus du fonctionnement de la perceuse. La présence du schéma suscite un discours abondant dans lequel les étudiants mettent en relation 4 O(e).

« Des élèves peuvent utiliser ce schéma. On a un générateur et un moteur. Donc, du générateur au moteur, il faut que l'élève comprenne qu'on aura une énergie, c'est l'énergie électrique utile. C'est à dire que le moteur va directement utiliser cette énergie pour pouvoir fonctionner. Et donc, l'énergie électrique utile va être le quitte. En fait, pour que l'élève voie la différence entre « utile » et « inutile », je vais instituer en deux flèches. Les énergies utiles sont indiquées en trait plein et des énergies inutiles sont indiquées en pointé. Donc, là, entre le générateur et moteur,



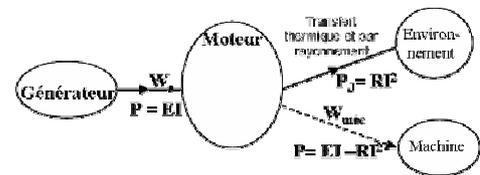
c'est une énergie utile, on peut la présenter comme ça [il écrit W_e]. Ensuite, le moteur va transformer cette énergie électrique en énergie mécanique. L'énergie mécanique est une énergie utile. Donc, on peut symboliser cela en trait plein vers la mèche en fait. C'est cette énergie mécanique qui va faire tourner la mèche. Donc, c'est une énergie utile. Mais également, il va avoir une énergie inutile, c'est l'effet Joule en fait du à la résistance en terme du moteur. Je le présente comme ça [il écrit W_j] donc, l'énergie perdue par l'effet Joule pour bien montrer que c'est une énergie qui est inutile parce qu'il est perdu. Mais c'est quasi dissipé en fait par le fait de la résistance du moteur. Donc, le bilan énergétique c'est que l'énergie électrique est égale à l'énergie mécanique plus l'énergie perdue par l'effet Joule. [il écrit $W_e = W_m + W_j$] » (E1.2b)

« On prend ensemble, tout, comme un système isolé. On distingue 3 sous-systèmes qui sont le générateur, la perceuse et l'environnement. Par exemple, pour le générateur, comme il fournit de l'électricité, c'est que son énergie interne va diminuer de U_a vers U_b , il va fournir en diminuant son énergie un certain travail. Et on ne représente rien dans le système de perceuse parce qu'on suppose que ce qu'elle reçoit est égale à ce qu'elle va



fournir. Donc, l'énergie de la perceuse va rester constante et donc elle va fournir un travail mécanique donc l'énergie mécanique de l'environnement va augmenter si on considère que l'énergie de la vis ou de quelque chose qui serait entraîné ailleurs, comme le système de la perceuse a produit un certain échauffement, l'énergie interne de l'environnement va aussi augmenter..... En terme d'équation, ça s'applique facilement. Pour le premier échange au niveau du générateur, on peut poser que l'énergie initiale U_a plus la variation de l'énergie « $-W_1$ », le travail mécanique fournit, va être égale à U_b . Pour ce qui concerne la perceuse, énergie initiale E_a plus le travail qu'elle reçoit du générateur « W_1 » moins ce qu'elle donne à l'environnement « W_2 » et moins Q_2 , on obtient l'énergie finale E_b qui est égale à l'énergie E_a parce que la perceuse ne change pas d'énergie. Et donc, de là, on déduit que le travail reçu par la perceuse est égal au travail qu'elle fournit plus la chaleur qu'elle émet. » (E2.2b)

« Je vais résumer sur ce schéma. Le transfert d'énergie du générateur au moteur est associé au transfert de l'énergie électrique, on écrit W_e . A l'environnement, le moteur va céder de l'énergie par rayonnement, c'est le transfert thermique. Et puis le moteur fournit à la machine l'énergie sous forme de travail mécanique. Voilà. Calcul des puissances [...]. » (E3.2)



II.4.4. Conclusion

Le Bilan énergétique est toujours visible dans le cours. Dans l'exercice 1, il n'apparaît pas, dans l'exercice 2 où il est demandé, son nom apparaît dans deux sur six exposés.

Dans la deuxième séance, le schéma proposé suscite un discours important autour du Bilan pour l'exercice 2, qui prend donc un statut plus important. Cependant, on constate que par comparaison avec l'étudiant qui avait pris la peine de commenter abondamment cette question à la première séance et sans le support d'un schéma énergétique, la richesse du discours n'est pas plus importante, en particulier en terme du nombre d'O(e) pris en compte. Le schéma aurait donc plutôt une fonction de catalyseur auprès de l'enseignant.

Exercice	E1.2b		E2.2b		E3.2	
	Exercice 1	Exercice 2	Exercice 1	Exercice 2	Exercice 1	Exercice 2
Nombre des objets	1	2	4	3	2	3

Tableau 8. Nombre des objets apparaissant dans les Schémas énergétiques dans deux exercices (séance 2)

II.5. Principe de conservation de l'énergie

II.5.1. Cours

Question	PCE		ThEc		PCEm		Aucune	
	1 ^e séance	2 ^e séance	1 ^e séance	2 ^e séance	1 ^e séance	2 ^e séance	1e	2e
Cours	1	3	2	2	2	0	1	0

Tableau 9. Nombre de réponses obtenues à propos des lois énergétiques (cours) : Principe de conservation de l'énergie général (PCE), Théorème de l'énergie cinétique (ThEc) ; Conservation de l'énergie mécanique (PCEm)

La question posée sur la Conservation de l'énergie se réfère au programme de 1ère S de 2000. Si les étudiants respectent le contrat, ils doivent a priori extraire du programme toute information concernant la Conservation de l'énergie. La seule question que nous pouvons examiner est «comment les étudiants extraient, comprennent et synthétisent l'information contenue dans le programme?».

Dans la première séance, un étudiant (E2.1) n'aborde pas les lois concernant la Conservation de l'énergie.

- Le Principe général est présent seulement dans un exposé. Dans la présentation des notions demandées, l'étudiant E1.1 extrait des citations des commentaires du programme en relation avec la notion générale de l'énergie et avec la loi générale de conservation.

« Energie = Grandeur fondamentale dont la conservation constitue une des lois les plus générales de la physique » (E1.1)

- Le Théorème de l'énergie cinétique apparaît dans deux exposés (E1.1 et E3.1) conformément au programme. En particulier l'étudiant 3.1 associe le Théorème et la Conservation de l'énergie mécanique pour expliquer la Transformation de l'énergie.

« On regarde toujours du théorème de l'énergie cinétique, on aura que la somme de l'énergie cinétique et l'énergie potentielle est conservée. Si on a l'énergie cinétique qui augmente, on a toujours que l'énergie potentielle diminue. On peut le présenter d'autrement : la transformation d'énergie en énergie. » (E3.1)

C'est aussi le seul étudiant à présenter la Conservation de l'énergie mécanique en partant du Bilan énergétique d'un système soumis à son seul poids, conformément au programme.

Dans la deuxième séance, tous les étudiants abordent le PCE général, et comme précédemment ils suivent de très près l'organisation du programme. Cependant, ils ajoutent tous quelques éléments complémentaires à propos du PCE, soit dans les contenus, soit sous forme de commentaire.

Comme on l'a vu précédemment, l'étudiant E3.2 juxtapose l'énoncé du PCE général avec un enseignement formel du schéma proposé. Par contre l'étudiant E1.2a se sert de la Conservation de l'énergie générale pour introduire le Bilan énergétique ce qu'il illustre d'un exemple exploitant le schéma proposé.

« En fait, pour un système, normalement, on définit son énergie, c'est à dire la somme de l'énergie cinétique, l'énergie potentielle et l'énergie interne. On dit qu'un système est isolé s'il ne reçoit pas ou s'il ne cède pas de l'énergie à l'extérieur. Dans ce cas là, la variation de l'énergie est nulle. Et dans le cas inverse où la variation de l'énergie n'est pas nulle, c'est à dire que le système va céder ou augmenter l'énergie. [...] Et à partir de là on peut faire le bilan énergétique en disant que la variation de l'énergie est nulle si on a que la somme de l'énergie initiale et de l'énergie reçue moins l'énergie cédée est égale à l'énergie finale » (E1.2a)

L'étudiant E2.2a, tout en respectant le programme à la lettre, commente la faiblesse du PCE dans ce programme dans son exposé :

« Il n'y a pas beaucoup de choses qui sont vues. Juste à la fin de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle de pesanteur, on leur parle donc de l'énergie mécanique qui est la somme de l'énergie cinétique et l'énergie potentielle de pesanteur et en disant qu'elle se conserve quand toutes les forces extérieures autres que le poids ne travaillent pas. C'est vrai que la notion de conservation d'énergie n'est pas beaucoup abordée, je n'ai pas beaucoup vue dans le programme. » (E2.2a)

C'est le seul étudiant qui évoque la Conservation de l'énergie mécanique. La conservation de l'énergie mécanique n'apparaît explicitement dans aucun cours. Le Théorème de l'énergie cinétique est présent dans deux exposés sans énoncé, seulement par son équation.

II.5.2. Exercices

Question	PCE		ThEc		PCEm	
	1 ^e séance	2 ^e séance	1 ^e séance	2 ^e séance	1 ^e séance	2 ^e séance
Ex1, Q.b	0	0	2	1	1	2

Tableau 10. Nombre de réponses obtenues à propos du calcul de la vitesse suivant les lois énergétiques utilisées (exercice 1)

Aucun étudiant n'utilise le principe général pour résoudre cet exercice. Dans la première séance, deux étudiants utilisent le Théorème de l'énergie cinétique et un la Conservation de l'énergie mécanique; c'est l'inverse dans la deuxième séance. Le raisonnement énergétique n'apparaît jamais en dehors des discussions autour du schéma : la phase de résolution (question b) est toujours restreinte à une écriture des équations pour déduire l'expression algébrique de la vitesse, sans commentaires de type énergétique. Le schéma énergétique, rejeté à la fin de l'exercice, aurait peut-être pu susciter un raisonnement énergétique un peu élaboré si les étudiants ne s'étaient pas heurtés à un obstacle majeur.

Dans l'exercice 2 l'expression algébrique de la Conservation de l'énergie apparaît toujours, parfois avec le nom («conservation de l'énergie»). Dans la première séance, il s'agit toujours de la conservation de la puissance qui intervient dans la question du Bilan et pour le calcul des puissances, de façon cohérente. Le raisonnement n'est explicitement énergétique que dans un cas (E2.1). Dans la seconde séance, deux étudiants écrivent la conservation dans la question sur le Bilan, sous la forme des quantités d'énergies transférées ($W1 = W2 + Q2$ à la manière de la thermodynamique). Au moment de calculer les puissances, ils écrivent l'équation de conservation de la puissance. Le troisième étudiant écrit toute la résolution de l'exercice autour du schéma (figure 8) : il y reporte les puissances (en place des quantités d'énergie transférées) et les expressions algébriques qui permettent de les quantifier, dont une est déduite de l'équation de conservation de la puissance. Le raisonnement énergétique apparaît très nettement dans la question a) dans tous les cas.

II.5.3. Conclusion

Pour la partie de cours, les étudiants suivent le programme à la lettre, dans lequel le PCE général est peu visible, conformément à la question qui leur est posée. Dans la deuxième séance, le PCE prend plus d'importance car les étudiants utilisent le schéma pour expliquer le bilan en s'appuyant sur l'équation algébrique du PCE général. Le Théorème de l'énergie cinétique est assez présent, mais c'est la Conservation de l'énergie mécanique qui disparaît en faveur du PCE dans le cours. Par contre dans les exercices, on ne retrouve que le Théorème et la Conservation de l'énergie mécanique qui sont utilisés à égalité, et il n'y a pas de mise en relation entre les lois particulières et le PCE, tout comme dans les questionnaires des enseignants.

Comme nous l'avons dit pour le Bilan énergétique, le schéma, lorsqu'il est exploitable, stimule la richesse du discours autour de l'Energie, de sa conservation et donc le développement d'un raisonnement énergétique. Ceci est particulièrement vrai dans les exercices. Contrairement aux enseignants interrogés, ces étudiants n'ont aucune difficulté pour passer de la Conservation de l'énergie à celle de la Puissance.

II.6. Transformation de l'énergie

Le contrat impose aux étudiants de présenter cette notion qui n'est pas un objet d'enseignement du programme et nous avons vu qu'elle n'est jamais clairement définie ni dans le programme, ni dans les manuels scolaires ou universitaires. La demande du TD augmente la visibilité de la Transformation, lui donnant une place qu'elle ne possède pas habituellement. Les étudiants ne peuvent pas s'appuyer sur les rapports institutionnels pour cela. Contrairement aux autres notions demandées dans le TD, le rapport personnel des étudiants est le principal rapport au savoir en jeu ici pour présenter la notion.

II.6.1. Cours

Question	Objet d'enseignement		Outil		Absent	
	1 ^e séance	2 ^e séance	1 ^e séance	2 ^e séance	1 ^e séance	2 ^e séance
Cours	1	1	1	0	1	2

Tableau 11. Nombre de réponses obtenues à propos de la Transformation de l'énergie (cours)

La Transformation de l'énergie n'apparaît explicitement que dans deux exposés, un par séance.

Dans la première séance l'étudiant 3.1 le présente comme un des objets à définir en basant sur la Conservation de l'énergie. Pour expliquer cet événement, il exprime le Théorème de l'énergie cinétique pour déduire à la Conservation de l'énergie mécanique où se passe une Transformation de l'énergie.

« On regarde toujours du Théorème de l'énergie cinétique, on aura que la somme de l'énergie cinétique et l'énergie potentielle est conservée. Si on a l'énergie cinétique qui augmente, on a toujours que l'énergie potentielle diminue. On peut le présente d'autrement : la transformation d'énergie en énergie. » (E3.1)

Dans la deuxième séance, l'étudiant 2.2a l'explique à travers des situations électriques où la Transformation de l'énergie apparaît avec le Transfert.

« Je commence par la transformation de l'énergie. Ca on le voit dans la 3^e partie (*Electrodynamique*) là, avec des récepteurs et des générateurs. Donc, on dit que le récepteur, il reçoit l'énergie électrique, qui se transforme en énergie autre que l'énergie électrique. Par exemple la résistance, elle reçoit l'énergie électrique et la transforme en énergie thermique ou énergie rayonnante. Ou un électrolyseur qui reçoit l'énergie électrique et la transforme en énergie chimique. Et sinon, avec les générateurs, qui reçoivent une autre énergie et qui la transforme en énergie électrique. » (E2.2a)

II.6.2. Exercice 2

De manière similaire à ce qui est observé dans l'enquête avec les enseignants français, peu d'étudiants (1 seul pour chaque séance) donne une réponse séparée pour chaque question; les autres étudiants traitent simultanément les questions sur le Transfert et la Transformation, de manière plus ou moins rapide.

- L'étudiant E2.1 semble avoir du mal à dissocier le transfert de la transformation, et cela se superpose à la préoccupation de savoir si l'énergie est perdue (dissipée) ou utile (cas de l'ampoule) :

« Alors, tout ça, cette question là c'est pareil. C'est pour revenir sur la notion ici [il indique le symbole P_j] qui présente de l'effet Joule. C'est à dire, chaque fois qu'on va pouvoir libérer un certain travail, une partie de travail qui est perdu par effet Joule dû à la résistance, dissipée sous forme d'énergie thermique. Alors dans ce cas, si l'énergie qui est perdue car on ne peut pas récupérer toute l'énergie pour faire tourner la perceuse. Mais dans d'autre cas, c'est très intéressant. Ca suffit de prendre un exemple de radiateur, de chauffage, de l'ampoule. Si on n'a pas l'effet Joule là, on ne peut pas être éclairé, on ne peut pas voir. Donc, on voit bien s'il transfère ce produit. Donc, la réponse pour la question c. On

transfère l'énergie électrique parce que la perceuse reçoit l'énergie électrique. Alors elle se transforme en énergie mécanique. Et puis de la même façon, une certaine énergie dissipée ici [il écrit : $E_{\text{élec}} \rightarrow E_{\text{méc}} + E_{\text{dissipée}}$] » (E2.1)

- L'étudiant E2.2b confond les deux notions. Il n'étudie que l'action de la perceuse sur l'environnement caractérisé par un Transfert d'énergie par transfert thermique (et une Transformation d'énergie électrique en énergie thermique). Il mentionne la Transformation à la place du Transfert.

« On a donc transformé de l'énergie électrique en énergie mécanique et thermique. C'est à dire que l'énergie électrique du moteur a diminué et enfin l'énergie mécanique de l'environnement qui augmentait et l'énergie interne de l'environnement qui augmentait. Comme on a vu à ce niveau là [il reprend le schéma et montre le système d'environnement] » (E2.2b).

Comme très peu d'étudiants répondent à la question sur la Transformation de l'énergie dans son exposé de l'exercice, nous avons reposé cette question lors de la discussion.

Un seul étudiant (E2.1) distingue alors explicitement Transfert et Transformation. Il définit les deux objets Transfert et Transformation de l'énergie séparément dans un cas général :

« Alors, transfert. Pour moi, transfert d'énergie, c'est : je prends un système, je prends de l'énergie et j'apporte à un deuxième système, transfert. Alors, une transformation. Si je prends l'énergie d'un même système et soit plutôt tu as l'énergie thermique qui est convertie en énergie mécanique. » (E2.1).

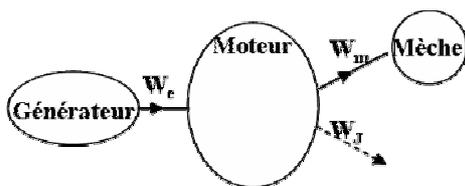
D'autres étudiants expriment ensemble les deux notions et les confondent.

- Pour la situation de l'exercice 2, l'étudiant 3.1 semble comprendre le Transfert d'énergie comme une Transformation de puissance :

« On a une transformation de l'énergie électrique à l'énergie mécanique pour faire fonctionner le moteur. On a un transfert d'énergie quand on passe de la puissance électrique à la puissance thermique. On voit à la fois une transformation de l'énergie mais aussi le transfert d'énergie « (Etudiant 3.1).

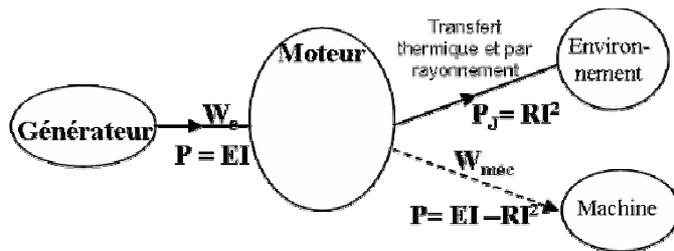
D'autres étudiants utilisent le schéma énergétique proposé dans le document fourni pour illustrer ces notions mais le schéma ne montre que le transfert, pas la transformation, et leurs réponses restent confuses.

- L'étudiant E1.2 élude la question :



« Je n'ai pas vraiment vu l'intérêt de poser ces 3 questions. Parce qu'en fait, elles se regroupent. Si on explique correctement ce schéma, on répond à 3 questions [...] « Question « quelles transformations d'énergie se produisent ». Avec un schéma comme ça, il me semble que ça devrait clair pour l'élève. » (E1.2)

- Dans sa discussion avec l'enseignant, l'étudiant E3.2 ne semble pas bien identifier le phénomène et dissocier les notions. Mais il reste l'ambiguïté à propos de la polysémie du travail : le terme «travail électrique» désigne t'il la quantité d'énergie transférée ou le mode de transfert?



Enseignant : Est-ce que tu peux nous dire exactement quels sont les transferts, les modes de transfert et les transformations ?

E3.2 : Les transferts c'est ici [il montre les flèches] et les modes de transfert c'est le travail, transfert thermique alors : travail électrique, travail mécanique.

Enseignant : Oui, et la transformation ?

E3.2 : C'est ... par exemple le travail électrique est allé au moteur est transformé en énergie mécanique.

II.6.3. Conclusion

La demande explicite de présenter la notion de Transformation et de l'identifier dans une situation physique, semble déstabiliser la majorité des étudiants, qui éludent la question. Il semble difficile pour eux de l'identifier en tant qu'objet à enseigner. On constate que la plupart d'entre eux ne semblent pas bien différencier cette notion de la notion de Transfert. Tous les cas de figure se présentent : parfois une différenciation claire et maîtrisée, parfois c'est la notion de transformation qui est appelée transfert, parfois c'est l'inverse (bien que le transfert soit défini dans les programmes et manuels), et parfois les deux notions se superposent. Ceci est un indice en faveur d'un rapport personnel plus proche du rapport institutionnel de l'Université où l'objet Transfert est peu visible. Les résultats sont donc plutôt conformes aux hypothèses déduites de l'analyse écologique des manuels : l'usage qui en est fait par les étudiants dans cet expérimentation semble cohérent avec le statut d'objet protophysique de la Transformation dégagé sur le plan institutionnel.

III. Conclusion

Les résultats obtenus lors de cette expérimentation avec des étudiants futurs-enseignants, sont globalement assez cohérents avec les résultats de l'analyse écologique, et d'autre part avec les résultats de l'enquête pour les jeunes enseignants.

Par exemple on constate que la plupart des étudiants ne différencient pas bien les notions de Transfert et de Transformation. Les deux objets sont peu visibles dans leurs rapports au savoir, et certains ne comprennent pas la signification du mode de transfert, pourtant défini dans le programme du Lycée.

Cette expérimentation met particulièrement en avant la question des schémas, énergétiques ou non, et de leurs utilisations possibles.

Les schémas des dispositifs, typiques du domaine de la physique, occupent spontanément une place importante, voire la première place. Ce type de schéma semble occuper une place plus importante pour ces futurs enseignants que pour les enseignants interrogés dans l'enquête précédente, et il se pourrait que ce schéma puisse tenir lieu de schéma énergétique. Cela pose la question d'un besoin éventuel d'établir des liens entre les grandeurs abstraites qui caractérisent l'Énergie et les objets réels du dispositif. Ceci semble confirmer notre hypothèse selon laquelle les jeunes enseignants manquent d'une référence en matière de schéma énergétique.

Le schéma énergétique proposé suscite des exposés plus riches et plus précis, et favorise le raisonnement énergétique et le recours à l'écriture du Principe général de Conservation.

Les étudiants déclarent que ce schéma les aide à comprendre et à expliquer le contenu d'enseignement ainsi que les exercices.

Cependant les étudiants se heurtent à une difficulté d'ordre conceptuelle complexe (connue et gérée à un niveau universitaire) lorsqu'ils tentent d'utiliser ce schéma pour l'exercice de mécanique. Il semblerait que le modèle du Transfert d'énergie ne soit pas adapté pour décrire les aspects énergétiques d'une interaction à distance, comme la gravitation (la pesanteur) que l'on rencontre à chaque pas en mécanique. Le programme de 1992 avait tenté de contourner la difficulté, mais il semble que la solution choisie augmente la difficulté d'autre part de manière assez sérieuse. Le retour en arrière sur ce point précis du programme de 2000, ne règle pas non plus le problème comme le montre de manière très précise cette expérimentation. Une telle difficulté pourrait bien avoir eu une influence dissuasive sur les enseignants vis à vis de l'usage des schémas énergétiques proposés par la noosphère depuis 1992.

Quant à l'usage des lois énergétiques, les résultats de la première partie de l'expérimentation sont cohérents avec les résultats obtenus pour les jeunes enseignants. L'introduction d'un schéma énergétique augmente le recours au Principe général de conservation dans la partie de cours, mais pas dans les exercices. En particulier dans l'exercice de mécanique, la situation reste stable, et le Théorème de l'énergie cinétique se partage la place à égalité avec la Conservation de l'énergie cinétique. On retrouve ici ce qu'on observe lors de l'étude écologique des manuels : le PCE, comme d'autres objets emblématiques de l'Approche Universelle, a du mal à obtenir une place dans les exercices. On peut retourner la question : Quelle pourrait être la place de l'AU dans les exercices, et pour quoi faire?

CHAPITRE D.4

Enquête auprès des enseignants vietnamiens

Les enseignants de physique vietnamiens servent de population témoin dans cette partie expérimentale à cause de la proximité des rapports institutionnels au savoir de l'Energie enseigné au Lycée d'une part et issu de leur formation universitaire d'autre part. D'autre part leur formation universitaire est relativement proche de celle des enseignants français (partie B et C) du point de vue des deux approches de l'Energie. On ne peut pas observer avec ce questionnaire l'influence du rapport institutionnel du lycée français sur le rapport personnel des enseignants vietnamiens mais nous pouvons examiner leur comportement lorsqu'on les confronte à des savoirs issus de ce rapport institutionnel. Nous avons donc proposé une version adaptée de notre questionnaire aux enseignants vietnamiens. Nous commençons ce chapitre en exposant la nature et les raisons de cette adaptation.

I. Adaptation du questionnaire et recueil des données

I.1. Essai du questionnaire : Entretien avec les enseignants volontaires

Dans la réalité vietnamienne, il nous est apparu que nous ne pouvions proposer ce questionnaire tel quel car une grande partie des contenus sont étrangers aux enseignants vietnamiens. Nous avons donc procédé à un essai, où le questionnaire initial posé en France a été proposé à quelques enseignants volontaires avec lesquels nous avons ensuite mené des entretiens de manière à dégager les difficultés et les modifications nécessaires.

Nous avons fait des entretiens avec treize enseignants, dont neuf enseignants ayant travaillé depuis plus de dix ans et quatre jeunes qui enseignent depuis quatre ans. Nous pouvons ainsi :

- collecter des réponses au questionnaire initial.
- identifier les difficultés rencontrées par les enseignants vietnamiens et nécessitant des adaptations.

Les difficultés dégagées reposent d'une part sur des questions de vocabulaire et de symboles (Par exemple, la sphère est symbolisée par la lettre « M » au lieu de « S »). D'autre part certaines questions ouvertes portent sur des objets étrangers au contexte vietnamien. Enfin nous avons été confronté à une très forte résistance des enseignants vietnamiens faces aux questions ouvertes. Nous avons donc choisi de limiter au maximum le recours à de telles questions, en les remplaçant par des questions à choix multiples (seules subsistent les questions sur les difficultés des élèves). Elles ont été remplacées par des questions plus fermées pour lesquelles nous proposons plusieurs réponses possibles en laissant toujours la possibilité d'ajouter d'autres réponses. Les réponses proposées ont construites sur plusieurs références : en référence aux programmes de lycée français (1992, 2000) en particulier lorsqu'il s'agit d'objets nouveaux, en référence aux programmes du Lycée vietnamien (que l'on trouve en général dans une des références françaises), en référence aux manuels universitaires, et en référence aux réponses proposées spontanément par les enseignants volontaires. Les réponses non familières dans le contexte vietnamien ont été testées et adaptées grâce aux enseignants volontaires.

I.2. Modifications du questionnaire

Dans l'entretien, les enseignants expliquent souvent *comment ils introduisent les objets choisis* dans l'enseignement de l'Energie : soit les objets sont définis, soit ils sont utilisés comme des exemples. Nous remarquons que ceci nous permet d'examiner le statut des objets (objet physique ou non (chapitre B4)). Nous proposons donc ces façons d'introduire des objets à choisir : Définition ; Outil (sans définition mais comme exemple) ; Autre.

Les enseignants volontaires ne donnent jamais un autre *ordre des objets* à enseigner que celui du programme officiel. Ils ne le font pas et ils ne pensent pas à le faire. De plus, comme il n'y a pas eu beaucoup de programmes, ni de changements entre les différents programmes, il n'existe pas d'autre ordre à suggérer. Nous avons limité la question A à un choix des notions à enseigner (nous ne demandons plus ni l'ordre, ni la raison du choix de l'ordre).

Nous changeons aussi la présentation de la question sur la *difficulté d'enseignement des objets choisis* sous forme de réponses à choisir, en laissant toujours aux enseignants la possibilité d'en ajouter d'autres. Les réponses proposées sont construites à partir des réponses des enseignants volontaires.

L'objet Chaîne énergétique n'existe pas dans l'enseignement de l'Energie ni au Lycée ni à l'Université au Vietnam. Nous avons tenté d'expliquer cette notion aux enseignants volontaires mais sans arriver à un résultat concluant. Nous nous sommes heurtés à la difficulté de choisir un terme pour le nommer et surtout d'aboutir à une description succincte mais compréhensible, permettant aussi que le questionnaire reste d'un volume acceptable. Nous avons décidé de supprimer cet objet du questionnaire et de ne prendre en compte que les réponses des enseignants volontaires.

Les objets nouveaux, c'est à dire qui n'existent pas au Vietnam, et pour lesquels les réponses proposées ne reposent pas sur des références institutionnelles vietnamiennes, sont : les *schémas* énergétiques, le Bilan énergétique, le Transfert d'énergie et la Transformation (la transformation a une faible visibilité).

Certains détails seront expliqués lors de l'analyse des réponses sélectionnées par les enseignants.

I.3. Recueil des données

Nous avons distribué notre questionnaire dans plusieurs lycées de différentes villes : Ho Chi Minh, Can Tho, Soc Trang. Nous avons recueilli plus de cent questionnaires en retour dont un certain nombre ne donnent pas de réponses exploitables. Cinquante cinq ont été retenus : cinquante venant d'enseignants travaillant en classe 10^e et cinq provenant d'enseignants d'autres classes.

Nombre des enseignants	Classe 10 ^e	D'autres classes du lycée
55	50	5

Tableau 1. Répartition des enseignants selon des classes où ils enseignent

II. Analyses des résultats

II.1. Chaîne énergétique

Tous les enseignants volontaires trouvent que c'est compliqué, sauf un qui trouve que c'est «simplement la représentation d'un processus de Transformation de l'énergie». Ceci va aussi dans notre hypothèse sur la Transformation, les deux phénomènes de Transfert d'énergie et de Transformation de l'énergie sont réunis comme un seul type d'action, sans distinction.

II.2. Schéma énergétique

II.2.1. Rappel des questions de recherche. Mise en perspective avec le questionnaire

Les questions posées sont dans le cas de ces questionnaires pour les enseignants vietnamiens :

Question Q- schéma énergétique : Pour le cas vietnamien, où les enseignants ne manipulent jamais de schémas énergétiques, si on leur propose plusieurs schémas parmi les types étudiés (programmes de 1992 et 2000, COAST-MAFPEN), lequel est jugé le plus utile comme aide à la résolution d'une situation énergétique ?

Les schémas énergétiques proposés sont : schémas des dispositifs (pendule simple pour l'exercice 1, circuit électrique de la perceuse pour l'exercice 2), schémas proposés par des enseignants volontaires Schéma VN (figure 1 et 2), schémas du lycée français RLFR (programmes de 1992, de 2000 et COAST).

II.2.2. Exercice 1

La question commune 3 «Pensez-vous qu'un schéma puisse aider les élèves et pourquoi? ...» est remplacée par la seule question «Si vous pensez qu'un schéma peut aider les élèves à comprendre l'exercice, quel schéma choisiriez vous?»

Schémas proposés par les enseignants volontaires

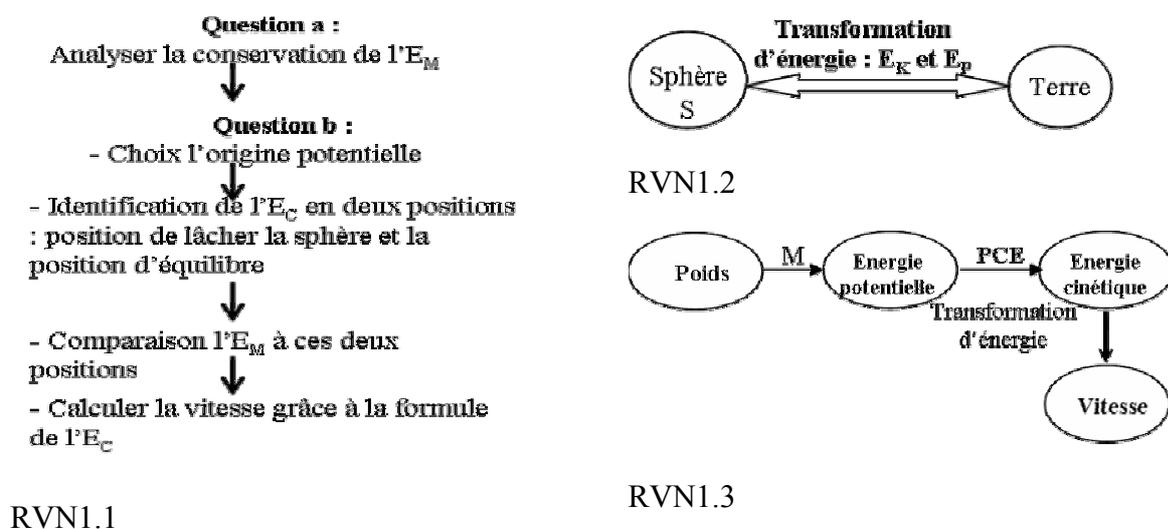


Figure 1. Schémas proposés par des enseignants vietnamiens volontaires dans l'entretien en étant interrogés «Pensez-vous quel schéma peut aider les élèves à comprendre l'exercice ? » (Exercice 1)

Les enseignants volontaires font le schéma RVN1.1 (figure 1) en expliquant que ce sont les étapes pour résoudre l'exercice 1 (schéma de la technique, au sens de la praxéologie). Nous l'avons nommé « Le RVN1.2 exprime le transfert et la Transformation de l'énergie, mais il est annoté uniquement par le terme de Transformation (nous avons vu que cela correspond à la pratique usuelle au Vietnam). Le RVN1.3 n'a pas reçu de nom et ce n'est pas un schéma énergétique. C'est une sorte de carte conceptuelle de la démarche de résolution de l'exercice, qui indique l'ordre d'intervention des concepts lors de la résolution : poids, masse M , énergie potentielle, énergie cinétique, Conservation de l'énergie, Transformation et la vitesse.

Résultats

Ex 1	Pendule	RVN	RLFR
Nombre d'enseignant	44	55	21
Nombre de schéma choisi	44	50 (1.1) + 6 (1.2) + 23 (1.3)	7 (1992) + 13 (2000) + 14 (COAST)

Tableau 2. Nombre de réponses obtenues à propos du Schéma énergétique (exercice 1)

Le schéma du dispositif (pendule) est très largement choisi. Tous les enseignants ont choisi au moins un des schémas VN, ce qui montre leur pertinence dans le contexte vietnamien. La répartition des choix, montre que le schéma énergétique vietnamien occupe une très petite place face aux schémas concernant la démarche de résolution et au schéma du dispositif.

21 enseignants sur 55 ajoutent des schémas du lycée français (RLFR). Certains choisissent plusieurs schémas. Parmi ces schémas, ceux du programme de 1992, qui sont qualitatifs, sont moins choisis que les schémas quantitatifs (2000 et COAST-MAFPEN).

II.2.3. Exercice 2

Schémas proposés par les enseignants volontaires

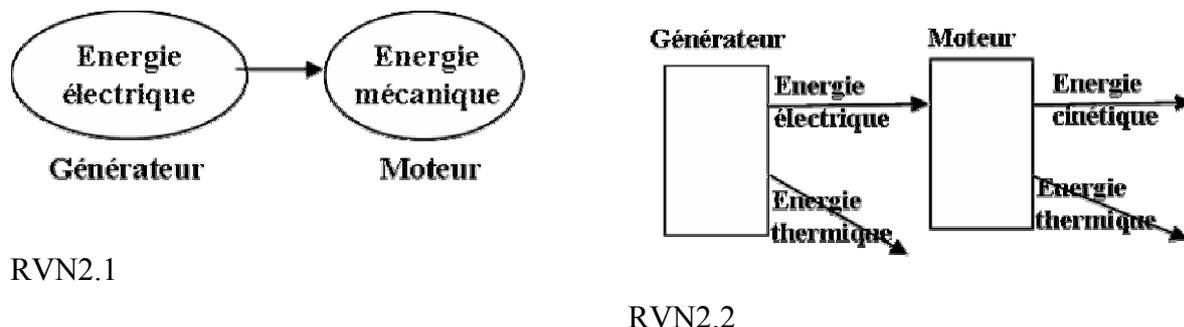


Figure 2. Schémas proposés par des enseignants vietnamiens volontaires dans l'entretien en étant interrogés « Représenter le Bilan énergétique par un schéma? » (Exercice 2)

Trois schémas énergétiques sont proposés par les enseignants volontaires (figure 2). Le schéma RVN2.1 ressemble un peu à celui du lycée français (1992) ; il manifeste le Transfert d'énergie entre le générateur et le moteur et la Transformation de l'énergie associée. Il y a ambiguïté sur les énergies mentionnées : correspondent elles aux énergies du système ou aux quantités d'énergies transférées? Le RVN2.2 est aussi un schéma énergétique, plus complet puis qu'il rend compte de tous les transferts concernant le moteur (et d'un autre transfert concernant le générateur). Les énergies indiquées ne sont pas attribuées aux systèmes, mais au transfert, et donc devraient correspondre aux quantités d'énergie transférées, mais les symboles usuels ne sont pas utilisés (on a la même polysémie au Vietnam qu'en France entre

les modes de transfert et les quantité d'énergies transférées). Nous les classons dans le groupe de réponse des enseignants volontaires RVN. Le troisième schéma proposé correspond exactement au schéma de puissance proposé et correspondant au programme de 1992; nous l'avons gardé dans la catégorie RLFR, 1992.

Résultats

Ex 2	Circuit électrique	Autre
Nombre d'enseignant	2	30
Nombre de schéma choisi	2	- RVN : 6 (2.1) + 7(2.2) = 13 fois - RLFR : 12 (1992) + 19 (2000) + 3 (COAST) = 34 fois

Tableau 3. Nombre de réponses obtenues à propos du Schéma énergétique (exercice 2)

53 enseignants sur 55 répondent à cette question. 22 enseignants choisissent tous les schémas proposés. Ces 22 réponses ne peuvent donc pas être considérées comme valables. Il reste donc 31 réponses à étudier.

Contrairement à l'exercice 1, le schéma du dispositif (circuit électrique) est très peu choisi.

Les autres schémas énergétiques sont choisis par 30 enseignants et les schémas proposés par les enseignants vietnamiens (RVN) sont beaucoup moins choisis : 13 fois contre 34 pour les schémas du Lycée français. Le type de schéma RLFR2000 est le plus choisi (19 fois).

Les schémas RVN et de RLFR-1992 (25) sont qualitatifs alors que les schémas RLFR-COAST et RLFR-2000 (22) sont quantitatifs. De plus RLFR-COAST présente une chaîne à maillons-multiples, pas un système principal unique. Le schéma le plus choisi est donc un schéma quantitatif centré sur un système unique, ce qui correspond au schéma le plus adapté pour traiter une situation physique courante comme celle de la perceuse (maillon unique) de manière quantitative.

En dehors des schémas proposés, trois enseignants proposent leurs propres schémas (figure 3). Les deux premiers schémas ressemblent à celui proposé par des enseignants volontaires. L'information apportée par le schéma du centre est plus riche : il rassemble les informations du schéma RVN2.1 et du schéma RVN2.2, y ajoute d'autres éléments de la chaîne (Mèche, Environnement), la notion de transfert et précise un mode de transfert. Le troisième (à droite) donne moins d'informations.

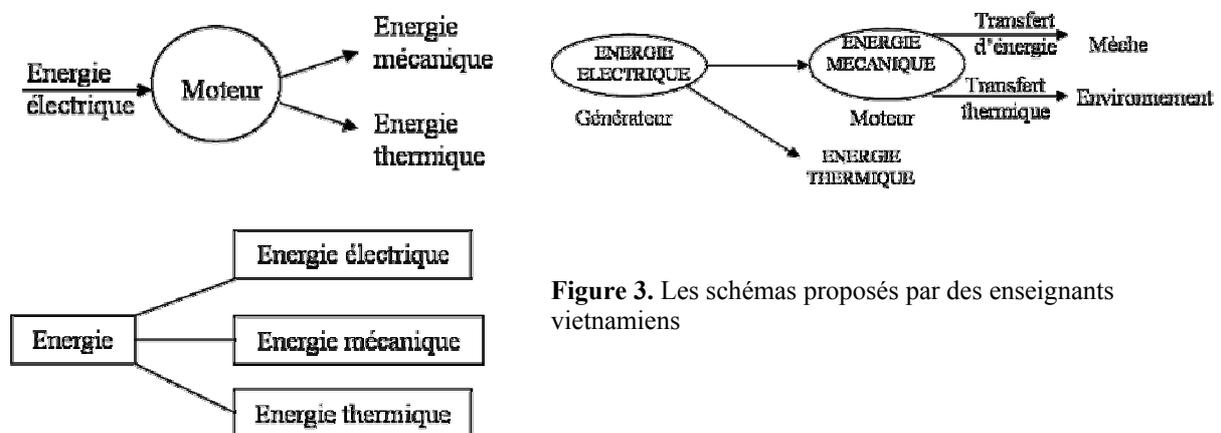


Figure 3. Les schémas proposés par des enseignants vietnamiens

II.2.4. Conclusion

Les choix de schémas des enseignants vietnamiens montre à nouveau une forte opposition entre la situation mécanique et la situation électrique proposées : une représentation graphique énergétique est fondamentale pour l'exercice de la situation électrique, et elle doit servir d'outil, ce qui n'est pas le cas de l'exercice de mécanique, où les aspects mécaniques dominent. L'effet est renforcé par le fait que l'exercice d'électricité soit clairement orienté vers des questions énergétiques, contrairement à l'exercice de mécanique.

Les types de schéma préférés dans ces deux exercices semblent indiquer que les enseignants favorisent l'aspect pratique d'aide à la résolution d'un exercice quantitatif, car :

- Entre un schéma qualitatif et quantitatif, le quantitatif est le plus choisi.
- Entre le schéma de type maillon-multiple et celui à maillon-unique (appelé aussi type Bilan), celui à maillon-unique est plus choisi.

II.3. Bilan énergétique

II.3.1. Rappel de l'hypothèse et mise en perspective avec le questionnaire

Comme le schéma énergétique, le Bilan est un nouvel objet dans le contexte vietnamien. Nous avons dû proposer une liste des objectifs possibles d'un Bilan énergétique d'une situation, afin que cet objet puisse être pris en compte par les enseignants de manière pertinente. Chacun de ces objectifs est mis en lien avec un O(e). Elle a été élaborée à partir des objets énergétiques pouvant apparaître dans un Bilan du lycée français (RLFR) et à partir des entretiens avec les enseignants vietnamiens volontaires :

- | | |
|--|--|
| (1) Dénombrer les formes d'énergie. | (6) Expliquer les variations des différentes formes d'énergies. |
| (2) Analyser les transformations de l'énergie. | (7) Calculer le Rendement. |
| (3) Analyser les transferts d'énergie. | (8) Etudier le principe de conservation d'énergie. |
| (4) Analyser les transferts d'énergie et la transformation de l'énergie. | (9) Etudier les formes d'énergie qui « sortent » et qui « entrent ». |
| (5) Analyser les puissances en jeu. | |

La question posée aux enseignants est la suivante : « Pour répondre à la question a, quelles propositions choisissez-vous ? » (Question a de l'exercice 2 qui demande de faire le bilan énergétique pour la perceuse).

Dans les réponses recueillies, nous recherchons les informations suivantes:

- Sélection du Bilan parmi les O(e) dans la question A.
- Le nombre d'item choisis (qui correspond à peu près au nombre d'objets choisis) pour construire un Bilan énergétique dans la réponse a de l'exercice 2.

II.3.2. Organisation des objets

Question	Nombre de réponses	BL est choisi
A	55	35

Tableau 4. Nombre de réponses obtenues à propos du Bilan énergétique (BL) (question A)

35 enseignants sur 55 répondant à la question A – organisation des O(e), sélectionnent le Bilan comme un des objets à enseigner.

La plupart des enseignants choisissent de l'introduire comme un exemple, c'est à dire le considère comme un outil pour l'enseignement de l'Energie, sans définition (objet paraphysique).

II.3.3. Exercice 2

Question	Nombre de réponses	Peu d'objets énergétiques O(e) : 21			Plusieurs O(e)
		TrE et/ou TrA (1), (2), (3)	Forme d'énergie et/ou variation (1), (6)	Seul PCE (8)	
Ex 2, Qa	31	16	4	1	10

Tableau 5. Nombre de réponses obtenues à propos du Bilan énergétique (BL) suivant le nombre des objets intervenant (exercice 2)

Comme précédemment, nous ne choisissons pas les 22 réponses qui ne montrent pas de choix explicite.

Parmi les réponses choisies, la plupart (21/31) choisissent très peu d'objets en relation avec le Bilan énergétique. Soit ils ne considèrent que les phénomènes de Transfert d'énergie et/ou de Transformation de l'énergie. Soit ils n'étudient que les formes d'énergie et/ou leur variation. Un enseignant ne sélectionne que le Principe de conservation de l'énergie.

Les dix autres enseignants choisissent entre 3 et 5 objets, avec une moyenne de 3,8. Parmi eux, un seul ne choisit pas le Transfert d'énergie et la Transformation de l'énergie. Le Principe de conservation de l'énergie apparaît dans quatre réponses seulement. Ces réponses sont assez proches de celles des enseignants français.

II.3.4. Conclusion

Même si le Bilan n'existe pas dans l'enseignement de l'Energie au Vietnam plus de la moitié des enseignants le sélectionnent en tant qu'objet d'enseignement. La majorité d'entre eux trouvent cet objet pertinent en tant qu'outil dans l'enseignement de l'Energie. Mais dans une situation précise, peu d'enseignants le perçoivent comme un outil riche pouvant mettre en jeu plusieurs objets énergétiques. Par contre la grande majorité des enseignants associent en priorité le Transfert et la Transformation de l'énergie au Bilan énergétique, et non le PCE.

II.4. Transfert d'énergie et Transformation de l'énergie

II.4.1. Rappel l'hypothèse mise en perspective avec le questionnaire

Comme les notions de *Transfert d'énergie* et de *Transformation de l'énergie* ne sont pas distinguées au Vietnam (chapitre C.4), nous proposons des réponses pour les deux questions de l'exercice 2 sur ces deux notions dans un même tableau.

Les réponses proposées comportent des réponses possibles du Lycée français et des réponses proposées par les enseignants volontaires. Elles séparent les deux notions Transfert d'énergie, Transformation de l'énergie. En voici quelques exemples :

- La perceuse transfère de l'énergie à l'environnement.
- Le générateur transfère de l'énergie électrique.
- Le moteur transforme l'énergie électrique en énergie mécanique.
- Le moteur transfère de l'énergie à la mèche.

- Le courant électrique passe dans le conducteur, ça fait augmenter l'agitation thermique, le conducteur dégage la chaleur.
- L'électricité est transférée du générateur à la perceuse.
- L'énergie électrique est convertie en énergie mécanique et il y a aussi dégagement de

- L'énergie interne de l'environnement change.

chaleur à cause de l'effet Joule.

- La perceuse transforme l'énergie électrique en énergie thermique à cause de l'effet Joule.

Nous demandons aux enseignants de sélectionner dans cette liste, des réponses aux questions b et c de l'exercice, portant l'un sur les transferts, l'autre sur la transformation. Pour la question du transfert, nous leur demandons d'associer à chaque réponse choisie, un mode de transfert choisi lui aussi dans une liste des modes de transfert. Cette liste comporte les modes du Lycée français (RLFR) et des réponses proposées par les enseignants volontaires vietnamiens (RVN). Ces réponses montrent bien l'absence de familiarité des enseignants vietnamiens avec cette notion : Bobine tournant dans un champ magnétique ; Fil électrique ; Circuit électrique ; Electron ; Force électromagnétique. Ces réponses semblent répondre à une question du type : par quel moyen (phénomène ou élément matériel) l'énergie électrique est-elle transférée à la perceuse?

II.4.2. Transfert d'énergie et modes de transfert (exercice 2)

Question	Nombre de réponse	Modes de transfert VN	Transfert d'énergie RLFR	Modes de transfert d'énergie RLFR
Ex. 2, Q.b	27	15	11	2

Tableau 6. Nombre de réponses obtenues à propos du Transfert d'énergie et de modes de transfert (exercice 2)

27 enseignants sur 55 répondent à la question sur le Transfert d'énergie.

Seulement 11 réponses montre une identification du Transfert d'énergie sans confusion avec la Transformation de l'énergie (cf. II.5). Les autres enseignants choisissent des réponses en termes de Transformation ou mêlent les deux types de réponses. Parmi ces onze réponses, seulement deux choisissent les modes de transfert de manière cohérente avec la définition française de cette notion. Les autres choisissent des modes proposés par les vietnamiens, ou ne font pas de choix.

II.4.3. Transformation de l'énergie (exercice 2)

Question	Nombre de réponse	Confusion : TrE - TrA
Ex. 2, Q.c (TrA)	29	5

Tableau 7. Nombre de réponses obtenues à propos de la Transformation de l'énergie (exercice 2)

Pour la Transformation de l'énergie, on note peu de confusions en comparaison avec les résultats obtenus pour le Transfert.

II.4.4. Conclusion

Les questions sur le Transfert, les modes de transfert et la Transformation de l'énergie ne paraissent pas familières aux enseignants vietnamiens et leurs posent manifestement de nombreux problèmes. Le phénomène de Transformation de l'énergie est nettement plus facile à identifier et montre moins de confusions. Par contre le Transfert d'énergie et les modes de transfert posent énormément de problèmes. D'après l'analyse écologique des manuels vietnamiens, il semblerait donc que le rapport au savoir des enseignants vietnamiens soit sensiblement plus proche du rapport institutionnel du Lycée que de celui de l'Université : le transfert et la transformation ne sont pas distinguées et le transfert est très peu visible.

II.5. Principe de conservation de l'énergie

II.5.1. Rappel l'hypothèse et mise en perspective avec le questionnaire

Nous allons étudier les réponses de l'exercice 1 pour examiner des formes particulières de loi énergétique. Nous avons aussi proposé les réponses à choisir en s'appuyant sur les références qu'on a abordé dans la reconstruction du questionnaire.

- Pour la question a, les réponses proposées sont classées en deux groupes suivant la conservation ou non conservation de l'énergie mécanique.

Conservation car :

- Sans frottement
- Seul le poids qui travaille
- Il n'y a pas de transfert d'énergie avec milieu extérieur.
- Le système est isolé.

Non conservation car :

- Il y a le frottement
- Il y a l'action de la force extérieure
- Il y a le transfert d'énergie avec milieu extérieur
- Le système n'est pas isolé.

- Pour la question b, les réponses posées sont :

Pour calculer la vitesse, on peut utiliser :

- La loi de conservation de l'énergie
- La loi de conservation de l'énergie mécanique
- Le théorème de l'énergie cinétique.

L'usage du PCE sera examiné dans les réponses à la question A et à la question sur le Bilan énergétique de l'exercice 2.

II.5.2. Organisation des objets

Le PCE général est choisi comme un objet à enseigner dans la plupart des réponses (50/55). Nous ne proposons pas le Théorème de l'énergie cinétique ainsi que les formes particulières de la Conservation de l'énergie et aucun enseignant ne les ajoutent non plus.

II.5.3. Exercices

Question	Nombre de réponses	PCE	ThEc	PCEm
Ex. 1, Q.b	55	12	32	22

Tableau 8. Nombre de choix des lois des lois énergétiques obtenus à propos du calcul de la vitesse (exercice 1)

Tous les enseignants répondent à cette question.

Le Principe général apparaît dans 12 réponses mais toujours à côté de formes particulières. Il n'est jamais choisi seul. La plupart (9/12) de ces réponses expriment le choix de toutes les lois énergétiques proposées : Principe général, Conservation de l'énergie mécanique et Théorème de l'énergie cinétique. On peut s'interroger sur la pertinence de ces réponses par rapport à nos questions de recherche.

Les formes particulières sont beaucoup plus choisies que le principe général. Nous remarquons que le Théorème de l'énergie cinétique domine un peu par rapport à la Conservation de l'énergie mécanique. Nous ne sommes pas en mesure d'examiner les raisons de ces choix.

Dans l'exercice 2 le PCE est choisi seulement 5 fois sur 31 comme un des objets énergétiques pour construire un Bilan énergétique.

II.5.4. Conclusion

Le Principe général paraît un objet important dans l'enseignement de l'Énergie. Comme dans les expérimentations en France, il est cependant peu choisi de manière pertinente pour la résolution des exercices, où les formes particulières dominent largement.

III. Conclusion

Cette étude montre les comportements d'une population témoin vis à vis des objets énergétiques emblématiques de la réforme du lycée français. Elle nous permet de confirmer ainsi que compléter certains résultats obtenus dans les chapitres précédents, pour les enseignants et pour les étudiants futurs-enseignants français :

- Le schéma énergétique le plus choisi est de type quantitatif et de type-bilan.
- Le PCE général est considéré comme un objet à enseigner mais il n'est pas beaucoup utilisé, ni construire un bilan énergétique, et a fortiori pour résoudre des exercices.
- A propos des difficultés possibles des élèves concernant l'exercice 2, certains enseignants évoquent la confusion entre le Transfert d'énergie et la Transformation de l'énergie lorsqu'on sépare ces notions (deux questions distinctes). Ils soulignent ainsi une difficulté très spécifique au contexte vietnamien, mais qui semble avoir des échos non négligeables dans le contexte français.
- Certains enseignants signalent une autre difficulté qui désigne peut-être le besoin d'un outil de synthèse lors de la résolution de l'exercice 2.

« La difficulté des élèves est souvent dans les questions qualitatives car dans le programme, il n'y a pas de bilan énergétique ni des analyses détaillées sur les transformations de l'énergie. Même pour les enseignants, c'est difficile. La raison c'est que dans le manuel, les exercices sur la transformation de l'énergie sont peu nombreux, et il est essentiel d'avoir des exercices d'application avec des aspects numériques pour voir des résultats concrets. Par exemple avec cet exercice, les élèves ne doivent travailler qu'avec : la puissance fournie par la source, la puissance de la mèche et la puissance thermique perdue et inutile. » (E39)

- Certains précise les difficultés sur un plan plus conceptuel :

« Faire un Bilan d'énergie est très difficile. Pour expliquer des transferts d'énergie, il faut des connaissances très générales. » (E12)

« La transformation d'une énergie en une autre est une connaissance difficile car chaque forme d'énergie a sa formule, et les formules sont différentes. » (E25).

Conclusion

Conclusion

Revenons sur le questionnement initial qui nous a conduit à mener ce travail. Comme nous l'avons souligné en introduction, nous voulions chercher « pourquoi et comment les professeurs de Physique peuvent-ils se trouver en difficulté dans l'enseignement de l'Energie ? ». Ce point de départ nous a amenés à situer notre recherche dans le cadre de la Théorie anthropologique du didactique pour comparer l'enseignement de l'Energie au Lycée avec la formation des enseignants à l'Université.

Depuis le milieu du XIX siècle, la manière de construire l'Energie est souvent modifiée dans les programmes successifs de physique du Lycée en France. Les changements portent toujours sur différentes manières d'introduire, de présenter l'Energie. Soit l'Energie apparaît comme un thème à part entière, soit elle devient un objet de la Mécanique, soit elle est introduite par son principe de conservation et devient un thème privilégié couvrant tous les autres phénomènes,

L'Energie est un concept abstrait, difficile à enseigner, mais c'est aussi un concept fondamental car tous les phénomènes peuvent être étudiés de son point de vue.

Pour caractériser les différentes façons d'aborder l'Energie, nous avons dégagé deux approches : l'Approche Universelle (AU) où l'Energie apparaît en tant que thème à part entière, indépendamment des domaines de la Physique, et l'Approche Particulière (AP) où l'Energie est morcelée et insérée dans les domaines de la Physique. Le programme français de 1ère S de 1992 prend résolument le parti d'une AU. Ce programme est un événement important dans l'enseignement de l'énergie : c'est un programme innovant porté par une forte volonté de réforme et issu d'une réflexion approfondie, s'appuyant sur des arguments épistémologiques et didactiques et effectuant un effort important de synthèse autour du concept physique de l'Energie. Or l'Energie apparaît uniquement dans une AP à l'Université en France.

Notre hypothèse de recherche est que l'absence d'une synthèse dans le thème de l'Energie à l'Université, peut constituer un élément majeur de décalage entre la formation universitaire initiale des enseignants et l'organisation des savoirs de l'Energie au Lycée, particulièrement à partir de 1992.

Or d'après la Théorie Anthropologique de Chevallard, ce sont les rapports au savoir de l'Energie de ces deux institutions, le Lycée et l'Université, qui contraignent le rapport personnel au savoir de l'Energie des enseignants de Lycée. Des décalages peuvent donc être la source de difficultés pour les enseignants.

A travers une analyse écologique des savoirs, nous avons donc cherché à identifier et à caractériser des décalages éventuels entre l'organisation des savoirs de l'Energie au Lycée et dans la formation des enseignants. La question est ensuite de savoir si les décalages identifiés peuvent expliquer certaines difficultés d'enseignement du concept d'énergie, en particulier pour les jeunes enseignants. Pour cela nous avons procédé à une expérimentation auprès des enseignants.

I. Outils mis en place pour caractériser la vie de l'Energie

Nous avons également développé des outils spécifiques d'analyse que nous allons présenter ici dans la perspective des objectifs de recherche poursuivis.

Dans un premier temps nous avons tenté de caractériser la vie de l'Energie en physique en relation avec les deux approches de l'énergie, l'Approche Universelle et l'Approche Particulière : tout d'abord en définissant des moyens et des critères pour la caractériser, puis en utilisant ces critères pour caractériser la vie de l'Energie dans les différentes institutions qui nous intéressent : le Lycée (classe de 1^{ère} S) en France à travers les 2 programmes les plus récents, l'Université en France, et en tant que témoin le Lycée (classe de 10^{ème}) et l'Université au Vietnam (les classes étudiées sont celles où l'on introduit vraiment l'Energie).

Nous avons choisi de caractériser la vie de l'Energie à travers la vie des objets de savoir constitutifs du savoir de l'Energie en Physique. Nous nous sommes basés sur le programme de 1992 pour établir une liste des Objets énergétiques (O(e)) qui nous sert ensuite de base pour une analyse écologique : Forme d'énergie, Principe de conservation de l'énergie, Transfert d'énergie, Travail, Chaleur, Rayonnement, Transformation de l'énergie, etc. La vie de ces objets, c'est-à-dire leur habitat et leur niche écologiques, est décrite à travers différents critères. Les habitats considérés sont à l'échelle d'un manuel et d'un chapitre de manuel. La vie d'un O(e) est abordée sous l'angle de son occurrence dans un habitat, et des relations que l'objet établit avec chaque autre O(e) ainsi qu'avec les objets n'appartenant pas à la liste (occurrence des relations, nombre de relations, ...). Ces relations sont caractérisées également par la nature du raisonnement en jeu, que nous avons catégorisé en raisonnement énergétique et non-énergétique (R(e)), R(ne)) : le raisonnement énergétique est défini par des relations essentiellement entre O(e), alors que le raisonnement non-énergétique met en lien un O(e) avec des objets non-énergétiques. Cet outil nous sert à caractériser la vie des O(e) : est-elle énergétique ou non ? Dans un cas l'Energie est au centre des préoccupations, alors que dans le second cas elle sert d'outil pour un autre sujet d'intérêt. L'AU ne fait appel qu'à des raisonnements énergétiques. Par contre dans l'AP, les deux types de raisonnements sont possibles.

Ces outils nous ont permis de conduire les analyses sur la vie de l'Energie et ainsi que sur celle des objets énergétiques autour de questions écologiques : quels sont les habitats de l'Energie ? Quelle est la vie des objets énergétiques dans ces habitats ? Quels sont les objets énergétiques qui sont présents de manière permanente, quels sont ceux qui disparaissent, qui apparaissent ? Quelle adaptation, quelle évolution ? ...

Les analyses écologiques ont permis de formuler des hypothèses et un questionnement que nous avons mis à l'épreuve d'une expérimentation : ce dispositif a permis de préciser le problème de décalages dans l'enseignement des objets énergétiques ainsi que dégager d'autres sources de difficultés centrées le plus souvent autour de l'existence de l'AU dans l'enseignement du Lycée. Nous allons rappeler et discuter ces résultats ci-dessous.

II. Décalages Lycée-Université

Nous allons présenter ici les résultats de notre analyse écologique ainsi que ceux de notre expérimentation afin de préciser les décalages entre les deux institutions.

Notre expérimentation porte sur trois populations : enseignants de l'enseignement secondaire français, étudiants préparant le concours du CAPES (PLC1 ou 1^{ère} année à l'IUFM) et enseignants du Lycée vietnamien. L'expérimentation est réalisée sur la base d'un même questionnaire dans les trois cas, mais de manière différente. Malgré un nombre de réponses collectées souvent faible, les résultats obtenus pour les trois populations se confortent et se complètent souvent. De ce fait, les résultats obtenus et croisés peuvent souvent être considérés comme assez significatifs, en dépit du faible nombre.

Nous séparons deux groupes d'enseignants :

- « les jeunes enseignants » qui sont des enseignants qui n'enseignent ou n'ont enseigné que sous le programme 2000. Nous considérons que les étudiants PLC1 et les enseignants vietnamiens font partie de ce groupe.
- « les enseignants experts » qui sont des enseignants qui ont enseigné en 1^{ère} S au moins sous le programme de 1992.

II.1. Premier décalage : habitat de l'Energie et de ses approches

A un premier niveau d'analyse nous avons caractérisé l'habitat de l'Energie dans deux institutions, le Lycée et l'Université. A ce niveau, une première différence de la vie de l'Energie entre ces deux institutions apparaît :

- A l'Université, l'habitat de l'Energie est morcelé dans plusieurs manuels correspondants à différents domaines. Seule l'AP est présente.
- Au Lycée, l'Energie se présente dans un seul manuel, le manuel de Physique où l'Energie est considérée de manière très concentrée. En France, l'AU apparaît toujours à côté de l'AP.

L'AU apparaît brièvement et implicitement dans les deux institutions au Vietnam, où elle accompagne l'AP en Mécanique. De manière générale, nous n'avons pas constaté de décalages importants dans la vie de l'Energie entre les institutions du Lycée et de l'Université au Vietnam. Notre hypothèse de recherche ne peut donc pas être testée dans le cas du Vietnam, qui est utilisé en tant que témoin.

II.2. Deuxième décalage : objets énergétiques examinés

Nous résumons ici les résultats sur les décalages entre les deux institutions, Lycée et Université, que nous avons analysés, puis observés sur les objets examinés.

- Le schéma énergétique est une création didactique qui n'existe pas traditionnellement hors du programme et des manuels de lycée de 1992 et disparaît quasiment dans celui de 2000. Ce décalage est confirmé dans l'expérimentation où le schéma énergétique n'est pas utilisé spontanément, et est ressenti comme peu utile par les enseignants.
- Le Transfert d'énergie et les modes de transfert ne sont pas des objets physiques hors du Lycée (1992 et 2000) mais paraphysiques (outils). Cependant ces objets vivent dans toutes les institutions. Nous avons supposé que l'utilisation de ces objets dans un enseignement ne pose pas de problème aux enseignants, et qu'il n'y a pas de fort décalage les concernant. Mais dans notre expérimentation, le décalage est très net : aucun jeune enseignant n'a un usage spontané

du mode de transfert, voire certains ne s'en servent pas du tout dans la résolution d'exercices. Cette manière de catégoriser les phénomènes énergétiques associés aux transferts d'énergie, ne semble pas avoir une place privilégiée pour les jeunes enseignants par rapport à d'autres manières de caractériser ces phénomènes énergétiques. Il ressort de l'expérimentation que les enseignants adoptent plusieurs manières (points de vue) de caractériser les phénomènes physiques associés à un transfert d'énergie. La réforme de 1992 et le programme de 2000 n'en catégorise qu'un seul (le mode de transfert), en lui donnant une place privilégiée par rapport aux autres points de vues, ce qui n'est peut-être pas justifié au regard des pratiques courantes en physique.

- Le Principe général de la conservation de l'Energie est emblématique de l'AU et n'existe clairement qu'au Lycée. Ce décalage n'est pas montré dans notre expérimentation parce qu'au Lycée comme à l'Université, le PCE général n'est quasiment jamais utilisé dans les exercices. Par contre, l'expérimentation et son analyse mettent en avant une difficulté propre au rôle du PCE général ainsi qu'à l'AU que nous aborderons plus loin (III.3).

- L'existence du schéma énergétique et l'identification précise de certains objets énergétiques dans les manuels de Lycée (catégorie Mode de transfert, PCE, ...) contribuent à enrichir le Bilan énergétique dans cette institution. La différence par rapport au contexte universitaire se manifeste donc plutôt dans une qualité du Bilan énergétique, que dans sa présence ou son absence. Dans la réponse des enseignants et des étudiants de PLC1, le contenu du Bilan est spontanément assez pauvre, et c'est l'introduction du schéma énergétique (PLC1) qui contribue à son enrichissement.

Nous venons d'examiner les résultats obtenus pour l'analyse écologique des manuels et l'expérimentation du point de vue des décalages entre les institutions du Lycée et de l'Université.

Cependant, comme nous l'avons déjà annoncé, l'analyse écologique permet d'accéder à d'autres informations qui concernent la cohérence des savoirs de l'énergie dans chaque institution, et plus particulièrement des objets emblématiques de l'AU introduits en 1992.

III. Cohérence des objets emblématiques de l'Approche Universelle

Dans notre questionnaire, nous avons cherché à observer l'AU dans la partie d'organisation des objets à enseigner. Cependant, cette observation est difficile : les enseignants experts et les étudiants de PLC1 se positionnent essentiellement dans le respect du programme d'enseignement. Pour ce qui est des autres enseignants, les réponses sont peu argumentées et sont difficiles à interpréter. Cependant, notre analyse écologique a montré que l'AU a véritablement une influence sur la vie des objets énergétiques analysés.

III.1. Schéma énergétique

Dans notre analyse écologique, l'Objet Chaîne énergétique désigne les premiers schémas énergétiques, qui apparaissent dans la réforme de 1992. Mais comme la Chaîne énergétique n'existe pas dans les autres institutions, nous avons dû élargir l'O(e) à toute autre forme de « schéma énergétique ».

En 1992, le premier schéma construit (Chaîne énergétique) est une chaîne à maillons-multiples qui a une vie instable et variable. Il suit des règles de construction mais qui changent implicitement, et il se présente différemment d'un manuel à l'autre. Dans un même manuel, il apparaît aussi sous forme de maillon-unique que nous avons considéré comme un support graphique du Bilan énergétique.

Dans l'analyse écologique, nous avons montré que ces schémas sont des organisateurs de l'Energie qui aident à identifier, distinguer, situer et mettre en relation des objets énergétiques dans une situation physique donnée. Cependant ils apparaissent rarement dans les exercices. Ceci est mis en lumière dans l'expérimentation avec les étudiants de PLC1 où nous leur fournissons le schéma du Document d'accompagnement du programme de 2000 comme support (nous n'avons abordé que le cas à maillon-unique). Leurs exposés ainsi que leurs remarques confirment l'utilité de ce schéma en tant qu'outil pour comprendre l'Energie et pour l'expliquer aux élèves. Mais son fonctionnement dans des exercices pose des difficultés conceptuelles insurmontables lorsqu'on cherche à l'utiliser dans une situation mécanique courante. Quand on propose une variété de schémas aux enseignants vietnamiens, certains les jugent utiles mais d'autres les trouvent trop compliqués; les schémas les plus appréciés étant ceux qui permettent de quantifier la situation.

D'autre part, le schéma à maillons-multiples disparaît totalement après 1992. On peut s'interroger sur sa pertinence au regard des enseignants et par rapport au savoir universitaire : ce type de schéma correspond à des situations qui relèvent plus des pratiques de la Technologie que de celles de la Physique.

Ceci amène à poser la question de la pertinence de la présence de cet objet dans l'enseignement secondaire, en particulier aux yeux des enseignants : quelles sont les conditions pour qu'un enseignant adopte un objet qui n'existe pas dans le savoir de référence? Nous avons montré que cet objet ne fonctionne pas toujours, qu'il est peu utilisé et que son usage est mal cerné dans les manuels, qu'il n'est pas familier aux enseignants, qu'il n'est pas facile à employer, ...

En résumé, le schéma énergétique apparaît comme un outil intéressant pour appréhender une situation physique du point de vue énergétique, en particulier du point de vue quantitatif, mais tel qu'il est vécu dans les manuels, il apparaît ni efficace, ni convaincant, donc peu exploitable. Ceci peut expliquer son rejet par les enseignants et sa disparition des manuels du programme de 2000.

III.2. Transfert d'énergie

L'analyse écologique montre que la réforme de 1992 donne une position privilégiée à la notion de Transfert, et que l'objet Transformation, peu visible et mal défini, est alors susceptible d'engendrer de multiples confusions avec le Transfert. Ces confusions ne sont toutefois pas spécifiques à l'AU dans la réforme de 1992, puisqu'elles apparaissent dans toutes les institutions, y compris à l'Université. Le cas du Vietnam est particulièrement intéressant car la place des objets Transfert et Transformation est différente de ce qui existe en France. L'expérimentation montre que la différenciation de ces deux notions est également problématique pour les jeunes enseignants.

L'analyse écologique ainsi que notre expérimentation suggère que les deux concepts sont en fait indissociablement liés par la nature conservatrice et multiforme de l'énergie. Ils sont nécessaires pour exprimer la Conservation de l'énergie et le Bilan énergétique.

Ces constatations nous amènent à poser des questions sur la visibilité du Transfert d'énergie au Lycée. Pour quelles raisons les transferts et leur mode sont-ils favorisés par rapport à la Transformation, mais aussi pourquoi le mode est-il mis en avant par rapport à d'autres possibilités de caractérisation des transferts ?

Notre analyse semble indiquer que la question de la place de ces objets et de leurs positions relatives, n'est pas encore véritablement bien cernée dans les réformes du Lycée en France, et que nous sommes ici confronté à une question délicate de transposition didactique d'un savoir.

III.3. Principe de conservation de l'énergie

Notre analyse écologique a montré que dans la réforme de 1992, le Principe général est emblématique d'une AU, et y apparaît comme unificateur de l'Energie. Dans l'expérimentation avec les étudiants de PLC1, l'utilisation du schéma énergétique renforce la position du PCE général dans le cours. Cependant la conservation de l'Energie apparaît sous une grande diversité de formes particulières qui lui font concurrence dans le cours et les exercices. Dans l'expérimentation, le principe général est toujours abordé comme un objet à enseigner mais son usage dans les exercices est remplacé par ses formes particulières : il perd ainsi de la visibilité.

Il conviendrait de poser la question de la raison d'être de chacune des formes de la conservation de l'Energie dans le cours et dans les exercices ? En particulier lorsque l'on veut apporter une Approche Universelle dans un enseignement, quelle doit être la place du PCE général et pour quoi faire ?

III.4. Pourquoi une Approche Universelle ?

Les résultats précédents font émerger des difficultés mais qui ne sont pas dues seulement à des décalages entre Lycée et Université. Ce sont aussi des difficultés internes à l'institution du Lycée qui émergent grâce à ou à cause de l'AU. Nous concluons donc notre travail par une discussion sur l'Approche Universelle dans l'enseignement de l'Energie.

Nous avons montré que l'Approche Universelle, avec les objets qui la caractérise, apporte des avantages dans l'enseignement comme par exemple :

- Aider à comprendre la situation du point de vue énergétique : rassembler et organiser les informations pertinentes pour effectuer un Bilan énergétique et écrire la Conservation de l'Energie.
- Mieux comprendre (identifier, distinguer, caractériser) les phénomènes en jeu : transfert, mode de transfert, transformation, conservation, ...
- L'AU construit une connaissance synthétique transdisciplinaire et véhicule une vision globale conforme à la Physique moderne et à l'épistémologie.

Cependant, nous avons vu que cette approche fait surgir de nombreuses difficultés, en relation avec la complexité même du sujet : l'Energie est une grandeur abstraite, transphénoménologique, multiforme, gérée par des lois qui varient (lois de transfert/transformation) ou qui changent d'expression (Principe de conservation) selon les phénomènes physiques en jeu, et qui donne lieu à des pratiques variées en Physique. Toutes les questions que nous avons posées ci-dessus sont de la même famille, et concernent directement ou indirectement l'adoption d'une AU dans l'enseignement; sa présence fait changer la vie de plusieurs objets énergétiques et conduit parfois à des difficultés. On abouti à cette question : **Quel rôle une Approche Universelle peut-elle jouer dans l'enseignement de l'Energie?**

Notre analyse écologique n'est véritablement approfondie que sur les parties de cours des manuels et quelques exercices (les manuels contiennent très peu d'exercices résolus et de nombreux énoncés dont l'analyse est nécessairement limitée). Nous montrons que là où elle est présente, l'AU vit essentiellement dans le cours et peu dans les exercices : les énoncés d'exercices sollicitent peu les outils et les objets de l'Approche Universelle en regard de l'importance qui lui est donnée dans le cours. Cela ressort également de l'expérimentation dans laquelle les résolutions des exercices du questionnaire proposées par les enseignants, ainsi que leurs commentaires, ne font jamais émerger l'AU. En réalité, les exercices proposés dans le questionnaire, comme ceux des manuels, se réfèrent quasi-exclusivement à une situation physique précise, appartenant à un domaine de la physique donné. L'AP y est naturelle, alors que l'AU n'est pas spontanée parce que la situation n'est pas dans un contexte transversal ni indépendant; de plus nous avons vu que les O(e) emblématiques de l'AU (schémas, PCE, catégorie Mode de transfert, ...) ne vivent pas dans les exercices. Cela pose la question du rôle que peut jouer une approche synthétique dans un exercice.

Notre analyse écologique a montré que l'Approche Universelle n'exclut pas l'Approche Particulière, alors que l'inverse est possible lorsque l'habitat est circonscrit dans un seul domaine de la physique, comme on l'a vu pour les manuels universitaires. Ces deux approches sont donc susceptibles de coexister. Nous avons aussi montré que cette coexistence n'adopte pas la même forme dans les deux programmes français analysés, et que les places relatives de l'AU et de l'AP varient. Nous sommes amenés à ce stade de la réflexion à nous demander comment les objets et les pratiques universels peuvent être utiles, efficaces ? En particulier dans une situation d'exercice ou expérimentale appartenant à un domaine précis de la Physique. Est-ce qu'il ne va pas y avoir une concurrence entre les savoirs particuliers de ce domaine, bien ancrés et adaptés au domaine, et ceux d'une approche synthétique, attachés à une vision plus générale ? En fait, comme semble l'indiquer nos résultats, une raison à l'absence de l'AU dans les exercices ne reposerait elle pas sur la question suivante : les pratiques universelles peuvent elles se substituer aux pratiques particulières, dans des situations précises attachées à un domaine donné ? Est-ce qu'il ne s'agirait pas plutôt d'articuler les deux Approches, sans les opposer ni les mettre en concurrence. Comme on l'a vu dans le cas vietnamien, il peut être intéressant de reconnaître des structures universelles dans les savoirs particuliers, et de les relier à ces structures universelles. On peut penser que cela peut favoriser la compréhension et la mémorisation des nombreuses pratiques particulières, en les reliant à une organisation plus générale, voire universelle.

Les difficultés mises en évidence semblent bien avoir condamné la tentative d'innovation du programme de physique de 1992 autour d'une Approche Universelle de l'Energie, ce qui a eu pour conséquence de la faire presque disparaître de l'enseignement secondaire. Cependant, il ressort de cette étude que ces difficultés sont le plus souvent liées à la transposition didactique de concepts extrêmement délicats. Cela nous écarte quelque peu de notre question initiale sur les difficultés ressenties par les enseignants dans un décalage éventuel entre les savoirs qu'ils doivent enseigner et ceux reçus de leur formation universitaire. Les difficultés identifiées ici relèvent souvent de la cohérence interne du savoir à enseigner lui-même. En conséquence, la question de la formation des enseignants reste ouverte, en particulier dans le cas de l'Energie, une notion qui semble demander un effort considérable de transposition des savoirs savants.

Bibliographie

ARTAUD M., ASSUDE T., MERCIER A. (1998), Introduction à l'approche écologique du didactique. L'écologie des organisations mathématiques et didactiques, 9^e école d'été *Didactique des mathématiques*.

Atlas de la Physique (1997) *Encyclopédies d'aujourd'hui*, La Pochothèque (Le livre à poche).

BALLINI P., ROBARDET G., ROLANDO J-M. (1997), L'intuition, obstacle à l'acquisition de concepts scientifiques. Propositions pour l'enseignement du concept d'énergie en première S., *Aster n°24*, pp.81-112.

BECU-ROBINAULT K. (1993), *L'équivalence Chaleur – Travail au XIXe siècle et en Première S*, DEA, Université de Lyon 1.

BECU-ROBINAULT K. (1997a), *Rôle de l'expérience en classe de physique dans l'acquisition des connaissances sur les phénomènes énergétiques*. Thèse, Université de Lyon 1. Résumé disponible sur : <http://www.inrp.fr/Didactique/These/PhysChim/Robinault.htm>

BECU-ROBINAULT K. (1997b), Activités de modélisation des élèves en situation de travaux pratiques traditionnels : introduction expérimentale du concept de puissance. *Didaskalia n°11*, pp.7-37.

BELHOSTE B., GISPERT H., et HULIN N. (1996), *Les sciences au lycée, un siècle de réformes des mathématiques et de la physique en France et à l'étranger*, Vuibert éd., INRP.

BENSEGHIR A. (1989), *Transition électrostatique- électrocinétique : point de vue historique et analyse des difficultés des élèves*, Thèse, Université Paris VII.

BESSON G., CLAVEL C., GAIDIOZ P., et al. (1998), Enseignement de l'énergie : Expérimentation du nouveau programme de physique et chimie en première S. *BUP n°803*, vol 92, pp.605- 621.

BROUZENG P. (1980), Etude histoire de la notion d'énergie, *BUP n°624*, pp.1135-1146.

BUI-THI K-H. (2001), *Etude des rapports personnels au concept d'énergie chez des étudiants de DEUG*. DEA, Université Joseph Fourier.

BUI-THI K-H. (2003), Construction des concepts dans l'enseignement de l'énergie en Physique, *Colloque Internationale sur l'Enseignement des Sciences*, IUFM de Charleville-Mezières.

BUI-THI K-H. (2005), Intérêt de l'analyse écologique pour l'étude de la pratique des enseignants. Exemple de l'enseignement de l'Energie en France, *Première séminaire franco-vietnamien de didactique des mathématiques*, Université Pédagogique de HoChiMinh ville.

CHEVALLARD Y. (1989), Le concept de rapport au savoir. Rapport personnel, rapport institutionnel, rapport officiel. *Actes du séminaire de didactique des mathématiques et de l'informatique*, n° 108 Grenoble, LSD-IMAG, Institut Fourier.

- CHEVALLARD Y. (1985), *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*, La Pensée Sauvage éd (Réédition 1991).
- CHEVALLARD Y. (1992), Concepts fondamentaux de la didactique : perspectives apportées par une approche anthropologique, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, Vol. 12, n°1, p.73-112.
- CHIESA P., DE LA COTADIÈRE P., OLIVAUX T. et al. (1997), *Chronologie d'histoire des sciences. Le temps déployé*, LaRousse éd.
- CLOSSET J-L. (1989), Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique. *BUP n°716*, pp.931-949.
- DAROT E. (1986), Enseignement de l'énergie, une recherche pluridisciplinaire de l'INRP. *Aster n°2*, pp.105-132.
- FEYNMAN R. (1963), *Cours de physique tome 1*, Addison-Westley Publishing Cie Inc éd (Réédition 1995).
- FEYNMAN R. (1965,) *La nature de la physique*. Seuil éd (Réédition 1980).
- GIANCOLO D-C. (1993), *Physique générale*, De Boeck Université éd.
- GUAYDIÈRE P. (1964), Histoire de la physique. *Que sais je ? n°421*, Presse universitaires de France éd.
- GUILLAUD J-C. (1998), *Enseignement et apprentissage du concept de force en classe de troisième*, Thèse, Université Joseph Fourier.
- HALBWACHS F. (1981), Histoire de l'énergie mécanique, *CUIDE 6, n°18*, pp.52-75.
- HULIN M. (1992), *Le mirage et la nécessité. Pour une redéfinition de la formation scientifique de bas*, Presses de l'école normale supérieure et Palais de la découverte.
- HULIN N. (1996a), Constitution de la physique moderne et nouvelle conception de l'enseignement de la discipline. In *Les sciences au lycée, un siècle de réformes des mathématiques et de la physique en France et à l'étranger*, pp.55-68, Vuibert éd., INRP.
- HULIN N. (1996b), L'enseignement de la physique : d'une réforme à l'autre, permanence et décalages. In *Les sciences au lycée, un siècle de réformes des mathématiques et de la physique en France et à l'étranger*, pp.107-120, Vuibert éd., INRP.
- KOLIOPOULOS D. et TIBERGHIEU A. (1986), Eléments d'une bibliographie concernant l'enseignement de l'énergie au niveau des collèges. *Aster n°2*, pp.167-179.
- KOLIOPOULOS, D. et RAVANIS K. (2000). Elaboration et évaluation du contenu conceptuel d'un curriculum constructiviste concernant l'approche énergétique des phénomènes mécaniques. *Didaskalia n°16*, pp.33-56.

LEMEIGNAN G. et WEIL-BARAIS A. (1992), L'apprentissage de la modélisation dans l'enseignement de l'énergie. In *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*, pp.171-231, Equipe INRP-LIREST, Paris.

LEMEIGNAN G. et WEIL-BARAIS A. (1993), *Construire des concepts en physique*. Hachette éd., coll.didactique.

LE VAN T. (2001), *Etude didactique de liens entre fonctions et équations dans l'enseignement des mathématiques au lycée en France et au Vietnam*, Thèse, Université Joseph Fourier.

MARTINAND J-L. (1985), *La construction de la notion d'énergie*, Rapport de recherche n°3, pp.111-130, INRP.

MERLEAU-PONTY J (1979), La découverte des principes de l'énergie : l'itinéraire de Joule, *Revue d'histoire des sciences*, vol 32, pp.315-331.

NSUMBU-A-NLAMBU D. (1995), Comment opérer une « transposition » didactique des conceptions initiales des élèves par rapport au concept de chaleur pour atteindre la conceptualisation de cette notion, *Actes JIES XVII*, pp.493-498.

POINCARÉ H. (1902), *La science et l'hypothèse*, Collection Champs, Flammarion éd (Réédition : 1908).

POINCARÉ H. (1908), *Thermodynamique*, Jacques Gabay éd (Réédition : 1995).

ROBARDET G., GUILLAUD J-C. (1997), *Eléments d'épistémologie et de didactique des sciences physiques*, Paris PUF.

ROBARDET G. et ROLANDO J-M. (1999), *Un enseignement de la conservation de l'énergie*, Publication interne: IUFM de Grenoble et LIDSET.

ROBARDET G. (2000), Réflexions autour des concepts de savoir et de transposition : écologie des savoirs, *Cours sur l'anthropologie des savoirs- DEA EIAHD, Grenoble*.

ROSMORDUC J. (1987), *Histoire de la physique tome 1 : la formation de la physique classique*. Petite collection d'histoire des sciences, Technique et documentaire -Lavoisier éd.

ROZIER S. (1988), *Le raisonnement linéaire causal en thermodynamique classique élémentaire*. Thèse, Université Paris VII.

TOUSSAINT J., (2001), *L'enseignement de la physique en France : Contribution à quelques problèmes de mise à jour*, Mémoire d'Habilitation à diriger des recherches, Université Paris Sud.

VERSEILS-BRUGUIERE C. (1997), *Contribution à l'identification des réseaux conceptuels associés à l'enseignement-apprentissage de l'énergie. (L'enseignement-apprentissage de l'énergie pris dans un contexte pluridisciplinaire et une problématique environnementale)*. Thèse, Université de Montpellier II. Résumé disponible sur : <http://www.inrp.fr/Didactique/These/PhysChim/Verseils.htm>

VERSEILS-BRUGUIERE C., SIVADE A., CROS D. (2002), Quelle terminologie adopter pour articuler enseignement disciplinaire et enseignement thématique de l'énergie, en classe de première de série scientifique ?, *Didaskalia* 20, pp 67-100.

Programmes de physique du lycée et document d'accompagnement des programmes en France

Programme de 1957 (arrêté du 19 juillet 1957), *Les sciences physiques dans les lycées (Instruction et programme)*, Ministère de l'éducation nationale (1961).

Programme 1^{ère}C de 1979 (arrêté du 30 janvier 1979), *Sciences physiques, classes des lycées d'enseignement général et technique (à l'exclusion des sections F et H) (Collection : horaires, objectifs, programmes, instructions)* ; BO n°8 du 22/2/1979.

Programme 1^{ère}S de 1982 (arrêté du 9 mars 1982), *Collection horaires, objectifs, programme, instruction* ; BO n° spécial 3 du 22/4/1982.

Programme 1^{ère}S de 1988 (arrêté du 25 avril 1988), BO supplément au n°2 du 2 juin 1988.

Programme 1^{ère}S de 1992 (arrêté du 10 juillet 1992), BO hors série du 24 septembre 1992.

Document d'accompagnement du programme de Physique de la classe de Première S (1993), Ministère de l'Education Nationale et de la Culture.

Programme 1^{ère}S de 2000 de Première, BO n°7 du 31 août 2000.

Accompagnement des programmes – Physique - classe de Première S (2002), Centre National de Document Pédagogique (CNDP).

COAST-MAFPEN (1998). *Introduction à l'énergie: contenus de l'enseignement et compléments didactiques*. CRDP Lyon.

Manuels du Lycée et universitaires étudiés

En France

1^{er} Collection de 1^{er} S :

Durandea J-P. et al. (1994), *Physique, 1^{er} S*, Collection Durandea, Hachette éd.

Durandea J-P. et al. (2001), *Physique, 1^{er} S*, Collection Durandea, Hachette éd.

2^e Collection de 1^{er} S :

Physique, 1^{er} S (1994), Bréal éd.

Physique, 1^{er} S (2001), Bréal éd.

3^e Collection de 1^{er} S :

Physique, 1^{er} S (1994), Collection Galiléo, Borda éd.

Physique, 1^{er} S (2001), Collection Galiléo, Borda éd.

1^e Collection universitaire :

PEREZ J.P. (1997), *Mécanique fondements et applications* (Premiers cycles, licence), Masson éd.

PEREZ J.P., CARLES R., FLECKINGER R. (1997), *Electromagnétisme fondements et applications* (Premiers cycles, licence), Masson éd.

PEREZ J.P. (1997), *Thermodynamique fondements et applications* (Premiers cycles, licence), Masson éd.

2^e Collection universitaire :

COMBARNOUS M., DESJARDINS D., BACON C. (2000), *Mécanique des solides- Cours et exercices corrigés* (1^{er} cycle), Dunod éd.

COMBARNOUS M., DESJARDINS D., BACON C. (1993), *Mécanique du point- Cours et problèmes résolus corrigés* (1^{er} cycle universitaire), Dunod éd.

HULIN M., MAURY J6P. (1996), *Les bases de l'électromagnétisme- Cours et problèmes résolus* (1^{er} cycle universitaire), Dunod éd.

HUILLIER C. et ROUS J. (1994), *Introduction à la thermodynamique – Cours et problèmes résolus* (1^{er} cycle universitaire), Dunod éd.

3^e Collection universitaire :

ALONSO M., J.FINN E., DAUNE M. (1991), *Physique Générale. Tome 1 : Mécanique et Thermodynamique*, InterEditions.

ALONSO M., J.FINN E., WEIL G. (1992), *Physique Générale. Tome 1 : Champs et Ondes*, InterEditions.

Au Vietnam

Collection classe de 10^e :

Physique classe de 10^e (1984), Ministère de l'éducation éd.

Physique classe de 10^e (2003), Ministère de l'éducation éd.

Programme Physique au lycée (2002), Ministère de l'éducation éd.

1^e Collection universitaire :

LUONG Duyen Binh (2003), *Physique Générale. Tome 1 : Mécanique - Thermique*, Ministère de l'éducation éd.

LUONG Duyen Binh (2003), *Physique Générale. Tome 2 : Electricité-Oscillations-Ondes*, Ministère de l'éducation éd.

2^e Collection universitaire :

NGUYEN Viet Kinh, BACH Thanh Cong, PHAN Van Thich (1999), *Physique Générale. Tome 1 : Mécanique - Thermique*, Université Nationale de Ha noi éd.

NGUYEN Viet Kinh, BACH Thanh Cong, PHAN Van Thich (1999), *Physique Générale. Tome 2 : Electricité-Optique*, Université Nationale de Ha noi éd.

Autres manuels universitaires :

LY Vinh Be (2004), *Cours de Mécanique*, Publication interne: Université Pédagogique de HoChiMinh ville, Faculté de Physique.

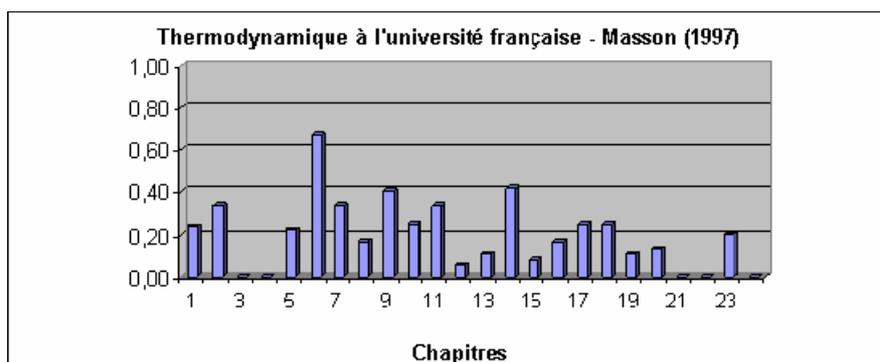
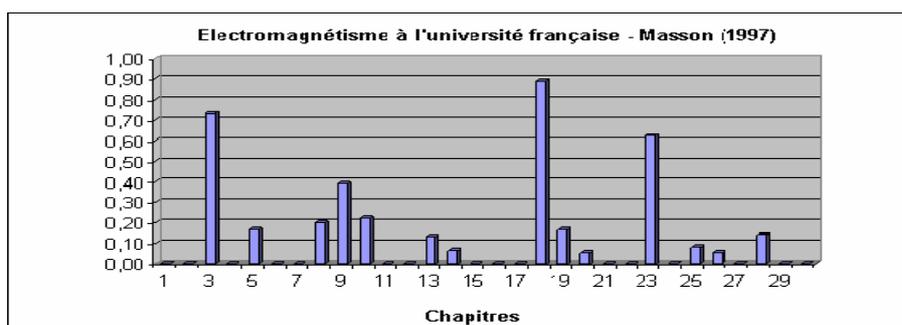
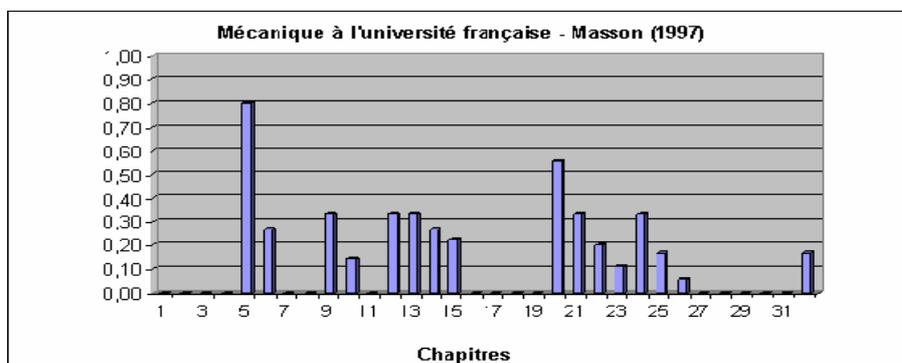
NGUYEN Nhat Khanh (1999) *Cours de Mécanique et Thermique*, Publication interne: Université des Sciences naturelles de HoChiMinh ville.

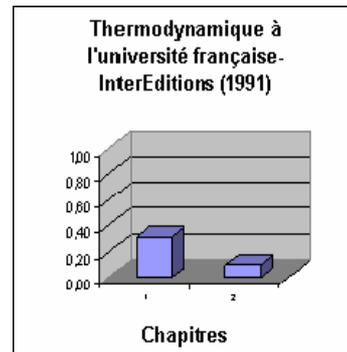
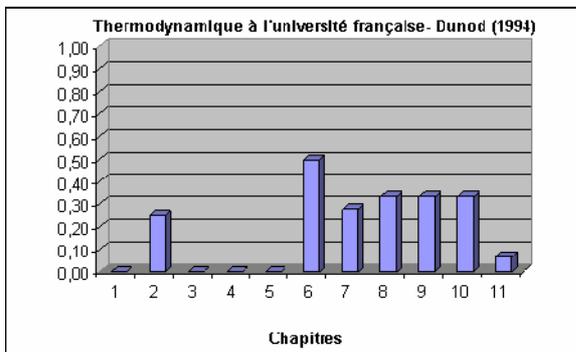
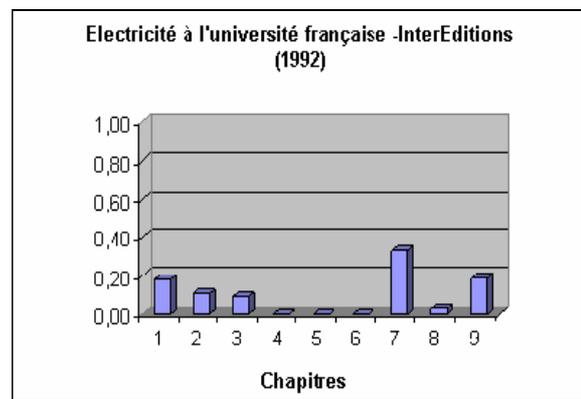
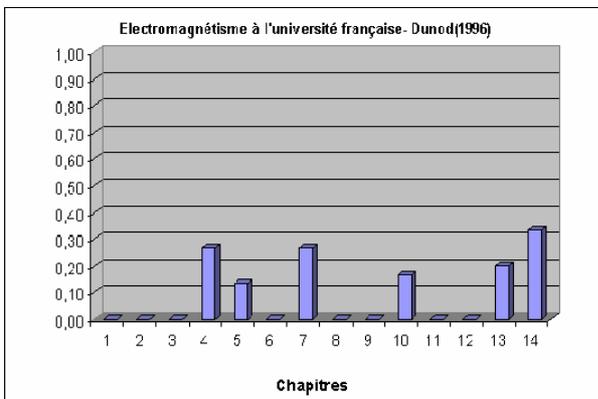
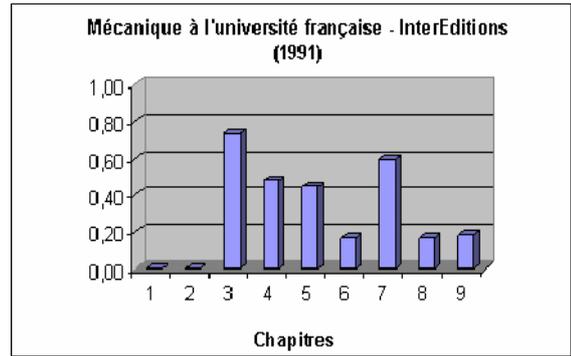
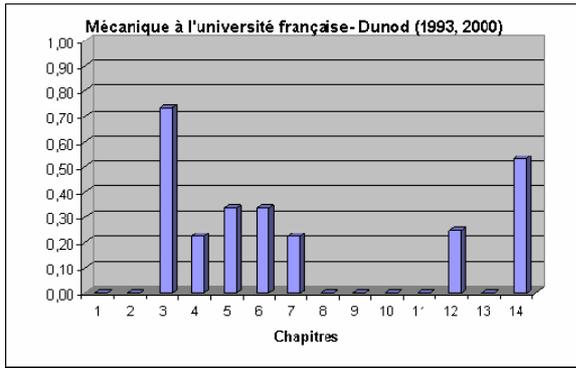
Annexes

Annexe B.1

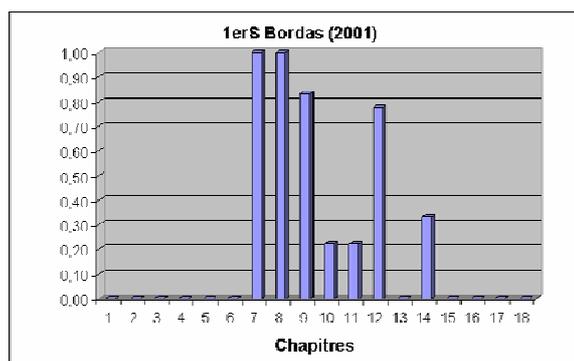
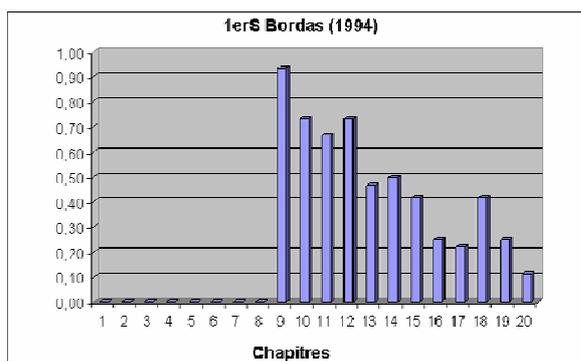
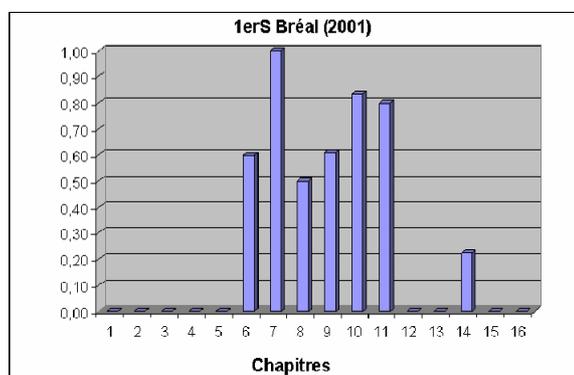
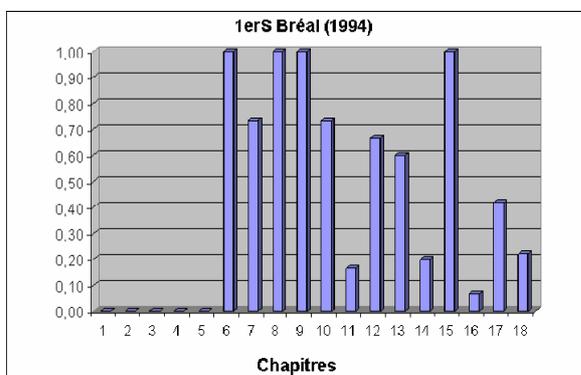
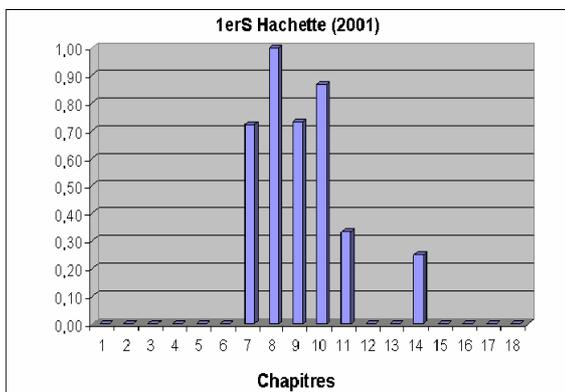
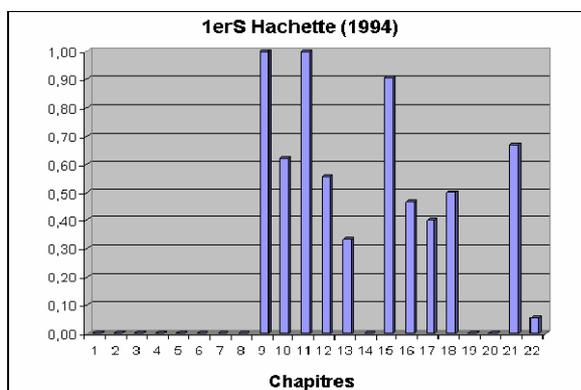
Pour chaque manuel, nous présentons en ordonnée la densité d'apparition de l'Energie relative à un chapitre et en abscisse le numéro de chapitre.

I. Place de l'Energie dans les manuels de l'Université en France (cf. p.83)

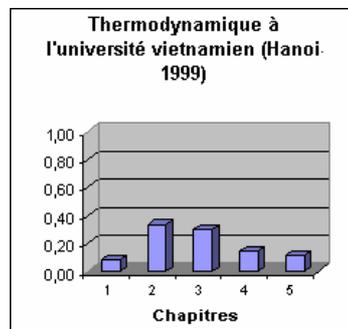
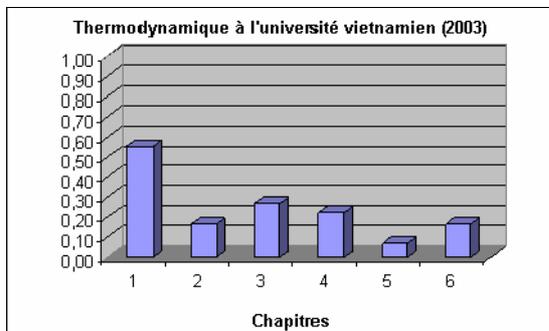
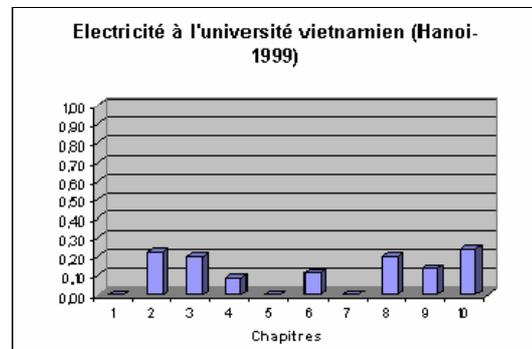
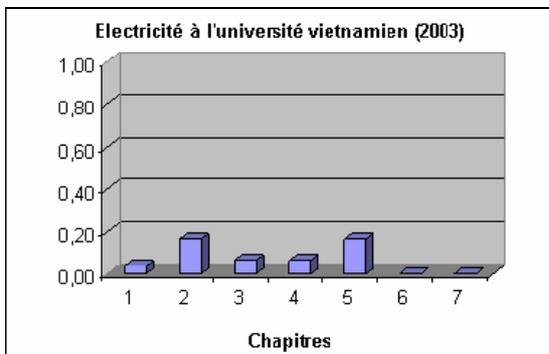
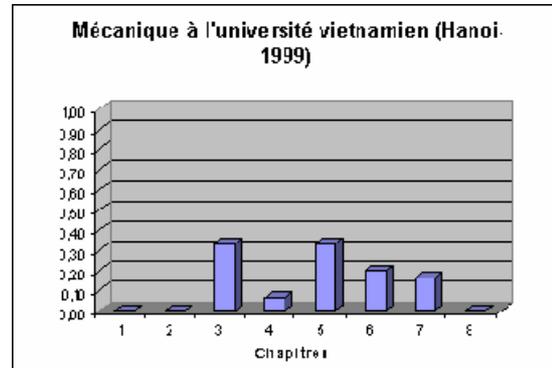
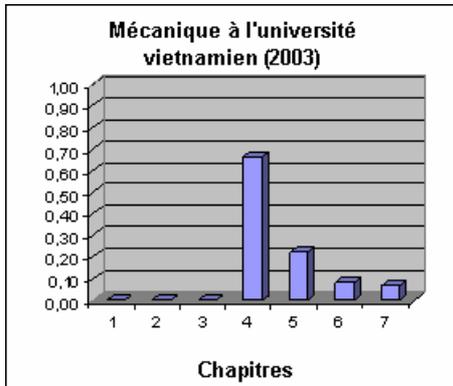




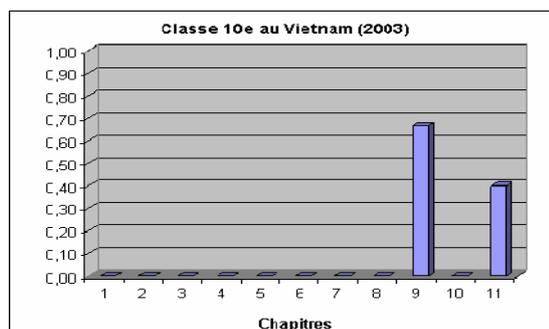
II. Place de l'Énergie dans les manuels de Lycée en France (cf. p.84)

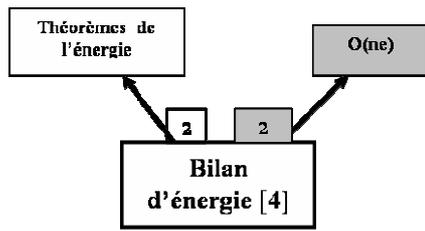


III. Place de l'Énergie dans les manuels de l'Université au Vietnam (cf. p.86)



IV. Place de l'Énergie dans les manuels du lycée au Vietnam (cf. p.86)

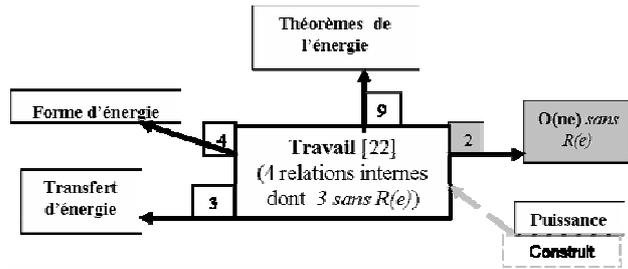




« La vie » du Bilan énergétique

Le Bilan d'énergie existe toujours avec le R(e) avec des relations entre des O(e). 50% des occurrences est pour étudier le Théorèmes et 50% pour des O(ne).

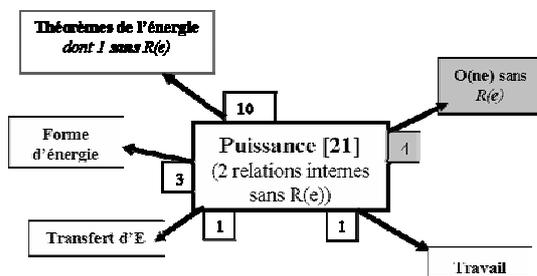
Sans relation avec : Forme, Travail, Chaleur, Rayonnement, Puissance, Bilan, Chaîne, Rendement, Transformation, Transfert.



« La vie » du Travail

Le Travail apparaît pour étudier 3 O(e) de notre liste. En dehors de 4 relations internes (18% des occurrences), il est utilisé pour étudier : Théorèmes de l'énergie (41%), Formes d'énergie (18%), Transfert (14%). Inversement, il intervient seulement dans l'étude de la Puissance. Il a trois relations internes qui sont sans relation avec des O(e) : sa définition et ses expressions qui sont tous en relation avec la force. En outre, il a 2 (9%) occurrences pour étudier des O(ne).

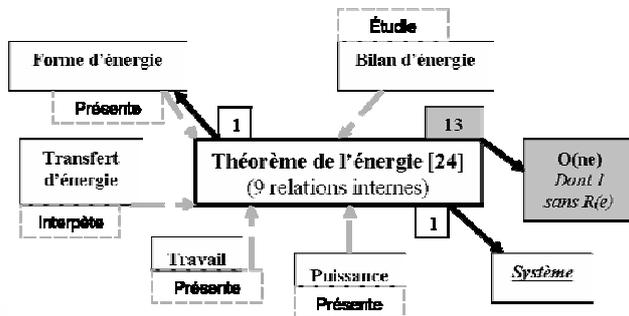
Sans relation avec : Chaleur, Rayonnement, Bilan, Chaîne, Rendement, Transformation, Principe.



« La vie » de la Puissance

La Puissance apparaît pour étudier 1 O(e) de notre liste. En dehors de 2 définitions (9% des occurrences), elle est utilisée surtout pour étudier : Théorèmes (45%). Elle n'existe pas la relation avec des autres O(e) à l'autre sens. Sa définition et sont expressions ne présentent pas la relation énergétique, elle est toujours en relation avec la force. En outre, il a 4 (19%) occurrences pour étudier des O(ne).

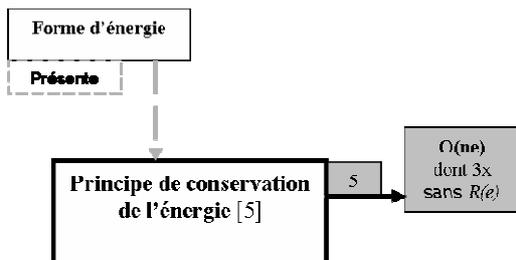
Sans relation avec : Chaleur, Rayonnement, Bilan, Chaîne, Rendement, Transformation, Théorème.



« La vie » des Théorèmes de l'énergie

En dehors de 9 énoncés (28% des occurrences), ils apparaissent pour étudier 1 objet de notre liste : Forme d'énergie (1%). Inversement, ils interviennent dans l'étude de 5 autres objets : Transfert, Forme d'énergie, Bilan, Travail et Puissance. Ils ont 13 occurrences (54%) pour étudier des O(ne).

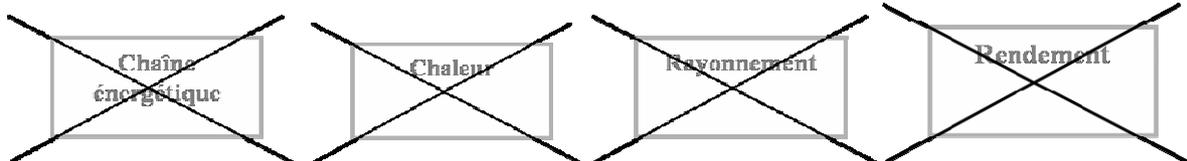
Sans relation avec : Transformation, Rayonnement, Chaleur, Rendement, Chaîne.



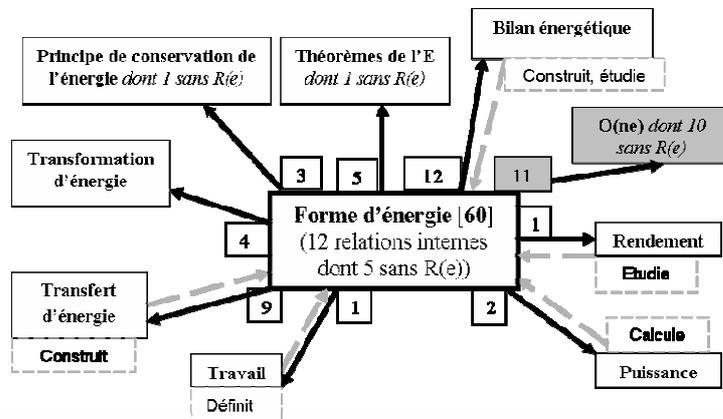
« La vie » du Principe de conservation de l'énergie

Le Principe de conservation de l'énergie apparaissent seulement pour étudier objets non-énergétiques (100%).

Sans relation avec des Oe : Travail, Chaleur, Rayonnement, Puissance Bilan, Chaîne, Rendement, Transfert, Transformation, Théorème.



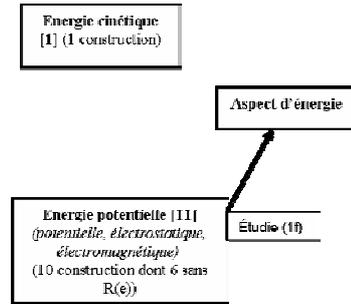
I.2. Manuel *Electromagnétisme*, Masson éducation (1997)



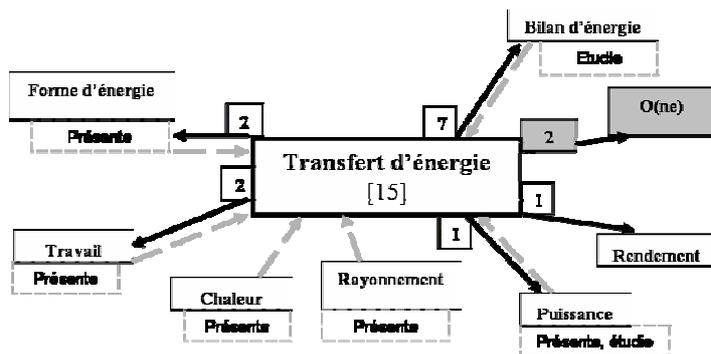
« La vie » des Formes d'énergie

Les Formes d'énergie apparaissent pour étudier 8 O(e) de notre liste. En dehors de 12 relations internes (20% des occurrences), elles sont utilisées surtout pour construire le Bilan (20%), présenter le Transfert (15%), Théorèmes (8%) et la Transformation (7%). Inversement, elles interviennent dans l'étude de 5 autres objets : Transfert, Puissance, Bilan, Rendement et Travail. En outre, elles ont 16 occurrences pour étudier des O(ne) dont 10 fois sans R(e).

Sans relation avec : Chaîne, Rayonnement, Rendement.



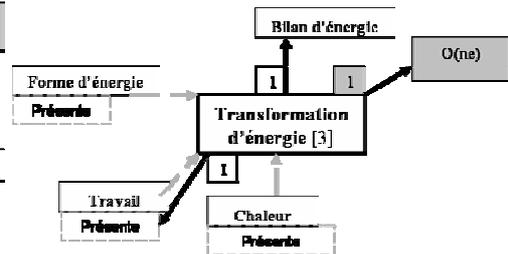
12 relations internes entre des formes d'énergie



« La vie » du Transfert d'énergie

Le Transfert d'énergie apparaît pour étudier 5 O(e) de notre liste. Il est utilisé surtout pour construire le Bilan (47%). Inversement, il intervient dans des études des objets : Forme d'énergie, Travail, etc. En outre, il a 2 occurrences pour étudier des O(ne). Il crée un contexte qui présente des relations entre des O(e) de notre liste.

Sans relation avec : Chaîne, Principe, Chaleur, Théorème.



« La vie » de la Transformation d'énergie

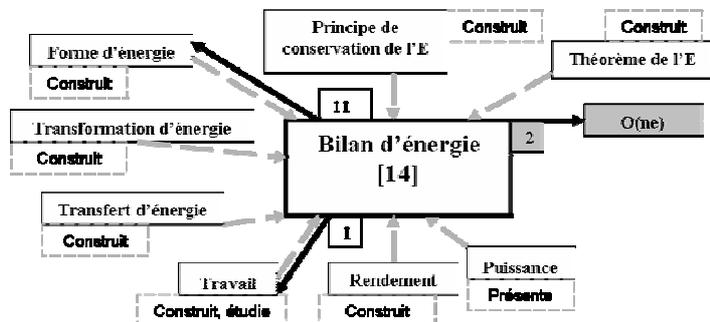
La Transformation d'énergie apparaît pour étudier le Bilan (33%) et le Travail (33%). Inversement, elle intervient dans des études de trois O(e) : Forme d'énergie, Chaleur et Travail. En outre, elle a 1 occurrence (34%) pour étudier des O(ne).

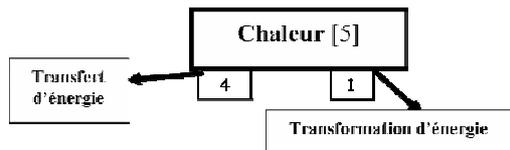
Sans relation avec : Chaîne, Rayonnement, Rendement, Principe, Chaleur, Puissance, Théorème.

« La vie » du Bilan d'énergie

Le Bilan énergétique apparaît pour étudier 2 objets de notre liste : Forme d'énergie (79%) et Travail (7%). Inversement, il intervient dans des études des objets : Forme d'énergie, Rendement, Travail, etc. En outre, il a 2 occurrences 2 (14%) pour étudier des O(ne).

Sans relation avec : Chaîne, Rayonnement, Chaleur.

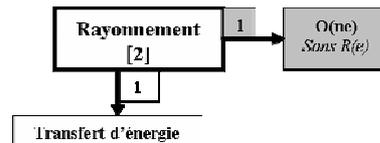




« La vie » de la Chaleur

La Chaleur apparaît pour étudier 2 O(e) de notre liste : Transfert (80%) et Transformation (20%). Elle n'a pas la relation à l'autre sens avec ces deux objets, ni des autres O(e).

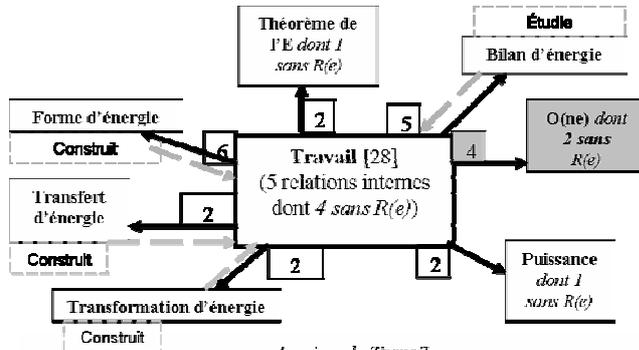
Sans relation avec : Formes, Chaîne, Rayonnement, Principe, Travail, Chaleur, Puissance, Rendement, Théorème.



« La vie » du Rayonnement

Le Rayonnement apparaît pour étudier le Transfert d'énergie (50%) de notre liste. En outre il a 1 occurrence pour étudier des O(ne) où il n'est pas considéré comme un O(e) mode de transfert.

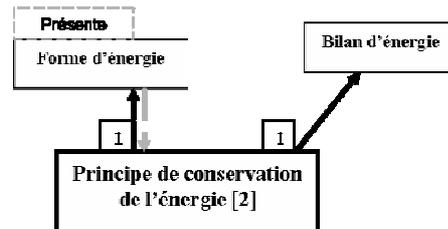
Sans relation avec : Formes, Chaîne, Principe, Transformation, Travail, Chaleur, Puissance, Rendement, Bilan, Théorème.



« La vie » du Travail

Le Travail apparaît pour étudier 6 O(e) de notre liste. En dehors de 5 constructions (18% des occurrences) il est utilisé surtout pour étudier : Formes d'énergie (21%) et Bilan (18%). Inversement, il intervient dans l'étude de 4 autres objets : Transfert, Transformation, Forme d'énergie et Bilan. En outre, il a 6 occurrences pour étudier des O(ne) dont 3 fois sans R(e).

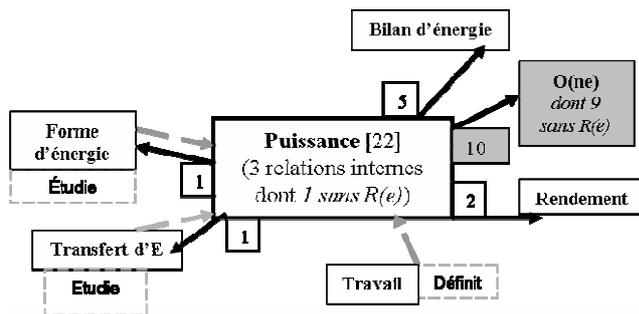
Sans relation avec : Chaîne, Rayonnement, Rendement, Chaleur, Principe.



« La vie » du Principe de conservation de l'énergie

Le Principe de conservation de l'énergie apparaît pour étudier le Bilan (50%) et l'énergie potentielle (50%). Inversement, ils interviennent dans l'étude de : Forme d'énergie.

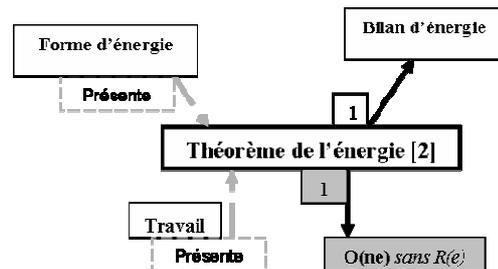
Sans relation avec : Chaîne, Travail, Rayonnement, Transfert, Transformation, Chaleur, Puissance, Rendement, Théorème.



« La vie » de la Puissance

La Puissance apparaît pour étudier 4 O(e) de notre liste. En dehors de 3 constructions (14% des occurrences) elle est utilisée surtout pour étudier la Bilan énergétique (23%). Inversement, elle intervient dans l'étude des Formes d'énergie et du Travail. En outre, elle a 10 occurrences pour étudier des O(ne) dont 7 fois sans R(e).

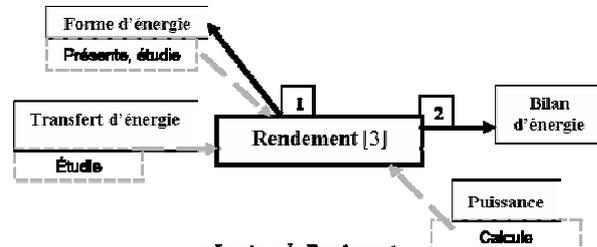
Sans relation avec : Chaîne, Rayonnement, Principe, Chaleur, Transformation, Théorème.



« La vie » des Théorèmes de l'énergie

Les Théorèmes de l'énergie apparaissent pour étudier un seul objet de notre liste : Bilan d'énergie (50%). Inversement, ils interviennent dans l'étude de 2 autres objets : Forme d'énergie et Travail. Ils ont 1 occurrence (50%) pour étudier des O(ne).

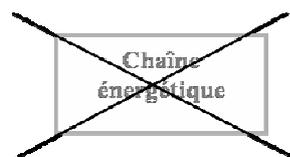
Sans relation avec : Transfert, Transformation, Puissance, Rayonnement, Chaleur, Rendement, Bilan, Chaîne.



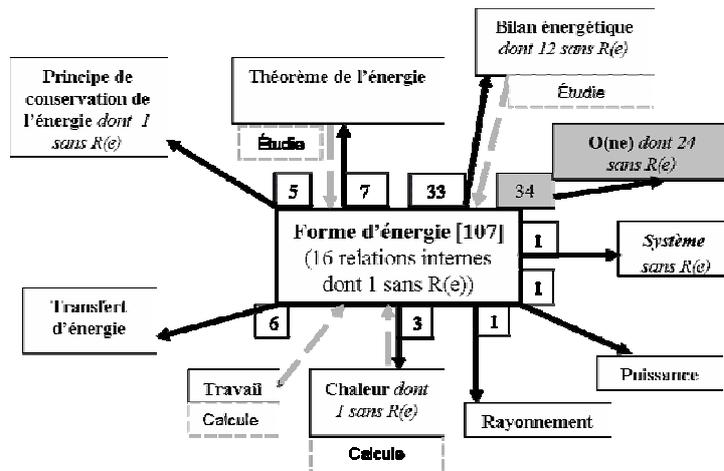
« La vie » du Rendement

L'efficacité apparaît pour étudier le bilan énergétique (67%) et l'aspect d'énergie (33%). Inversement, elle intervient dans l'étude de 3 autres objets : Forme, Transfert et puissance.

Sans relation avec : Chaîne, Rayonnement, Principe, Travail, Chaleur, Puissance, Théorème.



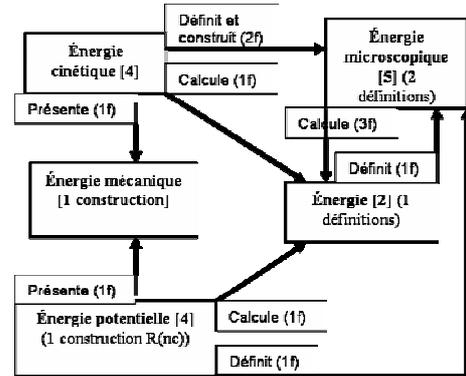
I.3. Manuel *Thermodynamique*, Masson éducation (1997)



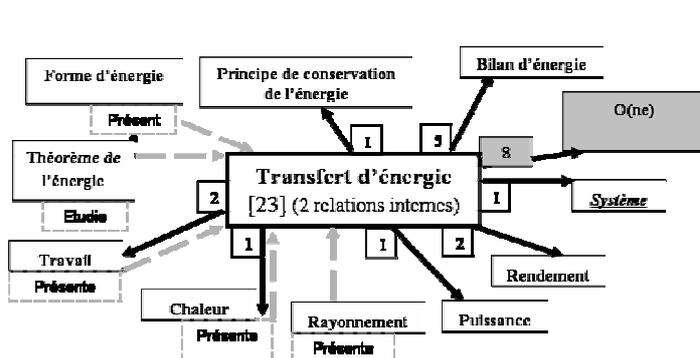
« La vie » des Formes d'énergie

Les Formes d'énergie apparaissent pour étudier 7 O(e) de notre liste. En dehors de 16 relations internes (15% des occurrences), elles sont utilisées surtout pour étudier et présenter : Bilan (31%), Théorème (7%), Transfert (6%), Principe (5%), etc. Inversement, elles interviennent dans l'étude de 3 autres objets : Bilan, Travail et Chaleur. En outre, elles ont 34 (32%) occurrences pour étudier des O(ne) dont 24 fois sans R(e).

Sans relation avec : Chaîne, Transformation, Rendement.



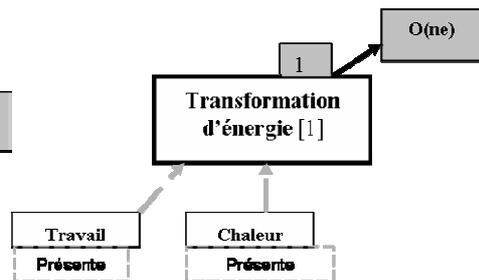
22 relations internes entre des formes d'énergie



« La vie » du Transfert d'énergie

Le Transfert d'énergie apparaît pour étudier 6 O(e) de notre liste. Il est utilisé surtout pour présenter le Bilan (22%). Inversement, il intervient dans des études de 5 autres objets : Forme d'énergie, Théorème de l'énergie, Chaleur, Rayonnement et Travail. En outre, il a 8 (35%) occurrences pour étudier des O(ne) dont 1 fois sans R(e).

Sans relation avec : Chaîne, Transformation.



« La vie » de la Transformation d'énergie

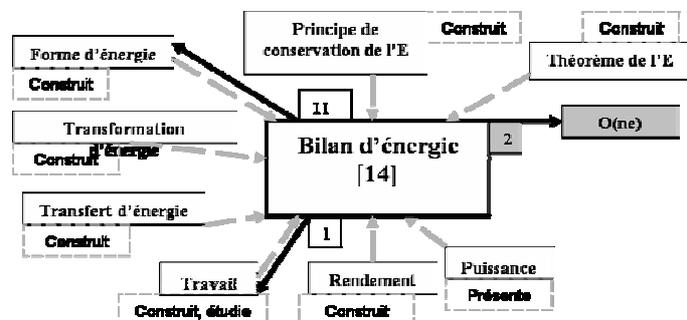
La Transformation d'énergie crée un contexte qui présente le R(e). Mais sa seule occurrence est pour étudier des O(ne). Inversement, elle intervient dans l'étude de 2 autres objets : Chaleur et Travail.

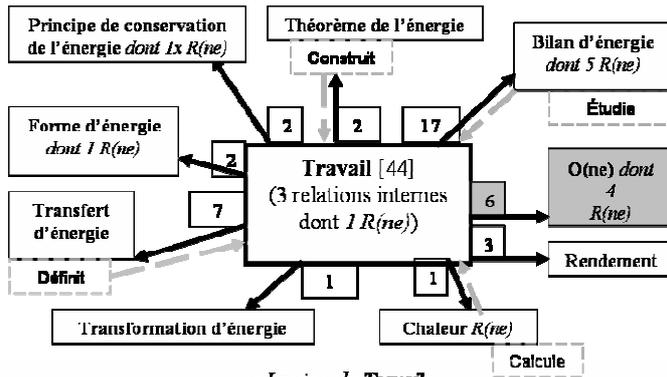
Sans relation avec : Formes, Principe, Chaîne, Transfert, Rayonnement, Puissance, Rendement, Bilan, Théorème.

« La vie » du Bilan d'énergie

Le Bilan énergétique apparaît pour étudier 2 objets de notre liste : Forme d'énergie (79%) et Travail (7%). Inversement, il intervient dans des études des O(e) : Forme d'énergie, Rendement, Travail, etc. En outre, il a 2 occurrences (14%) pour étudier des O(ne).

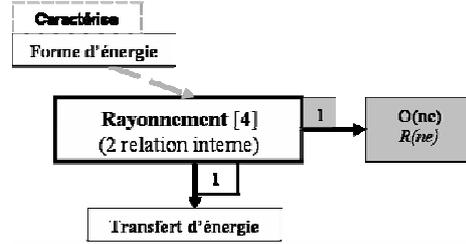
Sans relation avec : Chaîne, Rayonnement, Chaleur.





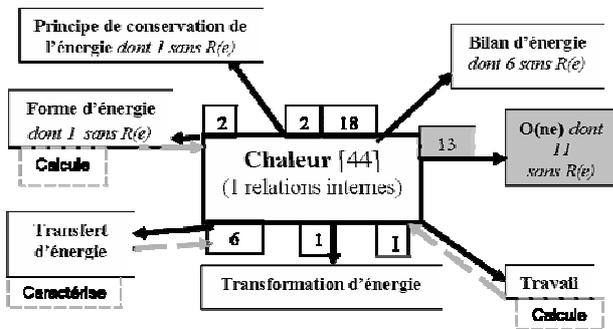
« La vie » du Travail

Le Travail apparaît pour étudier 8 O(e) de notre liste. En dehors de 3 constructions (7% des occurrences), la plupart de ses occurrences est pour étudier : Bilan (39%), Transfert (16%). Inversement, il intervient dans l'étude de 4 autres objets : Transfert, Théorème, Chaleur et Bilan. En outre il a 6 occurrences (14%) pour étudier des O(nc) dont 4 fois sans R(c).
Sans relation avec: Chaîne, Rayonnement, Puissance.



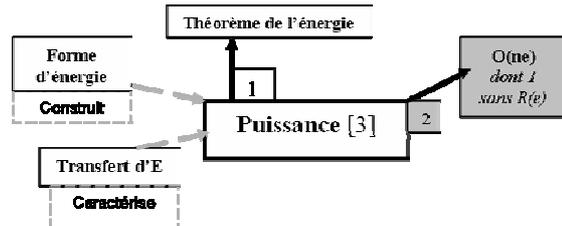
« La vie » du Rayonnement

En dehors de sa construction (50%) comme un objet non-énergétique mais optique, le Rayonnement apparaît pour étudier 1 O(e) : Transfert (25%). Inversement, il intervient aussi dans l'étude cet objet et l'objet Formes d'énergie. En outre, il a 1 occurrence (25%) pour étudier des O(ne) et tous les deux sans R(c).
Sans relation avec: Chaîne, Chaleur, Puissance, Travail, Principe, Transformation, Rendement, Bilan, Théorème.



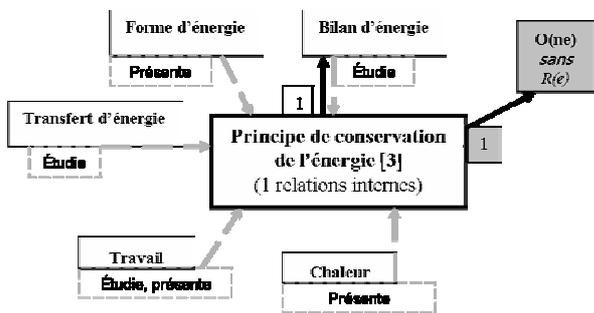
« La vie » de la Chaleur

La Chaleur apparaît pour étudier 6 O(e) de notre liste. En dehors de sa définitions (2% des occurrences), la plupart de ses occurrences est pour étudier : Bilan (41%) dont 6x sans R(e). Inversement, il intervient dans l'étude de 3 autres objets : Transfert, Travail et Formes d'énergie. En outre elle a 13 occurrences (30%) pour étudier des O(ne) dont 11 fois sans R(e).
Sans relation avec: Chaîne, Rayonnement, Puissance, Théorèmes.



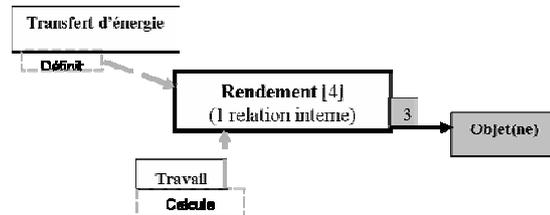
« La vie » de la Puissance

La Puissance a 1 occurrence (33%) pour étudier le théorème de l'énergie et 2 autres (67%) pour des O(ne) que tous ces 2 fois sans R(e). Inversement, elle intervient dans l'étude de 2 autres objets : Formes d'énergie et Transfert.
Sans relation avec: Chaîne, Chaleur, Travail, Principe, Transformation, Rendement, Bilan, Rayonnement.



« La vie » du Principe de conservation de l'énergie

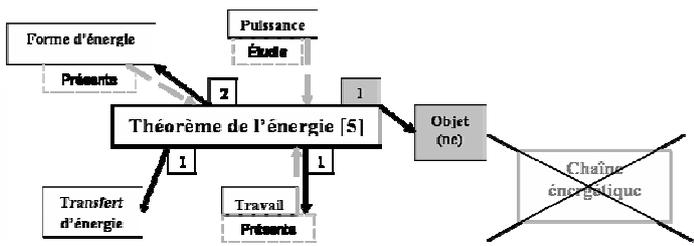
En dehors de sa relations internes (67% des occurrences), le Principe de conservation de l'énergie apparaît 1 fois (33%) pour étudier l'objet Bilan. Et ils interviennent dans l'étude de cet objet et les autres comme : Forme d'énergie, Bilan, Transfert, etc. En outre, il a 1 occurrence (33%) pour étudier des O(ne) en R(c).
Sans relation avec : Chaîne, Puissance, Transformation, Rendement, Rayonnement, Théorème.



« La vie » du Rendement

En dehors de la définition, toutes les 3 occurrences du Rendement sont toutes pour étudier des O(ne). Mais inversement, il intervient quand même dans l'étude de 2 autres O(e) : Transfert et Travail.
Sans relation avec: Chaîne, Puissance, Chaleur, Transformation, Bilan, Rayonnement, Principe, Forme, Théorèmes.

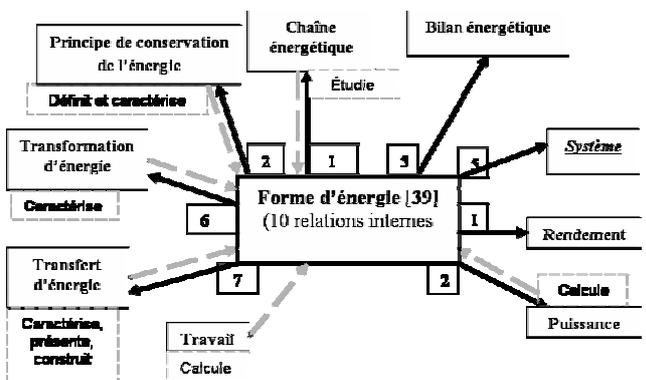
« La vie » des Théorèmes de l'énergie
 Les Théorèmes apparaissent pour étudier 3 objets de notre liste : Formes d'énergie (40%), Transfert (20%) et Travail (20%). Inversement, ils interviennent dans l'étude de 2 objets : Forme d'énergie et Travail ils ont 1 occurrence (20%) pour étudier des O(ne).
 Sans relation avec : Principe, Transformation, Puissance, Rayonnement, Chaleur, Rendement, Bilan, Chaîne.



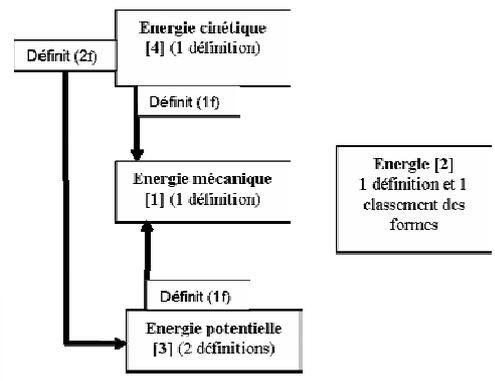
II. Lycée français

II.1. Manuel de Collection Durandeu, Hachette (1994) : cf. chapitre B3

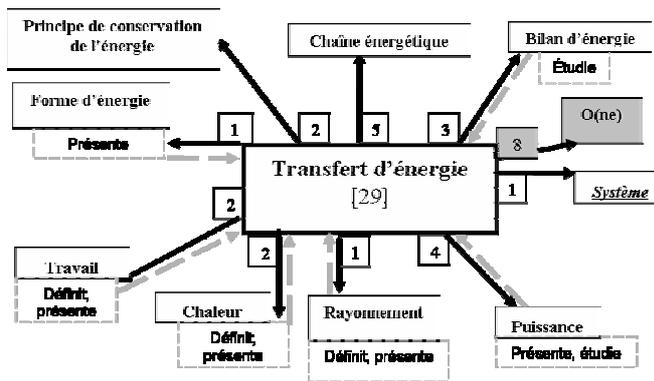
II.2. Document de COAST-MAFPEN (1998)



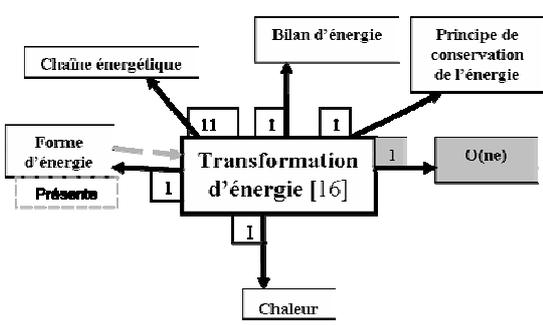
« La vie » des Formes d'énergie
 En dehors de 10 relations internes (26% des occurrences), les Formes d'énergie sont utilisées pour étudier 7 objets de notre liste. La plupart de ses occurrences sont pour présenter le Transfert (18%), Translommation (15%) etc. Inversement, elles interviennent dans l'étude des autres objets comme Transformation, Transfert, Travail, etc. Elles sont définies et caractérisées par des études du principe de conservation de l'énergie.
 Sans relation avec : Chaleur, Rayonnement, Théorème.



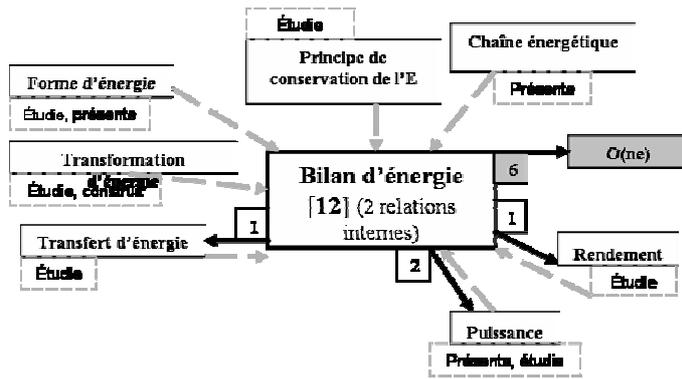
La relation interne entre des objets « formes d'énergie » dans leurs 10 fois de Relation interne.



« La vie » du Transfert d'énergie
 Le Transfert est utilisé pour étudier 8 O(e) dont la plupart pour étudier : Chaîne (17%) et Puissance (14%), des machines électriques (14%) etc. Inversement, il intervient dans l'étude des autres objets comme Bilan, Formes d'énergie, Travail, Chaleur, Rayonnement, etc. En outre, il a 8 (28%) occurrences pour étudier des O(ne).
 Sans relation avec : Rendement, Transformation, Théorème.

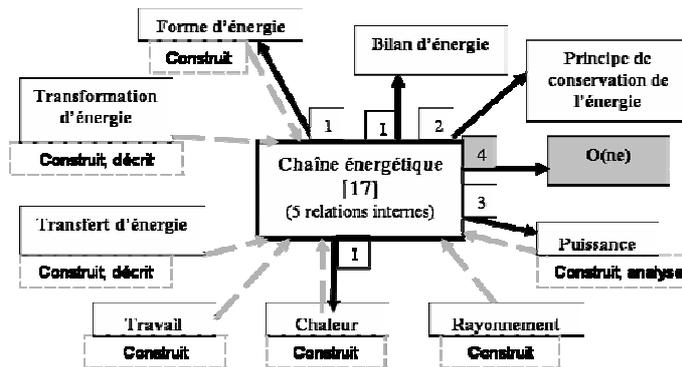


« La vie » de la Transformation d'énergie
 La Transformation d'énergie apparaît pour étudier 5 O(e) de notre liste. Elle est utilisée surtout pour décrire la chaîne énergétique (69%). Inversement, elle n'intervient que dans l'étude de l'objet Forme d'énergie. En outre, il a 1 occurrence (6%) pour étudier l'effet Joule.
 Sans relation avec : Rendement, Travail, Puissance, Rayonnement, Transfert, Théorème.



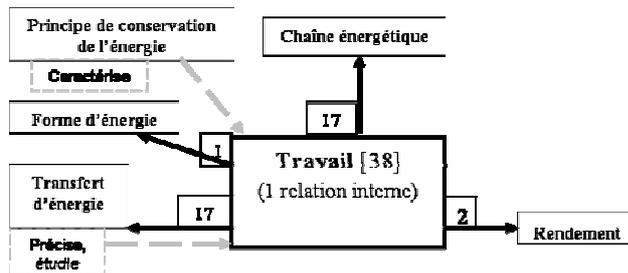
« La vie » du Bilan d'énergie

En dehors de 2 constructions (17% des occurrences), le Bilan énergétique est pour étudier 3 O(e) de notre liste. Il est appliqué la plupart pour étudier : Puissance (17%), Transfert (8%), Rendement (8%). Inversement, il intervient dans l'étude de plusieurs objets comme Transformation, Transfert, est. En outre, il a 6 occurrences (50%) pour étudier des O(ne).
Sans relation avec : Rayonnement, Travail, Chaleur, Théorème.



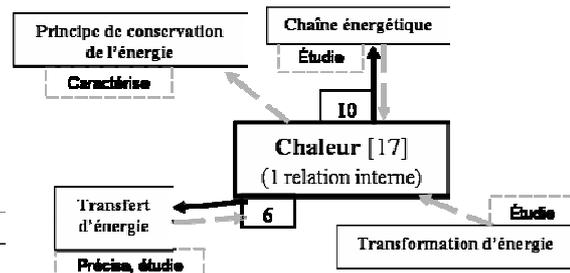
« La vie » de la Chaîne énergétique

En dehors de 5 constructions (29% des occurrences), la Chaîne énergétique apparaît pour étudier 5 O(e) de notre liste. Elle est appliquée surtout pour étudier : Puissance (18%), Principe (12%). Inversement, elle intervient dans l'étude des autres objets comme : Transformation, Transfert, Forme d'énergie, etc. En outre, il a 4 occurrences (24%) pour étudier des O(ne).
Sans relation avec : Rendement, Théorème.



« La vie » du Travail

En dehors de la définition (3% des occurrences), le Travail est là pour étudier 4 O(e) de notre liste. Il est utilisé surtout pour étudier : Transfert et Chaîne (15% par chacun). Inversement, il intervient dans l'étude de deux autres objets : Transfert et Principe de conservation de l'énergie.
Sans relation avec : Puissance, Rayonnement, Transformation, Bilan, Chaleur, Théorème.

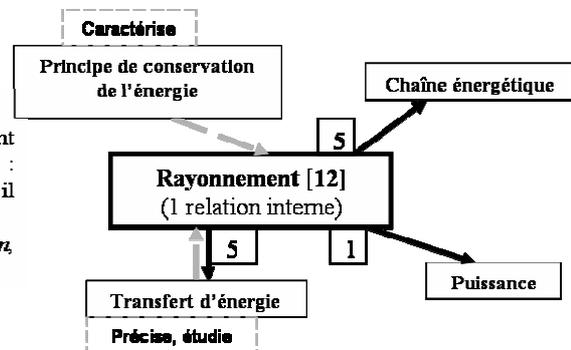


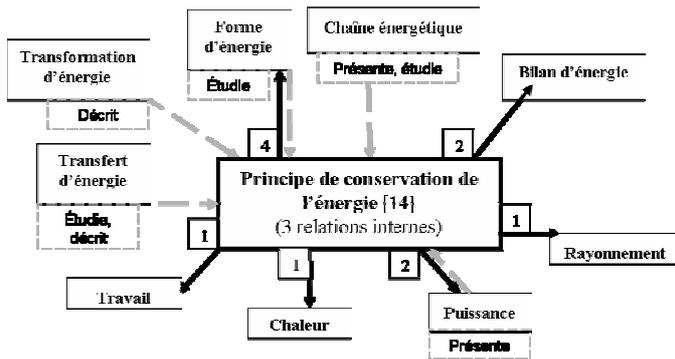
« La vie » de la Chaleur

En dehors de la définition, la Chaleur est utilisée pour étudier 2 O(e) de notre liste. Elle est utilisée pour étudier : Transfert (35%) et Chaîne (59%). Inversement, elle intervient l'étude de ces 2 objets et 2 autres objets : Transformation, Principe/théorème.
Sans relation avec : Puissance, Rayonnement, Transformation, Bilan, Chaleur, Rendement, Théorème.

« La vie » du Rayonnement

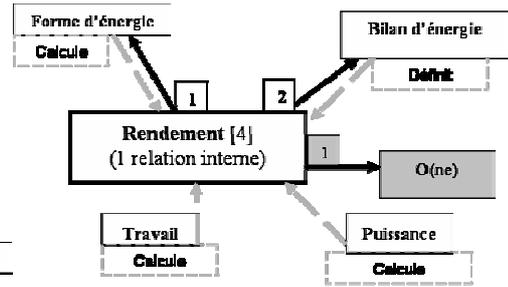
En dehors de la construction (8% des occurrences), le Rayonnement apparaît pour étudier 3 O(e) de notre liste. Il est utilisé pour étudier : Transfert (42%), Chaîne (42%) et Puissance (8%). Inversement, il intervient dans l'étude de 2 autres objets : Transfert et Principe.
Sans relation avec : Travail, Rayonnement, Chaleur, Transformation, Bilan, Rendement, Théorème.





« La vie » des Principe de conservation de l'énergie

En dehors de 3 constructions (21%), le principe est utilisé pour étudier 6 O(e) de notre liste. Il est utilisé surtout pour définir et caractériser les Formes d'énergie (29%). Inversement, il intervient dans l'étude des autres objets comme Transformation, Transfert, Chaîne, etc.
 Sans relation avec: Rendement, Théorème.

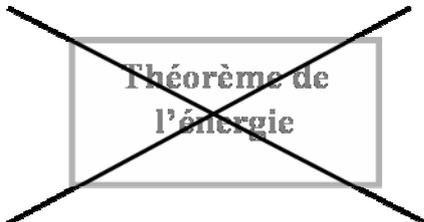
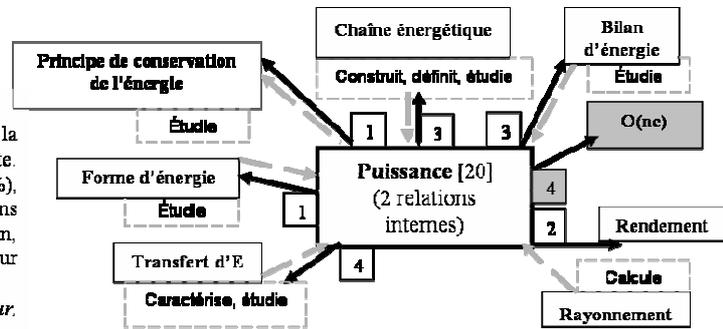


« La vie » du Rendement

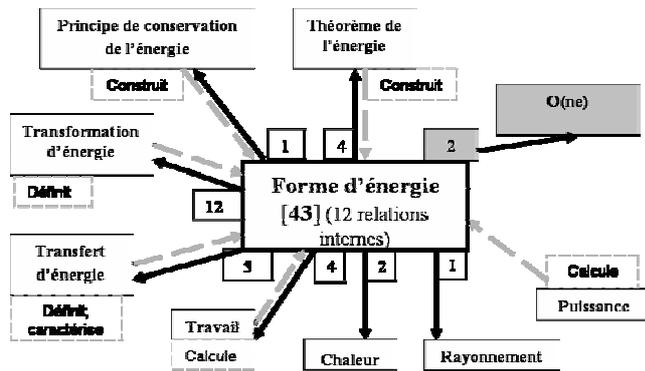
En dehors de la définition (25%), le Rendement apparaît pour étudier 2 O(e) de notre liste. Il est utilisé pour étudier : Bilan (25%) et Formes d'énergie (25%). Inversement, il intervient dans l'étude 4 autres objets: Bilan, Formes d'énergie, Puissance et Travail. En outre, il a 1 occurrences (25%) pour étudier des O(ne).
 Sans relation avec : Chaleur, Rayonnement, Transfert, Transformation, Principe, Chaîne, Théorème.

« La vie » de la Puissance

En dehors de 2 constructions (10% des occurrences), la Puissance est utilisée pour étudier 7 O(e) de notre liste. Elle est utilisée la plupart pour présenter : Transfert (20%), Chaîne (15%), Bilan (15%). Inversement, il intervient dans l'étude des autres objets comme : Transfert, Bilan, Principe, etc. En outre, il a 4 occurrences (20%) pour étudier des O(ne).
 Sans relation avec : Puissance, Travail, Chaleur, Théorème.



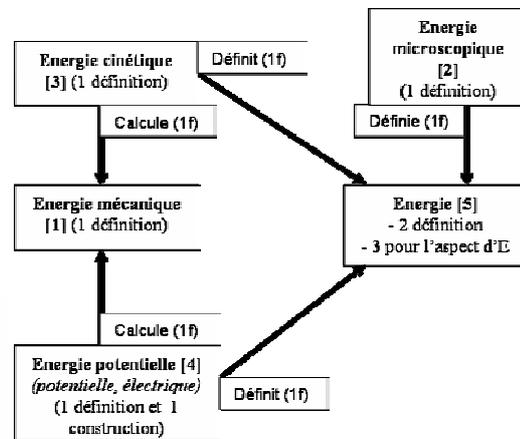
II.3. Manuel de Collection Durandeu, Hachette (2001)



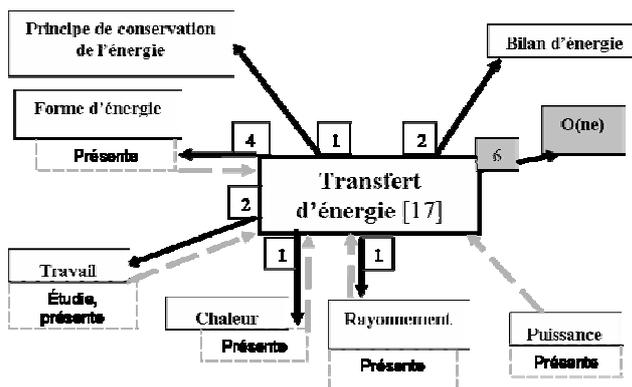
« La vie » des Formes d'énergie

Les Formes d'énergie apparaissent pour étudier 7 O(e) de notre liste. En dehors de 43 relations internes (28% des occurrences), elles sont utilisées surtout pour étudier et présenter : Transformation (28%), Transfert (12%), Travail (9%). Inversement, elles interviennent dans l'étude de 6 autres objets : Transfert, Transformation, Principe, Puissance, Travail et Théorèmes de l'énergie. En outre, elles ont 6 occurrences (7%) pour étudier des O(ne).

Sans relation avec : Rendement, Bilan, Chaîne.



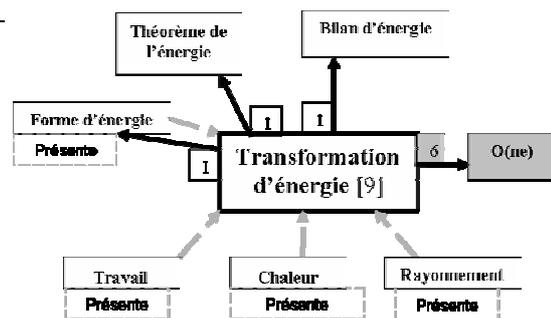
12 relations internes entre des formes d'énergie



« La vie » du Transfert d'énergie

Le Transfert d'énergie apparaît pour étudier 6 O(e) de notre liste. Il est utilisé surtout pour étudier et présenter les formes d'énergie (24%). Inversement, il intervient dans la plupart des études des objets qu'il a la relation, sauf objet Bilan. En outre, il a 6 occurrences (35%) pour étudier des O(ne).

Sans relation avec : Rendement, Transformation, Chaîne, Théorème.



« La vie » de la Transformation d'énergie

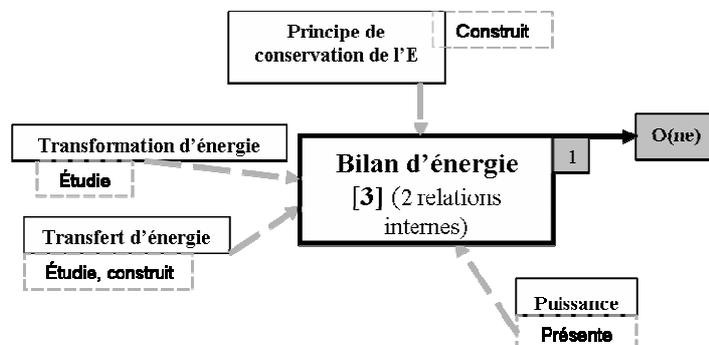
La Transformation d'énergie apparaît pour étudier 3 O(e) de notre liste. Mais la plupart de ses occurrences sont pour étudier des O(ne) (67%). Inversement, il intervient dans des études des objets : Forme d'énergie, Rayonnement, Travail, Chaleur.

Sans relation avec : Rendement, Transfert, Puissance, Chaîne, Principe.

« La vie » du Bilan d'énergie

En dehors de ses 2 constructions, le Bilan d'énergie apparaît une fois pour étudier le phénomène électrique. Inversement, il intervient dans l'étude de plusieurs objets : Principe, Transfert, Transformation, Puissance.

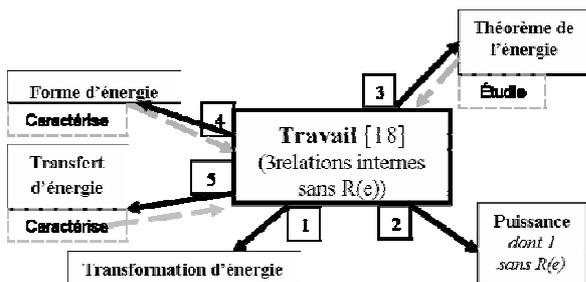
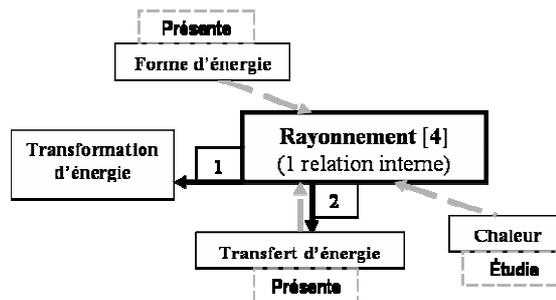
Sans relation avec : Forme d'énergie, Travail, Chaleur, Rayonnement, Rendement, Chaîne, Théorème.



« La vie » du Rayonnement

En dehors de sa définition, le Rayonnement apparaît pour étudier 2 O(e) de notre liste : Transfert (50%) et Transformation (25%) Inversement, il intervient dans l'étude de 3 autres objets : Chaleur, Transfert et Forme d'énergie.

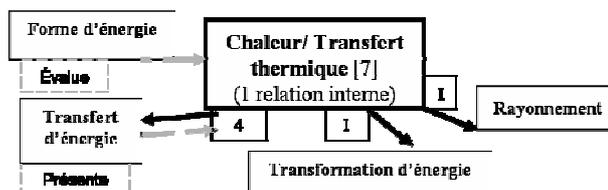
Sans relation avec : Chaleur, Travail, Rendement, Chaîne, Bilan, Principe, Puissance, Théorème.



« La vie » du Travail

Le Travail apparaît pour étudier 5 O(e) de notre liste. En dehors de 3 relations internes (17% des occurrences), il est utilisé surtout pour étudier le Transfert (23%). Inversement, il intervient dans l'étude de 3 autres objets : Théorèmes de l'énergie, Transfert et Forme d'énergie. Il a 3 définitions qui sont toujours sans relation avec des O(e) mais en relation avec la force.

Sans relation avec : Chaleur, Rayonnement, Rendement, Chaîne, Bilan, Principe.



« La vie » de la Chaleur

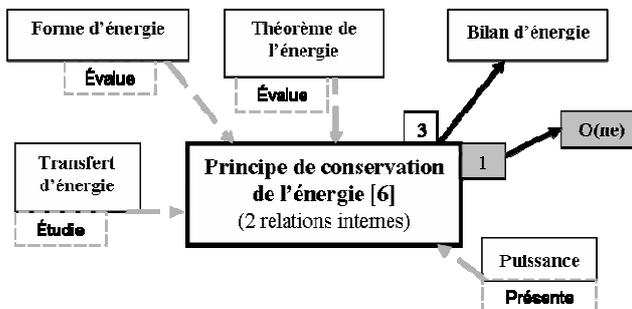
En dehors de la définition (14%), la Chaleur apparaît pour étudier 3 O(e) de notre liste : Transfert (57%), Transformation (14%) et Forme d'énergie (14%). Inversement, il intervient dans l'étude de 2 autres objets : Transfert et Forme d'énergie.

Sans relation avec : Travail, Rendement, Chaîne, Bilan, Puissance, Principe, Théorème.

« La vie » des Principe de conservation de l'énergie

En dehors de 2 énoncés (33% de nombre d'occurrence), il est utilisé surtout pour étudier : le seul objet énergétique : Bilan (50%). Inversement, ils interviennent dans l'étude de 4 autres objets : Transfert, Forme d'énergie, Puissance et Théorèmes de l'énergie. Elle a 1 occurrence (17%) pour étudier des O(ne).

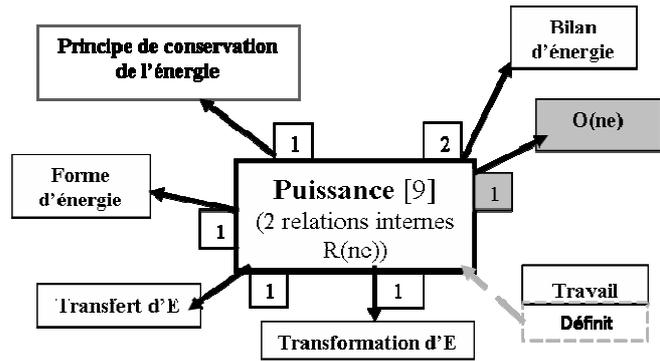
Sans relation avec : Transformation, Travail, Rayonnement, Chaleur, Rendement, Chaîne.



« La vie » de la Puissance

En dehors de 2 définitions (22% des occurrences) sans R(e), la Puissance apparaît pour étudier 4 O(e) de notre liste. La plupart sont pour étudier le Bilan (22%). Inversement, elle n'intervient que dans l'étude du Travail. Sa définition ne présente pas le R(e) car elle est définie par le travail qui n'est pas défini comme un O(e). Elle a 1 occurrence (11%) pour étudier des O(ne).

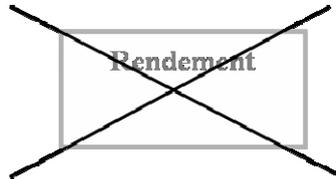
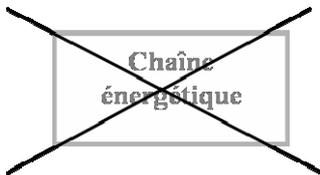
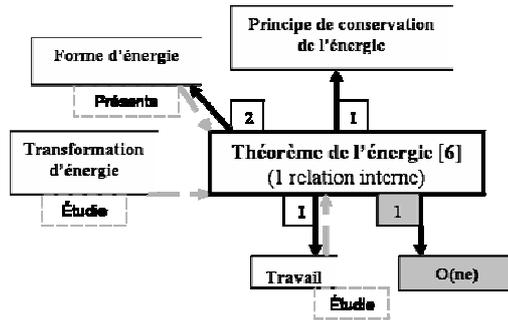
Sans relation avec : Chaleur, Rendement, Chaîne, Rayonnement.



« La vie » des Théorèmes de l'énergie

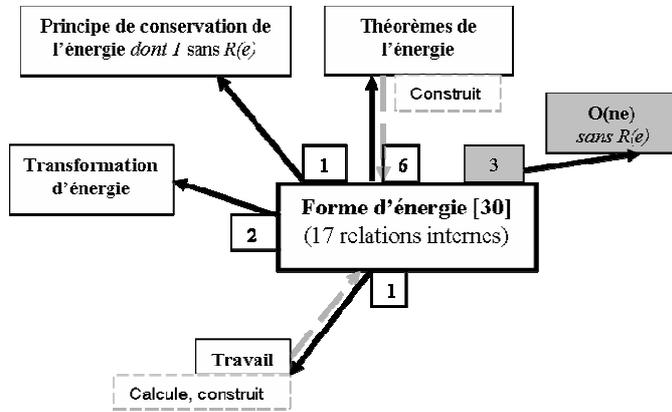
En dehors de l'énoncés (17% de nombre d'occurrence), ils apparaissent pour étudier 3 objets de notre liste : Forme d'énergie (33%), Principe (17%) et Travail (17%). Inversement, ils interviennent dans l'étude de 3 autres objets : Transformation, Forme d'énergie et Principe. Ils ont 1 occurrence (17%) pour étudier des O(ne).

Sans relation avec: Transfert, Puissance, Rayonnement, Chaleur, Rendement, Bilan, Chaîne.



III. Université vietnamienne

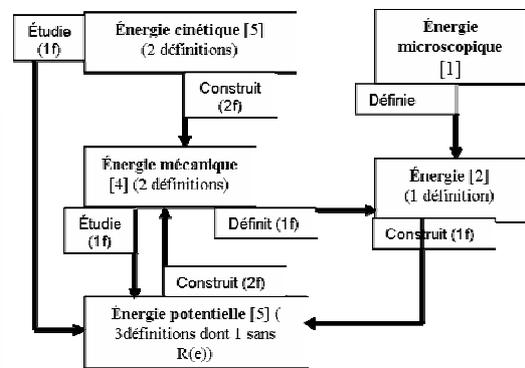
III.1. Institution Mécanique, Manuel *Mécanique-Thermodynamique* (2003)



« La vie » des Formes d'énergie

Les Formes d'énergie apparaissent pour étudier 4 O(e) de notre liste. En dehors de 17 relations internes (57% de nombre d'occurrence), elles sont utilisées pour étudier : Théorèmes (20%), Transformation (7%), Principe (3%) et Travail (3%). Inversement, elles interviennent dans l'étude de 3 autres objets : Principe, Travail et Théorèmes. En outre, elles ont 3 (10%) occurrences pour étudier des O(ne) dont 3 sans R(e).

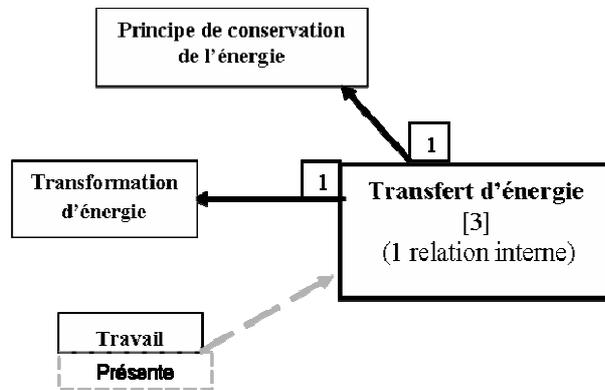
Sans relation avec: Puissance, Rayonnement, Chaleur, Bilan, Chaîne, Transfert, Rendement.



« La vie » du Transfert d'énergie

En dehors de sa relation interne (33% des occurrences), le Transfert d'énergie apparaît pour étudier 2 objets énergétiques de notre liste : Principe (33%) et Transformation (33%). Inversement, il intervient dans l'étude de l'objet « travail ».

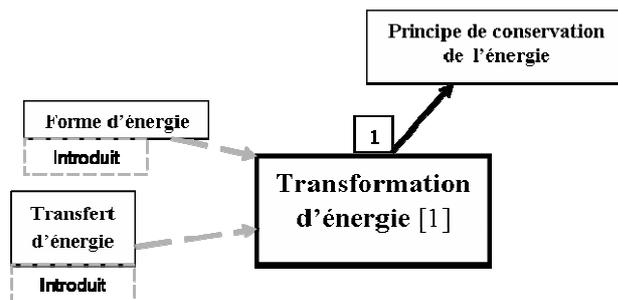
Sans relation avec: Forme, Puissance, Rayonnement, Chaleur, Bilan, Chaîne, Rendement, Théorème.

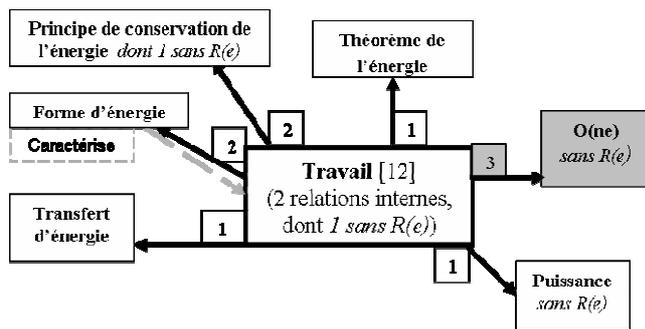


« La vie » de la Transformation d'énergie

La Transformation d'énergie n'apparaît qu'une fois pour étudier le Principe. Inversement, il intervient dans des études de deux objets : Forme d'énergie, Transfert.

Sans relation avec : Travail, Puissance, Rayonnement, Chaleur, Bilan, Chaîne, Rendement, Théorème.

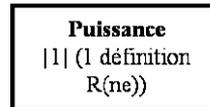




« La vie » du Travail

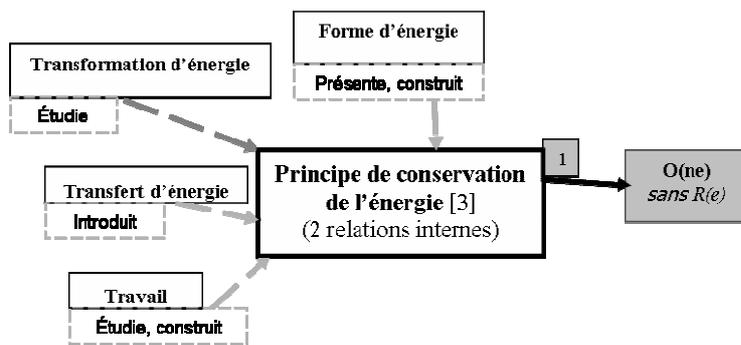
Le Travail apparaît pour étudier 5 O(e) de notre liste. En dehors de 2 définitions (17% de nombre d'occurrence) dont 1 sans R(e), il est utilisé surtout pour étudier Principe (17%). Inversement, il intervient dans l'étude de l'objet Forme d'énergie. En outre, il a 3 (25%) occurrences pour étudier des O(ne).

Sans relation avec : Rayonnement, Chaleur, Bilan, Chaîne, Transformation, Rendement.



« La vie » de la Puissance

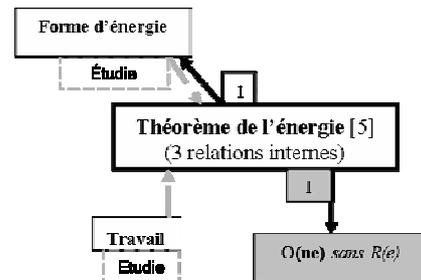
La Puissance apparaît simplement pour sa définition sans R(e), en relation avec le Travail qui n'est pas (dans la contexte de sa définition) défini comme un O(e). Donc il est introduit mais on ne voit pas son rôle.



« La vie » des Principe de conservation de l'énergie

En dehors de leurs 2 énoncés (67% des occurrences), le Principe de conservation de l'énergie apparaît pour étudier O(ne) sans relations avec des O(e). Inversement, ils interviennent dans l'étude de 4 autres objets : Transfert, Forme d'énergie, Travail et Transformation.

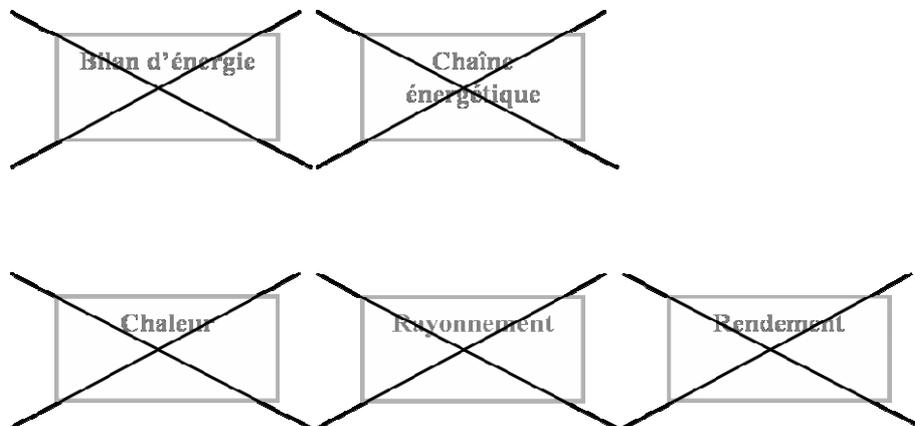
Sans relation avec : Puissance, Rayonnement, Chaleur, Bilan, Chaîne, Rendement, Théorème.



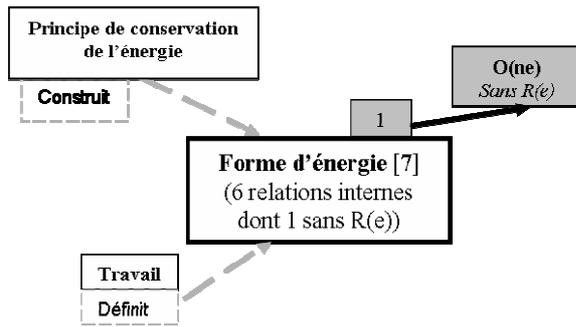
« La vie » des Théorèmes de l'énergie

En dehors de ses énoncés (60% des occurrences), ils apparaissent pour étudier un seul objet de notre liste : Forme d'énergie (20%). Inversement, ils interviennent dans l'étude de cet objet et encore du Travail. Ils ont 1 occurrence (20%) pour étudier des O(ne).

Sans relation avec: Transfert, Transformation, Puissance, Rayonnement, Chaleur, Rendement, Bilan, Chaîne, Principe.



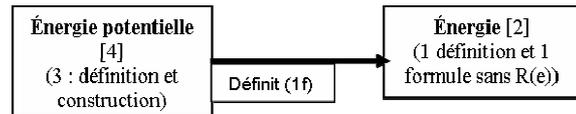
III.2. Institution Electricité, Manuel *Electricité-Oscillations-Ondes*, (2003)



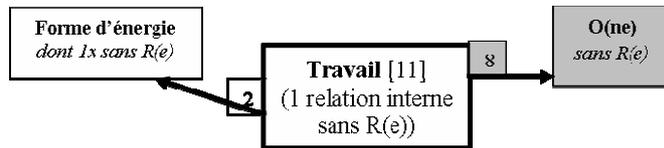
« La vie » des Formes d'énergie

En dehors de leurs relations internes (86% des occurrences) dont 1x sans R(e), les Formes d'énergie apparaissent seulement 1 fois (14%) pour étudier le potentiel électrique du domaine électrique avec R(ne). Inversement, elles interviennent dans l'étude de 2 autres objets : Principe et Travail.

Sans relation avec : Puissance, Rayonnement, Bilan, Chaîne, Rendement, Chaleur, Transfert, Transformation, Théorème



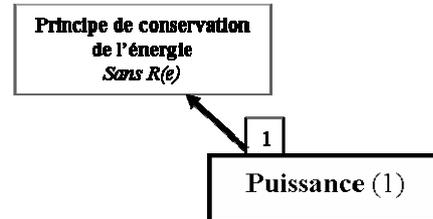
6 relations internes entre des formes d'énergie



« La vie » du Travail

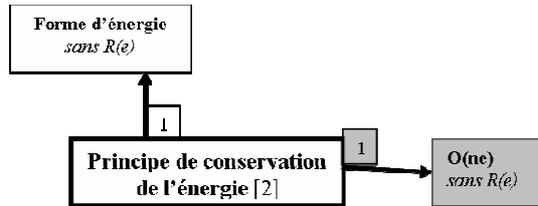
En dehors de sa définition (9% des occurrences), le Travail apparaît pour étudier un seul O(e) : Forme d'énergie (18%) dont 1x sans R(e). En outre, il a 8 (63%) occurrences pour étudier des O(ne) que toutes ces 8 fois qu'il n'a pas de relation avec des O(e), c'est simplement une dénomination.

Sans relation avec : Puissance, Rayonnement, Bilan, Chaîne, Rendement, Chaleur, Transfert, Transformation, Principe, Théorème.



« La vie » de la Puissance

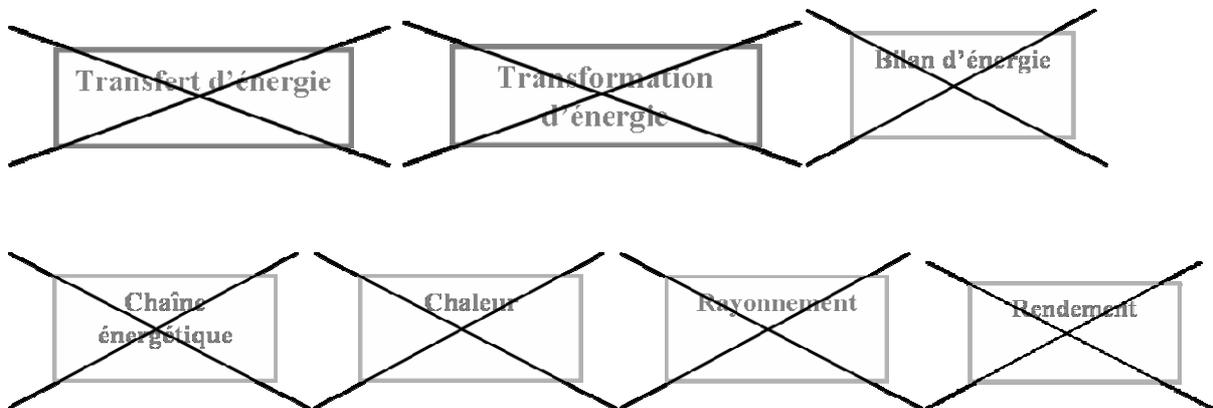
La Puissance apparaît seulement pour présenter l'application de la loi de conservation a fin de présente la formule de la loi d'Ohm, sans R(e).



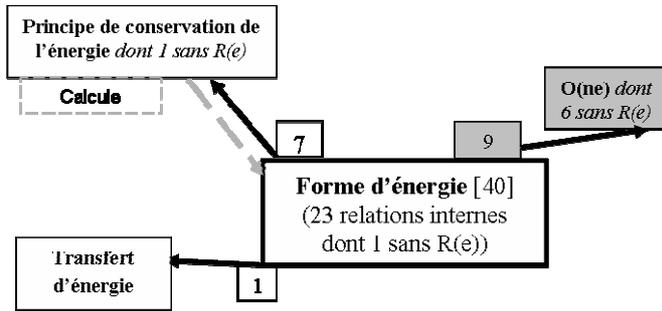
« La vie » du Principe de conservation de l'énergie

Le Principe de conservation de l'énergie apparaît pour étudier les Formes d'énergie (50%) sans R(e). En outre, il a 1 (50%) occurrences pour étudier la loi d'ohm du domaine électrique. Toutes les 2 occurrences du PCE sont simplement des applications.

Sans relation avec : Puissance, Rayonnement, Bilan, Chaîne, Rendement, Chaleur, Transfert d'énergie, Transformation, Travail, Théorème.



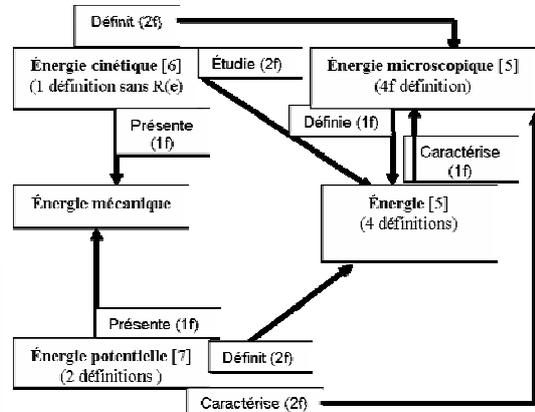
III.3. Institution Thermodynamique, *Mécanique-Thermodynamique* (2003)



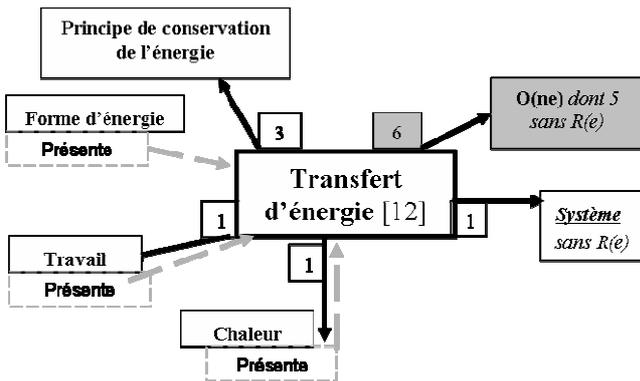
« La vie » des Formes d'énergie

Les Formes d'énergie apparaissent pour étudier 2 O(e) de notre liste. En dehors de 23 relations internes (58% des occurrences), elles sont utilisées surtout pour construire et étudier des Principe (18%). Inversement, elles interviennent dans l'étude de l'objet Principe. Par contre, elles ont 9 (23%) occurrences pour étudier des O(ne) dont 6 fois sans R(e), c'est simplement une dénomination.

Sans relation avec: Travail, Puissance, Rayonnement, Chaleur, Bilan, Chaîne, Transformation, Rendement, Théorème.



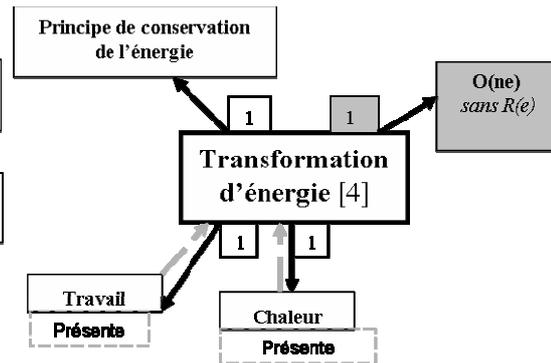
23 relations internes entre des formes d'énergie



« La vie » du Transfert d'énergie

Le plupart des occurrences du Transfert d'énergie est pour étudier le Principe (25%) et 2 autres O(e) de notre liste : Principe Chaleur et Travail (8% pour chacun). Il intervient aussi dans des études de ces 2 objets. En outre, il a 6 (50%) occurrences pour étudier des O(ne) dont 5 fois sans R(e). Le transfert sert une fois pour étudier le système.

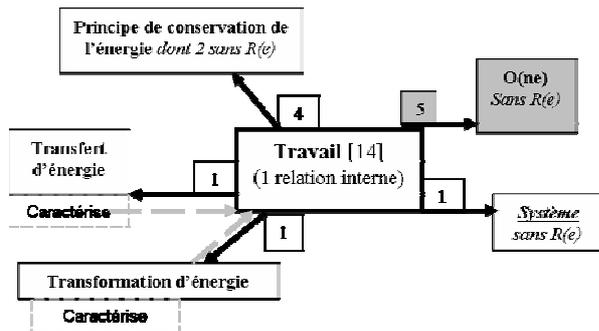
Sans relation avec : Puissance, Rayonnement, Bilan, Chaîne, Transformation, Rendement.



« La vie » de la Transformation d'énergie

Comme le transfert d'énergie, la Transformation d'énergie apparaît pour étudier et intervenir par 2 objets : Chaleur et Travail (25% pour chacun). 25% de ses occurrences sont pour étudier des O(ne) sans R(e). Et le 25% qui reste est pour étudier les Principe.

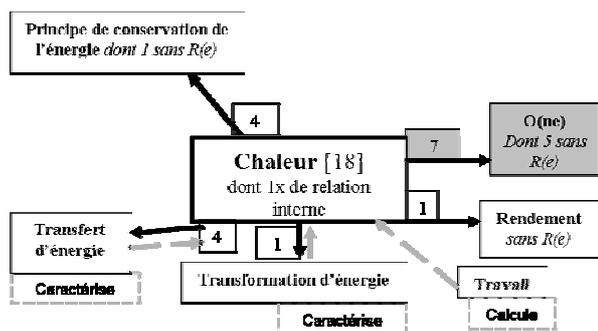
Sans relation avec: Forme d'énergie, Puissance, Rayonnement, Bilan, Chaîne, Transformation, Rendement.



« La vie » du Travail

En dehors de sa définition (7% des occurrences), le Travail apparaît pour étudier 4 O(e) de notre liste : Principe (29%) dont 2x sans R(e), Chaleur, Transfert et Transformation (8% pour chacun). Il intervient dans des études de 2 objets : Transfert et Transformation. En outre, il a 5 (36%) occurrences pour étudier des O(ne) sans R(e). Le transfert sert une fois pour étudier le système.

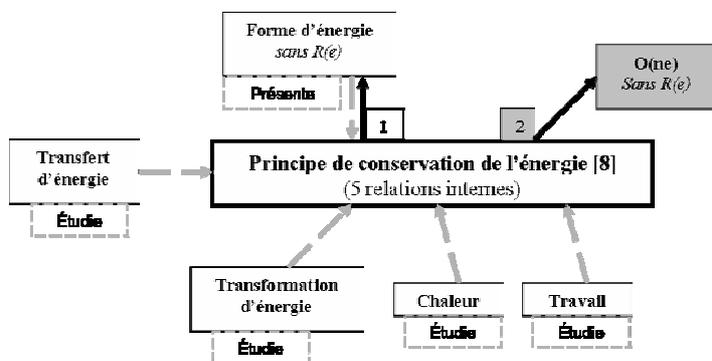
Sans relation avec: *Forme d'énergie, Puissance, Rayonnement, Bilan, Chaîne, Rendement.*



« La vie » de la Chaleur

En dehors de sa définition (6% des occurrences), la Chaleur apparaît pour étudier 4 O(e) de notre liste : Transfert (22%) et Principe (22%) dont 1x sans R(e); Rendement (sans R(e)) et Transformation (6% pour chacun). Il intervient aussi dans l'étude de : Transfert et Transformation. En outre, il a 7 (39%) occurrences pour étudier des O(ne) sans R(e).

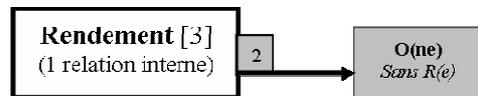
Sans relation avec: *Forme d'énergie, Chaleur, Puissance, Rayonnement, Bilan, Chaîne.*



« La vie » du Principe de conservation de l'énergie

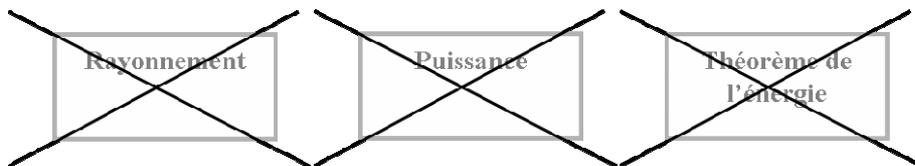
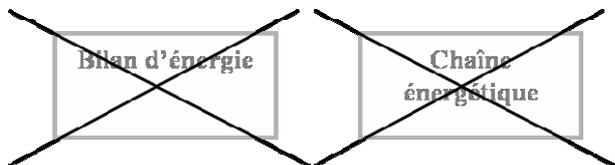
En dehors de sa relation (63%), le Principe de conservation l'énergie apparaît pour étudier un seul objet : Forme d'énergie mais sans R(e). Inversement, il intervient dans l'étude de 4 objets : Forme d'énergie, Transformation, Chaleur et Travail. En outre, il a 2 occurrences pour étudier des O(ne), sans R(e).

Sans relation avec: *Forme d'énergie, Puissance, Rayonnement, Bilan, Chaîne, Rendement.*



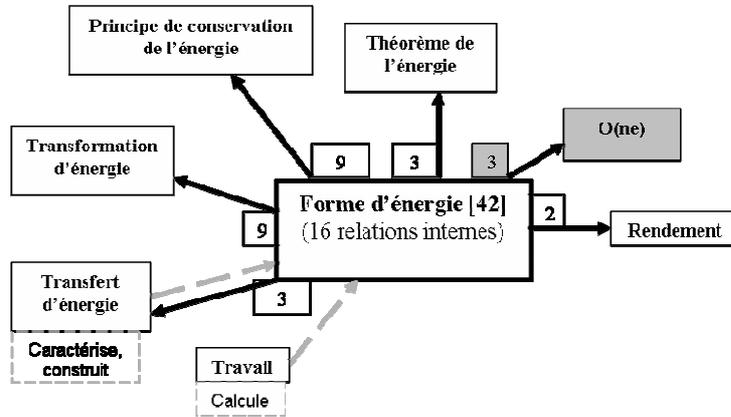
« La vie » du Rendement

Le Rayonnement n'apparaît que 2 fois pour étudier l'objet de la thermodynamique sans relation avec des objets énergétiques



II. Lycée vietnamien

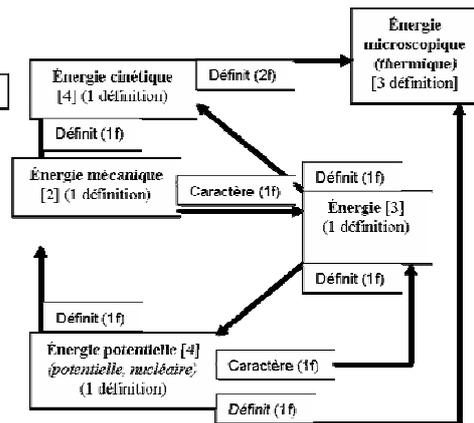
Manuel *Physique classe 10^e* (2003)



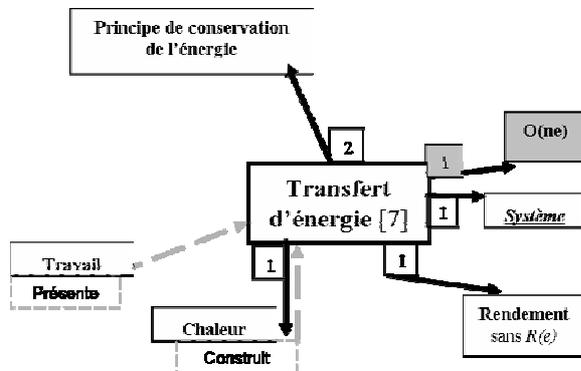
« La vie » des *Formes d'énergie*

Les Formes d'énergie apparaissent pour étudier 5 O(e) de notre liste. En dehors de 16 relations internes (38% des occurrences), elles sont utilisées surtout pour construire et présenter : Principe de conservation (21%) et la Transformation (21%). Inversement, elles interviennent dans l'étude de 2 autres objets : Transfert et Travail. Ils ont aussi 3 occurrences pour étudier des O(ne)

Sans relation avec : *Puissance, Chaleur, Rendement, Rayonnement, Bilan, Chaîne.*



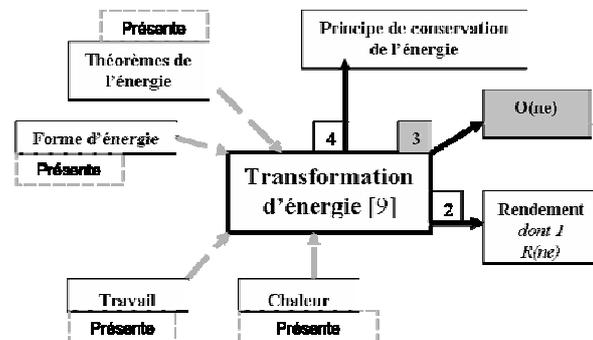
16 relations internes entre des formes d'énergie



« La vie » du *Transfert d'énergie*

Le Transfert d'énergie apparaît pour étudier 4 O(e) de notre liste : Principe (23%), Forme, Chaleur et Rendement (14% pour chaque objet) dont la relation avec le rendement ne présente pas le R(e). Inversement, il intervient dans l'étude de 3 objets : Formes d'énergie, Chaleur et Travail. En outre, il a 1 (14%) occurrences pour étudier des O(ne). Le transfert sert une fois pour étudier le système.

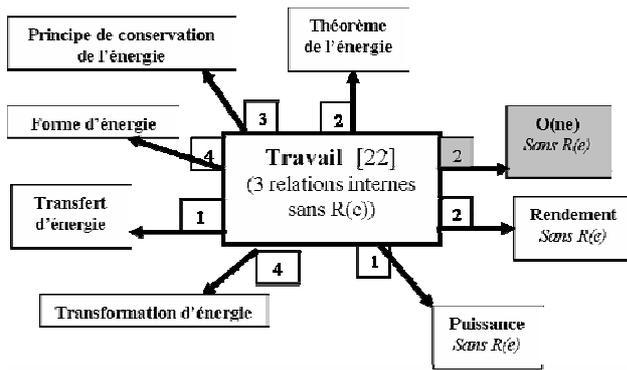
Sans relation avec : *Puissance, Rayonnement, Bilan, Chaîne, Transformation, Théorème.*



« La vie » de la *Transformation d'énergie*

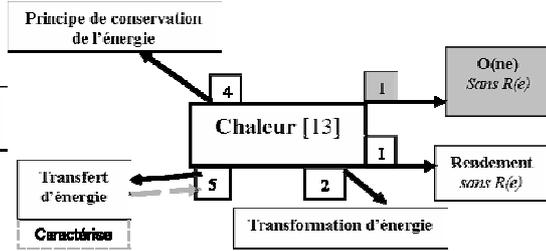
La Transformation d'énergie apparaît pour étudier 2 O(e) de notre liste : Principe (44%) et Rendement (22%) dont 1 fois sans R(e). Il a aussi 3 occurrences (34%) pour étudier des O(ne). Inversement, il intervient dans des études des objets : Forme, Théorème, Travail et Chaleur. Elle crée un contexte qui présente des relations entre des O(e) de notre liste.

Sans relation avec : *Puissance, Rayonnement, Bilan, Chaîne, Transfert.*



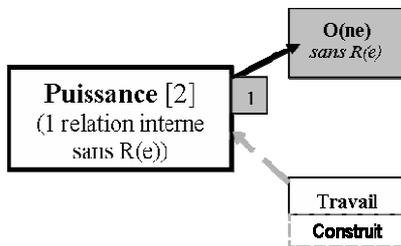
« La vie » du Travail

Le Travail apparaît pour étudier 7 O(e) de notre liste. En dehors de 3 relations internes (14% des occurrences), il est utilisé surtout pour étudier les Formes d'énergie, la Transformation (chacun 18%). Aussi 9% pour étudier des O(ne) sans relation avec des O(e). Toutes ses 3 définitions sont toujours sans relation avec des O(e) car il est défini en relation avec la force.
 Sans relation avec: Rayonnement, Bilan, Chaîne, Chaleur.



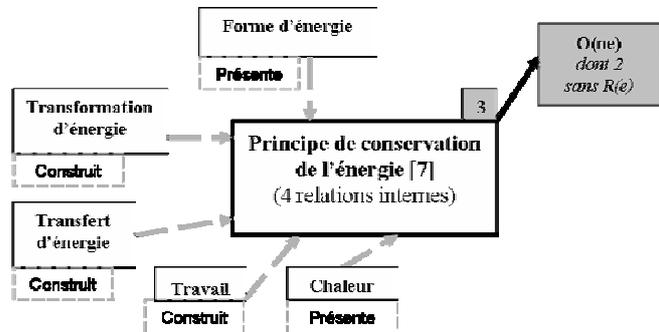
« La vie » de la Chaleur

La Chaleur apparaît pour étudier 4 O(e) de notre liste. Elle est utilisée surtout pour étudier le Transfert (38%) et le Principe (31%). Elle a 1 occurrence (8%) pour étudier des O(ne) sans relation avec des O(e). Sa relation avec le rendement est aussi sans le R(e).
 Sans relation avec: Formes, Rayonnement, Bilan, Chaîne, Chaleur, Puissance, Théorème.



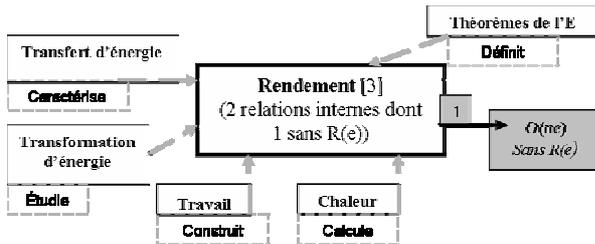
« La vie » de la Puissance

La Puissance apparaît 1 fois pour sa propre construction qui ne présente pas le R(e) car elle est définie par le Travail qui n'est pas défini comme un O(e) (le travail est défini par la force, pour qu'après définir la puissance). L'occurrence qui reste est pour étudier la loi de Bernoulli aussi sans R(e).
 Sans relation avec: Formes, Rayonnement, Chaleur, Bilan, Chaîne, Transformation, Transfert, Principe, Théorème, Rendement.



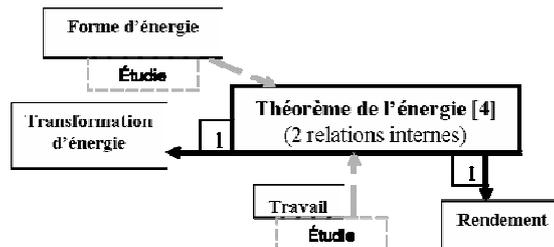
« La vie » des Principe de conservation de l'énergie

En dehors de 4 énoncés (57% des occurrences), le Principe de conservation de l'énergie est utilisé 3 fois (43%) pour étudier des O(ne) dont 2 fois sans relation avec des O(e). Inversement, ils interviennent dans l'étude de 5 autres objets : Transformation, Transfert, Forme d'énergie, Travail et Chaleur.
 Sans relation avec: Rayonnement, Bilan, Chaîne, Rendement, Puissance, Théorème.



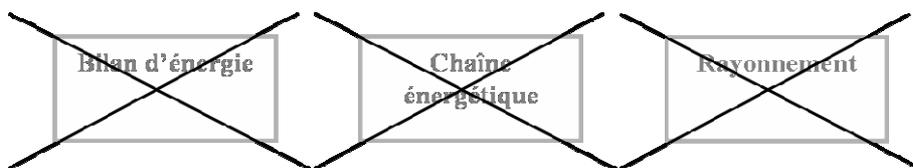
« La vie » du Rendement

En dehors de ses définitions (66% des occurrences) dont la moitié sans R(e), le Rendement est utilisé pour étudier des O(ne) (50%). Inversement, il intervient dans l'étude de 5 autres objets : Transfert, Transformation, Théorème, Travail et Chaleur.
 Sans relation avec: Formes, Rayonnement, Bilan, Chaîne, Puissance, Principe.



« La vie » des Théorèmes de l'énergie

En dehors de ses énoncés (50%), les Théorèmes apparaissent pour étudier 2 objet de notre liste : Transformation (25%) et Rendement (25%). Inversement, ils interviennent dans l'étude de 2 autres objets : Forme d'énergie et Travail.
 Sans relation avec: Transfert, Principe, Puissance, Rayonnement, Chaleur, Bilan, Chaîne.



Annexe B.4

Pour chaque manuel, nous présentons :

- Le tableau d'appartenance des Objets énergétiques dans les chapitres énergétiques et la nature des Raisonnements dans un manuel (cf. p.112).
- Réseau des liens entre les Objets énergétiques dans un manuel (cf. p.113).

I. Université française

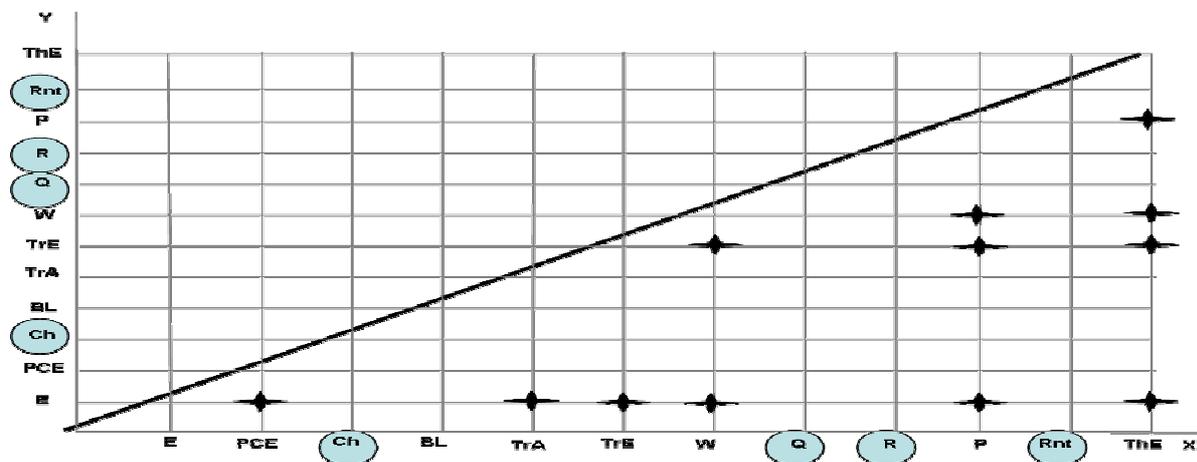
I.1. Manuel *Mécanique*, Masson éducation (1997) :

I.1.1. Apparition des objets O(e) dans les chapitres énergétiques et les raisonnements

Ch/O	BL	Ch	PCE	TrE	TrA	E	W	Q	R	P	Rnt	ThE
5 : Énergétique d'un						■	■			■		
6 : Gravitation. Propriétés du champ de gravitation						■	■					
9 : Mouvement d'un point matériel guidé			■			■						
10 : Oscillateurs harmoniques. Oscillateurs amortis						■						■
11 : Oscillations forcées. Résonance										■		
12 : Système de N points matériels en interaction. Problème à deux corps						■						■
13 : Collision de deux particules												
14 : Mouvement d'un point matériel soumis à une force centrale. Problème de Kepler						■						■
15 : Diffusion de particules. Notion de section efficace						■						
20 : Énergétique des systèmes matériels							■			■		
21 : Mécanique des chocs						■						■
22 : Mécanique des systèmes ouverts. Théorèmes d'Euler												■
23 : Statique du point, du solide et des systèmes						■	■					
24 : Introduction à la mécanique analytique : lagrangien et hamiltonien			■			■						
25 : Mouvement d'un solide autour d'un axe fixe. Pendule pesant						■				■		■
26 : Mouvement d'un solide autour d'un point fixe. Approximation gyroscopique						■				■		■

27 : Oscillateurs couplés. Cas de N oscillateurs identiques							■						
32 : Ondes mécaniques dans un milieu continu				■			■				■		

I.1.2 Réseau des liens entre les O(e)



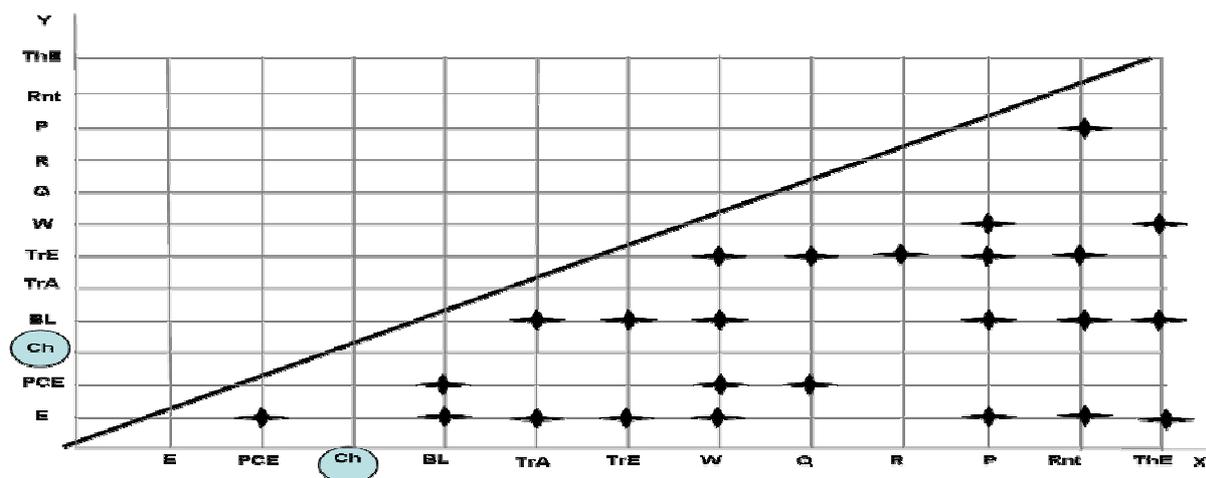
I.2. Manuel *Electromagnétisme*, Masson éducation (1997)

I.2.1. Apparition des objets O(e) dans les chapitres énergétiques et les raisonnements

Ch/O	BL	Ch	PCE	TrE	TrA	E	W	Q	R	P	Rnt	ThE
3 : Energie potentielle. Potentiel électrostatique			■			■	■					
5 : Dipôles électrostatiques						■						
8 : Conducteurs en équilibre électrostatique						■						
9 : Effet Joule. Générateurs et récepteurs électriques	■			■	■	■	■	■		■	■	
10 : Condensateurs en électrostatique. Aspect énergétique	■		■	■	■	■	■					
13 : Electrodynamique des régimes stationnaires				■		■	■	■		■		
14 : Induction électromagnétique						■	■					■
17 : Electrodynamique des régimes quasi stationnaires										■		
18 : Energie électromagnétique. Energie magnétique d'un système de courant	■			■		■	■	■		■	■	■
19 : Ondes électromagnétiques dans le vide	■			■		■			■	■		
20 : Champ électromagnétique				■		■			■	■		

rayonné à grande distance par un dipôle oscillant												
23 : Equations de Maxwell et énergie dans les milieux matériels : cas général												
25 : Etude microscopique du paramagnétisme												
26 : Ferromagnétisme												
28 : Dispersion. Absorption												

I.2.2. Réseau des liens entre les O(e)



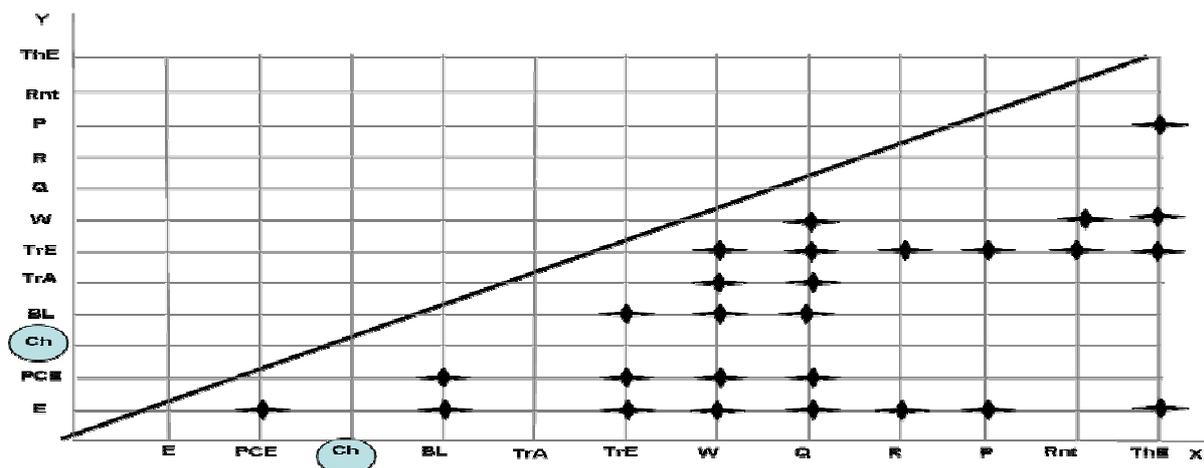
I.3. Manuel *Thermodynamique*, Masson éducation (1997)

I.3.1. Apparition des objets O(e) dans les chapitres énergétiques et les raisonnements

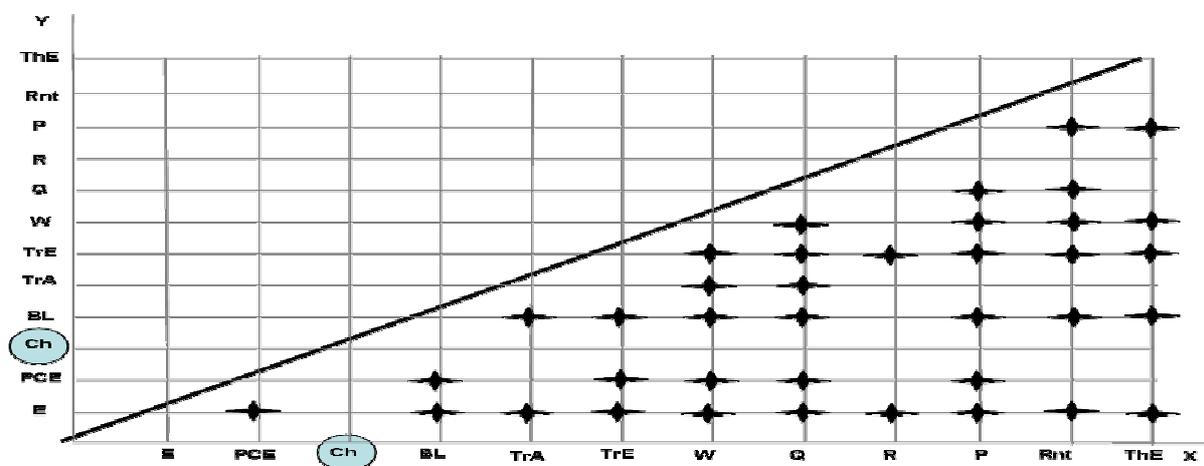
Ch/O	BL	Ch	PCE	TrE	TrA	E	W	Q	R	P	Rnt	ThE
1 De la dynamique à la thermodynamique												
2 : Théorie cinétique des gaz parfaits de Maxwell												
3 : Facteur de Boltzmann												
6 : 1 ^{er} principe de la thermodynamique : l'énergie												
7 : 2 ^{ème} principe de la thermodynamique : l'entropie												
8 : Fonctions thermodynamiques.												
9 : Gaz réels. Applications aux détente												
10 : Machines thermiques												
11 : Diffusion thermique												
12 : Evolution, équilibre et stabilité des systèmes thermodynamiques												

13 : Thermodynamique des systèmes ouverts.	■			■			■	■		■		
14 : Transitions de phase des corps purs						■		■				
15 : Interprétation statistique de l'entropie	■		■			■	■	■				
16 : Gaz parfaits de fermions et de bosons.				■		■			■			
17 : Très basses températures. Troisième principe de la thermodynamique	■			■		■	■	■				
18 : Rayonnement thermique	■			■		■	■		■			
19 : Couplage de phénomènes irréversibles. Effets thermoélectriques	■			■		■				■		
20 : Thermométrie et calorimétrie	■					■	■	■				
21 : Tension superficielle	■					■	■	■				

I.3.2. Réseau des liens entre les O(e)



I.4 Réseau des liens entre les O(e) dans les trois domaines à l'université



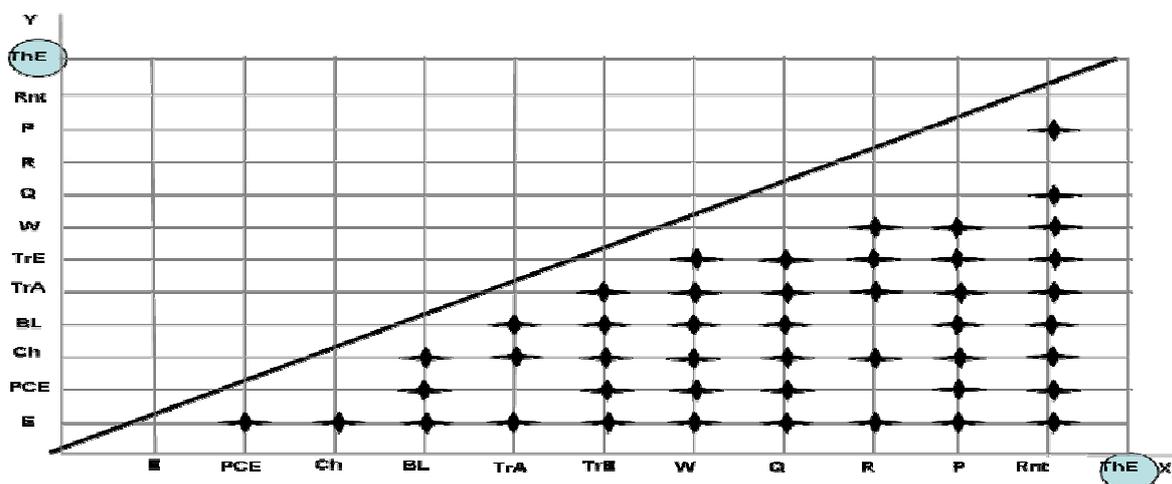
II. Lycée français

II.1. Manuel Physique, Hachette (1994)

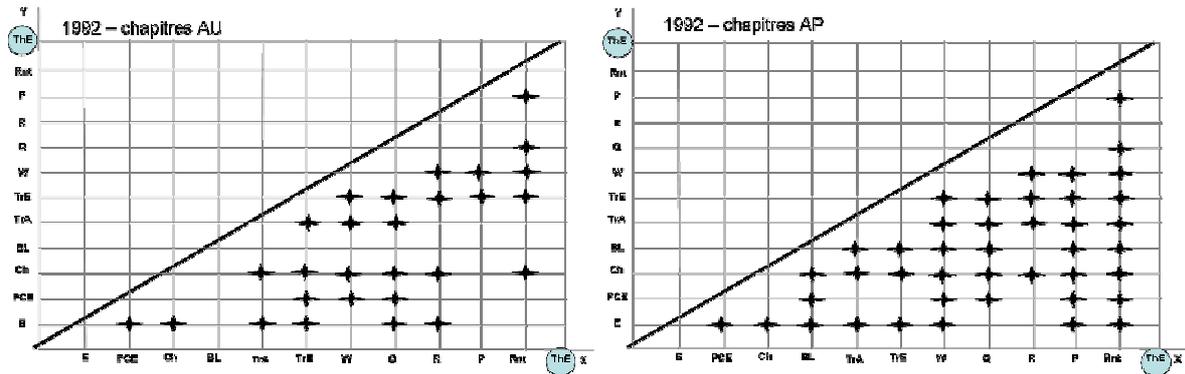
II.1.1. Apparition des objets O(e) dans les chapitres énergétiques et les raisonnements

Ch/O	BL	Ch	PCE	TrE	TrA	E	W	Q	R	P	Rnt	ThE
9 : Conservation de												
10 : Transfert d'énergie												
11 : Energie mécanique d'un système												
12 : Bilan énergétique d'un système mécanique							■					
13 : Machine thermique						■		■				
15 : Bilan énergétique d'un récepteur électrique										■		
16 : Bilan énergétique d'un générateur												
17 : Bilan énergétique d'une chaîne électrique							■				■	
18 : Production et transport de l'énergie						■						
20 : La radioactivité									■			
21 : L'énergie nucléaire												
22 : Centrales électriques						■						

II.1.2. Réseau des liens entre les O(e)



II.1.3. Réseau des liens entre les O(e) dans les chapitres montrant l'AU et l'AP

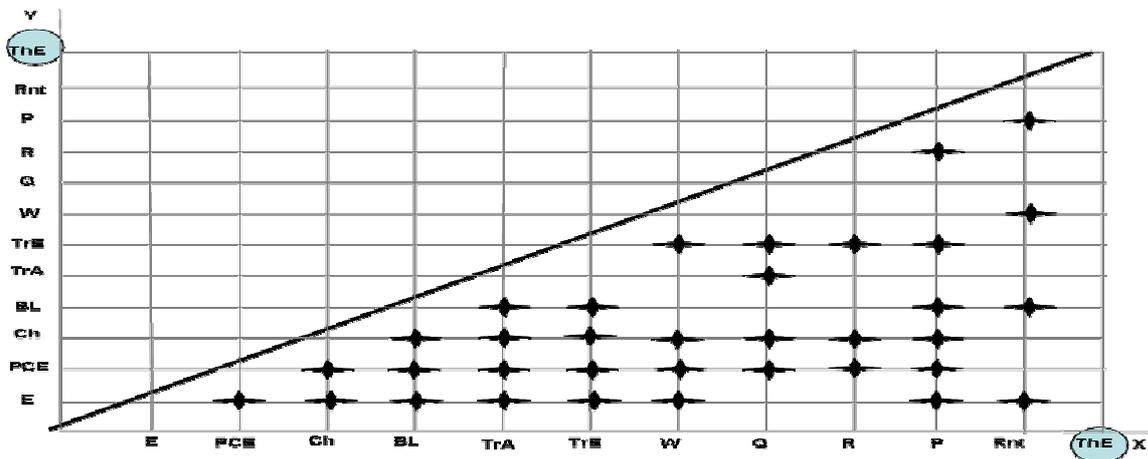


II.2. Manuel de COAST-MAFPEN (1998)

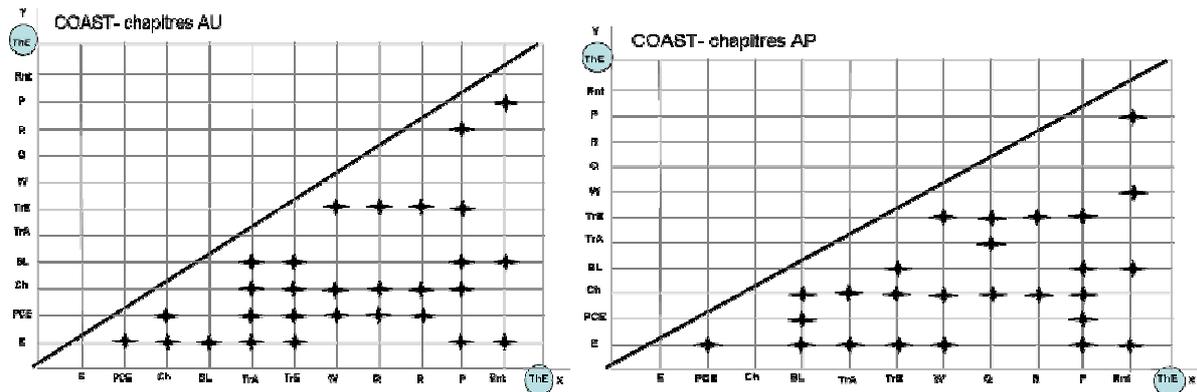
II.2.1. Apparition des objets O(e) dans les chapitres énergétiques et les raisonnements

Ch/O	BL	Ch	PCE	TrE	TrA	E	W	Q	R	P	Rnt	ThE
1 : Conservation de l'énergie												
2 : Les systèmes mécaniques												
3 : Les systèmes électriques												

II.2.2. Réseau des liens entre les O(e)



II.2.3. Réseau des liens entre les O(e) dans les chapitres montrant l'AU et l'AP.

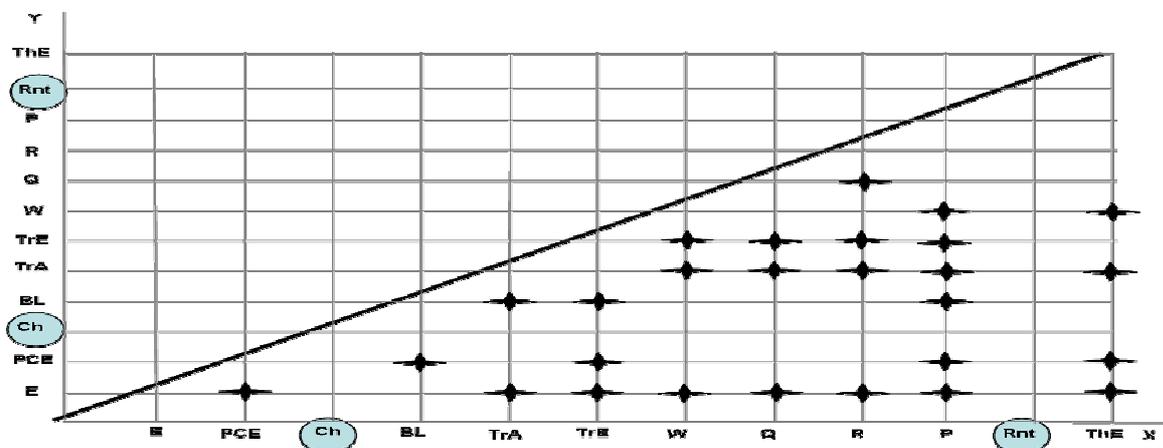


II.3. Manuel Physique, Hachette (2001)

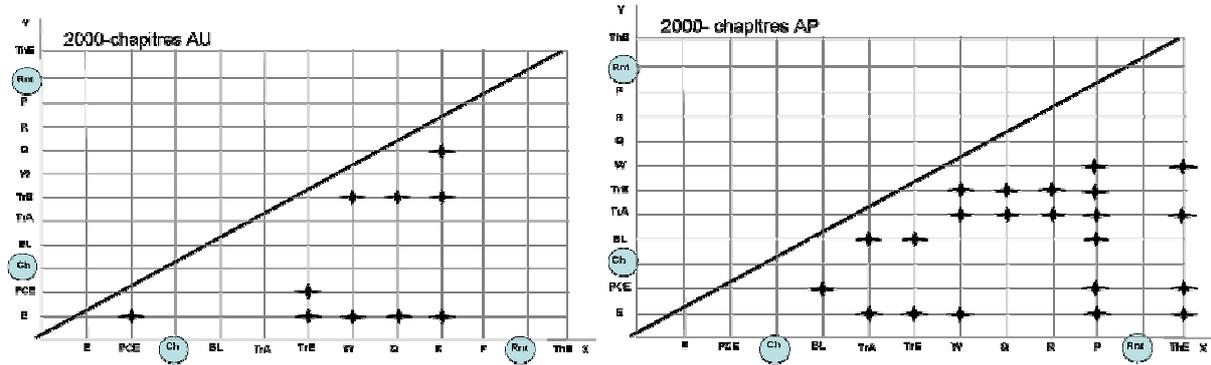
II.3.1. Apparition des objets O(e) dans les chapitres énergétiques et les raisonnements

Ch/O	BL	Ch	PCE	TrE	TrA	E	W	Q	R	P	Rnt	ThE
6 : Travail et puissance d'une force constante							■			■		
7 : Travail et énergie cinétique				■		■	■					■
8 : Travail et énergie potentielle			■	■	■	■	■					■
9 : Transfert d'énergie et énergie interne			■	■	■	■	■	■	■			
10 : Transfert d'énergie dans un circuit électrique	■		■	■	■	■	■	■	■	■		
11 : Comportement global d'un circuit électrique	■		■	■	■	■						
14 : Forces électromagnétique				■	■	■						

II.3.2. Réseau des liens entre les O(e)



II.3.3. Réseau des liens entre les O(e) dans les chapitres montrant l'AU et l'AP



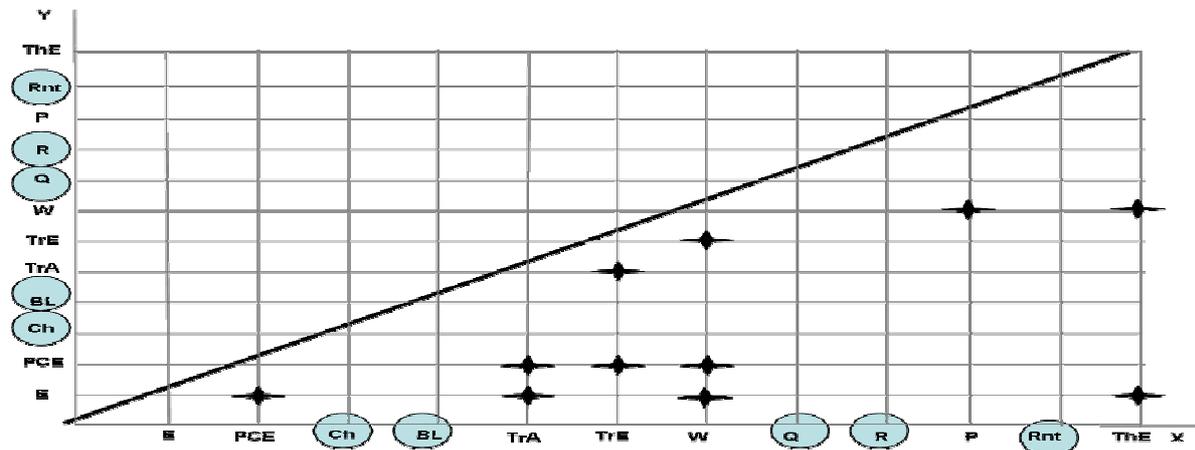
III. Université vietnamienne

III.1. Partie Mécanique du manuel Mécanique-Thermodynamique (2003)

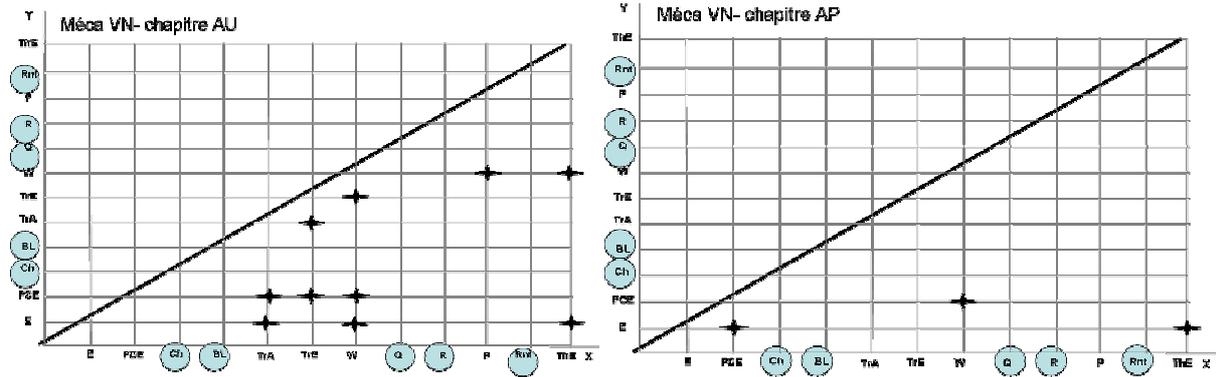
III.1.1. Apparition des objets O(e) dans les chapitres énergétiques et les raisonnements

Ch/O	BL	Ch	PCE	TrE	TrA	E	W	Q	R	P	Rnt	ThE
4 : Energie						■	■			■		
5 : Champ gravitationnel						■	■					■
6 : Dynamique des fluides						■						
7 : Théorie relative d'Einstein			■			■	■					

III.1.2. Réseau des liens entre les O(e)



III.1.3. Réseau des liens entre les O(e) dans les chapitres montrant l'AU et l'AP



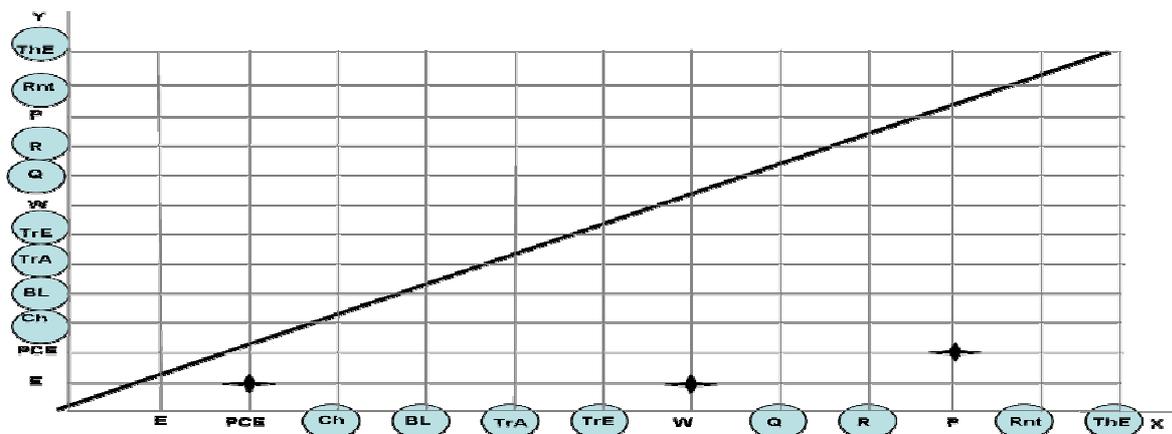
III.2. Partie Electricité du manuel Electricité-Oscillations-Ondes (2003)

III.2.2. Apparition des objets O(e) dans les chapitres énergétiques et les raisonnements

(A la suite du chapitre 3, il y a un chapitre supplémentaire, nous l'appelons chapitre 3')

Ch/O	BL	Ch	PCE	TrE	TrA	E	W	Q	R	P	R	ThE
1 : Champ électrique statique						■	■					
2 : Conducteur						■						
3' : Les lois fondamentales du circuit électrique invariable			■				■			■		
4 : Champ magnétique invariable			■			■	■					
5 : Phénomène inductif électromagnétique						■	■					

III.2.3. Réseau des liens entre les O(e)

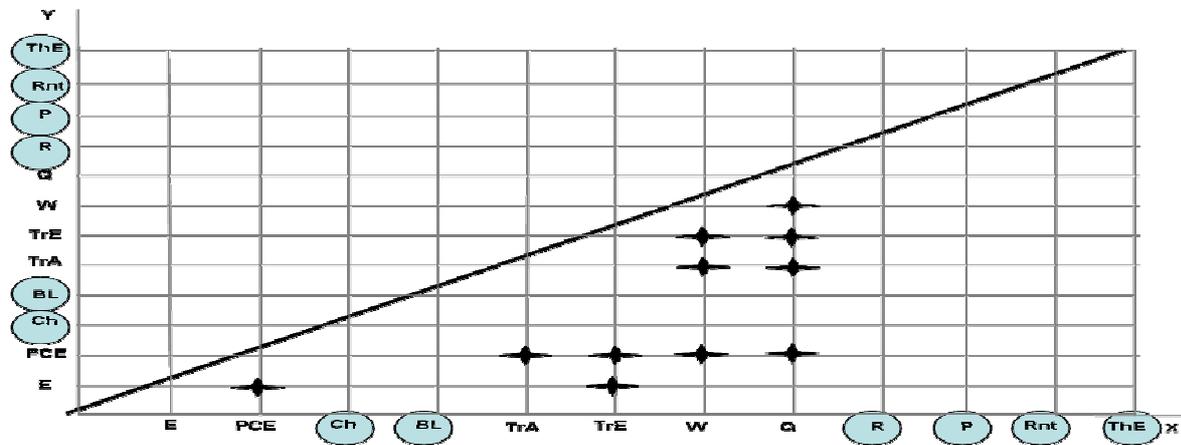


III.3. Partie Thermodynamique du manuel Mécanique-Thermodynamique

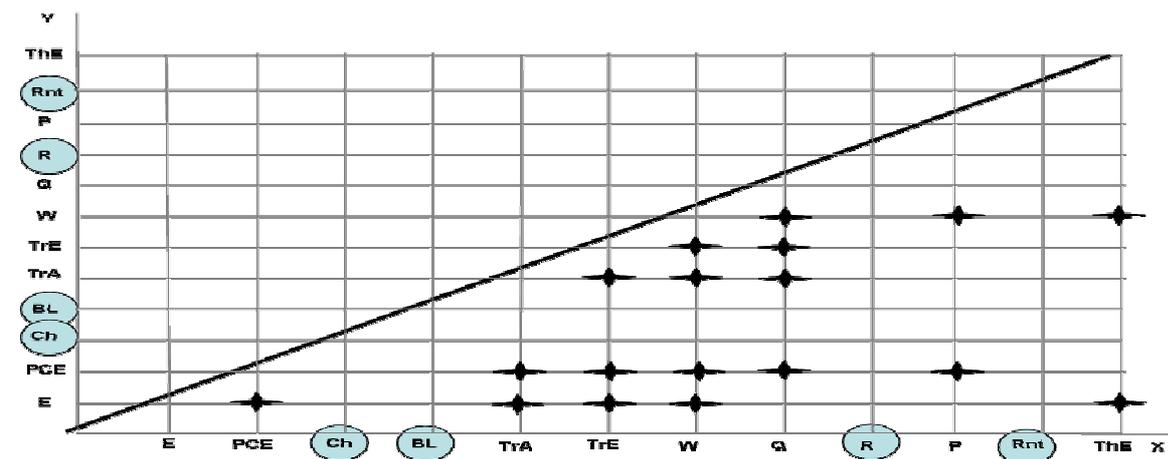
III.3.1. Apparition des objets O(e) dans les chapitres énergétiques et les raisonnements

Ch/O	BL	Ch	PCE	TrE	TrA	E	W	Q	R	P	Rnt	ThE
8 : 1 ^{er} principe de la thermodynamique			■				■	■				
9 : 2 ^{ème} principe de la thermodynamique			■	■	■	■	■	■			■	
10 : Air réel						■						
11 : Le fluide						■	■					
12 : Changement de phase			■	■		■	■	■				
13 : Méthode statistique. Théorème de distribution des molécules suivant la vitesse de Maxwell						■						

III.3.2. Réseau des liens entre les O(e)



III.4. Réseau des liens entre les O(e) dans les trois domaines à l'université.

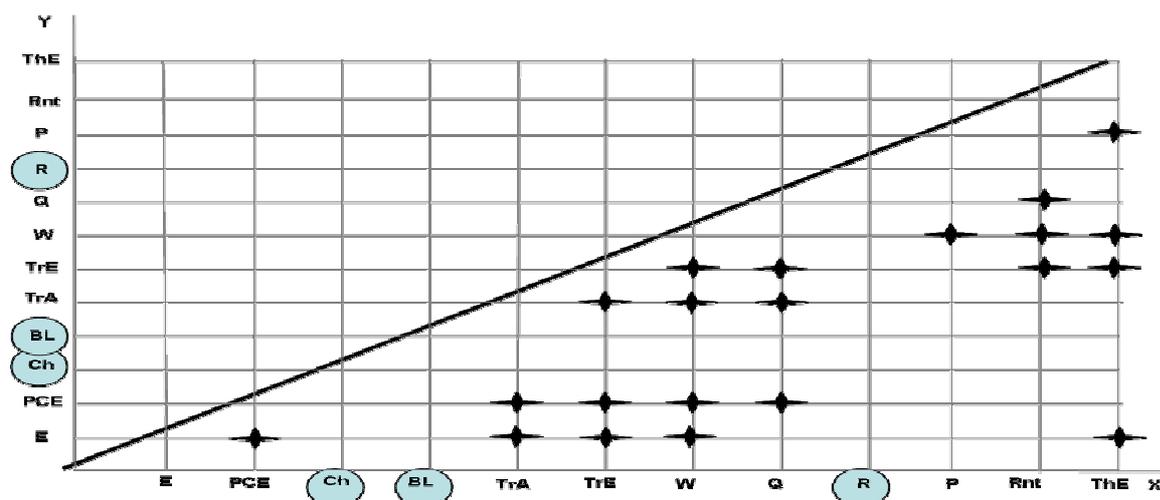


IV. Lycée vietnamien

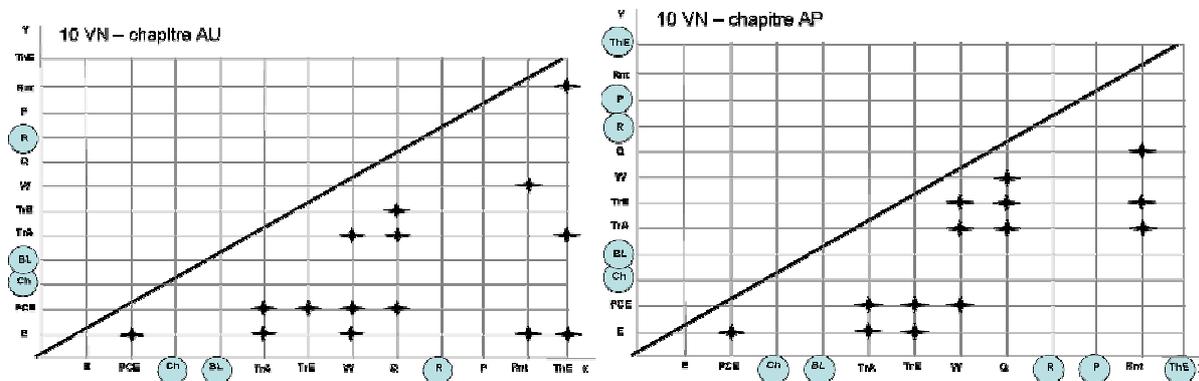
Apparition des objets O(e) dans les chapitres énergétiques et les raisonnements

Ch/O	BL	Ch	PCE	TrE	TrA	E	W	Q	R	P	Rnt	ThE
9 : Loi de conservations de l'énergie			■				■			■	■	
11 : Energie interne de l'air parfait			■	■	■		■	■			■	

Réseau des liens entre les O(e)



Réseau des liens entre les O(e) dans les chapitres montrant l'AU et l'AP



Annexe D.1

I. Exercices de référence pour l'exercice 1 du questionnaire

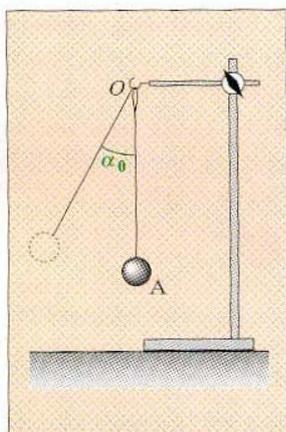
1994 : 12.28, p.178

2001 : exo 8.21, p.135

28* Pendule simple

Un pendule est constitué d'une petite sphère métallique A , de masse $m = 0,25 \text{ kg}$, suspendue en O à un support fixe par un fil fin, de longueur $L = 1 \text{ m}$.

On écarte la sphère de sa position d'équilibre, d'un angle $\alpha_0 = 30^\circ$, le fil étant tendu. On l'abandonne ensuite sans vitesse initiale.



1) **A2 B3** Déterminer l'énergie mécanique du système {Terre - air - sphère} dans sa position initiale. L'origine de l'énergie potentielle correspond à la position de repos.

2) **C1** Faire l'inventaire des forces extérieures agissant sur ce système après le lâcher de la sphère. Que peut-on dire du travail de celles-ci ? On négligera l'action de l'air.

3) a) **C1** Calculer le travail de ces forces lorsque le pendule oscille.

b) L'énergie mécanique du système est-elle constante ?

4) **C1** Déterminer la vitesse de la sphère quand elle passe par sa position de repos.

5) **C1** Que fait-elle après ce passage ?

6) **C1** L'expérience est-elle conforme à ces prédictions ? Pourquoi ?

21. ÉTUDE D'UN PENDULE

Un pendule est constitué d'une petite sphère S en acier, de masse m , suspendue à un fil de longueur l .

1. Quelle est la trajectoire de la sphère lorsqu'elle est abandonnée à elle-même ?

2. Faire le bilan des forces s'exerçant sur S .

3. Pourquoi peut-on écrire que l'énergie mécanique de S est constante ?

4. Le fil du pendule est écarté d'un angle α de la verticale.

a. Écrire l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur de S (on prendra pour origine de E_p la position de S lorsque $\alpha = 0$).

b. Le pendule est lâché sans vitesse initiale de la position précédente. Quelle est la valeur de l'énergie mécanique de S ?

c. En déduire l'expression de la vitesse de S lorsqu'elle passe par sa position d'équilibre.

d. Calculer cette vitesse pour $\alpha = 30^\circ$ et $l = 80 \text{ cm}$.

Manuel Physique (Vietnam) de classe 10^e : 48.5, p.153

5. Un Pendule simple de longueur 1 m . On écarte la sphère de sa position d'équilibre, d'un angle 45° et l'abandonne doucement. Calculer sa vitesse quand elle passe de la position où le fil fait avec la ligne verticale un angle 30° . $g = 10 \text{ m/s}^2$.

II. Exercices de référence pour l'exercice 2 du questionnaire

1994 : 17.12, p.241

12 Le moteur d'une perceuse a une résistance interne $r = 3,5 \Omega$. Il est alimenté par un générateur de tension de f.e.m. $E = 24 \text{ V}$, par l'intermédiaire d'un variateur électronique.

1) Lorsque le moteur tourne à vide, à la vitesse constante de $120 \text{ tr} \cdot \text{s}^{-1}$, l'intensité du courant est $I_0 = 0,27 \text{ A}$ et la tension à ses bornes est $U_0 = 7,2 \text{ V}$.

a) **A1** Représenter le bilan énergétique du moteur.

b) **A2** Calculer :

- la puissance électrique reçue ;
- la puissance dissipée par effet Joule ;
- la puissance électromécanique perdue.

2) La perceuse doit effectuer un travail de perçage avec la même vitesse de rotation que précédemment. À cet effet, on agit sur le variateur électronique pour porter la tension à la valeur $U_1 = 18 \text{ V}$ et l'intensité à $I_1 = 1,3 \text{ A}$.

a) **A1** Faire un nouveau schéma traduisant les différents transferts énergétiques.

b) **A2** Calculer la puissance mécanique fournie pour le perçage.

c) **A2** Calculer le rendement du moteur de la perceuse.

2001 : 10.17, p.174

17. MOTEUR

Un moteur à aimants permanents (stator) est utilisé sous sa tension nominale $U = 12 \text{ V}$; il est parcouru par un courant d'intensité $I = 2,5 \text{ A}$. Les pertes par effet Joule correspondent à la puissance $\mathcal{P}_j = 11 \text{ W}$.

1. a. Écrire le bilan énergétique qualitatif de ce moteur.
b. En déduire la relation entre les puissances mises en jeu sous les différentes formes.
c. Calculer ces puissances.
2. Calculer la f.e.m. de ce moteur dans ces conditions de fonctionnement et sa résistance interne.

2001 : 11.29, p.192

29. GROUPE ÉLECTROGÈNE

L'Activité C de la page 179 présente les caractéristiques d'un groupe électrogène commercialisé.

1. a. Quelle est la fonction d'un groupe électrogène ?
b. Quelles transformations d'énergie se produisent lors du fonctionnement du groupe ?
c. Pourquoi le démarrage du groupe s'effectue-t-il avec un lanceur ? Par quoi pourrait-on remplacer le lanceur ?
2. Calculer les valeurs du rendement du groupe électrogène dans les deux modes de fonctionnement. **→ 505**