



HAL
open science

Étude expérimentale sur l'usage des systèmes biotiques dans des tâches d'enseignement basé sur une approche systémique de l'énergie. Quelle est son efficacité sur les actions d'élèves de cycle 3 pour reconstituer des systèmes à l'aide d'un modèle de chaîne énergétique ?

Antonin Boyer

► To cite this version:

Antonin Boyer. Étude expérimentale sur l'usage des systèmes biotiques dans des tâches d'enseignement basé sur une approche systémique de l'énergie. Quelle est son efficacité sur les actions d'élèves de cycle 3 pour reconstituer des systèmes à l'aide d'un modèle de chaîne énergétique ?. Education. Aix-Marseille Université (AMU), 2017. Français. NNT: . tel-01735770

HAL Id: tel-01735770

<https://hal.science/tel-01735770>

Submitted on 16 Mar 2018

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.



UNIVERSITÉ D'AIX-MARSEILLE
École Doctorale 356 : cognition, langage, éducation
Apprentissage Didactique Évaluation Formation/ EA4671

Thèse présentée pour obtenir le grade universitaire de docteur

Discipline : sciences de l'éducation

Antonin Boyer

Étude expérimentale sur l'usage des systèmes biotiques dans des tâches d'enseignement basé sur une approche systémique de l'énergie.

Quelle est son efficacité sur les actions d'élèves de cycle 3 pour reconstituer des systèmes à l'aide d'un modèle de chaîne énergétique ?

Soutenue le 08/12/2017 devant le jury :

Patrice VENTURINI, Université Toulouse Jean Jaurès, Rapporteur & Président du jury
Dimitris KOLIOPOULOS, University of Patras, Rapporteur
Bernadette MERENNE-SCHOUMAKER, Université de Liège Examinatrice
Catherine BRUGUIERE, Université Claude Bernard Lyon 1, Examinatrice
Nicole MENCACCI, Université d'Aix-Marseille, Directrice de thèse
Damien GIVRY, Université d'Aix-Marseille, Directeur de thèse

Remerciements

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à Damien Givry et à Nicole Mencacci pour l'ensemble de leur supervision de ce travail, pour leurs conseils et pour leur accompagnement, et plus globalement pour tout ce qu'ils m'ont appris. Mais aussi pour avoir réussi à le faire tout en me laissant la place de m'exprimer et me construire à travers cette thèse.

La suite de mes remerciements va très chaleureusement à l'ensemble des personnes qui ont participé à l'expérimentation. Les trois enseignants qui ont accepté un dispositif vidéo si lourd au sein de leur classe, ceux qui ont accepté de mener une séance pas toujours très claire au milieu de leurs emplois du temps habituels, et ceux qui ont accepté de faire passer le questionnaire à trois reprises à leurs élèves. Ma reconnaissance va aussi vers toutes les personnes qui nous ont accompagnés sur le terrain et qui ont participé à la construction de la séance, Nadeige Chauvot, Sophie Charvet, Célestin Mvutsebanka et Fatma Saïd. Et bien sûr je salue tous les élèves qui ont participé et joué le jeu en faisant comme s'il n'y avait ni chercheur ni caméra dans la classe.

Je tiens également à remercier l'ensemble des chercheurs de l'équipe Gestepro pour leurs conseils et leur soutien durant cette thèse mais également durant mon master en didactique. Merci à Corinne Jegou pour le travail que nous avons fait ensemble sur l'efficacité, à Jacques Ginestie pour ses conseils concernant l'approche systémique, à Alice Delserieys pour tant d'implication depuis mon master jusqu'à ma thèse. Merci à Fabrice Gunther, Magalie Coupaud, Valérie Baranes, Victoria Pokofieva, Maria Impedovo, Sophie Farsy, Jean-François Hérold, Patrice Laisney, Pascale Brandt-Pomares, Marjolaine Chatoney, Eric Tortochot, Hélène Armand, Colette Andreucci, Jeremy Castera, Michel Larini.

Ma gratitude va également à tous les collègues de la formation, qui ont su me soutenir et m'aider dans ce métier que je ne connaissais pas, et être là quand je pouvais avoir le sentiment de me noyer. Merci à Fabienne Brière, Muriel Zougs, Jessyca Tretola, Nathalie Rezzi, Pascal Terrien, Julien Cuminetto, Laurent Prattali. Je remercie également tous mes étudiants qui ont su se montrer très compréhensifs avec un formateur bien souvent plus pris dans sa thèse que dans leurs enseignements.

Il en est de même pour ceux que j'ai pu solliciter pour corriger mon orthographe, ma mère, Rahila Emilie, Manon, Laurent, Valentin, Romain, Romain, Nicolas, Marion, Florent, Cedric, Nicolas, Katy, Nadeige et Karine.

D'un point de vue plus personnel, je tiens à remercier mes parents sans qui cette thèse n'aurait pas été possible. Et tous ceux qui ont toujours été là et ont tout supporté. Merci à Florent, Manon, Marion, Émilie, Jérémy, Léa, Romain, Laurent, Sébastien, Adrien, Nicolas, Julie, Émilie et Juliette. Merci à tous ceux que j'ai oubliés, je sais que vous ne m'en tiendrez pas rigueur.

Résumé

Cette thèse interroge les facteurs qui peuvent influencer l'efficacité d'un enseignement en cycle 3 ancré dans une perspective d'éducation à l'énergie. Cet enseignement est basé sur une approche globale, interdisciplinaire et faisant des liens entre science et société (Morge & Buty, 2014). En nous appuyant sur les modèles existants de chaîne énergétique (Devi, Tiberghien, Baker, & Brna, 1996) nous avons développé un modèle de l'énergie ancré dans une approche systémique (De Rosnay, 1975). Une des conceptions la plus présente chez les élèves est l'association de l'énergie avec un type de système (par exemple système électrique) (Colonese, Heron, Michelini, Santi, & Stefanel, 2012). Nous avons donc considéré que le facteur d'efficacité le plus déterminant vis-à-vis de notre modèle était le type de système utilisé dans l'enseignement, notamment l'utilisation de systèmes biotiques (relatifs aux êtres vivants) et domestiques. Ce facteur d'efficacité, relevant d'un effet lié à la tâche, a été testé sur la progression après l'enseignement des élèves à partir du nombre de système reconstitué par ces derniers. Inscrit dans le champ de la didactique des sciences et adoptant approche socio-constructiviste de l'apprentissage, nous avons analysé l'efficacité d'un enseignement sur l'énergie à l'aide de la théorie de l'activité (Leontiev, 1978). Notre question de recherche est : quel est l'efficacité de la condition « usage d'un système biotique » dans certaines tâches d'enseignement de cycle 3 à propos de l'énergie sur l'action des élèves « reconstituer des systèmes énergétiques complets » ?

Pour répondre à cette question, nous avons développé une méthodologie articulant ingénierie didactique et méthode expérimentale. Le protocole expérimental repose sur la constitution d'un groupe d'élèves ne travaillant que sur des systèmes domestiques et un autre travaillant sur des systèmes domestiques et biotiques. Pour mesurer l'effet de la variable « usage de système biotique », nous avons administré des questionnaires à soixante-douze élèves avant et après l'enseignement, vidéoscopé 12 séances d'enseignement dans 2 classes et récupéré les traces écrites des élèves durant ces séances.

Les résultats obtenus à partir des questionnaires montrent que les élèves ayant travaillé sur des systèmes biotiques durant quelques séances sur l'énergie progressent plus à l'issue de l'enseignement. Ils sont en effet capables de reconstituer plus de systèmes avec ou sans chaîne énergétique. Les résultats des analyses vidéos et des traces écrites montrent que les élèves du groupe biotique ont plus de difficultés pour réaliser des chaînes énergétiques pendant l'enseignement. Ils montrent également que ces élèves évoquent plus les interactions entre les éléments du système que ceux du groupe domestique. Les analyses croisant vidéo de classe et

questionnaires montrent que l'évocation des interactions entre les éléments du système permet aux élèves de progresser davantage, tout comme la réalisation de chaîne complète pendant l'enseignement.

Dans une perspective d'éducation à l'énergie l'utilisation de systèmes biotiques dans l'enseignement semble donc permettre aux élèves de reconstituer des systèmes énergétiques dans une plus grande variété de situations. Ceci nous semble être un aspect important dans la compréhension des enjeux liés à l'énergie.

Mots-clés : Énergie, chaîne énergétique, approche systémique, système biotique, efficacité, étude expérimentale, tâche d'enseignement, actions.

Abstract

The aim of this Phd is to examine the factors that can influence the efficacy of an energy teaching based on a science, technology, society and environmental approach. We associate this teaching with a global, interdisciplinary energy education that makes the links between science and society (Morge and Buty, 2014). Based on existing energy chain models (Devi, Tiberghien, Baker & Brna, 1996), we have proposed an energy model according to a systemic approach (De Rosnay, 1975). One of the most common conceptions in pupils is the association of energy with a specific kind of system or process (Colonese, Heron, Michelini, Santi & Stefanel, 2012). We consider the use of the domestic and biotic system (related to living being) as the most important factor to determine the efficacy of our model. This factor (considered as an effect of the task) is tested through the efficacy on students' progress in the number of systems reconstituted by them. In the field of didactics of science and based on a socio-constructivist approach of learning, we have analyzed this effectiveness using the theory of activity (Leontiev, 1978). The aim of this study is to answer the following research question: what is the efficacy of the condition "use of biotic system" in some primary teaching tasks about energy on students' action "reconstruct complete energy systems?" To answer this question, we design a methodology composed by experimental method and didactic engineering. Our experimental protocol is based on the constitution of a group of students working only on domestic systems whereas another one works on domestic and biotic systems. To measure the effect of the variable "use of biotic system", we have : given questionnaires to Seventy two students before and after teaching, video-recorded fourteen lessons of the teaching about energy and collected written traces of students. The results from the questionnaires show that students who have worked on biotic systems progress more after the teaching than the others one (worked only on domestic systems) . They are able to reconstruct more systems with and without energy chains. The results of the video analyzes and written traces show that the students of the biotic group have more difficulty to realize energy chains during the teaching. They also show that these pupils speak more about the interactions between the elements of the system than the others one. The analyzes show that the evocation of the interactions between the elements of the system allows the students to progress more, as the realization of complete chain during the teaching. From an energy teaching based on a science, technology, society and environmental approach perspective, the use of biotic systems in education seems to support students to reconstruct energy systems in a wider variety of situations. This result appears to us as a major aspect to understand energy issues.

Key words: Energy, energy chain, systemic approach, biotic system, efficacy , experimental method, teaching task, action.

Table des matières

1 - Introduction	1
2 - Revue de la littérature : enseignement apprentissage de l'énergie, approche systémique et efficacité	5
2.1 - Introduction	5
2.2 - Enseignement et apprentissage du concept d'énergie.....	6
2.2.1 - Le savoir « énergie ».....	6
2.2.1.1 - Énergie : enjeux de société.....	6
2.2.1.2 - Différents enjeux, différents regards.....	8
2.2.1.3 - L'énergie dans les programmes :.....	13
2.2.2 - Les recherches sur l'enseignement et l'apprentissage du concept d'énergie.....	14
2.2.2.1 - Les conceptions des élèves.....	15
2.2.2.2 - L'enseignement de l'énergie.....	20
2.3 - Approche systémique de l'énergie.....	23
2.3.1 - L'approche systémique.....	24
2.3.1.1 - Description de l'approche systémique :.....	24
2.3.1.2 - Les outils de l'approche systémique.....	26
2.3.2 - Une approche systémique de l'énergie à l'école primaire.....	27
2.3.2.1 - L'approche systémique à l'école.....	27
2.3.2.2 - Un modèle de l'énergie ancré dans une approche systémique.....	28
2.3.2.3 - Systèmes étudiés (filiales énergétiques).....	32
2.4 - L'efficacité sur les apprentissages des systèmes dans l'enseignement de l'énergie.....	35
2.4.1 - Les recherches sur l'efficacité en éducation.....	35
2.4.2 - Mesurer l'efficacité d'un dispositif d'enseignement.....	37
2.4.2.1 - Observation au niveau de l'effet-tâche.....	40
2.4.2.2 - Exemples sur l'« effet tâche ».....	41

3 - Cadre théorique.....	44
3.1 - Introduction	44
3.2 - Différentes approches de l'activité.....	45
3.3 - Éléments de la théorie de l'activité mobilisés dans cette étude.....	48
3.3.1 - Modéliser l'activité.....	49
3.3.2 - Activité, actions et opérations.....	51
3.3.3 - Présentation de la notion de tâche	56
3.3.4 - Tâche – actions (Savoyant, 2006).....	58
3.3.5 - Modèle d'analyse de l'activité des élèves dans le cadre d'un enseignement fondé sur une approche systémique de l'énergie.....	60
4 - Questions de recherche et hypothèses.....	67
5 - Méthodologie	71
5.1 - Protocole expérimental.....	71
5.1.1 - Variable indépendante.....	71
5.1.2 - Variables dépendantes.....	73
5.1.3 - Variables contrôlées.....	74
5.1.3.1 - Tâches de réalisation des chaînes énergétiques.....	74
5.1.3.2 - Activité des élèves.....	74
5.1.3.3 - L'effet-maître.....	75
5.1.3.4 - Séquence d'enseignement.....	75
5.1.4 - Le dispositif expérimental.....	76
5.1.5 - Validité écologique.....	79
5.2 - Participants, contexte et séquence d'enseignement.....	80
5.2.1 - Les participants.....	80
5.2.2 - Le contexte scolaire.....	81
5.2.3 - La séquence d'enseignement.....	82

5.3 - Mode de recueil de données.....	86
5.3.1 - Élaboration des questionnaires élèves et des questionnaires enseignant.	86
5.3.1.1 - Chaînes énergétiques 1 et 2.....	87
5.3.1.2 - Usage, sources d'énergie et ressources naturelles.....	90
5.3.1.3 - Objets qui utilisent de l'énergie.....	92
5.3.2 - Vidéos de classe.....	93
5.3.3 - Traces écrites.....	94
5.4 - Recueil des données.....	96
5.4.1 - Au CM1A.....	96
5.4.2 - Au CM1B.....	97
5.4.3 - Au CM1C.....	99
5.5 - Traitement et analyse des données.....	100
5.5.1 - Questionnaires.....	100
5.5.1.1 - Sélection des images et dessins.....	100
5.5.1.2 - Codage des réponses attendues et non attendues.....	102
5.5.1.3 - Analyse des progressions des élèves.....	114
5.5.1.4 - Moyennes et statistiques à propos des progressions des élèves.....	115
5.5.2 - Analyse des vidéos et des traces écrites	116
5.5.2.1 - Analyses vidéos : opérations de contrôle des élèves pendant les tâches de la séquence d'enseignement.....	116
5.5.2.2 - Traces écrites : analyse des actions et opérations des élèves pendant les séances	118

6 - Résultats.....121

6.1 - Questionnaires : effets des systèmes biotiques sur les progressions des élèves.....	122
6.1.1 - Introduction.....	122
6.1.2 - Partie 3 du questionnaire : augmentation de l'efficacité de l'enseignement au niveau de l'action « reconstituer un système énergétique à l'aide d'un modèle de chaîne énergétique ».....	123
6.1.2.1 - Introduction: reconstituer un système énergétique à l'aide d'un modèle de chaîne énergétique.....	123
6.1.2.2 - Augmentation de l'efficacité de l'enseignement sur l'action « reconstituer un système énergétique complet à partir d'un modèle de chaîne énergétique ».....	125
6.1.2.3 - Influence du type de systèmes sur les progressions des élèves.....	137

6.1.2.4 - Influence de la condition de la tâche usage de systèmes biotiques sur les opérations nécessaires à la réalisation d'une chaîne énergétique complète.....	142
6.1.2.5 - Conclusion: action « reconstituer un système à partir d'un modèle de chaîne énergétique ».....	155
6.1.3 - Partie 1 du questionnaire : Influence de la condition de la tâche usage de systèmes biotiques sur l'action « reconstituer un système énergétique sans utiliser un modèle de chaîne ».....	155
6.1.3.1 - Introduction : sources d'énergie et usage des éléments des systèmes.....	155
6.1.3.2 - Influence positive sur l'identification des sources d'énergie.....	158
6.1.3.3 - Peu d'influence de la condition de la tâche utilisation de systèmes biotiques sur l'identification des usages.....	163
6.1.3.4 - Conclusion sur l'action « reconstituer un système énergétique sans utiliser le modèle de chaîne énergétique ».....	166
6.1.4 - Conclusion sur l'action « reconstituer un système énergétique ».....	167
6.2 - Analyse fine à partir des vidéos et des traces écrites de la totalité des élèves du CM1A.....	167
6.2.1 - Description des tâches réalisées par les élèves.....	168
6.2.1.1 - Déroulement des deux séances.....	169
6.2.1.2 - Description des supports.....	175
6.2.2 - Analyse vidéo de l'activité des élèves : le groupe « biotique » développe une approche plus systémique.....	176
6.2.2.1 - Séance n°3 : progressive.....	179
6.2.2.2 - Séance n°7 : synthèse.....	180
6.2.3 - Traces écrites : Le groupe biotique rencontre plus de difficultés pour réaliser les actions et opérations.....	181
6.2.3.1 - Séance n°3 : progressive.....	183
6.2.3.2 - Séance n°7 synthèse.....	185
6.3 - Analyse croisée du questionnaire, des vidéos et des traces écrites des séances : liens entre les actions des élèves et progressions.....	189
6.3.1 - Parler des interactions des éléments du système durant l'enseignement favorise la progression des élèves pour réaliser des chaînes énergétiques complètes dans le questionnaire.....	190
6.3.2 - La réalisation d'une chaîne complète pendant la séance n°7 favorise la progression des élèves dans les questionnaires.....	192

7 - Conclusion, discussion, perspectives et implications.....	195
7.1 - Conclusion.....	195
7.2 - Discussion.....	203
7.3 - Perspectives et implications.....	206
Bibliographie.....	210

1 - Introduction :

L'énergie est un des enjeux majeurs du développement des sociétés modernes d'un point de vue économique, environnemental, géopolitique et social (OCDE, 2012). Le terme « énergie » présente une certaine polysémie (Bruguière, Sivade & Cros, 2002) et le concept d'énergie recouvre différents modèles en fonction des disciplines académiques ou scolaires (Martinás, 2005). Il en découle qu'il ne semble pas exister, aujourd'hui, de consensus sur la manière d'aborder ce concept (Millar, 2014), qui renvoie à une importante variété d'approches dans l'enseignement (Besson & Ambrosis, 2014). Dans une perspective d'éducation à l'énergie, considérée comme une part de l'éducation au développement durable (Munier & Batchöld, 2014), cette thèse vise à tester les conditions d'efficacité d'un enseignement sur l'énergie qui permettrait à des élèves de cycle 3 de participer aux débats de société sur l'énergie. Il s'agit de donner aux élèves des outils (issus de l'approche systémique) qui leur permettraient d'appréhender de manière globale les problématiques actuelles sur l'énergie. Pour cela, nous avons développé un modèle de l'énergie en proposant une version particulière du modèle de chaîne énergétique (Tiberghien & Megalakaki, 1995). L'objectif de ce modèle est d'aider les élèves à reconstituer différents systèmes énergétiques depuis l'utilisation quotidienne d'énergie jusqu'à l'exploitation des ressources naturelles. En effet, nous avons considéré que cette reconstitution constituait une action fondamentale dans la compréhension des problématiques liées à l'énergie. Les modèles de chaînes énergétiques sont généralement employés pour étudier des systèmes qui impliquent de l'électricité. Il nous a semblé important vis-à-vis de la compréhension des débats sur l'énergie que le modèle proposé dans cette thèse soit également appliqué sur d'autres systèmes. Notamment des systèmes dans lesquels on retrouve des carburants, des combustibles, mais aussi des êtres vivants. Nous avons regroupé ces systèmes en deux grandes catégories que nous avons nommées « domestiques » (électricité, carburants et combustibles) et « biotiques » (relatifs au vivant). À partir de certains travaux sur les conceptions des élèves à propos du concept d'énergie (Colonnese, Heron, Michelini, Santi, & Stefanel, 2012), nous avons considéré l'utilisation de ces systèmes domestiques et biotiques (habituellement associés à des disciplines scolaires différentes) comme la condition principale d'efficacité de l'enseignement proposé. Nos principaux résultats montrent qu'après l'enseignement, les élèves qui ont étudié des systèmes biotiques et domestiques pendant l'enseignement (groupe biotique) progressent plus que les élèves n'ayant étudié que des systèmes domestiques (groupe domestique) au niveau de la réalisation des chaînes énergétiques complètes et de l'identification des sources d'énergie. Ils révèlent également que, pendant l'enseignement, les élèves du groupe biotique rencontrent plus de difficultés pour réaliser les chaînes énergétiques et évoquent plus les interactions entre les éléments du système.

Enfin, le couplage des analyses précédentes indique que les élèves qui ont réalisé des chaînes complètes et ceux qui ont évoqué les interactions entre les éléments du système pendant la dernière séance progressent plus sur les chaînes énergétiques après l'enseignement.

La première partie de cette thèse présente une revue de la littérature des recherches sur : l'enseignement et l'apprentissage du concept d'énergie, l'approche systémique et l'efficacité. Elle vise à montrer comment ces travaux nous ont conduits à nous intéresser à l'efficacité d'un enseignement basé sur l'approche systémique (en particulier sur un modèle de chaîne énergétique adapté) d'une part et au facteur « utilisation de systèmes relatifs aux êtres vivants » d'autre part. En effet, nous considérons que cette approche peut permettre de répondre à certaines recommandations formulées suite aux nombreuses études sur l'enseignement et l'apprentissage du concept d'énergie. Il nous apparaît également à travers les travaux sur les conceptions que les systèmes étudiés par les élèves constituent un élément clé concernant l'apprentissage du concept d'énergie. Cette première sous-partie illustre : les différentes approches sur l'énergie, les nombreuses conceptions des élèves identifiées par les recherches, ainsi que les nombreuses approches et propositions d'enseignements sur l'énergie provenant des recherches en éducation. La deuxième sous-partie présente les travaux utilisés pour : (a) définir l'approche systémique et ses outils, (b) présenter son adaptation à un enseignement de l'énergie au niveau de l'école primaire et (c) présenter différents modèles de chaîne énergétique existants et élaborer un modèle de chaîne énergétique applicable par les élèves pour comprendre la plupart des modes de production des filières énergétiques. Enfin, la troisième sous-partie synthétise les nombreux travaux sur l'efficacité des dispositifs d'enseignement et précise les différentes façons de la mesurer et de prendre en compte les facteurs pouvant l'influencer. Elle nous a permis notamment de circonscrire le facteur lié à l'effet des tâches d'enseignement que nous allons étudier plus spécifiquement dans cette thèse.

La deuxième partie présente les outils théoriques utilisés pour étudier l'efficacité de l'utilisation de systèmes biotiques dans un enseignement basé sur un modèle de chaîne énergétique élaboré à partir d'une approche systémique. Ces outils sont issus de la théorie de l'activité. Après une présentation rapide des trois générations de théories d'activité décrites par Engeström (2001), la première sous-partie s'intéresse aux travaux proposant de modéliser l'activité. La deuxième sous-partie présente plus en détail les notions mobilisées dans cette thèse, notamment la notion et les conditions qui la caractérisent (Leplat et Hoc, 1983) et la structure de l'activité qui articule activité-action-opération (Leontiev, 1981). La troisième sous-partie présente le lien tâche-action développé par Savoyant (2006). La quatrième sous-partie décrit le modèle que nous avons développé pour analyser l'activité des élèves dans le cadre d'un enseignement fondé sur une approche systémique

de l'énergie. En spécifiant plus particulièrement, les liens entre situation-tâche-conditions (procédure, propriétés du matériel...) et activité-action-opérations (orientation, exécution, contrôle). Le but de ce modèle est de pouvoir étudier le lien entre la condition concernant les systèmes utilisés dans les tâches d'enseignement (particulièrement les systèmes biotiques) et l'action « reconstituer un système énergétique complet », ainsi que les opérations correspondant à cette action.

La troisième partie présente nos trois questions de recherche, ainsi que les dix hypothèses que nous avons testées. La question de recherche principale à laquelle cette thèse propose de répondre est la suivante : La condition « usage de système biotique » dans plusieurs tâches de séances de cycle 3 sur l'énergie augmente-t-elle l'efficacité de cet enseignement sur les apprentissages des élèves concernant l'action « reconstituer des systèmes énergétiques complets » ?

La quatrième partie présente la méthodologie mise en place pour tester ces hypothèses et répondre à ces questions. Il s'agit d'une méthodologie composite articulant ingénierie didactique et méthode expérimentale. La première sous-partie présente le protocole expérimental : les variables (indépendantes, dépendantes, contrôlées), le dispositif, ainsi que sa validité écologique. La deuxième sous-partie décrit en détail les nombreux participants (allant de 227 élèves sur l'étude globale à 72 élèves dans le cadre de la thèse) et les 12 séances que nous avons élaborées pour la séquence d'enseignement sur l'énergie. La troisième sous-partie présente le recueil des données : questionnaires (pré, post et à long terme), vidéo de l'enseignant et de tous les élèves (6 groupes d'élèves filmés) en classe durant les 12 séances sur l'énergie, ainsi que les traces écrites de tous les élèves. La quatrième sous-partie décrit en détail l'analyse des différents types de données, notamment les grilles d'analyse et les tests statistiques utilisés.

La cinquième partie est constituée des résultats obtenus à l'aide des questionnaires, de la vidéo et des traces écrites. La première sous-partie décrit les résultats sur les progressions des élèves à partir des réponses aux questionnaires sur la reconstitution de systèmes énergétiques complets à partir d'un modèle de chaîne énergétique. Elle détaille les résultats sur l'action « reconstituer des systèmes complets » en fonction de la condition « usage de systèmes biotiques dans plusieurs tâches d'enseignement » : (1) sur l'ensemble des systèmes proposés dans le questionnaire, (2) en fonction du type de système utilisé et (3) sur les quatre opérations nécessaires à la réalisation de cette action. La seconde sous-partie expose les résultats sur les progressions des élèves à partir des réponses aux questionnaires sur la reconstitution de systèmes énergétiques complets sans l'aide d'un modèle de chaîne énergétique. Elle précise les résultats de l'action « reconstituer des systèmes complets » en fonction de la condition « usage de systèmes biotiques dans plusieurs tâches d'enseignement » concernant notamment l'identification : (1) des sources d'énergie et des ressources naturelles et (2)

de l'usage des objets de départ et de certaines centrales. La troisième sous-partie correspond aux résultats obtenus à partir des vidéos et des traces écrites des élèves durant les séances d'enseignements sur l'énergie. Elle met en avant le rôle de la condition « usage de système biotique » sur l'action « reconstituer des systèmes énergétiques complets » et l'opération de contrôle basé sur un discours centré sur les interactions entre les éléments du système pendant l'enseignement. La quatrième sous-partie vise à présenter les liens entre les résultats des premières sous-parties. Pour cela elle présente les actions et les opérations réalisées durant l'enseignement qui influencent la progression des élèves au niveau de l'action « reconstituer des systèmes énergétiques complets » dans les tâches du questionnaire. Elle met notamment en évidence le lien : (1) entre l'opération de contrôle exprimant un discours centré sur les interactions entre les éléments du système pendant l'enseignement et la progression des élèves pour reconstituer des systèmes énergétiques complets ; et (2) entre la réussite des élèves à réaliser l'action « reconstituer des systèmes énergétiques complets » pendant l'enseignement et la progression de ces derniers sur cette même action dans les questionnaires.

Enfin la sixième et dernière partie présente la conclusion générale sur ce travail de thèse, une discussion des résultats, les perspectives de recherches suite à ce travail de thèse et les implications pour l'enseignement et la formation.

2 - Revue de la littérature : enseignement apprentissage de l'énergie, approche systémique et efficacité.

2.1 -Introduction :

Cette thèse présente un double objectif. Le premier est de développer un modèle didactique pour aider les élèves à mieux comprendre les enjeux de société liés à l'énergie. Le second est de tester l'efficacité de ce modèle. Ce premier objectif renvoie donc à une perspective d'éducation à l'énergie, qui est une partie de l'éducation au développement durable. Elle vise à donner aux élèves un outil conceptuel leur permettant de faire des choix en matière d'énergie et de comprendre les débats politiques et géopolitiques liés à ce sujet. Les deux premières parties de la revue de la littérature visent à répondre au premier objectif en présentant un certain nombre de travaux et d'approches mobilisés pour développer le modèle. La troisième partie renvoie plus spécifiquement au second objectif en présentant comment l'efficacité de ce modèle a été envisagée dans cette étude.

Cette revue de la littérature se compose de trois parties : la première concerne l'enseignement et l'apprentissage du concept d'énergie, la deuxième présente l'approche et le modèle développés dans cette étude qui s'appuient sur une approche systémique de l'énergie, et enfin, la dernière partie présente certains travaux sur l'efficacité en éducation et la façon dont cette thèse les utilise.

2.2 -Enseignement et apprentissage du concept d'énergie

L'énergie est un concept abstrait de la physique. En effet, dans la physique d'aujourd'hui, Feynman considère que nous n'avons aucune connaissance de ce qu'est l'énergie (Feynman, Leighton, & Sands, 1977). De ce fait, l'énergie est un concept qui est présenté et utilisé de manières très différentes en fonction des différents champs disciplinaires (Martínás, 2005). Cette difficulté a conduit également à la production de nombreux travaux de recherches sur son enseignement et les difficultés rencontrées par les élèves au niveau de l'apprentissage. L'objectif de cette partie est de présenter quelques traits caractéristiques des différentes approches de l'énergie afin de discuter de leurs apports respectifs dans la compréhension des enjeux de société liés à ce concept. Dans un deuxième temps nous présenterons de manière non exhaustive les résultats issus des recherches en éducation sur l'enseignement et l'apprentissage du concept d'énergie.

2.2.1 -Le savoir « énergie »

Cette partie correspond à une analyse du concept d'énergie. Il s'agit de présenter certaines caractéristiques des approches de l'énergie et leurs relations avec les enjeux de société. Pour cela, nous présenterons d'abord notre analyse des enjeux de société liés à l'énergie, ensuite les différentes approches du concept mobilisées dans plusieurs disciplines et enfin la façon dont ces approches sont présentées dans les programmes scolaires de l'école primaire.

2.2.1.1 -Énergie : enjeux de société

L'énergie est aujourd'hui un des enjeux majeurs pour l'ensemble de nos sociétés (Agence Internationale de l'Énergie, 2014 ; OCDE, 2012). La majorité des débats et des décisions prises actuellement se centrent sur la question environnementale et notamment la question du lien entre l'exploitation des ressources fossiles et du réchauffement climatique. Cependant, les problématiques liées à l'énergie sont nombreuses et relèvent de nombreux aspects. En effet, le conseil français de l'énergie (2015) a répertorié quarante et un enjeux sur l'énergie regroupés en quatre grandes familles. Ces familles correspondent aux risques et à la vulnérabilité macro-économique (accords internationaux sur le climat, prix de l'énergie et des matières premières, prix de l'électricité, lien eau et énergie, budget des ménages, disponibilité et usages des sols, etc.), à la géopolitique de l'énergie (croissance de la Chine et de l'Inde, fragilité du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord, etc.), aux contextes et politiques énergétiques (régulations politiques, subventions, systèmes décentralisés, etc.) et enfin aux visions et aux technologies en matière d'énergie (ville durable, efficacité énergétique, différentes filières, etc.). Il est intéressant de constater qu'il n'a pas été fait le

choix par cette institution de considérer les enjeux environnementaux comme une famille à part entière, mais plutôt de les faire apparaître au sein de chaque famille. Pour Mérenne-Schoumaker, (2007), le problème est d'abord technique, puisque toute énergie doit être produite et consommée souvent à l'aide de technologies complexes. Des contraintes économiques interviennent immédiatement (prix, capacité et organisation des marchés) qui sont très liées à des choix ou stratégies politiques réalisés par les pays producteurs, les pays consommateurs et toutes les entreprises qui interviennent sur les marchés. D'autre part, cet auteur spécifie que toute production et consommation d'énergie génère de nombreux impacts sur l'environnement. Enfin, elle replace les problématiques liées à l'énergie dans leur dimension spatiale (localisation des ressources, distance zone de production/zone de consommation, etc.).

Ces différents enjeux liés à la production et à la consommation d'énergie, impliquent un nombre important d'acteurs et d'organisations (individu, collectivité locale, état, multinationale etc.) qui ne présentent pas les mêmes stratégies, ni le même rapport au changement (Zélem, 2010). Parmi ces acteurs, le citoyen, même lorsque professionnellement il n'appartient pas à un secteur en lien avec l'énergie, est de plus en plus sollicité (voir la synthèse des travaux du débat national sur la transition énergétique de la France, 2013). Particulièrement au niveau de certaines injonctions concernant ces choix personnels en matière d'énergie, mais aussi à travers la présence importante des débats de sociétés dans les médias. Pour la sociologie de l'énergie (notamment Zélemn, 2010 ; Lévy, Roudil, Flamand, & Belaïd, 2014) le consommateur ne peut plus être considéré comme soumis uniquement aux logiques économiques et techniques des producteurs d'énergie.

La plupart des enjeux présentés ci-dessus renvoient principalement à la production et la consommation d'électricité, de carburant (essence, biomasse, etc.) ou de combustibles (bois, gaz, fuel etc.). Dans le cadre de cette thèse, nous avons considéré que les problématiques liées à l'agriculture et l'élevage relevaient aussi d'enjeux énergétiques. Dans la plupart des cas, prendre en compte ces problématiques revient à quantifier et analyser les dépenses en énergie de ces secteurs, ou à interroger les espaces disponibles pour ces secteurs par rapport aux espaces de production d'énergie (par exemple le débat sur l'utilisation massive de biomasse et son effet sur les terres disponibles pour l'agriculture). Ici, nous considérons que l'alimentation est une source d'énergie pour l'être humain, qui lui permet de vivre (se déplacer etc.). Les enjeux liés à l'agriculture et l'élevage sont donc pris en compte dans cette étude comme la problématique de la production, la transformation et la consommation d'une source d'énergie renouvelable, mais dont les quantités sont limitées.

L'objectif de cette thèse n'est pas de donner aux élèves une solution ou de les pousser à se positionner sur ces débats et enjeux, mais de proposer un modèle didactique qui puisse être un outil pour ces derniers afin de comprendre ces enjeux et d'en tester les facteurs d'efficacité. Nous considérons que les solutions proposées pour répondre à ces enjeux peuvent être regroupées en deux catégories : ce qui relève de la consommation (réduction des quantités d'énergie utilisées pour le transport, l'habitat etc..) et ce qui relève de la production (choix des ressources utilisées, développement des technologies type fusion nucléaire etc.). Ces catégories de solution sont bien sûr liées et interdépendantes. Il nous semble donc que pour comprendre les enjeux d'une part et les solutions proposées d'autre part, il est fondamental de donner aux élèves des outils conceptuels leur permettant de relier consommation individuelle et production à large échelle. De plus, pour Dessus (2014), le débat porte principalement sur la nature, la disponibilité, les coûts et les effets pervers des différentes sources d'énergies utilisées pour satisfaire les besoins en énergie de nos sociétés. Cet auteur présente cette centration du débat comme une limite à la compréhension des enjeux énergétiques, car elle ne prend pas en compte les besoins en énergie (alimentation, logement, mobilité, etc.). Il propose, pour pallier cette limite, une démarche ascendante partant des besoins fondamentaux de la société jusqu'aux ressources énergétiques primaires fournies par la nature en explicitant chacune des étapes. A sa suite, nous considérons que donner aux élèves un outil permettant de comprendre les enjeux énergétiques revient à leur enseigner un modèle permettant, à partir d'un besoin en énergie, de remonter jusqu'à la ressource naturelle exploitée et ce pour les différentes filières énergétiques qui existent. Afin de développer ce modèle, nous nous sommes intéressés à la façon dont le concept d'énergie est défini et utilisé dans différents champs scientifiques. Ce sont ces définitions et utilisations qui sont décrites dans la partie suivante.

2.2.1.2 -Différents enjeux, différents regards

Cette partie décrit certains modèles de l'énergie et la façon dont le concept est utilisé dans différentes disciplines. Elle ne vise pas à l'exhaustivité, ni à décrire précisément et complètement la façon dont le concept est abordé selon les points de vue. Il s'agit plutôt de dégager certains traits caractéristiques des différents modèles qui nous semblent important vis-à-vis des enjeux de société sur l'énergie. Pour Martinas (2005), l'énergie est un concept unifiant qui couvre toutes les sciences.

Mais ce concept est présenté de manières différentes entre les disciplines. Poor (cité par Martinas, 2005, p,45) considère que « l'énergie est la quantité qui se conserve en physique et qui est consommée en biologie [...] c'est pourquoi l'énergie physique et l'énergie biologique sont des quantités différentes »

Les recherches en didactique des sciences ont depuis longtemps mis en avant les problématiques liées à la polysémie du mot énergie, son usage pluridisciplinaire et ses utilisations différentes en sciences et au quotidien (Bruguière, Sivade, & Cros, 1994 ; Lijnse, 1990)

Concernant les modèles, Koliopoulos & Tiberghien, (1986) mettent en avant différentes approches utilisées. Pour ces auteurs, les sciences physiques favorisent une approche fonctionnelle (l'énergie est une fonction) basée sur le principe de conservation de l'énergie ; alors que pour le technicien, le biologiste et l'économiste, c'est une approche substantialiste qui est favorisée (l'énergie y est vue comme un fluide qui circule), permettant d'explicitier les formes d'énergie et leur utilisation. Darot (1986) exprime cette pluridisciplinarité en fonction des usages qui sont faits du concept. Pour cet auteur, les sciences physiques introduisent et formalisent le concept qui est fondamental pour la discipline. Les sciences naturelles l'utilisent pour expliquer le vivant et analyser son fonctionnement alors que les sciences de la société (histoire, géographie, sciences économiques et sociales) se préoccupent de l'usage que les humains et les sociétés font des sources d'énergie. Bruguière, Sivade et Cros (1994), mettent en avant cette différence à travers le degré d'abstraction et de formalisme du concept en fonction des disciplines. Pour ces auteurs, le concept est présenté dans sa forme la plus abstraite et formalisée en physique quand d'autres disciplines l'utilisent sous des formes plus concrètes et moins formalisées. Il nous apparaît que l'on peut distinguer deux ensembles principaux, la physique qui s'intéresse au concept d'énergie et les domaines qui utilisent le concept d'énergie comme un phénomène explicatif de différents processus dans la société ou dans le monde du vivant.

Le concept d'énergie est un concept qui s'est construit progressivement pour unifier différentes branches de la physique. Tiberghien (1994 cité par Bui Thi, 2005, p.35) donne la définition suivante : « 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. ».

Feynman considère que dans la physique, on ne sait pas ce qu'est l'énergie. Il décrit l'énergie comme une quantité numérique qui ne change pas quand quelque chose se produit. Il s'agit donc d'une quantité définie presque exclusivement par le principe de conservation (Feynman, Leighton, & Sands, 1977). Si elle ne se conservait pas, elle n'existerait pas en tant que concept scientifique (Millar, 2014). Pour cet auteur cette définition implique que l'on devrait parler de l'énergie d'un objet ou d'un système mais pas de l'énergie dans un objet ou dans un système. Il s'agit d'une propriété et non d'une entité concrète.

Duit, (2012) considère que quatre aspects constituent la base du concept d'énergie, la conservation de l'énergie, sa dégradation, ses transformations et ses transferts. Le principe de conservation de l'énergie s'appuie sur la définition de Feynman (Feynman, Leighton, & Sands, 1977) donnée ci-dessus. Il considère que la quantité d'énergie ne change pas quels que soient les changements au niveau phénoménologique. C'est-à-dire qu'il ne peut y avoir création ou disparition de l'énergie (« rien ne se crée, rien ne se perd »), mais elle peut se transformer d'une forme d'énergie en une autre (par exemple, l'énergie potentielle peut se transformer en énergie cinétique lors de la chute libre d'un objet) ou être transférée d'un système à un autre (par exemple l'électricité est transférée d'une pile (système A) à une ampoule (système B)). Le principe de dégradation est envisagé par le fait que l'énergie d'un système passe nécessairement et spontanément de formes concentrées et potentielles à des formes diffuses et cinétiques (frottement, chaleur, etc.). Ce principe introduit ainsi la notion d'irréversibilité d'une transformation et la notion d'entropie. Il renvoie au fait que même si la quantité d'énergie dans un système fermé ne change jamais, l'énergie « utilisable » diminue quand un changement est opéré.

Pour Jewett, (2008a) les transformations d'énergie, se produisent au sein d'un système et correspondent au changement d'une forme d'énergie stockée en une autre. Les transferts d'énergie au contraire ont lieu au-delà des frontières du système et peuvent provoquer un changement de la quantité d'énergie d'un système. Cette différence entre transformation et transfert d'énergie, repose donc sur la différence entre énergie stockée et énergie de transfert qu'il convient de préciser. Jewett, (2008b) propose une équation globale de l'énergie « $\Delta E_{\text{system}} = \Sigma T$ » décomposée en $\Delta K + \Delta U + \Delta E_{\text{int}} = W + Q + T_{MT} + T_{MW} + T_{ER} + T_{ET}$. Il considère la variation d'énergie dans un système, comme la somme des variations des différentes énergies stockées qui est égale à la somme des différents transferts d'énergie. Il compte parmi les énergies stockées : l'énergie cinétique (K), l'énergie potentielle (U) et l'énergie interne d'un système (E_{int}). Il existe différents types d'énergie potentielle : gravitationnelle, élastique et électrique¹, mais aussi l'énergie potentielle chimique des fuels et explosifs, ainsi que l'énergie biologique issue de la nourriture. L'énergie interne comprend l'énergie associée au mouvement aléatoire des molécules, et les liens d'énergie entre les molécules. L'auteur décrit différents types de transferts. « Le travail (W) réalisé sur le système par des forces externes dont les points d'applications changent en fonction des déplacements » (notre traduction de Jewett, 2008b, p.211). L'énergie transférée à travers le système par la chaleur (Q) causée par la différence de température entre le système et son environnement. L'énergie transférée par transfert

1 Jewett 2008 considère qu'un condensateur peut stocker de l'énergie électrique, mais il est important de rappeler que dans la plupart des cas, l'électricité (travail électrique) est un transfert entre deux systèmes qui par définition ne se conserve pas.

de matière (T_{MT}), par exemple le transfert de pétrole dans un réservoir. L'énergie transférée par ondes mécaniques (T_{MW}), comme les sons ou les ondes sismiques. L'énergie transférée par des radiations électromagnétiques (T_{ER}) comme la lumière ou les micro-ondes. Et enfin, l'énergie transférée par la « transmission » électrique (T_{ET}) depuis une batterie ou d'autres sources électriques.

Pour Duit (2012), l'approche physique de l'énergie permet de comprendre certains enjeux de société. Il considère que le principe de conservation permet de comprendre qu'on ne peut pas créer de l'énergie et qu'il faut donc exploiter les sources d'énergies disponibles. Il ajoute que le principe de dégradation de l'énergie permet d'approcher les notions de rendement et d'efficacité énergétique. Enfin, il considère les transferts et transformations d'énergie comme permettant d'expliquer les processus qui permettent à un individu d'« utiliser » de l'énergie.

Dans cette étude, nous considérons que le principe de conservation tout seul (c'est-à-dire lorsqu'il n'est pas explicitement associé à celui de dégradation) ne facilite pas la compréhension de certains enjeux de société liés notamment à l'épuisement des ressources naturelles. En effet, les ressources s'épuisent mais l'énergie globale se conserve, ce qui peut apparaître comme une contradiction pour les élèves. De plus, du point de vue de cette approche, l'électricité est définie comme un transfert (on parle de travail électrique) entre deux systèmes. Ceci la met sur un plan très différent des sources d'énergie du type combustible ou carburant qui relèvent d'une forme d'énergie chimique. Il nous semble que la compréhension des enjeux liés à l'énergie repose en grande partie sur la comparaison entre l'électricité et d'autres sources d'énergie (essence, gaz, bois, biocarburant) ; que ce soit en ce qui concerne le prix de revient pour le consommateur ou le prix de production, mais aussi en ce qui concerne les impacts environnementaux au niveau de l'usage et de la production.

Les sciences de la société (économie, géographie etc.) n'ont pas cherché à donner une définition conceptuelle de l'énergie qui leur serait propre, mais plutôt à catégoriser différentes formes d'énergie (Mérenne-Schoumaker, 2011). Elles distinguent au niveau des ressources les énergies de stock (charbon, gaz naturel, pétrole et uranium) et les énergies de flux (vent, rayonnement solaire, chaleur de la terre, végétaux et déchets) ce qui permet de discriminer les ressources épuisables et les ressources renouvelables. Au niveau des transformations de l'énergie, les modèles distinguent l'énergie primaire qui correspond à ces ressources. L'énergie secondaire qui résulte de la transformation d'une énergie primaire (par exemple l'essence issue du raffinage du pétrole). L'énergie finale, qui est l'énergie livrée au consommateur (l'essence, mais telle qu'elle est livrée en station service). Dans le cas de l'essence, celle livrée dans les stations service et celle qui sort des raffineries sont considérées comme deux formes d'énergie différentes, car le transport, les taxes, les marges ou autres font que leurs coûts sont différents. L'énergie utile est ce qui est réellement utilisé

et qui résulte de la satisfaction d'un besoin énergétique (se chauffer ou se déplacer par exemple). Ces modèles ont été développés directement en lien avec les enjeux de société. Ils permettent au niveau des différentes sources et ressources d'énergie de comparer le prix, les impacts environnementaux, ainsi que les enjeux politiques et géopolitiques pour chacune des étapes situées entre la production et la consommation d'énergie. Il nous semble important de remarquer que l'idée de transformation est moins présente et directe que dans le modèle physique de l'énergie. De plus, une des spécificités de ces modèles issus des sciences de la société est d'associer énergie et matière. Une énergie primaire peut aussi bien être l'action mécanique du vent ou le rayonnement du soleil (transfert d'énergie) que du pétrole ou de l'uranium (matière). De la même manière une énergie finale peut-être de l'électricité (transfert d'énergie) comme du bois ou de l'essence (matière).

Il nous semble intéressant de signaler que l'énergie est également un concept de plus en plus utilisé en histoire. Outre les travaux qui se sont intéressés à l'histoire de ce concept en science ou celle des avancées technologiques en matière d'énergie, ce concept est de plus en plus utilisé comme un mécanisme explicatif du développement des sociétés humaines (Debeir, Deléage & Hémerly, 2013). Une des particularités de l'utilisation du concept d'énergie dans cette discipline est la place particulière qu'occupe l'énergie humaine mise en opposition à l'énergie utile générée par des machines (Par exemple certains auteurs expliquent le développement industriel de la Chine tardif du fait de la très grande quantité d'énergie humaine disponible).

Les modèles présentés ci-dessus se sont intéressés principalement à catégoriser des formes d'énergie (ou des transferts) et ne mettent que très peu l'accent sur les éléments ou objets qui permettent de transformer effectivement cette énergie. L'approche de l'énergie d'un point de vue plus technologique s'intéresse plus directement à ces éléments. En effet, il s'agit souvent de chercher à améliorer rendement et puissance des objets ou systèmes qui nous permettent de transformer l'énergie d'une forme en une autre ou de provoquer un transfert d'énergie d'un système à un autre. Les enjeux de société sont directement liés à ces aspects technologiques et aux possibilités qu'ils offrent en ce qui concerne l'exploitation de ressource et l'utilisation de source.

Ces objets ou systèmes nous semblent présenter une spécificité dans le cas de la biologie. En biologie, l'énergie est un concept mobilisé dans les processus de photosynthèse (transformation de radiation électromagnétique en énergie potentielle chimique (matière organique)) et de respiration cellulaire, mais aussi au niveau de l'analyse des chaînes trophiques ou alimentaire. C'est dans ce dernier processus que les objets qui transforment l'énergie, nous semblent occuper une place particulière. En effet, au sein d'une chaîne trophique, la plupart des éléments sont à la fois un objet qui transforme et une « forme d'énergie » puisqu'ils représentent la source d'énergie stockée de

l'organisme suivant. Par exemple, un végétal est à la fois un transformateur de lumière en matière organique, mais aussi la source de matière organique des herbivores.

Il nous semble donc important dans le développement d'un modèle didactique qui viserait à aider les élèves à comprendre les enjeux de société sur l'énergie de : (a) mettre en avant les « objets » qui permettent de passer d'une forme d'énergie à une autre, (b) d'explicitier les transformations, et (c) de pouvoir mettre au même niveau les différentes énergies finales (électricité, essence, gaz, biocarburant, bois, etc.) et énergie primaire (vent, soleil, marée, pétrole, charbon, gaz naturel, uranium etc.).

La partie suivante décrit comment le concept d'énergie est présenté dans les programmes scolaires de l'école primaire.

2.2.1.3 -L'énergie dans les programmes :

Durant le déroulement de cette thèse, les programmes scolaires ont été modifiés. Le recueil des données a été réalisé lorsque les programmes de 2008 (MEN, 2008) étaient encore en vigueur. Dans cette partie, c'est donc principalement les programmes de 2008 qui seront développés, ainsi que certains points des programmes de 2015 (MEN, 2015).

Dans les programmes de 2008 concernant le cycle 2, le terme « énergie » n'apparaît explicitement qu'au niveau de la thématique concernant l'électricité (il est cité dans l'expression « source d'énergie »). Dans les programmes de cycle 3 le terme énergie est utilisé dans les parties concernant les sciences et technologies. Il est cité explicitement dans la thématique sur la digestion, ainsi que celle consacrée à l'énergie. Concernant cette dernière thématique, le programme de CE2 met l'accent sur l'identification des sources d'énergies et des besoins en énergie correspondant (se chauffer, se déplacer, ou s'éclairer). Les programmes de CM1 reviennent sur l'idée de sources d'énergie, mais qui est ici plus associée aux ressources (pétrole, vent, etc.). Les programmes présentent la distinction entre sources d'énergie renouvelables et non renouvelables. Ensuite, ils s'axent sur la conversion d'énergie dans les centrales électriques et les différents modes de production et de transformation pour l'énergie électrique. Enfin, ils proposent d'étudier les modes de transports de l'énergie en France. Les programmes de CM2 présentent principalement la thématique de l'isolation thermique et les gestes pour économiser l'énergie.

La classe de CM1 semble la plus indiquée vis-à-vis des programmes, pour mettre à l'épreuve un modèle didactique axé sur les sources et les ressources qui permettent d'appréhender les enjeux liés à l'énergie. En effet, à ce niveau les programmes présentent l'énergie suivant des modèles se rapprochant des sciences de la société avec un focus important sur les enjeux sur l'électricité.

Dans les programmes de 2015, (MEN, 2015) l'énergie est explicitement mentionnée dans la partie « questionner le monde au cycle 2 » au niveau de la thématique sur les règles d'hygiène et les comportements favorables à la santé. Dans ces parties, elle est mentionnée à propos de l'apport en énergie des aliments. Au cycle 3, le terme énergie apparaît en histoire pour le CM2 à propos de la révolution industrielle et en géographie au CM1 dans le thème « consommer en France ». Dans la partie Sciences et Technologies, le terme énergie n'apparaît que dans la partie qui lui est spécifiquement consacrée. Comme dans les programmes de 2008 (MEN, 2008) l'accent est mis sur les sources et la conversion d'énergie. Il s'agit d'amener les élèves à être capables d'identifier différentes formes et sources d'énergie, d'identifier les situations dans lesquelles l'énergie est stockée, transformée et utilisée, ainsi que de connaître la notion d'énergie renouvelable et quelques dispositifs visant à économiser l'énergie. Deux points particuliers nous semblent importants et relèvent d'aspects nouveaux par rapport au programme de 2008. Tout d'abord, ces programmes mettent en avant l'importance de faire le lien entre énergie et besoin de l'être humain pour vivre. Ils mentionnent ensuite explicitement l'identification des éléments de chaînes d'énergie domestiques simples.

L'énergie est également mentionnée dans le socle commun de connaissances, de compétences et de culture, où l'énergie et ses multiples formes, le mouvement et les forces qui le régissent sont considérées comme des connaissances à mobiliser pour atteindre les objectifs du domaine 4, les systèmes naturels et les systèmes techniques (MEN, 2015)

La partie suivante présente les travaux de recherche sur l'enseignement et l'apprentissage du concept d'énergie.

2.2.2 -Les recherches sur l'enseignement et l'apprentissage du concept d'énergie

Depuis les années 1970, de nombreux travaux de recherche en éducation se sont intéressés à l'enseignement et l'apprentissage du concept d'énergie. Ces travaux sont principalement axés sur l'enseignement de l'énergie en sciences physiques et sur les conceptions de participants de différents niveaux : les enseignants (Kruger, Palacio & Summers 1992 ; Rollnick, Dlamini, & Bradley, 2015 ; Trumper, 1997a ; 1997b ; 1998 ; Trumper, Raviolo, & Maria Shnersch, 2000), ainsi que les élèves au niveau : du collège (Tiberghien & Koliopoulos, 1986), du lycée (Ballini, Robardet, & Rolando, 1997; Boulidoires & Lefevre, 1993) et de l'université (Liu, Ebenezer, & Fraser, 2002 ; Ault, Novak, & Gowin, 1988). Nous présenterons dans un premier temps, les travaux de recherche

qui se sont intéressés aux connaissances et conceptions des élèves, puis ceux qui se sont centrés sur l'enseignement.

2.2.2.1 -Les conceptions des élèves

Conceptions des élèves sur le concept d'énergie

Beaucoup des travaux de recherche, concernant les conceptions des élèves et des enseignants, se sont appuyés sur les modèles alternatifs de l'énergie mis en avant par Watts (1983). Cet auteur distingue sept conceptions. L'énergie centrée sur l'humain propose une conception anthropocentrique et anthropomorphique dans laquelle l'énergie est associée principalement aux êtres humains (par exemple, quand un être humain pousse une boîte c'est l'humain qui a de l'énergie et non la boîte). La conception de l'énergie stockée considère cette dernière comme une source d'activité stockée dans certains objets (par exemple, une batterie possède de l'énergie). L'énergie peut être vue comme un ingrédient dormant dans les objets ou les situations qui nécessite un déclencheur pour être relâchée (par exemple un livre n'a pas d'énergie sauf si quelqu'un vient le pousser). L'énergie est également associée à une activité flagrante, dans ce cas l'activité est l'unique moyen d'identifier l'énergie (l'énergie, c'est un feu qui brûle, un téléphone qui sonne etc..). Une autre conception considère l'énergie comme un produit de la situation (par exemple une situation ou un système va relâcher de l'énergie ou en produire). L'énergie peut être décrite comme quelque chose de fonctionnel, il s'agit de la voir comme un genre de fuel très général (l'énergie doit faire quelque chose pour nous). Elle est souvent réduite dans cette conception aux applications technologiques et elle n'est pas associée à tous les processus. Enfin, il y a la conception substantialiste, qui considère l'énergie comme un fluide pouvant circuler entre différents objets. Trumper, (1993) ajoute à ces conceptions, celle où l'énergie est vue comme une cause qui fait se produire quelque chose. Il montre que les conceptions les plus présentes chez des élèves de 10 à 14 ans (grade 5 à 9) sont, la conception « produit de la situation », la conception « stockée », la conception « anthropocentrique » et la conception « cause ».

Linjse (1990) montre que la plupart des élèves utilisent plusieurs de ces conceptions simultanément lorsqu'il est question d'énergie. Il montre que ce sont les conceptions de l'énergie stockée et fonctionnelle qui sont les plus mobilisées par les élèves. Il montre également que la plupart des élèves utilisent simultanément deux des sept modèles de Watts (1983). Trumper et Gorsky, (1993) ont cherché à étudier les relations entre ces conceptions alternatives et l'apprentissage. Ils montrent un lien entre les conceptions « causes » et « produits » et la réussite à un questionnaire sur l'énergie mais aucun avec la conception anthropocentrique. D'autres travaux (Yuenyong & Yuenyong, 2007), ont mis en évidence cinq conceptions concernant l'énergie à partir

de ce à quoi elle était associée: électrique (associé aux appareils électriques), potentielle (énergie stockée dans les êtres vivants et les objets), mécanique (associée au mouvement), chaleur (associée à la chaleur) et le fuel (sources générant chaleur ou électricité). Lorsque l'on demande une définition aux élèves, l'énergie est souvent associée avec d'autres propriétés physiques, comme les notions d'électricité et de force (Duit, 1981 ; 1984). D'autres travaux (Driver & Warrington, 1985 ; Herman-Abell & De Boer, 2011 ; Kesidou & Duit, 1993 ; Neumann, Viering, Boone, & Fischer, 2013 ; Tatar & Oktay, 2007) se sont intéressés plus spécifiquement aux difficultés des élèves à propos des quatre aspects de bases du concept d'énergie : transformation, transfert, conservation et dégradation. Ils ont montré que la plupart des élèves savent que l'énergie peut être transformée dans un système, mais qu'ils ont des connaissances partielles concernant certaines formes. Les élèves n'ont pas les mêmes connaissances de chacun des types de transfert (Herman-Abell & De Boer, 2011). Kesidou et Duit (1993), montrent notamment à propos de la seconde loi de la thermodynamique, que les élèves font la confusion entre chaleur et température et qu'ils n'associent pas la chaleur à un transfert d'énergie. D'autres recherches ont également montré que les élèves rencontraient beaucoup de difficultés concernant le principe de conservation de l'énergie (TaTar et Oktay, 2007), notamment lorsqu'il s'agit de l'appliquer (Driver & Warrington, 1985 ; Herman-Abell & De Boer, 2011 ; Neumann, Viering, Boone, & Fischer, 2013). D'autres conceptions ont été mises en avant, par exemple le fait que certains élèves associent l'énergie principalement à des objets animés (Megalakaki, 2009).

Concernant l'école primaire, Trumper (1993) montre que les élèves de 10 ans (grade 5) utilisent plus la conception anthropocentrique. Et Yuenyong et Yuenyong (2007) ont montré que pour les élèves du CP à la 6ème le modèle de l'énergie électrique est majoritaire. Que chez les élèves du CP au CE2, il est associé à celui de l'énergie mécanique et que pour les élèves du CM2 à la 6ème il est associé à l'énergie potentielle.

Conceptions des élèves sur l'énergie dans les écosystèmes

Différentes études ont également mis en avant des conceptions des élèves sur l'énergie concernant des processus biologiques ou écologiques. Lancor, (2014a) montre que dans le contexte des écosystèmes, les étudiants associent préférentiellement l'énergie aux notions de transfert d'énergie, de dégradation et de source. De plus, ils utilisent les analogies principalement pour la perte d'énergie, sa circulation et son transport. Ce même auteur a analysé les manuels et la littérature en éducation. Il montre qu'en biologie ces manuels renvoient principalement à une conception substantialiste de l'énergie, où cette dernière est considérée comme une substance pouvant : circuler, être transportée ou perdue dans des écosystèmes (Lancor, 2014b). Chabalengula, Sanders, et

Mumba (2011) se sont intéressés à l'approche que des étudiants en biologie associent à l'énergie. Ils montrent que ces étudiants utilisent principalement la définition physique de l'énergie et qu'ils sont plus nombreux à associer cette dernière à des situations relevant de la physique.

Dans ces travaux concernant la biologie, certains étudiants et élèves ont également tendance à assimiler et intervertir la matière avec l'énergie (Anderson, Sheldon & Dubay, 1990 ; Barak, Sheva, Gorodetsky, & Gurion, 1999 ; Carlsson, 2002 ; Wilson et al., 2006). Barak et al, (1999) montrent en effet que des élèves de lycée (16 ans) évoquent l'énergie avec une approche centrée sur la matière, sans dynamique énergétique, c'est-à-dire qu'ils évoquent l'énergie mais ne mettent l'accent que sur les processus d'échange et de transformation de matière.

Lin & Hu, (2003) décrivent trois types de connaissances sur l'énergie : « phénoménologique » (chaîne alimentaire), « mécanique » (respiration et photosynthèse) et « physique » (au niveau des molécules). Ces travaux montrent que la majorité des élèves ne font pas de lien entre ces trois niveaux de connaissances. De plus, ils présentent des connaissances différentes pour chacun de ces niveaux. Les élèves semblent notamment avoir plus de difficultés pour les chaînes alimentaires et la respiration qu'à propos de la photosynthèse.

La respiration cellulaire est un processus que peu d'élèves associent à l'énergie (Anderson, Sheldon & Dubay, 1990 ; Kose, 2008). De plus, certains élèves envisagent essentiellement la respiration pulmonaire comme apport d'énergie à l'organisme. En effet, ils considèrent rarement la nourriture comme une source d'énergie permettant la respiration cellulaire (Kose, 2008). D'autres études montrent que pour certains élèves l'énergie peut provenir aussi bien de la nourriture que de l'eau et de l'oxygène (Anderson, Sheldon, & Dubay, 1990 ; Barak et al.1999 ; Mann, 2003). De plus, les élèves voient les chaînes alimentaires plus comme un ordre de prédation qu'une série de transformation de matière et d'énergie (Reiner & Eilam, 2001). En effet, ils mentionnent rarement l'énergie dans ces processus et considèrent que certains organismes n'en comportent pas en fonction de leur place dans la chaîne alimentaire (Eilam, 2002). Les élèves ont du mal à identifier les plantes (producteurs primaires) comme point de départ d'une chaîne alimentaire et ils ne prennent pas en compte le Soleil comme point de départ énergétique (Hogan & Fisherkeller, 1996; Reiner & Eilam, 2001).

De plus, les élèves mentionnent très peu la conversion d'énergie, quand ils décrivent la photosynthèse (Anderson, Sheldon, & Dubay, 1990 ; Kose, 2008), qui est associée principalement à un échange gazeux (Kose, 2008). Lorsqu'elle est mentionnée, l'énergie est considérée soit comme un composant de la photosynthèse (Barak et al, 1999), soit comme le produit de cette dernière (Kose, 2008). Par ailleurs, les élèves éprouvent des difficultés pour identifier le soleil comme étant

l'unique source d'énergie durant la photosynthèse. En effet, ils considèrent aussi l'eau, le CO₂ ou encore les éléments du sol comme des sources d'énergie (Anderson, Sheldon, & Dubay, 1990 ; Hogan & Fisherkeller, 1996). Enfin, concernant l'énergie utilisée pour réaliser la photosynthèse, beaucoup d'élèves prennent en compte la chaleur et la lumière du soleil ou alors uniquement la chaleur, mais ils considèrent rarement la lumière toute seule (Günesa, 2011 ; Güne, Güne, & Hoplan, 2011 ; Marmaroti & Galanopoulou, 2006 ; Rumelhard, 1985).

Kose,(2008) a également mis en avant chez des enseignants en formation des difficultés concernant l'apport en énergie des plantes (Soleil) et des animaux (nourriture). Il a également montré que ces enseignants considèrent l'énergie avec une approche physique.

En résumé, il semble que les élèves et les enseignants associent peu l'énergie aux processus biologiques et écologiques. Ils ont des difficultés pour considérer les plantes et les animaux comme des sources d'énergie. De plus, ils identifient des sources d'énergie qui n'en sont pas, comme : l'eau, l'oxygène, le dioxyde de carbone, les minéraux etc. Enfin, ils prennent rarement en compte le Soleil comme point de départ de toutes chaînes alimentaires.

Conceptions des élèves sur l'usage de l'énergie dans nos sociétés

Parmi les travaux de recherches qui se sont intéressés aux conceptions des élèves du point de vue de la consommation et la production de l'énergie dans nos sociétés, il nous semble important de distinguer les travaux qui concernent les attitudes (par exemple Culley, Carton, Weaver, Ogley-Oliver, & Street, 2011 ; Kılınç, Boyes, & Stanisstreet, 2012 ; Gökmen, Atik, Ekici, Çimen, & Altunsoy, 2010 ; Yuenyong, Jones, & Yutakom, 2007) et ceux qui concernent les connaissances sur le fonctionnement des différentes filières énergétiques (par exemple Bodzin, 2012). Si les travaux sur les attitudes vis-à-vis de l'énergie sont assez nombreux, on trouve peu de recherches sur les mécanismes de transformations d'énergie et sur la façon dont les élèves donnent du sens aux technologies relatives à la production de cette dernière (Kishiore & Kisiel, 2013)

Dans le cadre de cette thèse ce sont ces derniers travaux qui nous intéressent. Bodzin (2012) montre que des élèves de 13 ans (grade 8) ont peu de connaissances concernant trois aspects : (1) l'acquisition des ressources énergétiques, (2) la gestion du stockage et du transport et (3) la consommation et les économies d'énergie.

Concernant l'acquisition des ressources énergétiques, l'auteur montre que les élèves ne maîtrisent pas la notion de renouvelabilité. De plus, ils ont peu de connaissances sur les ressources fossiles et ils ont globalement plus de connaissances sur les ressources renouvelables. Rule, (2005) montre que

l'on retrouve cette méconnaissance des ressources fossiles chez les élèves et aussi chez de nombreux enseignants.

A propos de la gestion du stockage et du transport, Bodzin (2012) montre que les élèves ont des difficultés à identifier la conversion d'une source en électricité, et qu'ils ne perçoivent pas la déperdition d'énergie lors du transport sous forme d'électricité. Cette méconnaissance du fonctionnement des centrales électriques a notamment été décrite à propos des panneaux solaires photovoltaïques (Kishore & Kisiel, 2013) et des centrales nucléaires (Tsapalis, Hartzavalos, & Nakiboğlu, 2013)

Sur la consommation et les économies d'énergie, Bodzin (2012) relève que les élèves ne comprennent pas comment l'énergie est consommée au quotidien. Les élèves associent notamment la consommation d'énergie principalement à l'électricité. De plus, ils ne font pas de liens entre cette consommation et les ressources naturelles nécessaires.

Cheong, Johari, Said, & Treagust, (2015) retrouvent l'ensemble de ces éléments (acquisition, gestion et consommation) sur ce qu'ils nomment les énergies alternatives, le nucléaire et les énergies renouvelables.

Concernant la part portée par les différentes sources d'énergie (renouvelables, nucléaire, et fossiles) dans la production d'énergie d'un pays, Lee, (2016) montre que des étudiants surestiment grandement la part du nucléaire, sous-estiment beaucoup la part des énergies fossiles et connaissent dans l'ensemble la part portée par les énergies renouvelables.

Ces travaux de recherche montrent que les élèves ne connaissent pas bien le fonctionnement des différentes filières énergétiques d'un pays. Il semble notamment qu'ils connaissent mal les énergies fossiles et les filières correspondantes. De plus, les élèves associent l'énergie principalement aux filières concernant l'électricité.

Les principales conceptions des élèves identifiées par ces recherches sont donc liées : à des associations préférentielles de l'énergie avec des systèmes (par exemple énergie associée uniquement aux êtres vivants) ou des processus spécifiques (par exemple énergie associée uniquement à un transfert électrique), et à la difficulté des élèves pour reconnaître certaines formes d'énergie et de ne pas associer spontanément l'énergie à des systèmes sans mouvement. De plus, les élèves rencontrent de nombreuses difficultés à : distinguer l'énergie d'autres quantités en physique (comme la force ou la puissance) et utiliser le principe de conservation. (Colonnese, Heron, Michelini, Santi, & Stefanel, 2012)

Concernant l'énergie dans les processus biotiques, il semble que la principale difficulté mise en avant soit l'identification d'une source unique d'énergie (par exemple le Soleil pour les plantes ou la nourriture pour les animaux), car les élèves l'associent fréquemment à d'autres éléments comme l'oxygène, le dioxyde de carbone, l'eau, les minéraux etc.

Enfin, concernant l'énergie dans nos sociétés, les travaux de Bodzin (2012) semblent montrer que les élèves ont très peu de connaissances sur le fonctionnement des filières énergétiques ; notamment en ce qui concerne les énergies non renouvelables, qui représentent dans le cas des énergies fossiles la majorité des ressources utilisées par un pays, particulièrement pour le transport.

La partie suivante présente les différentes approches décrites et proposées par les recherches en éducation concernant l'enseignement de l'énergie.

2.2.2.2 -L'enseignement de l'énergie

Si certains travaux (Herve, Venturini & Albe, 2014 ; Seck, 2008) se sont intéressés à l'analyse d'enseignement ordinaire sur l'énergie, les travaux de recherche sur l'enseignement de l'énergie sont principalement représentés par des propositions d'enseignement alternatifs qui se sont développées du fait qu'il n'existe pas de consensus sur les contenus d'enseignements liés à l'énergie (Millar, 2014). Besson & Ambrosis, (2014) proposent à partir d'exemples de regrouper ces enseignements en trois grandes catégories : (1) les approches historiques (Bevilacqua, 2014 ; Coelho, 2012 ; 2014 ; Guedj & Mayrargue, 2014) qui proposent d'aborder le concept d'énergie à partir d'une analyse de sa formation historique, (2) les approches conceptuelles se rapprochant des modèles de la physique et (3) les approches liées aux sciences, à la technologie, la société et l'environnement qui sont ancrées dans une perspective « d'éducation à ».

Concernant les approches conceptuelles, Doménech et al., (2007) développent, par exemple 24 propositions qui répondent à six aspects débattus sur l'enseignement de l'énergie. Ces six points renvoient : (1) aux stratégies pour construire des connaissances scientifiques sur les questions d'énergie, (2) aux premières approches sur la signification du terme énergie, (3) à la nature systémique et relative du concept d'énergie, (4) à la signification du travail, de la chaleur et de leur relation avec l'énergie, (5) au principe de conservation et de transformation de l'énergie et (6) enfin au principe de dégradation de l'énergie. Ces points de débat concernent principalement l'enseignement de la physique théorique, où un réductionnisme conceptuel et une forme de décontextualisation sont généralement acceptés (Ibid.). Au sein de ces approches, de nombreuses propositions ont été développées (Kurnaz & Calik, 2009). Certaines se sont intéressées aux aspects suivants : (a) thermique (Agabra, 1986 ; Lewis & Linn, 1994), (b) mécanique (Agabra, 1985 ; Bliss

& Ogborn, 1994; Canal, 1986), (c) concernant la conservation (Trellu & Toussaint, 1986), ou (d) la dégradation de l'énergie (Kesidou & Duit, 1993 ; Pintó, Couso, & Gutierrez, 2005). D'autres se sont intéressés à donner une vision générale du concept. Parmi ces approches, Besson et Ambrosis (2014) spécifient des approches qu'ils nomment « holistiques » et présentent notamment des approches philosophiques (Bunge, 2000 ; Papadouris & Constantinou, 2011 ; 2012 ; Papadouris, Constantinou, & Kyratsi, 2008), ainsi qu'une approche proposant le principe de conservation comme entrée pour définir le concept d'énergie (Solbes, Guisasola, & Tarín, 2009)

Afin de permettre aux élèves de développer un modèle de la conservation de l'énergie, de nombreux auteurs (Colonese, Heron, Michelini, Santi & Stefanel, 2012 ; Lee & Liu, 2009 ; Liu & McKeough, 2005 ; Liu & Ruiz, 2008 ; Neumann et al., 2013) considèrent qu'une progression dans l'enseignement de l'énergie est indispensable. Ces progressions concernent les notions et les contenus associés à l'énergie introduits à différents niveaux de la scolarité ainsi que le niveau de formulation et le vocabulaire associé (Bächtold, Munier, Guedj, Lerouge, & Ranquet, 2014). Ces études montrent qu'à l'école primaire l'énergie doit être introduite qualitativement pour aller vers une approche quantitative associée au principe de conservation dans le secondaire. Elles proposent également une progression des contenus, en présentant successivement : les sources et les formes d'énergie, les notions de transformation, de transfert, de dissipation puis de conservation. Une autre proposition discutée par ces travaux est une entrée par les transformations d'énergie dès l'école primaire, qui permet une approche phénoménologique des situations quotidiennes pour les élèves. Bächtold, Munier, Guedj, Lerouge & Ranquet (2014) montrent que les programmes français sont plutôt en adéquation avec les résultats de ces recherches.

Une autre caractéristique du concept d'énergie mise en avant et discutée par les recherches en éducation est son fractionnement entre les différentes disciplines scolaires (Bruguière, Sivade & Cros, 1994, 2002 ; Koliopoulos & Ravanis, 2000 ; Morge & Buty, 2014). Cet aspect concerne principalement l'enseignement secondaire où la structuration disciplinaire est plus marquée qu'en primaire. Ces recherches mettent en avant une mobilisation du concept d'énergie, ainsi qu'une terminologie différente en Physique, en Biologie et en Sciences de la société (notamment en Géographie). Pour pallier cette difficulté pour les élèves, Darot (1986) propose un enseignement pluridisciplinaire entre ces disciplines. C'est également en partie pour répondre à ce problème que se sont développées les approches « science, technologie, société et environnement » (Besson & Ambrosis, 2014). Ces approches renvoient, pour nous, à une éducation à l'énergie (Bächtold & Munier, 2014 ; Bächtold, Munier, Guedj, Lerouge & Ranquet, 2014). Cette dernière est considérée comme une part de l'éducation au développement durable. Son objectif est le développement de

l'esprit critique et l'acquisition d'une culture scientifique permettant de participer aux débats et aux choix de société sur les questions complexes relatives à l'énergie (Munier & Batchöld, 2014). Pour Koliopoulos et Ravanis (2000), il s'agit d'aider les élèves à développer une culture de l'énergie. Ils décrivent cette culture comme « l'appropriation du concept scientifique de l'énergie et plus précisément la compréhension des transformations, de la conservation et de l'équivalence des différents types d'énergie et, en même temps, la reconnaissance et l'application de ce concept dans le milieu social » (Koliopoulos & Ravanis, 2000, p.74). D'autres auteurs s'y sont intéressés en développant des enseignements basés sur une « energy literacy » (Bodzin, 2012 ; Bodzin, Fu, Peffer, & Kulo, 2013 ; DeWaters, Qaqish, Graham, & Powers, 2013) qui prend en compte non seulement les connaissances des élèves sur l'énergie, mais aussi leurs attitudes et comportements. De nombreux auteurs (dont Bodzin, Fu, Peffer & Kulo, 2013 ; Chen, Wang & Liu, 2013 ; Dias, Mattos & Ballestri, 2004 ; Lane, Floress & Rickert, 2014 ; Zografakis, Angeliki, Menegaki, Konstantinos & Tsagarakis, 2008) ont montré que certains dispositifs de formation pouvaient améliorer le développement de cette « energy literacy », que ce soit en ce qui concerne les connaissances ou les comportements et les attitudes. Enfin, ces approches ont été aussi étudiées à travers une entrée par les questions socialement vives ou socio-scientific issues (Sakschewski, Eggert, Schneider, & Bögeholz, 2014), notamment la question du défi énergétique (Vince & Tiberghien, 2012) ou celle du réchauffement climatique (Boylan, 2008 ; Hervé, 2012 ; Svihla & Linn, 2012). Ces approches peuvent être vues comme des enseignements visant à développer chez les élèves des notions sur l'énergie leur permettant d'expliquer une importante variété de phénomènes dans des contextes très variés. C'est par exemple le cas des travaux qui s'intéressent à l'importance de l'énergie dans les processus de transformations de carbone, considérées comme primordiales pour comprendre les systèmes « socio-écologiques » (Jin, Zhan, & Anderson, 2013). On retrouve aussi cette façon de voir chez les auteurs qui se sont intéressés aux conceptions des élèves sur l'énergie dans les processus biologiques. (Opitz, Harms, Neumann, Kowalzik, & Frank, 2014)

Parmi l'ensemble de ces travaux certains recommandent l'utilisation d'un modèle de l'énergie appelé chaîne énergétique. Il s'agit d'un outil permettant la modélisation du concept d'énergie (Devi, Tiberghien, Baker, & Brna, 1996 ; Tiberghien & Megalakaki, 1995) recommandé vis-à-vis de la mise en place d'un enseignement de nature transphénoménologique (Koliopoulos & Ravanis, 2000; Papadouris & Constantinou, 2012), interdisciplinaire (Bruguière, Sivade & Cros 2002, Morge et Buty, 2014) et en lien avec les enjeux de société (Vince & Tiberghien, 2012 ; Koliopoulos & Argyropoulou, 2012; Sissamperi & Koliopoulos, 2015)

Les travaux sur l'enseignement de l'énergie sont donc majoritairement centrés sur la façon dont le concept doit être présenté et sur le langage que les enseignants et les manuels doivent utiliser. En effet, peu de ces recherches portent sur l'efficacité des différentes approches et interventions (Millar, 2014). Parmi les propositions d'enseignement faites sur le concept d'énergie, on retrouve un certain nombre de convergences. Il semble en effet nécessaire de présenter le concept aux élèves à travers une approche qui soit : globale (Morge & Buty, 2014), interdisciplinaire (Bruguière et al., 2002) et qui mette en avant les liens entre science et société (Doménech et al., 2007).

Dans le cadre de cette thèse, l'approche proposée s'ancre dans une perspective d'éducation à l'énergie. Pour cela, elle vise à permettre aux élèves de développer un modèle de l'énergie qui puisse les aider à comprendre les enjeux de société sur l'énergie, quel que soit le contexte dans lequel ils s'inscrivent. Afin de développer ce modèle, nous proposons une approche de l'énergie construite sur les bases de « l'approche systémique ». C'est cette approche choisie qui est développée dans la partie suivante.

2.3 - Approche systémique de l'énergie

L'objectif de l'approche proposée dans cette thèse est de pallier certaines conceptions des élèves, notamment le fait qu'ils n'associent l'énergie qu'à certains systèmes et processus (Colonese, Heron, Michelini, Santi, & Stefanel, 2012) et le fait qu'ils ne semblent pas connaître les différentes filières énergétiques utilisées dans nos sociétés (Bodzin, 2012). A ces fins, nous proposons de développer un enseignement basé sur une approche systémique de l'énergie et ancré dans une perspective d'éducation à l'énergie, permettant de présenter aux élèves une approche globale et interdisciplinaire (Morge et Buty, 2014). En effet, cette éducation à l'énergie est considérée comme une part de l'éducation au développement durable (selon Bâtchold & Munier, 2014) vis à vis duquel certains travaux recommandent l'adoption d'une approche systémique.

Pour Diemer (2013, p.248) « l'éducation au développement doit s'inspirer de l'approche systémique et de la pensée complexe pour répondre aux défis sociaux, économiques, culturels, environnementaux, et de gouvernance posée par notre vie en société. ». Cet auteur considère qu'une éducation systémique doit permettre aux apprenants l'acquisition d'informations nouvelles et de pouvoir s'en servir plus efficacement dans leurs actions. Cette approche a également été mobilisée pour répondre aux objectifs de l'éducation relative à l'environnement (Veira, 2003 ; Ragou & Souchon, 2000) ou vis-à-vis de l'enseignement de la géographie de manière plus générale (Chabrol, 2005). Cette approche, notamment à travers sa déclinaison en approche fonctionnelle, est également mobilisée dans l'enseignement de la technologie (Gunther, 2016 ; Chatoney, Gunther, & Saïd, 2016).

Cette façon de considérer les problèmes énergétiques rejoint la vision qu'en a De Rosnay (1975) qui considère que l'énergie est un objet à propos duquel il est particulièrement important de développer une approche globale, qu'il nomme successivement bio-énergétique et éco-énergétique en fonction des contextes d'observation.

Afin de présenter cette approche nous présenterons d'abord une vision générale de l'approche systémique, puis la façon dont nous l'avons adaptée à un enseignement de l'énergie à l'école primaire.

2.3.1 - L'approche systémique

L'objectif de cette partie est de présenter l'approche systémique. Pour cela, nous présenterons les grands principes qui la fondent ainsi que les outils qui lui sont associés.

2.3.1.1 -Description de l'approche systémique :

Le développement de l'approche systémique est intrinsèquement lié à l'émergence d'une réflexion approfondie autour de la complexité. La prise de conscience de la complexité du monde s'est accompagnée d'une mise en avant des limites de la pensée dite classique pour appréhender et comprendre cette dernière d'une part, mais aussi pour agir sur elle d'autre part (Cambien, 2007).

Pour de Rosnay (1975), l'approche systémique est une approche unifiante née de la fécondation de plusieurs disciplines dont la biologie, les théories de l'information, la cybernétique et la théorie des systèmes. Il précise qu'elle ne peut être considérée comme une science, une théorie ou une discipline, mais plutôt comme une nouvelle méthodologie. Son objectif est le rassemblement et l'organisation de connaissance en vue d'une plus grande efficacité de l'action. La notion de système y est centrale et définie comme « un ensemble d'éléments en interaction dynamique organisé en fonction d'un but » (De Rosnay, 1975, p.103). Elle vise à englober l'ensemble des éléments du système, leurs interactions et leurs interdépendances.

Lemoigne (1994) décrit cette approche à partir de quatre préceptes développés en opposition à ceux de la méthode cartésienne. Le précepte de pertinence (qu'il oppose au principe d'évidence) assume l'idée de ne pas chercher une définition universelle et que tout objet considéré est défini en fonction des intentions implicites ou explicites de la personne qui le considère (le modélisateur pour Lemoigne, 1994). Ceci revient à accepter que si l'intention se modifie, la perception de l'objet aussi. Il s'oppose ensuite au précepte de réductionnisme pour développer celui de globalisme qui revient à considérer l'objet à connaître, comme faisant partie d'un plus grand tout. Pour l'auteur, cet objet doit être perçu d'abord globalement dans sa relation fonctionnelle avec son environnement sans se préoccuper outre mesure d'établir une image fidèle de sa structure interne. Le troisième

précepte développé par l’auteur fait écho au précepte du causalisme de l’approche cartésienne. Ce précepte téléologique conduit à interpréter l’objet non pas en lui-même, mais par son comportement. Ce comportement doit être compris par rapport aux projets que le modélisateur attribue à l’objet et non expliqué à priori par une loi impliquée dans une éventuelle structure.

Enfin, l’auteur oppose le précepte de l’agrégativité à celui d’exhaustivité. Cette agrégativité prend en compte que toute représentation est partisane et vise donc la recherche d’éléments (agrégats pour Lemoigne, 1994) pertinents vis-à-vis des objectifs du modélisateur et non un recensement exhaustif des éléments à considérer.

Cette opposition nette entre approche cartésienne et systémique est remise en cause par Cambien (2007) qui considère la naissance de l’approche systémique comme un glissement d’un paradigme à l’autre et non comme une rupture.

De Rosnay (1975) synthétise les caractéristiques de l’approche systémique qu’il oppose à celles de l’approche analytique. (Tableau 1)

Approche analytique	Approche systémique
Isole : se concentre sur les éléments	Relie : se concentre sur les interactions entre les éléments
Considère la nature des interactions	Considère les effets des interactions
S’appuie sur la précision des détails	S’appuie sur la perception globale
Modifie une variable à la fois	Modifie des groupes de variables simultanément
Indépendante de la durée , les phénomènes sont irréversibles	Intègre durée et irréversibilité
Validation des faits, se réalise par la preuve expérimentale dans le cadre d’une théorie	Validation des faits se réalise par comparaison du modèle avec la réalité
Modèle précis et détaillé difficilement utilisable dans l’action	Modèle insuffisamment rigoureux pour servir de base aux connaissances, mais utilisables dans l’action et la décision
Conduit à un enseignement par juxtaposition de disciplines	Conduit à un enseignement pluridisciplinaire
Conduit à une action programmée dans son détail	Conduit à une action par objectifs
Connaissances des détails, buts mal définis	Connaissance des buts, détails flous

Tableau 1 : Approche systémique et analytique (d’après De Rosnay, 1975).

Le tableau 1 présente les caractéristiques de l'approche systémique selon De Rosnay (1975). On y retrouve les préceptes développés par Lemoigne (1994), ainsi que certains aspects liés aux objectifs et à l'utilisation de l'approche systémique.

D'autres travaux ont présenté plus en détails les outils liés à cette approche. Ce sont ces outils qui sont présentés dans la partie suivante

2.3.1.2 -Les outils de l'approche systémique

Dans leur synthèse des travaux de L'Association Française des Sciences des Systèmes, Donnadieu, Durand, Neel, Nunez et Saint-Paul (2003) présentent les outils de l'approche systémique. Ces auteurs considèrent que l'approche systémique est non seulement un savoir, mais aussi une pratique, une manière d'entrer dans la complexité. Ils considèrent cette pratique comme structurée autour de trois outils : la triangulation systémique, le découpage systémique et l'analogie.

La triangulation systémique est associée pour ces auteurs à la phase d'investigation d'un système complexe. Elle correspond à l'observation d'un système selon trois aspects différents, mais complémentaires. La triangulation systémique se développe en combinant ces trois voies d'accès.

L'aspect fonctionnel, est centré sur la ou les finalités du système. Il permet d'observer le système à travers les questions « que fait le système dans son environnement ? A quoi sert-il ? » (Donnadieu, Durand, Neel, Nunez, Saint-Paul 2003, p.7)

L'aspect structural vise à observer la structure du système et la façon dont s'agencent ses divers composants. L'accent y est mis davantage sur leurs relations que sur les composants eux-mêmes. C'est l'observation de la structure et non des composants qui est privilégiée.

L'aspect historique renvoie à la nature évolutive du système. L'histoire du système permet de rendre compte de certains des aspects de son fonctionnement.

Le découpage systémique correspond à la définition des frontières des sous-systèmes. Ce découpage est réalisé afin de faire apparaître les relations que ces sous-systèmes entretiennent entre eux, ainsi que leur finalité par rapport à l'ensemble. Ce découpage peut être réalisé à partir de certains critères dont certains renvoient aux aspects de la triangulation systémique. Parmi ce découpage on retrouve les critères : de finalité (fonction du sous-système par rapport à l'ensemble), historique (les composants du sous-système ont-ils une histoire propre ?), de niveau d'organisation (où se situe le sous-système étudié par rapport à la hiérarchie des niveaux d'organisation), de la structure (certaines structures ont un caractère répétitif et se retrouvent à plusieurs niveaux d'organisation).

Enfin l'analogie, mode de raisonnement dans lequel les auteurs distinguent trois niveaux : la métaphore, l'homomorphisme, et l'isomorphisme. La métaphore établit une correspondance entre deux phénomènes différents ou deux systèmes de natures différentes. L'homomorphisme établit une correspondance entre quelques traits du système et les traits d'un modèle théorique ou d'un autre système. L'isomorphisme établit une correspondance entre tous les traits de l'objet étudié et ceux du modèle.

En parallèle de ces outils, les auteurs présentent l'importance du langage graphique qu'ils considèrent comme la langue naturelle de la systémique et de la modélisation correspondant au cœur de l'approche systémique. De plus, ils attribuent quatre avantages au langage graphique, qui : permet une appréhension globale et rapide du système représenté, contient un nombre important d'informations dans un espace limité, est monosémique et semi-formel et possède une bonne capacité heuristique.

Cette approche et les outils correspondants ont été adaptés dans le cadre de cette thèse à un enseignement sur l'énergie à l'école primaire. Ce sont ces adaptations qui sont présentées dans la partie suivante.

2.3.2 -Une approche systémique de l'énergie à l'école primaire

Dans cette partie nous présenterons la façon dont nous avons adapté l'approche systémique à un enseignement sur l'énergie à l'école primaire. Nous illustrerons dans un premier temps les objectifs généraux dégagés de l'approche systémique, ainsi que les modèles développés auprès des élèves.

2.3.2.1 -L'approche systémique à l'école

Pour Lemoigne (1994), l'approche systémique est caractérisée par la place qu'occupe la modélisation du système, correspondant à l'analyse de l'objet dans la démarche classique. Pour cet auteur, chercher à connaître l'objet revient à le concevoir comme un objet signifiant ou un organisme fonctionnant au lieu de le déchiffrer pas à pas de façon analytique. Il ne s'agit plus d'analyser la réalité, mais de concevoir le modèle pour anticiper le comportement du système. Nous avons associé cette modélisation du système à la triangulation et au découpage systémique (Donnadieu, Durand, Neel, Nunez, & Saint-Paul, 2003). Ceci s'est traduit par un enseignement construit autour d'un modèle élaboré dans le but d'aider les élèves à reconstituer différents systèmes énergétiques. Il s'agit, avant de définir l'énergie, de reconstruire les systèmes dans lesquelles elle est impliquée. Ceci de manière à pouvoir par la suite associer à chaque système les variables qui le caractérisent (coût, impacts environnementaux, localisation, simplicité d'utilisation etc.) et les faire

varier. Cette reconstitution des systèmes est développée dans cette étude à partir d'une triangulation et d'un découpage systémique axés sur les aspects structuraux et fonctionnels des systèmes et des sous-systèmes.

Afin d'aider les élèves à concevoir ce modèle, nous nous sommes appuyés sur un langage graphique inspiré des travaux sur les chaînes énergétiques. Il s'agit également, à travers les systèmes présentés aux élèves, de tester si certaines analogies présentent une efficacité particulière vis-à-vis de l'enseignement. C'est le développement de ce modèle et son application qui sont décrits dans la partie suivante.

2.3.2.2 -Un modèle de l'énergie ancré dans une approche systémique

Les parties suivantes présentent comment nous avons développé un modèle ancré dans une approche systémique pour un enseignement de l'énergie à l'école primaire. Ce développement s'est appuyé notamment sur les travaux sur les conceptions des élèves, ainsi que ceux concernant la chaîne énergétique. Cette présentation est structurée en trois parties, a) une présentation des travaux sur les chaînes énergétiques, b) l'adaptation de ces chaînes énergétiques proposée dans cette thèse et enfin c) l'importance des systèmes utilisés pour l'enseignement.

Les chaînes énergétiques

Les chaînes énergétiques sont aujourd'hui intégrées dans plusieurs enseignements et figurent dans la plupart des manuels. Elles sont considérées comme un outil permettant la modélisation du concept d'énergie (Devi, Tiberghien, Baker & Brna, 1996 ; Tiberghien & Megalakaki, 1995). Elles sont également recommandées car elles permettent de prendre en compte la nature transphénoménologique de l'énergie (Koliopoulos & Ravanis, 2000; Papadouris & Constantinou, 2012). Pour Bruguière, Sivade & Cros (2002), cette chaîne énergétique permet aussi de synthétiser la vision commune de l'énergie qui existe entre les élèves, les enseignants et les programmes en Physique, Sciences de la vie et de la Terre, ainsi que la Technologie. Enfin, ces chaînes énergétiques sont aussi vues comme un outil permettant de construire du lien entre Science et Société (Vince & Tiberghien, 2012 ; Koliopoulos & Argyropoulou, 2012 ; Sissemperi & Koliopoulos, 2014).

Le modèle de la chaîne énergétique, a été initialement conçu pour répondre à des problèmes de mécanique et de thermodynamique (Agabra, 1984 ; Trelu & Toussaint, 1986). Il met en effet l'accent sur les transformations de l'énergie et ses transferts (Devi, Tiberghien, Baker, & Brna, 1996). Ce modèle est basé sur le raisonnement linéaire causal. Il intègre le stockage, les transformations, les transferts, la conservation et la dégradation comme principales propriétés du concept d'énergie (Koliopoulos & Argyropoulou, 2012). Parmi les recherches sur la chaîne

énergétique, on trouve différentes représentations (par exemple, figure 1, 2 et 3) de ce modèle qui mettent en jeu des facettes différentes du savoir (au sens de Tiberghien & Malkoun, 2007).

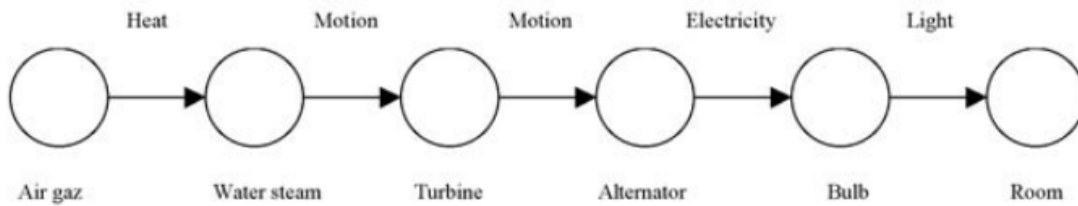


Figure 1 : Représentation schématique de l'explication qualitative de l'éclairage d'une lampe à partir d'un bec bunsen (Lemeignan & Weil-Barais, 1994 cité par Koliopoulos & Argyropoulou, 2012)

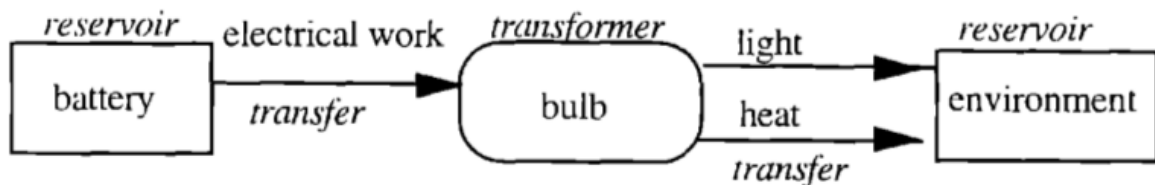


Figure 2 : Exemple de chaîne énergétique, solution idéale pour l'expérience de la lampe (Devi et al., 1996).

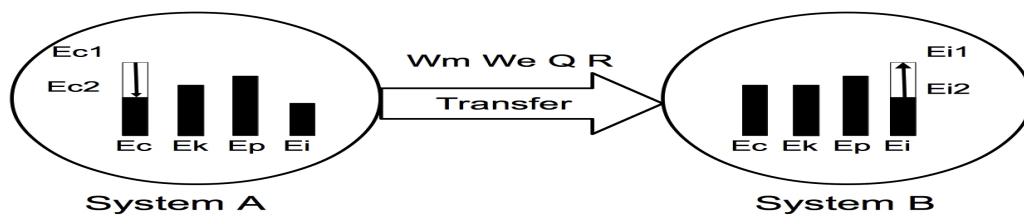


Figure 3 : Diagramme décrivant la transformation d'énergie dans les systèmes (A et B) et les transferts d'énergie entre ces deux systèmes (Givry & Pantidos, 2015)

Dans chacune des représentations précédentes : les flèches symbolisent les transferts d'énergie (travail mécanique, travail électrique, chaleur ou rayonnement) et les formes géométriques (cercle, rectangle...) sont utilisées pour décrire les systèmes. Sur la figure 2, les formes varient pour mettre en avant la distinction entre les transformateurs et les réservoirs. La figure 3 détaille certaines

transformations des formes d'énergie (énergie chimique (E_c), cinétique (E_k), potentiel (E_p) ou interne (E_i)) à l'intérieur d'un même système.

À partir de ces précédents travaux, nous avons élaboré un premier modèle de la chaîne énergétique (Boyer & Givry, 2016 ; 2017²) pour aider les élèves de cycle 3 à mieux comprendre les enjeux de société associés à l'énergie. Conformément aux préconisations des précédentes recherches sur l'apprentissage de l'énergie par les élèves de l'école primaire, nous avons développé un modèle qualitatif (Colonnese, Heron, Michelini, Santi, & Stefanel, 2012 ; Koliopoulos & Argyropoulou, 2012 ; Rizaki & Kokkotas, 2013) ancré dans le quotidien des élèves (Nordine, Krajcik, & Fortus, 2011) et qui met principalement l'accent sur les sources et les transformations d'énergie (Colonnese, Heron, Michelini, Santi, & Stefanel, 2012 ; Neumann, Viering, Boone, & Fischer, 2013). Dans une perspective d'éducation à l'énergie, ce modèle est basé sur les facettes suivantes du concept d'énergie : (a) l'utilisation de l'énergie dans le quotidien des élèves (à partir d'objets qui chauffent, éclairent, ou se déplacent), (b) l'exploitation des ressources naturelles et (c) les objets intermédiaires permettant de passer de l'exploitation des ressources naturelles à l'utilisation quotidienne d'énergie.

Cet ancrage dans une perspective « d'éducation à l'énergie » a produit une spécificité de ce modèle de chaîne énergétique. En effet, la volonté d'adopter une démarche ascendante (Dessus, 2012) de la consommation vers l'exploitation des sources d'énergie, nous a conduit à développer un modèle dont le fondement n'est pas le raisonnement linéaire causal. Comme dans la figure 2, nous avons décidé d'utiliser des formes géométriques différentes (un rond pour les objets, un rectangle pour les sources naturelles et un triangle pour les objets intermédiaires). Les différents éléments de ce modèle n'existent donc que les uns par rapport aux autres. Il ne s'agit pas d'expliquer la nature de ces objets mais de les associer à leur fonction dans le système (Donnadieu, Durand, Neel, Nunez, & Saint-Paul, 2003 ; Lemoigne, 1994). En effet, dans l'exemple de la figure 4 (ci-dessous), le soleil n'est une source d'énergie que si l'on se réfère à l'utilisation de son rayonnement, les objets considérés comme intermédiaires ne peuvent prendre cette fonction que dans l'ensemble du système.

Contrairement aux modèles précédents, nous avons fait le choix d'utiliser la flèche, non pas pour représenter les transferts (qui apparaissent uniquement dans les objets qui chauffent, éclairent et se déplacent, ainsi que pour les centrales électriques), mais pour mettre en avant les interactions entre les éléments du système, en particulier l'idée de nécessité qui existe entre les différents éléments. Un humain a besoin de se nourrir pour pouvoir se déplacer. Il peut avoir besoin dans notre exemple

d'une pomme pour bouger, qui a besoin d'un pommier pour exister, qui a besoin du soleil pour obtenir son énergie (Figure 4). Une des particularités de ce modèle est de mettre sur un même plan transformation de matière et d'énergie, dans le but de pouvoir prendre en compte les filières sans transformation d'énergie (par exemple, le pétrole transformé en essence).

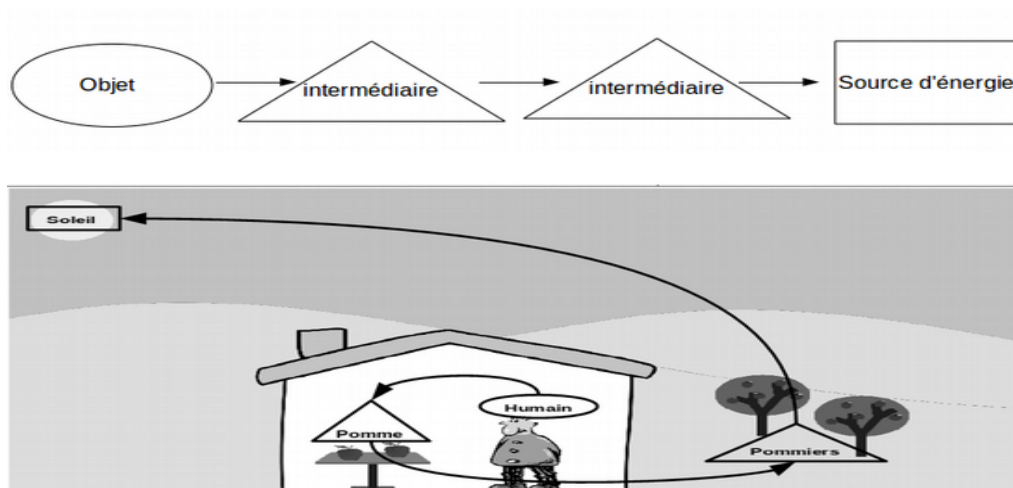


figure 4 Modèle 1 de la chaîne énergétique et exemple d'application du modèle utilisé dans la pré-enquête

Ce premier modèle a été testé (Boyer & Givry, 2017) auprès d'élèves de cycle 3 (CM1 et CM2). Cette pré-enquête a montré que la notion d'objet intermédiaire probablement trop générique avait engendré des difficultés chez les élèves. De plus, en gardant un sous-système aussi générique, les chaînes énergétiques demandées aux élèves ne faisaient pas toutes la même longueur ce qui a eu un effet sur la réalisation de chaînes énergétiques complètes. À partir de ces résultats le sous-système intermédiaire a été spécifié et remplacé par les sous-systèmes « transformateurs » et « sources d'énergie », afin, d'une part de fixer la taille de la chaîne énergétique, et d'autre part de faciliter la réalisation de chaîne énergétique par les élèves. C'est ce modèle adapté qui a été utilisé dans le cadre de cette thèse et qui est présenté dans la partie suivante.

Modèle de chaîne énergétique pour l'école primaire

Le modèle de chaîne énergétique que nous avons développé est un modèle qualitatif, ancré dans le quotidien des élèves et qui met l'accent sur les sources d'énergies, et les transformations. (Figure 5)

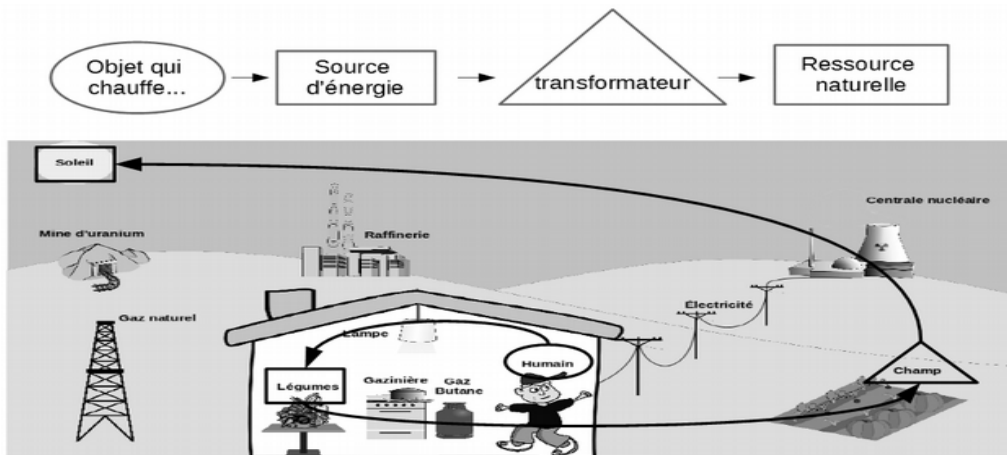


figure 5 : Modèle de la chaîne énergétique et exemple d'application du modèle utilisé dans la thèse

La figure 5 représente le modèle utilisé et testé dans cette thèse. Il présente une convention symbolique associée aux différents sous-systèmes définis par leur fonction dans le système énergétique. Ces sous-systèmes comportent différents éléments : un objet de départ, une source d'énergie, un transformateur et une ressource naturelle. L'objet de départ est associé à un rond, il correspond à l'élément du système qui consomme une source d'énergie pour produire de la chaleur, du mouvement ou de la lumière. La source d'énergie correspond à l'élément utilisé par l'objet de départ pour produire de la chaleur, de la lumière ou du mouvement. Il peut s'agir d'une substance (essence, gaz, etc.) ou d'un transfert d'énergie (électricité). Elle est symbolisée par un rectangle. Le transformateur correspond à l'élément qui permet d'obtenir la source. Il peut s'agir d'être vivant (l'arbre d'où provient le bois, ou l'herbe qui a transformé l'énergie du soleil en énergie chimique) de centrales électriques, de raffinerie (cas de l'essence et du gaz). Ces transformateurs sont associés à un triangle. Enfin, les ressources naturelles correspondent à l'élément utilisé par les transformateurs pour donner la source et sont symbolisés par un rectangle. Nous avons considéré que l'ensemble de ces sous-systèmes constituaient un système énergétique, qu'il s'agit d'observer selon son aspect structural (de quoi il est composé) et fonctionnel (à quoi il sert). Dans le cadre de cette thèse, nous avons donc défini un système énergétique comme l'ensemble « objet de départ », « source d'énergie », « transformateur » et « ressource naturelle » organisé pour donner chaleur, mouvement ou lumière à un individu. À partir de ce modèle nous avons demandé aux élèves de reconstituer des systèmes en apparence très différents. Ce sont ces systèmes qui sont présentés dans la partie suivante.

2.3.2.3 -Systèmes étudiés (filères énergétiques)

Dans la perspective de pouvoir comprendre les enjeux de société liés à l'énergie, il nous semble important de pouvoir mettre en parallèle les différentes filères énergétiques. Pour cela nous avons

choisi de faire appliquer aux élèves notre modèle de chaîne énergétique sur les filières énergétiques que nous avons jugé les plus importantes. Cette volonté s'inscrit également dans la volonté d'aider les élèves à dépasser l'association qu'ils font de l'énergie uniquement avec l'électricité (Hermann-Abell & de Boer, 2011, Yuenyong & Yuenyong, 2007). Les filières sélectionnées sont : bois et gaz pour les combustibles, essence pour les carburants, et solaire, éolienne, hydroélectrique et nucléaire pour l'électricité. Ces différentes filières ont été associées à des objets domestiques (lampe, ordinateur, radiateur, voiture, cheminée, gazinière, voiture électrique) et correspondent à ce que nous avons nommé des systèmes domestiques. La filière thermique (production d'électricité à partir de ressources fossiles) n'apparaît pas dans cette thèse. En effet, la pré-enquête que nous avons réalisée (Boyer & Givry, 2017) a montré qu'il s'agissait d'une filière qu'une très grande majorité d'élève ne connaissait pas. Elle a donc été conservée pour faire travailler les élèves sur une situation non étudiée pendant l'enseignement.

Il nous a semblé également important que les élèves réalisent des chaînes énergétiques sur ce que nous avons appelé des systèmes biotiques (humain, légumes, champs, soleil et loup, mouton, herbe, soleil). En effet, la compréhension de certains enjeux de société sur l'énergie nécessite de faire le lien entre systèmes énergétiques et biotiques. De plus, cette mise en parallèle est associée à une volonté de présenter l'énergie dans différents contextes disciplinaires, comme le préconisent certaines recherches antérieures (Bruguière, Sivade, & Cros, 2002 ; Morge & Buty, 2014 ; Opitz, Harms, Neumann, Kowalzik, & Frank, 2014 ; Opitz, Neumann, Bernholt, & Harms, 2016). Cependant, la diversité de ces systèmes et notamment la présence de systèmes biotiques, interrogent certains résultats sur les connaissances des élèves. En effet, beaucoup d'élèves n'associent l'énergie qu'à certains systèmes (êtres vivants, batteries, sources d'énergies) ou qu'à certains processus (activité humaine, explosion, combustion) (Colonnese, Heron, Michelini, Santi, & Stefanel, 2012). De plus, beaucoup de travaux montrent que les connaissances des élèves ne sont pas les mêmes en fonction des situations qui leur sont présentées (Chabalengula, Sanders & Mumba, 2012 ; Lancor, 2014a). Enfin, l'étude pilote réalisée dans le cadre de cette thèse (Boyer & Givry, 2017³) a montré que les élèves avaient beaucoup plus de difficultés à réaliser des chaînes énergétiques sur ces systèmes biotiques.

La volonté de travailler sur ces systèmes biotiques interroge également l'approche adoptée dans cette thèse. En effet l'analogie constitue un des trois principaux outils de l'approche systémique. Nous sommes en droit de nous demander quel serait l'impact sur l'apprentissage si l'on « force » un

homomorphisme entre des systèmes que les élèves semblent considérer a priori comme très différents.

Il nous apparaît donc que les systèmes biotiques utilisés comme situation d'application de notre modèle de chaîne énergétique peuvent constituer le principal facteur d'efficacité sur les apprentissages des élèves sur l'énergie. C'est cette efficacité qui sera testée dans cette thèse. Le cadre choisi pour mesurer cette efficacité est présenté dans la partie suivante.

2.4 -L'efficacité sur les apprentissages des systèmes dans l'enseignement de l'énergie

Notre revue de la littérature montre que la majorité des travaux sur l'enseignement de l'énergie convergent vers un certain nombre de recommandations (Morge & Buty, 2014). Cependant, très peu de ces recherches ont testé effectivement leur efficacité sur les apprentissages des élèves (Millar, 2014). Nous avons traduit ces recommandations par le développement d'un enseignement centré sur une approche systémique de l'énergie (De Rosnay, 1975). L'objectif d'apprentissage principal de cette étude correspond donc à la reconstitution de systèmes énergétiques à travers une variété importante de situations. Cependant, certains travaux ont montré que pour des apprenants (élèves ou étudiants), il apparaît une différence entre les situations qui concernent le vivant et celles qui concernent le monde matériel (Boyer & Givry, 2017⁴ ; Chabalengula, Sanders, & Mumba, 2011 ; Lancor, 2014a ; 2014b). Nous avons donc cherché à observer l'effet de ces situations sur les apprentissages des élèves. Nous avons associé ces situations à des types de systèmes différents, appelés « biotiques » (concernant des êtres vivants) et « domestiques » (regroupant des systèmes basés sur l'utilisation d'électricité, de combustibles et de carburants). Notre recherche propose d'observer si la présence de systèmes biotiques favorise les apprentissages des élèves, et de regarder dans quelle mesure elle contribue à rendre un enseignement plus efficace

2.4.1 - Les recherches sur l'efficacité en éducation

Bissonnette, Richard & Gauthier (2005) proposent à partir de la classification d'Ellis et Fault (1993 cité par Bissonnette, Richard, & Gauthier, 2005) de regrouper les recherches sur l'efficacité en éducation selon trois niveaux.

Le premier niveau correspond à des recherches de base en éducation, qui sont généralement de type descriptif et peuvent prendre la forme d'enquêtes, d'études de cas ou de recherches en laboratoire. Elles sont conduites pour décrire un phénomène, observer une corrélation entre deux variables ou encore présenter une théorie.

Les études de second niveau, caractérisent des recherches expérimentales ou quasi-expérimentales. Elles impliquent la mise à l'épreuve d'un modèle, d'une hypothèse ou d'une théorie élaborés par des recherches de niveau 1 à l'aide de groupes expérimentaux et témoins.

4 À paraître.

Enfin, les recherches de niveau 3 visent à évaluer les effets mis en évidence par les études de niveau 2, quand la variable observée est implantée à large échelle (dans un nombre important de classes ou d'écoles par exemple).

Dans le cadre de cette thèse, nous avons considéré comme relevant du niveau 1, les études mettant en avant l'importance des systèmes dans l'enseignement de l'énergie (Boyer & Givry, 2017 ; Chabalengula et al., 2011 ; Givry & Pantidos, 2015 ; Lancor, 2014a, 2014b). Nous avons cherché à en mesurer l'efficacité sur les apprentissages des élèves à travers une analyse de niveau 2. Pour cela nous nous sommes appuyés sur certaines recherches en éducation s'intéressant à l'efficacité, dont les travaux des courants de l'« Educational Effectiveness Research » - décrits notamment par Creemers & Kyriakides, (2007) et Reezigt & Creemers, (2005) - et du paradigme de l'école efficace - exposé notamment par Normand, (2006) - qui se sont développées à la suite du rapport Coleman (1966). Ce courant de recherche, originellement anglo-saxon, s'est construit autour de la question « quels facteurs dans l'enseignement, les curricula, et l'environnement scolaire peuvent directement ou indirectement expliquer les différences de résultats des élèves en prenant en compte les caractéristiques liées au passé scolaire des élèves, à leurs capacités scolaires et à leur environnement socio-culturel ? » (Kyriakides, Creemers, & Antoniou, 2009, p.12). Les travaux de ce courant sont caractérisés par des études de grande ampleur, qui ont pour but la conception de modèles d'efficacité intégrant les différents niveaux au sein desquels interviennent les facteurs ayant un impact sur les performances des élèves. On y retrouve trois niveaux principaux : l'efficacité éducative (qui se situe au niveau du système éducatif), l'efficacité de l'école (qui observe des effets au niveau de l'établissement) et l'efficacité de l'enseignement (étudiée au niveau de la classe) (Dumay & Dupriez, 2009 ; Creemers & Kyriakides, 2007).

Dans les recherches en didactique des disciplines, la notion d'efficacité est peu mobilisée, ou alors de manière implicite (Bart, 2015 ; Fagnant & Schillings, 2015). Fagnant et Schillings (2015) considèrent que les recherches en didactique se centrent sur l'observation des situations de classe, notamment pour documenter la construction collective du savoir visé (Mercier, 1999, cité par Fagnant et Schillings, 2015). Dans les travaux d'Allal, (2011), ces recherches sont opposées aux études, souvent anglo-saxonnes, inspirées de la psychologie éducationnelle, qui visent à évaluer les dispositifs didactiques en s'appuyant sur des comparaisons pré-test et post-test. Pour ces auteurs, les premières recherches didactiques décrites prennent rarement en compte les processus et les produits d'apprentissage individuel de chacun des élèves, alors que les secondes en psychologie éducationnelle ne s'appuient que très peu sur l'analyse de ce qui est effectivement mis en œuvre dans la classe. Pour Bart (2015), les recherches en didactique mobilisent la notion d'efficacité de

manière implicite, notamment à travers leur ancrage dans la compréhension de ce qui favorise ou fait obstacle aux apprentissages des élèves. Il nous semble donc que les recherches en didactique renvoient à une certaine forme de mesure de l'efficacité de dispositif relatif à un savoir particulier qui se rapprocherait des travaux qui s'intéressent à l'efficacité au niveau de l'enseignement (niveau de la classe).

Dans le cadre de cette étude, nous souhaitons mesurer l'efficacité au niveau de la classe de la variable « utilisation de systèmes biotiques ». Les travaux sur l'efficacité au niveau de la classe ont été particulièrement développés en ce qui concerne l'effet de l'enseignant. Les analyses de cet effet, relèvent de différents paradigmes (Bressoux, 1994) et soulèvent de nombreux points de discussion dans les communautés de recherche. Talbot (2012) décrit parmi ces points : la définition de l'efficacité, l'observation par le chercheur d'un enseignant ou de pratiques enseignantes, la façon de prendre en compte les processus de cette efficacité, le fait que les élèves apprennent également en dehors de l'activité de l'enseignant, la façon d'évaluer les performances des élèves, et enfin la différence entre pratiques déclarées et effectives. Ces discussions renvoient à des questions théoriques et méthodologiques. Elles peuvent être regroupées en deux catégories : celles qui s'intéressent à la façon de mesurer l'efficacité d'un enseignement (définition de l'efficacité et évaluation des performances) et celles qui portent sur la façon d'observer la ou les variables de l'étude (prise en compte des processus, pratiques déclarées et effectives, etc.). Les parties suivantes présentent comment cette thèse se positionne vis-à-vis de la mesure de l'efficacité et de la façon d'observer la variable « utilisation de systèmes biotiques » dans un enseignement.

2.4.2 - Mesurer l'efficacité d'un dispositif d'enseignement

L'objectif de cette partie est de décrire les choix réalisés dans cette thèse vis-à-vis de la mesure de l'efficacité de l'enseignement. Du fait de se situer dans une étude de niveau 2 (selon la classification d'Ellis & Fault, 1993, cité par Bissonnette, Richard et Gauthier 2005), mesurer l'efficacité d'un enseignement revient, ici, à évaluer un dispositif qui contient la variable principale (utilisation de systèmes biotiques) dans une classe. Il s'agit d'explicitier comment cette évaluation a été basée sur l'apprentissage des élèves et comment il a été mesuré. Pour cela, nous nous appuyons sur les notions de critère et de standard d'évaluation de Scheerens, Glas et Thomas (2003). Ces auteurs considèrent le critère comme la dimension à travers laquelle l'évaluation est effectuée (apprentissage des élèves, orientation des élèves, nombre de redoublement, bien-être au travail de l'enseignant etc.). Il peut s'agir par exemple, d'un test de mathématiques ou de français utilisé pour évaluer un système éducatif. Les standards d'évaluation renvoient à deux aspects : le critère ainsi

que la norme à partir de laquelle l'on considère le succès ou l'échec de ce qui est évalué. Il peut s'agir par exemple d'une note minimale à partir de laquelle on considère le succès, dans ce cas le standard est absolu. Il peut aussi exister des standards comparatifs par exemple les différences entre un groupe témoin et un groupe expérimental.

La question du critère d'évaluation est une problématique importante dans le cas des études qui s'intéressent à l'efficacité en éducation de manière générale et qui renvoie à la définition de l'efficacité (Talbot, 2012). En effet, si l'on considère l'efficacité comme la capacité à parvenir à ses fins, à atteindre ses objectifs ou à obtenir un résultat (Clanet, 2012) ; alors se pose la question des finalités du système éducatif dont les représentations sont différentes chez les enseignants, les chefs d'établissement, les inspecteurs, les chercheurs etc. (Talbot, 2012). C'est notamment une des critiques principales adressée au courant de l'« educational effectiveness research » dont les résultats sont principalement basés sur des tests standardisés concernant les connaissances des élèves (Talbot, 2012).

Dans le cas des recherches en didactique des disciplines la question ne se pose pas complètement en ces termes. En effet, la mesure de l'efficacité y est très souvent associée aux apprentissages des élèves sur un objet de savoir déterminé. Malgré cela, la mesure de l'efficacité peut être discutée quant à la façon d'évaluer ces apprentissages. Par exemple, Carette (2008) discute les résultats d'une étude de grande ampleur (« follow through ») à partir de l'opposition entre les tests standardisés qu'elle utilise et l'évaluation de compétences. De plus dans le cadre des « éducations à » et du développement des mesures de « literacy », de plus en plus de chercheurs ciblent l'évaluation d'attitudes et de comportements (comme Bodzin, 2012 ; De Waters et Powers, 2014) dans le cas de l'énergie. Enfin, un objet de savoir peut être abordé de différentes manières qui vont déterminer ses critères d'évaluation. C'est notamment le cas en ce qui concerne le concept d'énergie pour lequel selon Millar (2014) très peu de travaux se sont intéressés à l'efficacité ou au processus d'enseignement-apprentissage, car il n'existe pas de consensus sur les objectifs d'apprentissage.

Dans le cas de cette étude, nous avons considéré que « reconstituer un système énergétique » représentait une action fondamentale pour adopter une approche systémique et comprendre les enjeux de sociétés relatifs à l'énergie. Ce sont donc les apprentissages des élèves concernant cette action qui ont été pris comme critères pour mesurer l'efficacité de l'enseignement.

La définition des standards d'évaluation dépend du critère choisi (Scheerens, Clas et Thomas, 2003), mais peut également être interrogée depuis la définition de l'efficacité. En effet, considérer l'efficacité en termes d'atteinte d'objectifs renvoie à une mesure binaire (objectif atteint ou non).

Dans le cas des mesures d'efficacité basées sur les performances des élèves, souvent les standards d'évaluation vont se rapporter au nombre d'élèves ayant atteint l'objectif ou non ; ou parfois à la nature des objectifs atteints par les élèves. Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes appuyés sur la notion d'efficacité telle qu'elle peut être traduite de la langue anglaise. C'est-à-dire à partir de la différence entre « effectiveness », qui signifie capacité de produire l'effet requis (par exemple être capable de réaliser une chaîne énergétique) et « efficacy », qui renvoie à la capacité de produire la quantité d'effet désiré (par exemple réaliser les chaînes énergétiques dans 12 systèmes). C'est cette « efficacy » que nous souhaitons mesurer dans cette thèse. En effet, nous avons considéré que concernant les enjeux énergétiques, les choix qu'un individu est amené à faire dans la vie courante, ainsi que certaines décisions politiques, reposent sur une comparaison des différents avantages et inconvénients de chaque filière énergétique. Dans une perspective d'éducation à l'énergie, ceci revient à former les élèves pour qu'ils soient capables de reconstituer la plus grande variété possible de systèmes énergétiques. Le standard d'évaluation qui a été déterminé à partir de ce point de vue est donc le nombre de systèmes énergétiques que chaque élève est capable de reconstituer. Il ne s'agit donc pas d'analyser si l'utilisation de systèmes biotiques est efficace ou non (c'est-à-dire, si elle permet aux élèves d'apprendre à réaliser une chaîne énergétique ou non), mais plutôt d'observer si elle augmente l'efficacité de l'enseignement (est-ce qu'elle permet aux élèves d'apprendre à réaliser des chaînes énergétiques pour un nombre de systèmes plus ou moins important). Pour mettre en avant l'augmentation de l'efficacité de l'enseignement, nous avons retenu pour cette thèse un standard comparatif entre des groupes témoins et expérimentaux d'élèves de la même classe et non un nombre seuil de systèmes à atteindre (Scheerens, Clas et Thomas, 2003).

Enfin, le dernier point de discussion concernant la mesure d'efficacité en éducation concerne la prise en compte des caractéristiques initiales des élèves. Les travaux sur l'efficacité en éducation s'intéressent généralement à l'effet de conditions modifiables, par des mesures politiques, des organisations structurelles ou des stratégies d'enseignement. Cependant, les effets mesurés sont également déterminés par des caractéristiques qui existent en dehors des variables manipulées, parmi lesquelles les plus importantes sont les caractéristiques des élèves (Scheerens, Clas et Thomas, 2003). Cela a conduit à différencier les mesures d'effets nets et bruts (Feyfant, 2011). Les effets bruts correspondent à une mesure des performances des élèves sans prise en compte des caractéristiques initiales des élèves, les effets nets prennent en compte certaines caractéristiques individuelles et collectives de ces derniers. Dans la plupart des cas, la mise en évidence des effets nets se fait en ajustant les analyses des résultats obtenus à partir : soit du score des élèves à un test réalisé avant l'enseignement (pré-test), soit à partir du recueil d'informations concernant les

caractéristiques considérées comme pertinente, soit à partir des deux (Scheerens, Clas et Thomas, 2003). Une autre façon d'interroger cette prise en compte des caractéristiques des élèves est de différencier mesure de performance et de progression (Cusset, 2011). Cet auteur considère, dans un rapport à propos de l'effet maître, que la plupart des études disent s'intéresser à des progressions, alors que ce sont des performances qui sont mesurées. Pour Cusset (2011), mesurer des progressions implique de comparer un test initial et un test final identiques. Ce qui constitue une méthodologie qui selon Feyfant (2011) est rarement mise en place dans les études sur l'efficacité. C'est cette façon de prendre en compte les caractéristiques des élèves qui a été retenue dans cette étude. Il s'agit de mesurer la progression (au sens de gain d'apprentissage) à l'issue de la période d'enseignement, en comparant la façon dont chaque élève reconstitue chaque système entre des tests initiaux et finals identiques (Scheerens, Clas et Thomas, 2003).

En conclusion, cette thèse s'intéresse à l'évolution de l'efficacité d'un enseignement en fonction d'une condition spécifique, qui est l'utilisation de systèmes biotiques. Cette variation (augmentation ou diminution) de l'efficacité est mesurée à partir du nombre de systèmes sur lesquels les élèves progressent au niveau d'une action particulière : reconstituer un système énergétique. La partie suivante décrit la façon dont nous avons choisi d'observer la variable « utilisation de systèmes biotiques » et les effets qu'elle peut produire.

2.4.2.1 -Observation au niveau de l'effet-tâche

L'objectif de cette partie est de présenter la délimitation de la variable « utilisation de systèmes biotiques » dans l'enseignement et son interaction avec les progressions des élèves. Nous souhaitons donc observer un effet lié à la « tâche » parmi les effets qui agissent au niveau d'une classe (l'effet maître, composition du public, morphologie...). C'est cet effet « tâche » et son imbrication avec les autres effets qui sont décrits par la suite.

Pour Dumay et Dupriez (2009), les travaux sur l'efficacité en éducation peuvent être situés à différents niveaux : le système éducatif, l'établissement, ou la classe.

Dans notre cas, nous étudions l'efficacité au niveau de la classe. L'effet classe expliquerait 7 à 21 % de la variance des progrès d'acquisition scolaire et serait un peu plus important dans les disciplines scientifiques, que dans l'apprentissage des langues (Bressoux, 2012). Les travaux qui s'intéressent à l'efficacité au niveau de la classe distinguent différents effets (Ibid) :

Les effets de la composition du public (Bressoux, 2012, Duru-Bellat, 2003) correspondent à certaines caractéristiques des élèves (origine sociale, niveau scolaire moyen, hétérogénéité etc.).

Les effets de la morphologie de la classe renvoient à une forme d'organisation de l'enseignement (cours simples ou doubles, nombre d'élèves etc.).

Enfin, l'effet-maître, également appelé pratiques enseignantes (Talbot, 2012), concerne les effets de l'activité de l'enseignant sur les apprentissages des élèves. Parmi ces effets, on considère que l'effet-maître est celui qui impacte le plus les résultats des élèves (Bressoux, 2012). Il expliquerait 10 à 15 % des variations sur les acquisitions des élèves (Bru, Altet, Blanchard-Laville, 2004).

Nous considérons que l'effet tâche agit au niveau de la classe parmi ces autres effets (composition, morphologie et maître). Les tâches que les élèves doivent réaliser lors d'un enseignement conditionnent grandement les apprentissages de ces derniers. Pour Ginestié & Tricot (2013), les situations scolaires se caractérisent par la construction d'un contexte dans lequel les élèves vont agir pour apprendre ; c'est-à-dire la détermination des tâches que l'on va donner aux élèves. Clanet (2012) met également la tâche au cœur de son modèle d'analyse des pratiques enseignantes. Elle représente selon lui, un « objet « interface enseignant/élève » qui permettrait d'inférer des aspects de leur cognition » (Clanet, 2012, p.13). Les tâches proposées dans un enseignement relèvent d'une construction de l'enseignant, de ses choix et de sa lecture des programmes scolaires. Cependant certaines conditions de ces tâches peuvent être considérées comme des invariants que l'on retrouverait si une tâche était transposée d'une classe à l'autre, d'un enseignant à l'autre. Nous avons considéré que c'est sur ces invariants (dans notre cas l'utilisation de systèmes biotiques dans une tâche de réalisation de chaînes énergétiques) que porte l'effet tâche.

Parmi ces invariants, on peut observer différentes caractéristiques de ces tâches. Certaines de ces caractéristiques vont relever de la nature de la tâche, d'autres vont relever des conditions dans lesquelles la tâche est présentée aux élèves ou du support de la tâche. Dans le paragraphe suivant nous avons essayé de nous appuyer sur différents travaux de recherche pour donner des exemples de ce que nous avons appelé effet-tâche ; même lorsque ces recherches ne s'ancrent pas directement dans une perspective de mesure de l'efficacité.

2.4.2.2 - Exemples sur l'« effet tâche »

Concernant la nature de la tâche, Musial, Pradère, et Tricot (2011), s'attachent à l'élaboration de scénarios pédagogiques à partir d'une typologie de tâche associée aux types de connaissances visées. D'autres études sur l'« embodiement » étudient l'utilisation du corps des élèves dans les tâches d'enseignement (Herakleioti & Pantidos, 2016), s'y intéressent notamment à propos du concept d'ombre. Une étude similaire (Mvutsebanka, 2017) a été conduite à partir de certaines données de cette thèse. Elle concerne l'effet de l'utilisation d'exercices sportifs (flexions, faire la chaise contre un mur...) sur l'évolution de la conception des élèves « les objets immobiles n'utilisent pas d'énergie ».

Une tâche peut également être caractérisée par les sous-tâches qu'elle comporte et la façon dont elles s'organisent. On peut considérer de cette façon, les travaux de notre équipe qui se sont préoccupés, dans une tâche d'investigation, à l'effet de l'insertion d'une sous-tâche spécifique concernant la formulation d'hypothèses écrites sur les apprentissages des élèves à propos de la flottabilité (Boyer & Givry, 2016a ; Boyer, Givry, Jegou, Derradj, Delsérieys & Said, 2014 ; Derradj & Givry, 2014).

Au niveau des conditions dans lesquelles la tâche peut être présentée aux élèves les caractéristiques peuvent porter par exemple sur les registres sémiotiques utilisés (Duval, 2006 ; Givry & Andreucci, 2015) ou sur l'agencement des informations données aux élèves. Nous les avons étudiées par exemple, en ce qui concerne la longueur des chaînes énergétiques et le nombre de dessins présents sur des images (Boyer & Givry, 2016b, 2017). Ces conditions de la tâche peuvent également porter sur le contexte dans lequel s'ancre la tâche présentée aux élèves, par exemple dans le cas de l'utilisation de récits issus d'albums jeunesse (Moulin, Deloustal-Jorrand, Triquet, & Bruguière 2012).

Dans le cadre de cette recherche, nous étudierons les situations de référence qui supportent la tâche. En effet, pour bon nombre de tâches scolaires, les élèves doivent réaliser une tâche qui est exécutée dans une situation de classe, mais qui est également exécutée sur une situation que nous qualifierons de « représentée », qui fait généralement référence à une situation réelle. Dans le cas de l'enseignement des sciences et des technologies, ces situations représentées sont choisies par l'enseignant en fonction des enjeux d'apprentissage et souvent des disciplines scolaires. Par exemple, un enseignement de biologie, dans lequel, les élèves vont devoir reconstituer une chaîne trophique ou une classification phylogénétique, va souvent s'appuyer sur des exemples d'animaux spécifiques ou sur un écosystème particulier. De même, dans un enseignement de mécanique, la situation sur laquelle les élèves vont devoir reconstruire les forces peut se faire sur la représentation d'une situation donnée (par exemple la chute libre d'un corps). Dans le cas des enseignements sur l'énergie, ces situations de références peuvent être très diverses du fait de la dimension transphénoménologique du concept (Costantinou & Papadouris, 2012 ; Koliopoulos & Ravanis, 2000). De plus, dans le cas particulier des chaînes énergétiques, les programmes scolaires mentionnent explicitement la réalisation de chaînes d'énergie domestique (MEN, 2016). Dans notre cas, les systèmes que les élèves vont devoir reconstituer à l'aide du modèle de chaîne énergétique vont constituer la condition de la tâche qui sera étudiée.

Les travaux sur l'efficacité qui constituent des études de niveaux 3 (voir ci-dessus Bissonette, Gauthier, & Richard, 2005) prennent en compte l'ensemble des effets cités précédemment à travers

des analyses statistiques multi-niveaux (Bressoux, 2012). Cette thèse, qui nous l'avons dit, se positionne comme une étude de niveau 2 vise à comparer des groupes expérimentaux et témoins. Il s'agit donc de prendre en compte l'ensemble de ces effets à travers un contrôle de variable. Notre recherche s'est donc efforcée de faire varier la condition de la tâche « utilisation de systèmes biotiques » en contrôlant les autres effets. Les effets systèmes éducatifs, établissement et classe ont été contrôlés par l'intermédiaire de la constitution des groupes comparés. En effet il a été choisi de séparer une même classe en deux groupes d'élèves. Cette séparation a permis de contrôler l'effet système éducatif, l'effet établissement et l'effet maître. Concernant les effets « morphologie de la classe » et « composition scolaire », les groupes ont été constitués à partir d'une analyse de pré-test. Ces éléments ont permis de ne faire varier que l'effet tâche. Cependant cet effet tâche nous semble relever de différentes caractéristiques. Afin de n'observer que l'effet de la condition utilisation de systèmes biotiques, les caractéristiques registres sémiotiques, consignes écrites, durée de la tâche, positionnement de la tâche dans la séquence, nombre de sous-tâches à accomplir ont également été contrôlées.

En conclusion, dans un enseignement sur la chaîne énergétique, cette thèse a pour objet un effet « tâche » au niveau d'une condition particulière (l'utilisation de systèmes biotiques) sur les progressions individuelles des élèves quant au nombre de systèmes qu'ils seront capables de reconstituer. Il s'agit donc d'observer l'effet d'une condition de la tâche sur le développement d'une action par les élèves. La partie suivante présente comment la théorie de l'activité et notamment l'articulation tâche-activité a été utilisée pour décrire ces processus.

3 - Cadre théorique

3.1 -Introduction

Cette thèse s'intéresse à l'efficacité d'un enseignement fondé sur une approche systémique de l'énergie (De Rosnay, 1975). L'efficacité y est étudiée au niveau de la « classe » entière, telle que définie par (Dumay et Dupriez, 2009). Elle constitue une étude de niveau deux selon les travaux de Bissonette, Richard & Gauthier (2005) laquelle vise à observer l'effet de l'utilisation de systèmes biotiques et domestiques dans l'enseignement, à l'aide de groupes expérimentaux et témoins. Le but étant de connaître l'efficacité d'une tâche donnée sur le développement des actions des élèves.

Nous proposons d'analyser l'efficacité à partir de la théorie de l'activité développée sur la base des travaux de Vygotsky (1997) dans les champs de la psychologie du développement et du travail. Cette dernière vise, à travers l'analyse finalisée et motivée d'un sujet, à comprendre les processus d'évolution de l'activité et le développement du sujet à travers elle (Rogalski, 2008).

La théorie initiale a été développée par Leontiev (1981). Mencacci (2014), dans sa note de synthèse, montre les nombreuses orientations qui ont été développées par la suite. Nous les évoquerons brièvement dans les lignes qui suivent, avant de nous arrêter sur celle qui permet le mieux d'analyser l'efficacité dans le contexte que nous avons construit.

3.2 -Différentes approches de l'activité

Mencacci (Ibid.) présente cinq approches. Elles seront mentionnées dans ce paragraphe avant de nous centrer sur la théorie de l'activité dont nous ferons usage pour notre étude, ainsi que sur les raisons de ce choix.

La didactique professionnelle (Pastré, Mayen, & Vergnaud, 2006), a pour champ de recherche l'enseignement professionnel et la formation professionnelle continue. Elle cerne le développement de compétences professionnelles qu'elle analyse comme la construction de schèmes dans différentes classes de situation (Vergnaud, 2011).

L'activité médiatisée par des instruments (Folcher & Rabardel, 2004 ; Rabardel, 1995) a également pour objet la construction de schèmes, mais qui sont regardés du point de vue d'un sujet utilisateur d'artefact. Elle place au centre de ces analyses les processus d'instrumentation et d'instrumentalisation, lesquels correspondent à la transformation d'un artefact en instruments pour le sujet à partir du développement de schèmes d'usages et d'utilisations.

Quant à l'ergologie (Schwartz, 2007), elle est une démarche plus philosophique qui croise les résultats de l'ergonomie avec différentes approches, notamment la philosophie de la vie de Canguilhem.

La clinique de l'activité s'intéresse aux transformations du travail et au développement du sujet agissant (Clot, 2006). Elle regarde notamment le développement du pouvoir d'agir du sujet dans la situation de travail.

La théorie historico-culturelle de l'activité (Leontiev, 1981 ; Engeström, 1987, 2001) correspond au développement des théories de Vygotsky (1997) et Leontiev (1981). Elle est principalement représentée par les travaux d'Engeström (1987, 2001). Ce dernier présente le développement de la théorie de l'activité à partir de trois générations de recherche. La première principalement construite autour des travaux de Vygotsky (1978, cité par Engeström, 2001), est basée sur l'idée de médiation, et notamment sur l'idée que la connexion entre un stimulus et une réponse se fait par des actions de médiation. Cette idée a été communément exprimée comme le triptyque sujet, objet et artefact médiateur (figure 6).

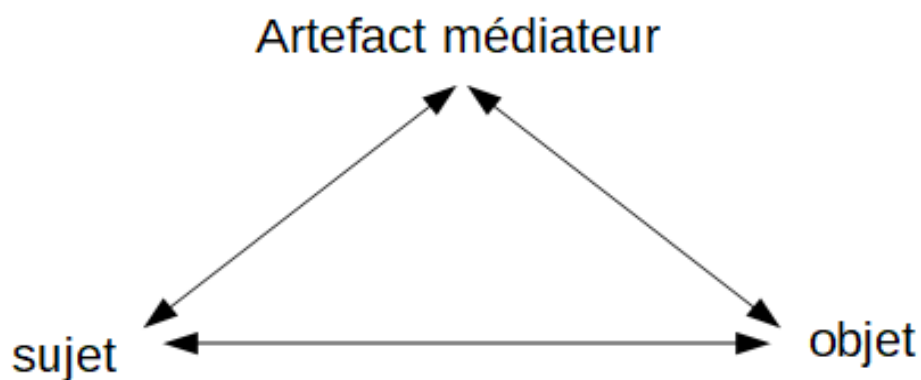


figure 6: première génération de théorie de l'activité (Notre traduction d'Engeström, 2001)

La figure 6 représente l'action de médiation d'un sujet sur un objet par l'intermédiaire d'artefacts culturels, symboliques ou concrets. Une des limites de la première génération est que l'unité d'analyse reste centrée sur l'individu (Engeström, 2001).

La deuxième génération de la théorie, construite autour des travaux de Leontiev (1981), intègre une dimension collective au système développé par Vygotsky. Dans sa représentation, il met en évidence l'action d'un ou de plusieurs sujets qu'il représente par le triangle supérieur de son modèle qu'il replace ensuite dans la dimension collective du système d'activité (figure 7).

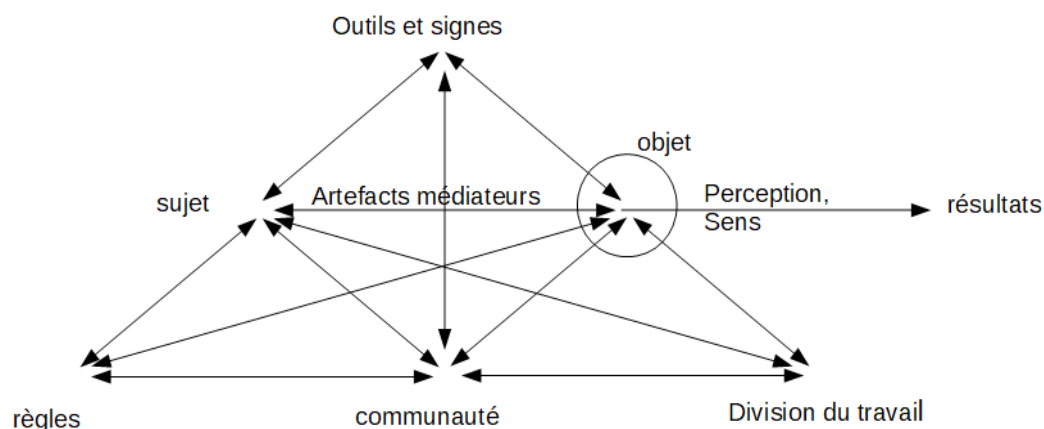


figure 7: deuxième génération de théorie de l'activité (Notre traduction d'Engeström, 2001)

La figure 7 correspond à la représentation de la théorie de Leontiev (1981) par Engeström (2001). Le triangle supérieur (sujet, outil et signe) correspond à l'action d'un ou de plusieurs sujets, action qui est une partie d'un système d'activité collectif qui comprend, des règles, une

communauté et une division du travail. Cette génération qui est celle utilisée dans le cadre de cette thèse est présentée plus en détail dans les parties suivantes.

Enfin pour analyser des situations de travail dans lesquelles les sujets doivent agir ensemble mais n'ont pas le même système d'activité (par exemple dans le cas d'un patient et d'un médecin) une troisième génération de théorie de l'activité a été développée (Engeström, 2001). Son modèle met en relation plusieurs systèmes d'activité (figure 8).

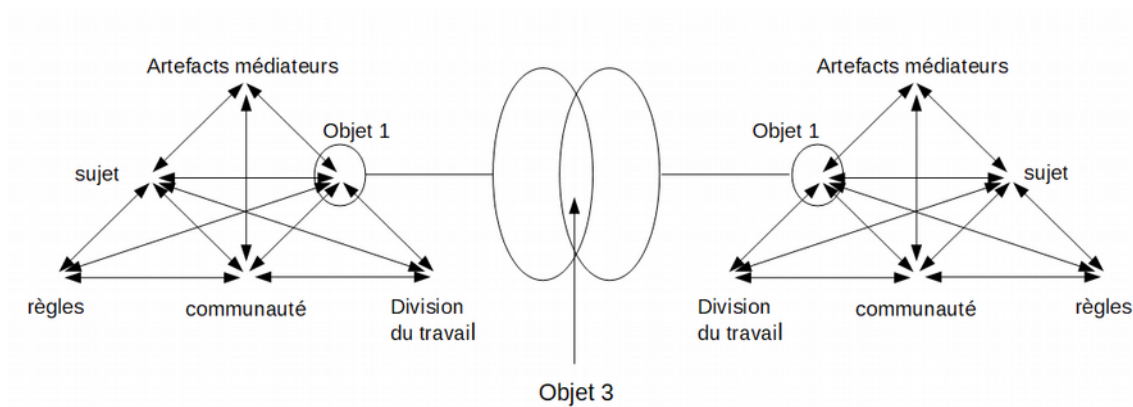


figure 8: troisième génération de théorie de l'activité (Notre traduction d'Engeström, 2001)

La figure 8 représente la troisième génération de théorie de l'activité. Il s'agit de deux systèmes d'activité (triangles de droite et de gauche) portés par deux sujets différents. Les différents objets de ces systèmes, lorsqu'ils sont mis en commun, forment un objet partagé par les différents sujets. Cet objet commun permet de prendre en compte les différences sociales, culturelles et historiques chez les sujets lors de l'interaction entre plusieurs systèmes d'activité.

Cette troisième génération de théorie de l'activité, se base pour Engeström (2001), sur cinq principes : les relations entre des systèmes d'activité différents comme unité d'analyse, la multiplicité des points de vue dans le système d'activité, l'historicité des systèmes, le rôle central des contradictions et enfin la prise en compte des transformations expansives du système d'activité. C'est à partir de ces principes, qu'il développe sa théorie de l'apprentissage expansif. Cette modélisation de la théorie de l'activité est la plus répandue, mais pour Bedni et Karkowski (2007) qui proposent une théorie structuro-systémique de l'activité, elle ne prend pas suffisamment en compte certains aspects, notamment l'analyse de la tâche.

Les théories de l'activité présentées supra dans ce paragraphe, peuvent également être rapprochées des théories de l'action, de l'apprentissage situé et de la cognition distribuée avec lesquelles elles partagent la théorie initiale de Leontiev (Relieu, Salembier, & Theureau, 2004). Ce rapprochement

interroge notamment les analyses du contexte (Nardi, 1996). Licoppe (2008), dans la perspective d'un rapprochement des recherches sur le travail, décrit un espace de recherche constitué d'un « carré », bordé par quatre perspectives : la cognition distribuée, la « théorie de l'activité », l'ethnométhodologie et les courants qui s'en inspirent, et la sociologie des sciences et des techniques.

Les théories de l'activité sont également de plus en plus utilisées en science de l'éducation (Roth, 2004), où elles constituent la plupart du temps une lentille conceptuelle permettant d'analyser les données (Engeström, 2016). Pour Tricot et Ginestié, (2012), elles permettent en effet de comprendre le fonctionnement réel et les mécanismes à l'œuvre dans un système didactique considéré. Pour ces auteurs une des difficultés dans les analyses de l'activité en classe réside dans le fait d'analyser la co-activité de l'enseignant et des élèves. Ils soulignent que très souvent l'analyse du registre d'activité d'un des acteurs prend le pas sur l'autre. C'est le cas par exemple de nombreux travaux qui visent à comprendre le travail de l'enseignant à partir de la didactique professionnelle (Vinatier, 2017). Cependant, certains travaux ont cherché à rapprocher l'activité de ces sujets. Dans cette perspective les théories de l'activité ont été rapprochées en mathématiques des analyses des pratiques enseignantes dans ce que Robert et Rogalski, (2002), ont nommé une double approche. Dans cette même perspective Venturini, (2012) propose un rapprochement de la théorie de l'activité avec la théorie de l'action conjointe en didactique.

Dans le cadre de cette thèse, la théorie de l'activité est utilisée afin d'observer l'efficacité d'un enseignement utilisant des systèmes biotiques à travers l'articulation tâche-actions. L'utilisation de systèmes biotiques a été considérée comme une des conditions de la tâche. La mesure de l'efficacité de cette condition a été réalisée en observant comment elle a pu modifier les actions et les opérations des élèves. Afin de présenter cette approche nous présenterons dans un premier temps les concepts issus de la théorie de l'activité que nous avons mobilisés, puis un modèle de l'activité que nous avons développé pour mener à bien cette recherche.

3.3 -Éléments de la théorie de l'activité mobilisés dans cette étude

Dans cette partie nous présenterons les éléments de la théorie de l'activité mobilisés dans cette étude. Nous présenterons dans un premier temps, quel modèle d'analyse de l'activité fonde notre approche, particulièrement les concepts d'actions, d'opérations et de tâche. Dans un deuxième temps, nous illustrerons la façon dont ces éléments s'articulent entre eux.

3.3.1 - Modéliser l'activité

Pour Rogalski (2008), la théorie de l'activité est organisée autour de deux ensembles : l'articulation tâche et activité ainsi que le couplage situation et sujet. La situation se situe du côté de la tâche et le sujet de l'activité.

La tâche indique ce qui est à faire, elle véhicule avec elle l'idée de prescription, sinon d'obligation (Leplat, et Hoc, 1983). Elle correspond toujours à un objet qu'il s'agit de transformer (Rogalski, 2008).

L'activité est définie du point de vue du sujet, elle correspond à tout ce que ce dernier développe lors de la réalisation de la tâche : ce qu'il fait, pense, décide, sa gestion du temps, ses interactions avec les objets et les autres personnes, mais aussi ce qu'il ne fait pas, ne décide pas etc. (Rogalski, 2008). Leontiev (1981) décrit l'activité comme étant composée d'actions décomposées en opérations. En situation institutionnelle, l'activité est très orientée par la réalisation de la tâche. Les observables les plus accessibles de cette activité sont souvent les opérations portant sur les objets de l'actions. Elle est en partie finalisée et déterminée par la réalisation de la tâche, mais intègre d'autres déterminants relatifs au sujet et à la situation (Rogalski, 2008).

Le sujet est individualisé, il possède des intentions (conscientes ou non) et des compétences qui constituent un potentiel de ressources et qui vont engendrer des actions pour réaliser des buts. Il est marqué par une insertion sociale qui ne suffit pas à le déterminer. On peut chercher des invariants ou des spécificités dans les relations entre le sujet et son activité, s'intéresser à des déterminants communs à tous les sujets dans un type de situation donnée ou chercher à repérer et analyser les différences individuelles (Rogalski, 2008).

Pour Rogalski (2008), le sujet n'est pas seul maître de ses buts et de ces moyens, ces derniers apparaissent dans une situation de travail porteuse de son propre système de contraintes et de valeurs. Mayen (2012), dans le cadre de la didactique professionnelle, rapproche cette notion de situation de la notion de caractéristiques agissantes développée par Leontiev (1981). À partir de la définition des « caractéristiques agissantes » comme tout élément affectant ou pouvant affecter l'activité du sujet et tout élément pouvant ou étant affecté par l'action du sujet, il définit la situation comme le système de caractéristiques agissantes pour un sujet déterminé. Pour Savoyant (2006), cette situation n'est pas l'objet d'une tâche, mais elle comprend les objets de plusieurs tâches et donc plusieurs tâches. C'est donc un ensemble d'actions qui contribuent (et non pas une action unique) à modifier et faire évoluer la situation.

C'est à partir de ces concepts organisateurs que l'activité est décrite dans la plupart des travaux en ergonomie. En effet, pour Leplat (2003), ces études sont caractérisées par la modélisation d'une

situation définie comme l'ensemble tâche-sujet-activité. Il considère que toute étude de l'activité, revient à analyser ces éléments et leurs relations, dans une approche toujours située. Mais les modèles ergonomiques peuvent porter sur des situations très diverses qui peuvent être caractérisées de différentes manières et où l'activité peut être mise en relations avec des variables multiples (Leplat, 2003). Aucun modèle ne peut prendre en compte l'ensemble de ces variables, et il s'agit dans chaque cas de modéliser les variables jugées les plus pertinentes. Ceci a donné lieu à des modélisations de natures différentes. Leplat (2003) en propose une présentation en fonction des différents points de vue sous lesquels elles sont évoquées dans la littérature ergonomique. Il distingue trois points de vue sur ces modèles.

Il distingue dans un premier temps les modèles de l'activité centrés sur la tâche ou sur le sujet. Le point de départ de ces modèles est le fait que l'activité soit dépendante à la fois de la tâche et du sujet, et qu'elle peut donc être modélisée selon l'un ou l'autre de ces points de vue. Les modèles centrés sur la tâche correspondent à une analyse de la tâche prescrite à l'opérateur et la tâche réalisée, ainsi que l'ensemble des tâches intermédiaires (tâche prescrite pour l'agent, tâche redéfinie, tâche effectivement réalisée, et tâche effective pour le sujet). Les modèles centrés sur le sujet s'intéressent à deux interventions de celui-ci dans l'activité, celle où il intervient comme système de traitement de la tâche et celle où il définit les finalités de son activité. Ces interventions sont dépendantes d'un nombre important de caractéristiques physiques et psychologiques du sujet. Ce sont sur ces caractéristiques que sont centrés ces modèles.

La deuxième distinction présentée par Leplat (2003), correspond aux modèles centrés sur les résultats ou sur la manière de les obtenir. Il s'agit de modèles qui visent à prédire les résultats d'une activité réalisée dans des conditions déterminées ou de rendre compte de la façon dont ces résultats sont obtenus. Parmi ces modèles, l'auteur mentionne tous les modèles de types « relations causales », nombreux dans les méthodes expérimentales et par enquête. L'objectif est de montrer quelles relations existent entre une modification des conditions et le ou les résultats sur la situation considérée (Leplat, 2003). Le développement de la psychologie cognitive a encouragé la recherche de modèles permettant de rendre compte des procédures par lesquelles les résultats étaient obtenus. Plusieurs raisons étaient associées à ce besoin, la recherche d'efficacité, la prise de conscience du phénomène de vicariance, c'est-à-dire le fait qu'un même résultat peut être obtenu de différentes manières et enfin l'explication du mode de production des résultats.

La troisième distinction concerne les modèles de type analytique ou systémique. À partir de l'opposition entre ces modèles développés par Le Moigne (1990), il distingue les modèles qui visent

à décomposer les systèmes pour pouvoir analyser un processus isolé, et ceux qui visent à considérer le système dans son ensemble pour développer une vue globale sur la situation étudiée.

Dans une perspective d'analyse de l'efficacité d'une variable spécifique de l'enseignement, nous nous appuyerons sur un modèle intermédiaire entre modèle de l'activité basé sur les résultats et modèle basé sur la manière de les obtenir. Il s'agit en fait d'observer et d'expliquer l'effet d'une condition de la tâche sur les résultats des élèves. Pour cela, nous préciserons dans les parties suivantes comment nous avons mobilisé les notions : de « résultat », « d'action », et « d'opération » des élèves, ainsi que celle « de conditions de la tâche ».

3.3.2 -Activité, actions et opérations

Dans le cadre de cette thèse, c'est l'influence de la tâche sur l'activité des élèves qui est étudiée. L'activité analysée est donc celle d'un seul sujet qui peut être l'élève ou le groupe d'élèves. Et nous avons considéré qu'il s'agissait d'entités poursuivant le même objectif (ou objet si on se réfère à Engeström, 2001). C'est donc la deuxième génération de la théorie de l'activité correspondant au modèle de Leontiev (1981) que nous avons utilisée afin de caractériser l'activité des élèves au sein des séances d'enseignements étudiées.

Dans leur chapitre « activity theory in a nutshell » Kaptelinin et Nardi, (2006), décrivent la théorie de l'activité développée par Leontiev (1978) comme une théorie fondée sur deux idées : l'unité de la conscience et de l'activité, ainsi que la nature sociale de l'esprit humain. Ils présentent ensuite la théorie de l'activité comme l'analyse d'un système permettant de s'appuyer sur sept principes de base.

Le premier principe évoqué est l'orientation de l'activité par un objet. Ce principe veut que toute activité soit dirigée vers son objet. Les objets de l'activité y sont considérés comme le résultat escompté qui dirige et motive l'activité. C'est autour de ces objets que l'activité se structure. Elle s'y exprime dans sa forme finale lorsque l'activité est complète. Ce sont eux qui séparent une activité d'une autre.

Le deuxième principe décrit les processus d'internalisation et d'externalisation, qui permettent de mettre en relation l'esprit humain avec son environnement social et culturel. Ils relèvent de deux dimensions. La première dimension met en avant la différence entre processus mentaux et comportement extérieur qui correspondent aux activités internes et externes. La théorie de l'activité considère que l'on ne peut pas les analyser séparément puisqu'ils interagissent l'un sur l'autre. Le processus d'internalisation correspond au passage d'une activité externe à celui d'activité interne et

celui d'externalisation au processus inverse. La deuxième dimension concerne les processus intra et inter psychiques, qui correspondent au développement des fonctions psychiques d'abord entre différents acteurs (inter-psychique) puis intrapsychiques quand la distribution sociale n'est plus nécessaire. Comme pour la première dimension les processus intra et inter psychiques se transforment mutuellement. L'internalisation correspond alors à l'appropriation individuelle d'une fonction socialement distribuée et l'externalisation à la redistribution sociale d'une fonction intrapsychique.

Le troisième principe concerne la médiation de l'activité par les instruments. Il donne à l'utilisation de différents instruments (matériels ou symboliques) une place centrale dans l'activité. Et considère que les instruments sont porteurs de l'interaction entre le sujet et son environnement et sont reliés au principe d'externalisation et d'internalisation.

Le quatrième principe concerne le développement. Il n'est pas présenté comme un principe précis de la théorie de l'activité, mais plutôt tel un contexte de recherche qui guide l'analyse de l'activité.

Enfin, le cinquième principe concerne la structure hiérarchique de l'activité. Leontiev, dans sa description de la « structure générale de l'activité » (Leontev, 1981), distingue trois niveaux d'analyse interconnectés, l'activité, les actions et les opérations. L'activité répond à un mobile, les actions à un but concret et les opérations aux conditions de réalisation de ce but concret. Cette distinction ne correspond donc pas à une échelle quantitative (durée du processus, quantité d'énergie déployée etc.) mais est plutôt basée sur ce qui va motiver l'engagement du sujet dans le processus. Pour nous, l'activité renvoie à ce pourquoi le sujet fait quelque chose, l'action à qu'est-ce qu'il fait, et les opérations à comment il le fait.

Pour Leontiev (1981), l'activité est ce que fait un sujet pour répondre à un mobile. Derrière chaque activité, il y a un besoin auquel elle répond. Toute activité est motivée. Si elle est considérée sans motif, c'est qu'elle est en fait une activité dont le motif n'est pas perçu consciemment par le sujet. Cette activité s'exprime à travers une ou des actions. Un processus est appelé action, s'il est subordonné à une représentation du résultat attendu, c'est-à-dire un but concret. La ou les actions dans lesquelles s'exprime l'activité sont stimulées par le mobile de cette dernière, mais elles sont dirigées par un but. Afin de mettre en avant cette distinction, Leontiev (1981) prend l'exemple d'un sujet dont l'activité serait motivée par le besoin de se nourrir. Pour satisfaire ce besoin il peut réaliser des actions qui ne visent pas directement à obtenir de la nourriture. Par exemple dans le cas d'un sujet qui préparerait un équipement pour la pêche, peu importe qu'il utilise lui-même le matériel ou qu'il le donne à une autre personne pour partager ensuite les prises, ce qui motive son

activité (besoin de se nourrir) et ce qui dirige son action (préparer un équipement pour la pêche) sont deux choses différentes.

Cette mise en avant des actions constitutives de l'activité concrète pose la question de leur relation. Il ne s'agit pas d'un processus additif. Les actions ne sont pas une unité particulière qui serait incluse dans la structure de l'activité. L'activité humaine ne peut exister autrement que sous la forme d'actions ou de chaînes d'actions. Autrement dit, quand un processus concret prend place devant nous, de manière externe ou interne, selon le point de vue de ses relations avec un mobile, il apparaît comme une activité, mais quand il est subordonné à un but, il apparaît comme une action ou l'accumulation d'une chaîne d'actions. De plus, une seule et même action peut être la réalisation de différentes activités et peut-être transférée d'une activité à l'autre. L'inverse est également vrai puisqu'un même mobile peut donner lieu à de nombreuses actions.

Cette thèse a pour objectif d'étudier l'efficacité d'un enseignement d'un point de vue didactique. Autrement dit, elle vise à observer certaines modalités de l'enseignement sur des objectifs d'apprentissages spécifiques et prédéterminés. Nous considérons que ces objectifs sont atteints à travers la réalisation d'actions par les élèves, structurées par l'enseignement et répondant à des buts prescrits par la tâche et l'enseignant. Il ne s'agit donc pas d'étudier l'activité du sujet en cherchant les facteurs liés à son mobile, mais plutôt d'étudier certaines actions relatives aux objectifs d'apprentissage et dont les buts sont explicitement donnés par la tâche de l'enseignement au sein du système d'activité considéré.

Pour Engeström (2001, p.134) l'action du ou des sujets représente « la partie émergée de l'iceberg ». C'est en effet la partie du système d'activité la plus saillante et la plus facile à appréhender au niveau des analyses. Cependant ces observations ne peuvent exister en dehors du contexte de l'activité (figure 9).

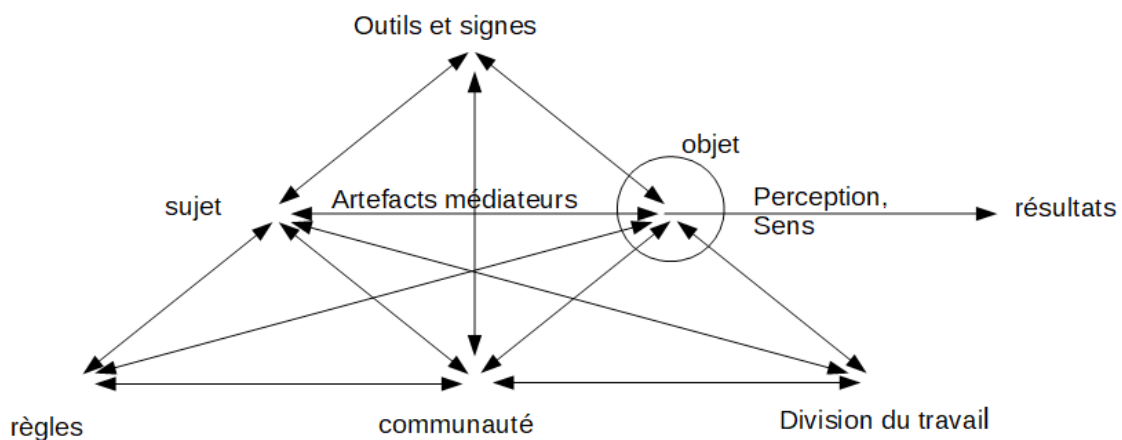


figure 9: Deuxième génération de théorie de l'activité (notre traduction d'Engeström, 2001)

Dans sa représentation (figure 9) du système d'activité développé par Leontiev, Engeström (2001) représente ces actions dans la partie supérieure du triangle. En effet, Leontiev (1981) met au cœur du système l'objet de l'activité, les instruments et le sujet qui correspondent aux actions d'un ou de plusieurs sujets. Le sujet correspond à un individu ou un groupe d'individus que l'observateur a choisi et dont l'activité est observée. L'objet représente la matière initiale ou l'environnement que l'activité va transformer, il correspond à la tâche à accomplir ou à l'objectif à atteindre. Les instruments peuvent être tous les outils matériels ou symboliques qui médiatisent l'activité. Il situe ensuite ces actions dans un système d'activité composé de différents éléments (figure 9). La communauté est un ensemble de sujets qui partagent le même objet. C'est ce partage qui les distingue d'autres communautés. La division du travail comprend la répartition horizontale des actions et la répartition verticale des pouvoirs et des statuts, au sein de la communauté. Enfin les règles font référence à toutes les normes, conventions, standards ou habitudes qu'elles soient implicites ou explicites, qui maintiennent et régulent les actions et les interactions à l'intérieur du système (Engeström, 2001).

Les actions décrites ci-dessus s'expriment à travers des opérations qui renvoient aux méthodes spécifiques de réalisation de leurs buts (Leontiev, 1981). En effet tout but, est objectivement accompli dans une certaine situation. Dans la conscience du sujet, le but peut s'abstraire de cette situation, mais ce n'est pas le cas de ses actions. Leontiev (1981) décrit donc qu'en dépit de son caractère intentionnel (ce qui doit être fait), l'action possède également un aspect opérationnel (comment, par quels moyens cela peut être fait) qui est déterminé non par le but en lui-même mais par les conditions objectives de son achèvement. Comme dans le cas de l'activité et de l'action, les opérations ne peuvent pas être considérées en dehors de l'action et de son but.

Pour Leontiev (1981) toute opération est le résultat de la transformation d'une action qui se traduit par son inclusion dans une autre action. Il s'appuie pour expliquer ce processus sur un exemple à propos de la conduite automobile et du changement de vitesse. Au départ pour un conducteur qui apprend à conduire, changer de vitesse est une action dont le but est le changement de régime du moteur. Par la suite, le conducteur va l'automatiser (c'est-à-dire qu'elle va devenir une opération) et l'inclure dans une action plus générale par exemple doubler une voiture. Dans ce cas, changer de vitesse devient une opération pour accomplir l'action (doubler une voiture) et de répondre au but se déplacer le plus vite possible entre un point A et un point B. Pour le conducteur le changement de vitesse devient automatique, il n'est plus conscient de réaliser cette action qui est devenue une opération. Le même processus pourrait être décrit à un niveau différent en considérant par exemple le changement de vitesse et appuyer sur l'embrayage.

Dans le cadre de cette thèse, dans une perspective idéale, le même processus est visé à propos de la reconstitution du fonctionnement d'un système à partir d'une chaîne énergétique. Nous considérons cette reconstitution comme une action que les élèves doivent apprendre. L'objectif est qu'à l'issue de l'enseignement, ils reconstruisent les systèmes énergétiques automatiquement, chaque fois qu'ils sont confrontés à un problème lié aux enjeux énergétiques. Prenons par exemple, une discussion sur la transition vers un « tout électrique » au niveau du transport. Imaginons une personne qui revendiquerait le passage à des véhicules tout électrique et une personne en face qui lui répondrait instantanément « mais comment on la produit, l'électricité, si c'est pour brûler du charbon ça n'en vaut pas la peine ». Nous considérons que la seconde personne a reconstitué un système énergétique inconsciemment en tant qu'opération, pour réaliser l'action débattre sur l'énergie avec son interlocuteur.

Galperine, (1966, cité par Amigues, Azoulay, & Loigerot, 2002), considère qu'il existe trois types d'opérations qui renvoient à des conditions différentes. Les opérations *d'orientation* de l'action concernent les éléments essentiels de la situation sur lesquels porteront l'action et les décisions prises. Pour Pastré, (2002), elle consiste pour un opérateur à repérer les traits de la situation (prescriptions, ou aux dimensions matérielles et temporelles, etc.) qui vont servir à guider l'action. Les opérations *d'exécution* de l'action concernent son déroulement temporel ou la manière dont les moyens utilisés s'enchaînent. Enfin, les opérations de *contrôle* de l'action, apparaissent en cours de réalisation et portent sur les indicateurs de l'action (Amigues, Azoulay, & Loigerot, 2002). Pastré (2002) précise que les opérations d'exécution et de contrôle sont bien visibles pour l'analyste, alors que les opérations d'orientations le sont généralement moins.

Dans cette étude, nous avons considéré que l'action - reconstituer un système énergétique à l'aide d'une chaîne énergétique - s'exprimait à travers différentes opérations. L'identification de l'objet de départ et des éléments du système ont été considérés comme des opérations *d'orientation* de l'action. Le dessin des flèches et des symboles du modèle constitue des opérations *d'exécution* de l'action. Et enfin, le discours des élèves sur les systèmes qu'ils sont en train de reconstituer est observé comme des opérations de *contrôle*.

Chacune de ces opérations peut constituer au début de l'enseignement une action pour les élèves. En effet, n'étant pas familiarisés avec le modèle de chaîne énergétique, ils peuvent considérer chaque opération (identifier l'usage de l'objet de départ et les éléments du système, dessiner les symboles du modèle et les flèches) comme une action consciente répondant à un but indépendant. C'est pourquoi nous avons défini ces catégories d'opérations à priori à partir des conditions de la tâche explicitement données aux élèves. En effet, il ne nous semble pas possible, à

partir de nos données (questionnaires, vidéos des élèves en classe), de déterminer expérimentalement la représentation des élèves de ces conditions. De plus, nous ne pouvons pas distinguer sur nos données une action consciente (par exemple « identifier l'objet de départ ») d'une opération inconsciente et automatisée (par exemple « identifier l'objet de départ »).

C'est l'analyse des actions et des opérations correspondantes qui sera décrite dans la suite de la thèse. Cette centration sur les actions et les opérations implique de s'intéresser aux buts et conditions auxquels ils répondent, c'est-à-dire à la tâche dont la notion est présentée dans le paragraphe suivant.

3.3.3 -Présentation de la notion de tâche

Leontiev (1981, p. 102) définit la tâche comme « le but à atteindre dans des conditions spécifiques ». De manière générale, la tâche est donc toujours associée à un objet, qu'il s'agit de transformer et qui renvoie au but à atteindre (Rogalski, 2008). Elle peut être décrite a minima en terme de résultat, c'est-à-dire comme l'état de l'objet une fois la tâche exécutée. Le but à atteindre peut également être décrit en termes procéduraux. Ces tâches peuvent être décomposées en tâches plus élémentaires ou sous-tâches ce qui revient à décrire des procédures plus ou moins détaillées. Pour Leplat et Hoc (1983), les conditions sont exprimables selon trois points de vue décrits comme des contraintes de nature différentes.

Le premier point de vue concerne les contraintes sur les états à parcourir qui conduisent à l'état final du but. Elles correspondent à une définition de l'état initial et/ou des états intermédiaires, qui se traduit souvent par un découpage temporel et une décomposition des états en valeur de variables qui les caractérisent.

Le deuxième point de vue traite des contraintes sur les opérations admissibles pour parcourir ces états. Elles se présentent sous forme de règles élémentaires que Leplat et Hoc (1983) nomment dispositif associé à la tâche.

Enfin, le troisième point de vue correspond aux contraintes sur la procédure à mettre en œuvre pour réaliser la tâche. Elles correspondent à la combinaison des opérations citées ci-dessus. En effet, le dispositif associé à la tâche doit être mis en place d'une certaine manière, et suivre une certaine procédure.

Ces tâches sont conçues par celui qui en commande l'exécution. Ce dernier peut être le sujet lui-même ou un prescripteur extérieur (Rogalski, 2008). Elles préexistent à l'activité qu'elles visent à orienter et à déterminer de façon plus ou moins complète (Leplat & Hoc, 1983). Elles peuvent être décrites au sujet de manières différentes avec plus ou moins de détails. Par exemple, une tâche dont la description est complète ne requerra du sujet qu'une activité d'exécution, alors qu'une

description incomplète demandera au sujet une activité d'élaboration de la procédure. Cependant, une description peut paraître complète à un sujet et pas à un autre (en fonction de la façon dont il a intériorisé les procédures précédemment). Ces descriptions renvoient donc à une conception du sujet auquel elles s'adressent. Ceci a conduit Leplat et Hoc (1983) à distinguer tâche prescrite et tâche effective. La tâche prescrite correspond à ce qui est présenté au sujet et la tâche effective correspond à la représentation que le sujet s'en fait. Pour ces auteurs, la tâche effective correspond à un modèle extériorisé ou intériorisé de l'activité qui se valide progressivement par confrontation avec des traces observables de l'activité.

La tâche prescrite comme la tâche effective peut se décrire selon les caractéristiques données plus haut, c'est-à-dire par un but à atteindre dans des conditions spécifiques (Leplat, 2004). Dans le cas de la tâche prescrite, ces conditions sont données de manière externe au sujet. Dans le cas de la tâche effective, elles correspondent au but que s'est assigné le sujet et aux conditions qu'il a effectivement prises en compte.

Pour Rogalski (2008) cette différence entre tâche prescrite et tâche effective apparaît particulièrement dans les situations scolaires quand on prend en compte le sujet élève. Pour l'enseignant, qui prescrit la tâche, la visée de production de l'activité de l'élève est son apprentissage. Pour l'élève ce n'est pas forcément le cas, et il peut interpréter la tâche uniquement sur le registre de l'accomplissement de manière indépendante des apprentissages visés (Bautier, 2006, cité par Rogalski, 2008). L'auteur insiste sur cette distinction au niveau du mobile de l'activité et donc du but des actions. Nous considérons que ce décalage entre les buts du prescripteur et ceux du sujet donne un statut particulier à certaines conditions de la tâche.

Pour Leplat (2003), la tâche comprend toutes les conditions, explicitées ou non, dans lesquelles s'exerce l'activité. Elle englobe les conditions physiques, techniques, organisationnelles, sociologiques, économiques etc. En revanche, les analyses de la tâche qu'il développe (Leplat et Hoc, 1983) sont centrées sur la façon dont ces conditions sont exprimables en terme d'états, de procédure ou d'opération. Pour Savoyant (2006), ces conditions renvoient plutôt à la situation dans laquelle l'activité va se déployer et aux facteurs qui vont déterminer les opérations. Il relie notamment ces conditions à la structure conceptuelle de la situation développée par Pastré (2005 cité par Savoyant, 2006). Pour Engeström (2001), certaines de ces conditions (règles, division du travail et communauté) appartiennent au système d'activité et renvoient donc plutôt à la tâche effective.

Dans le cadre de cette thèse, bien que considérant à la suite de Leplat (2003) que tout ce qui peut modifier l'activité des sujets constitue une condition de la tâche, nous avons spécifié certaines

conditions, afin de mieux cerner les variables analysées et parce qu'elles nous semblaient relever d'aspects particuliers dans le cas de l'analyse des actions des élèves. Ces conditions de la tâche, qui ont été spécifiées, correspondent aux états, opérations et procédures décrites aux élèves, ainsi que les propriétés du matériel (Leplat et Hoc, 1983). Les premières correspondent à un descriptif plus ou moins complet de la tâche à réaliser et peuvent donc être analysées en classe comme dans le travail.

Nous avons considéré dans cette étude qu'analyser la tâche prescrite des élèves en terme d'états, de procédures ou d'opérations revenait à l'analyse des consignes orales et écrites. Les propriétés du matériel nous paraissent particulières dans le cas de l'activité d'élève. Nous pensons en effet que comme le mobile de l'activité et le but des actions visés par l'enseignant peuvent être différents de ceux de l'élève (Rogalski, 2008), ces types de conditions sont moins interconnectés que dans le cas d'une situation de travail. En effet, dans les situations de travail, les propriétés de l'objet de la tâche sont définies presque exclusivement par le but prescrit de cette dernière, même si celui-ci dépend de certains facteurs de la situation (par exemple choix du matériau travaillé en fonction du prix de sortie du produit). En formation ou à l'école, ces propriétés du matériel sont choisies par l'enseignant ou le formateur, dans le but que les élèves apprennent ce qui est visé en réalisant la tâche sur ce matériel. Au niveau des conditions de la tâche qui portent sur les propriétés du matériel, ces choix peuvent concerner par exemple les registres sémiotiques utilisés, l'agencement des informations données aux élèves, mais aussi la situation de référence utilisée. Dans notre cas, ce sont les systèmes que les élèves vont devoir reconstruire à l'aide du modèle de chaîne énergétique qui vont constituer ces situations de référence. C'est la façon dont ces systèmes vont conditionner les actions des élèves qui va être étudiée. La partie suivante décrit les outils théoriques utilisés dans cette thèse pour articuler les conditions spécifiques de la tâche et les actions et opérations des élèves.

3.3.4 -Tâche – actions (Savoyant, 2006)

L'objectif de cette thèse, nous l'avons dit, est d'étudier les effets de la modification d'une condition précise (le type de système utilisé comme situation de référence) d'une tâche d'enseignement sur les apprentissages des élèves concernant une action spécifique (reconstituer un système énergétique). Il s'agit donc d'observer et d'analyser comment un sujet développe son action pendant la réalisation de celle-ci en fonction d'une condition de la tâche : l'utilisation de systèmes biotiques. Dans cette perspective nous nous appuyons sur le modèle de formation des actions de travail que Savoyant (2006) a développé à partir des travaux de Galperine (1966). Il prend comme point de départ l'analyse de tâche et sa définition comme « un objectif à atteindre

dans des conditions déterminées ». Pour l'auteur, parler de l'objectif à atteindre revient à parler de l'activité en terme d'actions et parler des conditions revient à parler de la situation dans laquelle l'activité va se déployer et des facteurs qui vont en déterminer le contenu opérationnel. Ce qui renvoie à la structure hiérarchique de l'activité de Leontiev (1981) dans laquelle les actions sont subordonnées à un but et les opérations dépendent des conditions.

Savoyant (2006) propose à partir de cette définition un premier niveau d'analyse construit à partir de l'articulation tâche-action. Il envisage qu'à partir du repérage des tâches et des actions correspondantes, il est possible d'identifier et d'analyser des actions-performances. Il considère que c'est le même niveau d'analyse, lorsque les tâches et les actions sont décomposées en tâche et en actions plus élémentaires. Ces décompositions conduisent à des procédures plus ou moins détaillées, qui concernent la partie exécution de l'action, laquelle assure la transformation de la situation (ibid.). Bien qu'insuffisantes selon lui pour analyser l'activité, il considère ces analyses de la performance comme l'un des matériaux de base pour évaluer l'activité. La performance est en effet pour lui un critère décisif de réussite de l'action.

Afin de pouvoir analyser l'activité, l'auteur considère comme nécessaire d'étudier les conditions dans lesquelles les tâches sont proposées au sujet. Pour lui, c'est sur ces conditions que portent les savoirs de l'action. Il s'agit de comprendre comment les procédures prescrites sont fondées, justifiées et déterminées par les propriétés des objets, les variables de la situation et leurs relations.

Il définit l'ensemble de ces propriétés, variables, et relations par ce que Galperine (1966) nomme la base d'orientation de l'action. Il s'agit « d'un système ramifié de représentations de l'action et de son produit, des propriétés du matériel de départ, et de ses transformations successives, plus toutes les informations dont se sert pratiquement le sujet pour exécuter l'action » (Galperine, 1966, cité par Savoyant, 2006, p.3). Une des caractéristiques de cette base d'orientation est son degré de généralisation. L'importance de ce degré correspond à la variabilité des conditions de réalisation de l'action que la base d'orientation permet de traiter (Savoyant, 2006). Cette base d'orientation est associée à une tâche et à l'action correspondante, mais elle se construit dans une situation qui comporte plusieurs tâches. Ce sont les propriétés et les relations des variables de la situation qui génèrent l'ensemble des tâches, des actions et des bases d'orientation correspondantes (ibid.)

À la suite de l'analyse de ces deux articulations, l'articulation tâche-action (actions-performances) et l'articulation tâche-situation (base d'orientation), l'auteur s'intéresse à l'analyse de l'activité. Il considère l'analyse de l'activité comme la caractérisation de son niveau de développement sur deux plans. Le premier plan est celui de l'*élaboration* de l'action (savoir et

comprendre ce qu'il faut faire) et le second celui de l'*assimilation* de l'action (le faire de façon efficiente).

Pour analyser la partie *élaboration* de l'action, l'auteur s'appuie sur l'analyse des opérations d'orientation. Il s'agit des opérations à travers lesquelles le sujet va se représenter le but à atteindre, comme but de son action et les conditions de la tâche. Il est possible de l'envisager comme la constitution d'une base d'orientation par le sujet pour répondre à la tâche (Savoyant, 2006). Cette élaboration de l'action se rapproche de la distinction tâche prescrite/tâche effective (Leplat et Hoc, 1983). On peut distinguer la base d'orientation dégagée à partir de l'analyse de la tâche et celle effectivement utilisée par les sujets (Ibid).

Le sujet après avoir élaboré l'action dispose donc d'une base d'orientation qui lui permet d'engager ses actions. Mais il faut ensuite qu'il réalise effectivement l'action. C'est l'*assimilation* de l'action selon Savoyant (2006). Il s'agit d'un processus d'intériorisation. Cette intériorisation concerne les opérations et non les connaissances. Cela correspond au processus dans lequel le sujet va progressivement automatiser, réduire, court-circuiter et complètement intérioriser sous forme mentale les opérations. Galpérine (1966, cité par Savoyant 2006) décrit ce processus comme des étapes successives caractérisées par des modifications de la forme de l'action (matérielle ou matérialisée, verbale interne, verbale externe, mentale), son automatisation (enchaînement des opérations plus fluide et rapide), sa réduction (certaines opérations peuvent être « court-circuitées ») et sa généralisation (prise des informations pertinentes uniquement et dégagement des invariants).

L'objectif de cette thèse est donc d'observer l'effet de la condition de la tâche « système biotique » sur les processus d'élaboration et d'assimilation de l'action « reconstituer un système énergétique » par les élèves. Pour ce faire un modèle de l'activité des élèves a été adapté à la situation étudiée, c'est ce modèle qui est présenté dans la partie suivante.

3.3.5 -Modèle d'analyse de l'activité des élèves dans le cadre d'un enseignement fondé sur une approche systémique de l'énergie.

Dans une perspective d'analyse de l'efficacité d'un enseignement, nous avons cherché à déterminer les facteurs d'une situation d'enseignement qui pouvaient influencer l'activité des élèves et donc le ou les résultat(s) produit(s) (au sens de Leplat, 2003). À ces fins nous nous sommes appuyés sur la « structure générale de l'activité » (Leontiev, 1981). Dans cette structure, l'activité est associée à un mobile conscient ou non qui répond à un besoin du sujet de l'activité. Les actions quant à elles sont subordonnées à des buts conscients. Et enfin les opérations renvoient aux conditions de réalisation d'un but concret. Nous considérons que le mobile de l'activité relève plutôt des caractéristiques du sujet et de la situation, que les buts conscients sont définis par la tâche et que

les conditions de réalisation du but sont en fait les conditions de la tâche. Le modèle développé (figure 10) repose donc sur l'idée que les facteurs de la situation, de la tâche et de ses conditions vont potentiellement affecter l'activité des sujets.

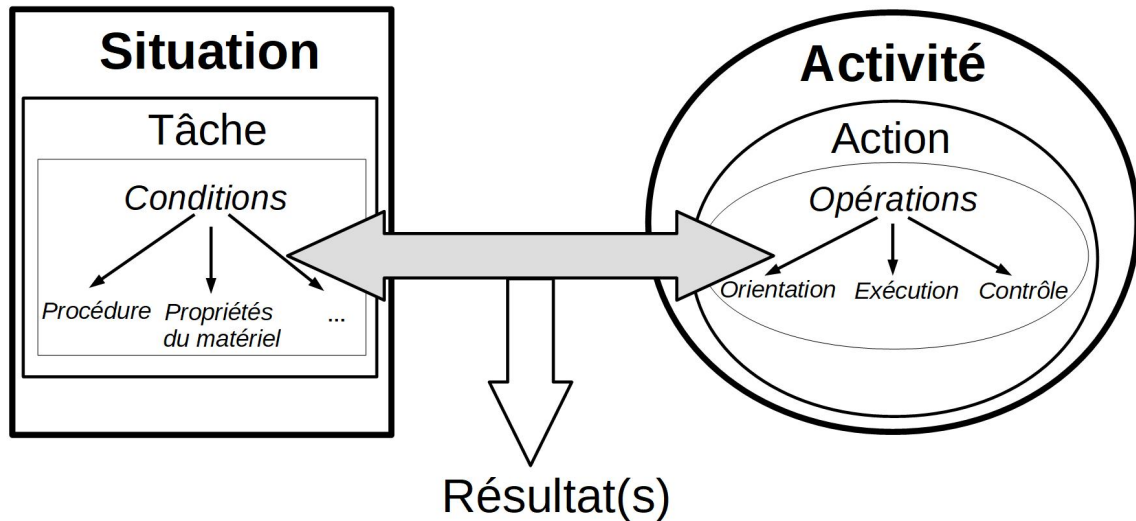


figure 10 : modèle d'analyse de l'activité des élèves

La figure 10 représente ce que nous avons considéré comme l'ensemble des liens entre les facteurs de la situation et l'activité du sujet qui vont permettre la production d'un ou plusieurs résultats. Le côté gauche de la figure représente la situation dans laquelle va se développer l'activité du sujet. Elle est composée d'une situation, qui peut comporter plusieurs tâches (Savoyant, 2006). Chacune de ces tâches est définie par un but à atteindre dans des conditions spécifiques (Leontiev, 1978). Ces conditions portent d'une part sur la description des contraintes en terme d'états, d'opérations ou de procédures (Leplat et Hoc, 1983), mais aussi sur les propriétés matérielles de l'objet ainsi que tous les éléments de la situation qui peuvent influencer sur l'activité (Leplat, 2004). Nous avons décidé de ne représenter sur la figure que la description des contraintes en terme de procédures, car c'est cette description qui nous semble la plus proche de la tâche donnée aux élèves. Nous avons choisi de représenter les propriétés du matériel, qui incluent la variable principale (utilisation de systèmes biotiques) de cette étude. En revanche les autres conditions ont été représentées par des points de suspension signifiant qu'elles ne sont pas observées directement, mais qu'il est reconnu qu'elles exercent un effet sur l'activité. La partie droite de la figure représente les différents éléments de l'activité du sujet qui peuvent être influencés par une modification des facteurs de la situation. Nous avons considéré que les facteurs de la situation pouvaient agir au niveau de l'activité, de l'action ou des opérations (Leontiev, 1978), qui sont

constituées d'opérations d'orientation, d'exécution et de contrôle (Galperine, 1966, cité par Savoyant, 2006). Enfin la flèche est une représentation d'ensemble qui englobe différents effets potentiels. Les facteurs de la situation influencent le mobile du sujet et donc son activité (Rogalski, 2008). Les facteurs de la tâche influencent le but et donc les actions du sujet alors que les facteurs au niveau des conditions de la tâche influencent les opérations d'orientation, d'exécution et de contrôle de l'action (Leontiev, 1978).

Ces différents facteurs et effets prennent place ensemble au sein de la relation entre activité et situation. Cependant, en fonction du facteur dont l'effet est recherché, il nous paraît nécessaire de faire un focus sur une des relations. C'est sur une condition spécifique de la tâche que porte notre étude. Les observations ont donc porté sur les opérations d'orientation, d'exécution et de contrôle, ainsi que sur le résultat de l'action qu'elles ont générée. L'analyse des résultats a été utilisée pour observer des actions performances, l'élaboration et l'assimilation de l'action (Savoyant, 2006).

Les actions performances et les opérations correspondantes ont été analysées avant et après l'enseignement (autrement dit, c'est la progression des élèves sur ces actions et opérations qui a été observée). Nous avons considéré que l'évolution de ces actions performances permettait une première approche de l'élaboration et de l'assimilation de l'action : l'évolution des opérations d'orientation au niveau de l'élaboration et celle des opérations d'exécution au niveau de l'assimilation.

L'analyse de ces actions et opérations pendant l'enseignement permet d'observer plus finement ces élaborations et assimilations. Elle permet également de reconstruire certains éléments de la base d'orientation (Galperine 1966, cité par Savoyant, 2006) développée par les élèves et de prendre en compte les opérations de contrôle.

L'objectif est donc d'observer l'effet de la condition spécifique (système biotique) de la tâche sur les opérations et les actions d'un élève, au sein du système de déterminants de l'activité de ce dernier.

Ancrés dans une perspective d'éducation à l'énergie que nous avons associée à une approche systémique de cette notion, nous avons considéré la triangulation systémique et donc la reconstitution des systèmes étudiés comme l'objectif principal d'apprentissage. L'objectif est donc d'étudier les conditions du développement de l'action « reconstituer un système énergétique ».

La figure 11 représente la façon dont nous avons opérationnalisé ce modèle à partir des objectifs d'apprentissages et des conditions d'enseignement étudiées

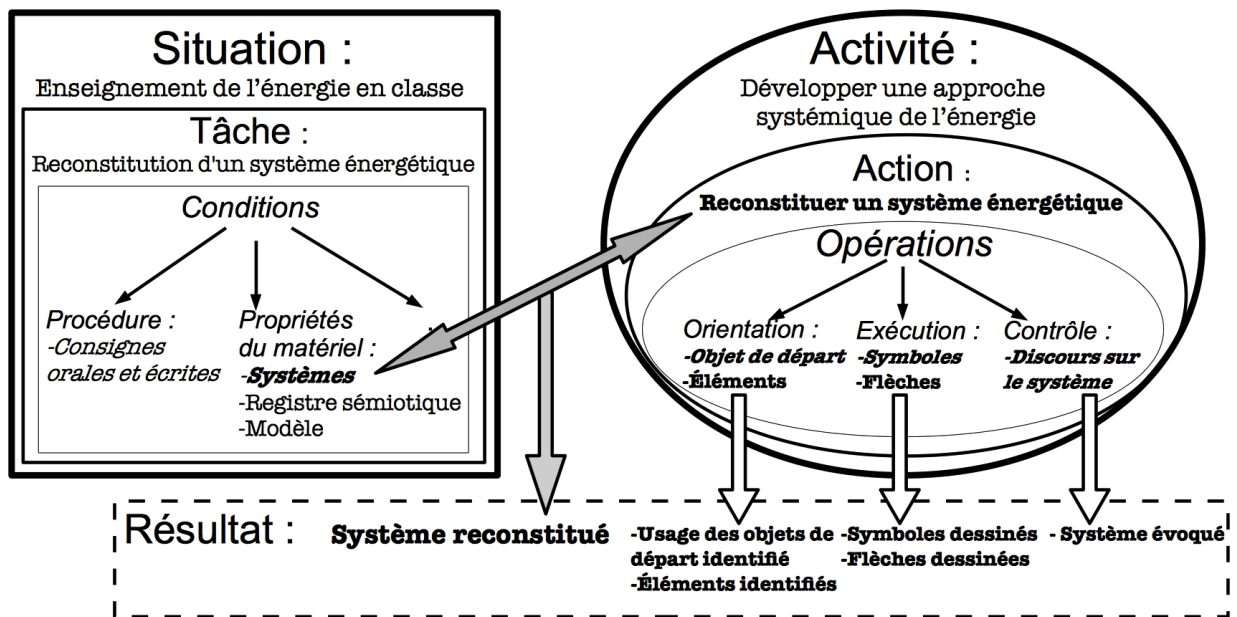


Figure 11 : modèle d'analyse de l'activité des élèves dans une situation d'enseignements centrée sur une approche systémique de l'énergie.

La figure 11 représente les facteurs de la situation d'enseignement étudiée qui peuvent avoir un effet sur l'activité de développement d'une approche systémique de l'énergie par les élèves.

La partie gauche de la figure représente la situation d'enseignement. Dans cette situation il est demandé aux élèves de réaliser des tâches dans lesquelles ils doivent reconstituer des systèmes énergétiques. Cette reconstitution correspond au but de la tâche (Leontiev, 1978). Les conditions dans lesquelles ces tâches doivent être réalisées comprennent les consignes écrites et orales qui renvoient à une description des contraintes en terme de procédures (Leplat et Hoc, 1983). Ces conditions correspondent également aux propriétés du matériel. Parmi ces propriétés du matériel, nous avons mis en avant les systèmes représentés (systèmes biotiques et domestiques ou systèmes domestiques) qui constituent la condition principale de la tâche étudiée dans cette étude. Nous avons également pris en compte les registres sémiotiques (dessin, photo, graphique, tableau...) dans lesquels la tâche est présentée aux élèves, ainsi que le modèle utilisé qui correspond à la demande dans la tâche d'utiliser un modèle de chaîne énergétique ou non. Dans la partie droite de la figure, nous avons représenté l'activité des élèves. Cette activité répond à un mobile propre à chaque élève qui est difficile à expliciter par le chercheur et parfois par le sujet lui-même. Nous avons considéré ce mobile du point de vue de l'enseignement prescrit, n'ayant pas vraiment accès au mobile réel des élèves. Pour nous cette activité correspond au développement d'une approche systémique de l'énergie. Les actions qui sont subordonnées au but de la tâche (Leontiev, 1981) ont été nommées

« reconstituer un système énergétique ». Cette action est réalisée au sein d'un système d'activité qui comprend en plus de l'action, la division du travail, la communauté et les règles (Leontiev, 1981).

Les opérations décrites pour cette action correspondent au cas où le système doit être reconstitué à l'aide d'un modèle de chaîne énergétique. Dans ce cas, nous avons considéré que les opérations *d'orientation* de l'action (Galperine, 1966 cité par Savoyant, 2006) sont celles qui portent sur l'identification de l'usage de l'objet de départ et des éléments qui composent le système. C'est la capacité des élèves à identifier ces éléments qui va guider la réalisation de l'action « reconstituer un système énergétique ». Les opérations *d'exécution* de l'action (correspondant à ce que va faire l'élève pour reconstituer le système, *ibid.*) sont celles pour dessiner les symboles et les flèches du modèle. Enfin, le discours des élèves sur ces systèmes a été considéré comme des opérations de *contrôle* de ces actions (*ibid.*). Il correspond en effet pour ces derniers à un moyen de justifier, corriger, expliquer, ou réfuter ce qui a été fait. On peut imaginer le cas où le système devrait être reconstitué sans utilisation d'une chaîne énergétique. Nous considérons dans ce cas, que les conditions « procédure » et « modèle » seront modifiées, ainsi que les opérations qui renvoient à ces conditions. Pour nous ce sont les opérations *d'exécution* qui seraient modifiées et pourraient devenir par exemple écrire le nom des éléments du modèle ou dire le nom des éléments du modèle.

La partie inférieure de la figure représente les résultats à partir desquels nous avons reconstitué les actions et opérations des élèves. Comme dans le cas des opérations, les résultats décrits correspondent à la réalisation d'une chaîne énergétique. Les actions des élèves ont été observées à partir d'une analyse du système complet qu'ils ont reconstitué. Le système reconstitué a été décomposé en différentes parties, qui renvoient à différentes opérations. L'usage de l'objet de départ (chauffer, éclairer ou se déplacer) et les éléments identifiés nous ont permis de reconstituer les opérations *d'orientation*. Les flèches et les symboles dessinés ont permis d'observer les opérations *d'exécution*. Enfin les parties du système évoquées par les élèves nous ont permis de reconstituer certaines de leurs opérations de *contrôle*.

Enfin, les flèches représentent les liens observés dans cette étude. Cette étude est centrée sur l'effet d'une condition de la tâche. Nous avons donc cherché son effet sur les opérations

Une modification des opérations entraîne aussi une modification des actions et de l'activité au sens où il ne s'agit pas d'entités séparées (Leontiev, 1981). Dans le cas de la reconstitution d'un système énergétique à l'aide d'un modèle de chaîne, nous avons fait l'hypothèse que la condition « type de système représenté (biotique ou domestique) » aurait un effet sur l'opération d'orientation. En effet, c'est au niveau de l'identification de l'usage de l'objet de départ et des éléments que le type de système (biotique ou pas) qu'il est demandé de reconstituer nous semble pouvoir avoir un

effet. Les conditions, procédures et modèle utilisés nous semblent avoir un effet potentiel sur les opérations d'exécution, alors que la condition registre sémiotique dans lequel la tâche est présentée nous semble pouvoir avoir un effet sur l'ensemble des opérations.

La figure 11 représente un modèle de l'activité des élèves et il convient de présenter certaines de ses limites. L'ensemble des opérations que les élèves peuvent réaliser n'a pas été représenté sur la figure. Seules les opérations que nous avons jugées les plus importantes a priori ont été analysées. De plus, certains processus décrits comme des opérations peuvent être des actions pour les élèves. En effet, pour les élèves qui apprennent à reconstituer un système chaque opération peut constituer une action en soi.

L'objectif général est donc d'observer l'effet de la condition « type de système (biotique ou pas) » de la tâche sur le développement de l'action « reconstituer un système énergétique ». Pour analyser ce développement, nous avons observé des actions performances, l'élaboration et l'assimilation de l'action (Savoyant, 2006).

L'analyse des actions performances et des opérations correspondantes a été conduite avant et après l'enseignement. Elles correspondent à l'analyse des systèmes que les élèves ont reconstitués, aux objets de départ et éléments qu'ils ont identifiés, et aux flèches et symboles qu'ils ont dessinés dans le cas de l'utilisation d'une chaîne énergétique. Nous avons considéré que l'observation de l'évolution des actions et opérations avant et après l'enseignement permettait une première approche de l'élaboration et de l'assimilation de l'action. L'élaboration de l'action a été observée à travers l'évolution des opérations d'identification de l'objet de départ et des éléments du système. Nous avons accepté de réduire l'élaboration de l'action à ces deux opérations, alors qu'il doit en exister d'autre. Ce choix repose sur le fait que la tâche scolaire présentée aux élèves est descriptible de manière quasi-complète et qu'elle requerra du sujet principalement une activité d'exécution (Leplat et Hoc, 1983). L'observation de l'évolution des opérations « dessins des symboles et des flèches » après l'enseignement a été utilisée pour approcher l'assimilation de l'action.

Une seconde manière d'approcher l'assimilation et l'élaboration de l'action a été d'observer les actions et les opérations des élèves pendant l'enseignement. Dans cette perspective les analyses ont également porté sur les opérations d'orientation et d'exécution (identification de l'objet de départ et des éléments et dessin des symboles et des flèches), mais également sur les opérations de contrôle, c'est-à-dire sur le discours des élèves sur les systèmes étudiés, que nous avons considérées comme comprenant des indicateurs de l'action (Amigues, Azoulay, & Loigerot, 2002). Nous avons également considéré que ce discours contenait des éléments permettant de reconstruire une partie de

la base d'orientation de l'action (Galperine, 1966, cité par Savoyant, 2006) développée par les élèves.

La partie suivante présente la problématique et les hypothèses développées à partir de ce cadre et qui ont été testées dans cette thèse.

4 - Questions de recherche et hypothèses

Cette thèse vise à apporter des éléments de réponse à propos de l'efficacité d'un enseignement adoptant une approche systémique sur les apprentissages d'élèves de CM1 concernant les enjeux de société liés à l'énergie. Pour cela, elle propose de répondre à la question de recherche suivante :

La condition « usage de systèmes biotiques » dans plusieurs tâches de séances sur l'énergie augmente-t-elle l'efficacité de cet enseignement sur les apprentissages des élèves de cycle 3 concernant l'action « reconstituer des systèmes énergétiques complets » ?

Cette efficacité a été étudiée à partir de l'analyse des progressions des élèves suite à l'enseignement et de leurs actions pendant l'enseignement. Au niveau des progressions, l'étude propose de répondre à la question :

Question 1 : La condition « usage de systèmes biotiques » dans plusieurs tâches de séances sur l'énergie augmente-t-elle l'efficacité de cet enseignement sur les progressions des élèves de CM1 après sa mise en œuvre concernant l'action « reconstituer des systèmes énergétiques complets » ?

Les progressions des élèves ont été observées sur deux types de tâches, qui se traduisent par la formulation de deux questions.

Question 1.1 : La condition « usage de systèmes biotiques » dans plusieurs tâches de séances sur l'énergie augmente-t-elle l'efficacité de cet enseignement sur les progressions des élèves de CM1 après sa mise en œuvre concernant l'action « reconstituer des systèmes énergétiques complets à partir du modèle de la chaîne énergétique » ?

Pour répondre à cette question, cette étude propose de tester les hypothèses suivantes :

Hypothèse 1 : Les élèves progressent à l'issue de l'enseignement pour un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau de l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète », lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ».

Cette hypothèse a également été testée en ne prenant en compte que le type de certains systèmes, à travers le test des deux sous-hypothèses suivantes.

Hypothèse 1' : Les élèves progressent à l'issue de l'enseignement pour un plus grand nombre de *systèmes biotiques* présentés dans le questionnaire au niveau de l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète », lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ».

Hypothèse 1" : Les élèves progressent à l'issue de l'enseignement pour un plus grand nombre de *systèmes domestiques* présentés dans le questionnaire au niveau de l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète », lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ».

Hypothèse 2 : Les élèves progressent plus à l'issue de l'enseignement sur certains systèmes (aux caractéristiques particulières) présentés dans le questionnaire au niveau de l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète » lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ».

Les deux hypothèses suivantes concernent les opérations liées à l'action. À partir de notre analyse a priori (modèle de l'activité proposé), nous avons considéré que l'usage de systèmes biotiques dans les tâches de la séquence devrait avoir un effet sur les deux opérations d'orientation : identifier l'usage des objets de départ et identifier les éléments d'un système. Nous avons également considéré qu'il ne devrait pas présenter d'effet sur les opérations d'exécution « dessiner : les symboles et les flèches du modèle ». Ceci nous a conduit à tester les deux hypothèses suivantes.

Hypothèse 3 : Les élèves progressent à l'issue de l'enseignement pour un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau des deux opérations d'orientation (identifier : l'usage de l'objet de départ et les éléments du système), lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ».

Hypothèse 3' : Les élèves progressent à l'issue de l'enseignement sur le même nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau des deux opérations d'exécution (dessiner : les symboles et les flèches du modèle), lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ».

Dans l'analyse de la deuxième tâche du questionnaire, les élèves devaient reconstituer des systèmes complets sans utiliser le modèle de chaîne énergétique. À propos de cette tâche, cette étude propose de répondre à la question suivante.

Question 1.2 : La condition « usage de systèmes biotiques » dans plusieurs tâches de séances sur l'énergie augmente-t-elle l'efficacité de cet enseignement sur les progressions des élèves de CM1 après sa mise en œuvre concernant l'action « reconstituer des systèmes énergétiques complets » *sans le modèle de la chaîne énergétique ?*

Comme pour la question précédente, nous proposons de répondre à cette question en testant les hypothèses suivantes :

Hypothèse 4 : Les élèves progressent à l'issue de l'enseignement sur un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau de l'identification des sources d'énergies et des ressources naturelles, lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ».

Hypothèse 5 : Les élèves progressent à l'issue de l'enseignement sur un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau de l'identification des usages des objets de départ, lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ».

L'efficacité de l'usage de systèmes biotiques dans les tâches de séances sur l'énergie a également été étudiée à travers les actions des élèves pendant l'enseignement. Ces analyses ont pour but de répondre aux questions de recherche suivantes.

Question 2 : La condition « usage de systèmes biotiques » dans certaines tâches de séances sur l'énergie augmente-t-elle l'efficacité de l'enseignement concernant les actions réalisées par des élèves de CM1 pour reconstituer des systèmes énergétiques complets pendant cet enseignement ?

Pour répondre à cette question, trois hypothèses ont été testées en fonction du type d'action pris en compte.

Hypothèse 6 : Les élèves réalisent plus d'opérations de contrôle à travers un discours centré sur les interactions entre les éléments du système pendant l'enseignement, lorsque certaines tâches comportent des « systèmes biotiques ».

Hypothèse 7 : Les élèves réussissent à réaliser l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète » pour un plus grand nombre de systèmes pendant l'enseignement, lorsque certaines tâches comportent des « systèmes biotiques ».

Comme pour les progressions des élèves à l'issue de l'enseignement nous nous sommes intéressés aux opérations liées à l'action en testant les deux hypothèses suivantes.

Hypothèse 8 : Les élèves réussissent à réaliser les deux opérations d'orientation (identifier : l'usage de l'objet de départ et les éléments du système) pour un plus grand nombre de systèmes pendant l'enseignement, lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ».

Hypothèse 8' : Les élèves réussissent à réaliser les deux opérations d'exécution (dessiner : les symboles et les flèches du modèle) pour le même nombre de systèmes pendant l'enseignement lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ».

Les dernières analyses présentées dans cette étude ont pour but de mettre en avant les liens entre les actions des élèves pendant l'enseignement et les progressions observées de ces derniers dans les questionnaires après la mise en œuvre de la séquence. Pour cela, elles proposent de répondre à la question suivante.

Question 3 : Quelles sont les actions et les opérations réalisées durant les tâches de séances sur l'énergie susceptibles d'influencer la progression des élèves après l'enseignement pour reconstituer des systèmes énergétiques complets ?

La réponse à cette question nous a amené à tester les deux hypothèses suivantes :

Hypothèse 9 : Les élèves progressent à l'issue de l'enseignement pour un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau de l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète », lorsqu'ils ont réalisé plus d'opérations de contrôle à travers un discours centré sur les interactions entre les éléments du système pendant l'enseignement.

Hypothèse 10 : Les élèves progressent à l'issue de l'enseignement pour un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau de l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète », lorsqu'ils ont réussi à réaliser cette même action pendant les tâches des séances de la séquence sur l'énergie.

5 - Méthodologie

Cette partie présente la méthodologie élaborée pour étudier l'effet de l'usage de systèmes biotiques dans les tâches d'un enseignement de l'énergie sur les apprentissages des élèves. Cette méthodologie articule une ingénierie didactique avec une méthode expérimentale. Afin de répondre à nos questions de recherche, un protocole expérimental dans lequel la variable indépendante correspond à la condition de la tâche - usage de systèmes biotiques - a été mis en place dans une séquence d'enseignement élaborée dans le cadre de la thèse. Afin d'interroger l'efficacité de cette condition de la tâche, des pré-tests et des post-tests ont été administrés avant et après l'enseignement. Enfin, de manière à observer les processus effectivement déclenchés par la variable quand les élèves réalisent les tâches, ces dernières ont été filmées et les réalisations qu'elles ont produites ont été recueillies.

Dans cette méthodologie sont présentés successivement : l'élaboration du protocole expérimental, le contexte et les participants auprès de qui il a été mis en place, et enfin les données recueillies et analysées.

5.1 -Protocole expérimental

L'objectif du protocole expérimental mis en place est d'étudier l'effet de la variable indépendante « usage de système biotique » dans les tâches de la séquence d'enseignement sur la variable dépendante « reconstitution de système énergétique par les élèves ». Ces variables ont été opérationnalisées dans un dispositif en classe. L'objectif de ce dispositif est de contrôler certaines variables des classes tout en gardant une certaine validité écologique. Après avoir décrit les variables indépendantes, dépendantes et contrôlées, nous présenterons le dispositif dans son ensemble et discuterons sa validité écologique.

5.1.1 -Variable indépendante

Cette étude vise à observer, nous le rappelons, l'effet de la variable indépendante « usage de systèmes biotiques dans les tâches que les élèves doivent réaliser durant l'enseignement ». Il s'agit d'une variable qualitative. Elle peut prendre deux valeurs : tâches qui utilisent des systèmes biotiques et domestiques, et tâches qui comportent des systèmes domestiques uniquement. Afin

d'opérationnaliser cette variable, deux séries de tâches à destination des élèves ont été développées. Ces tâches consistent à faire réaliser aux élèves des chaînes énergétiques sur 9 images représentant chacune les dessins de quatre éléments de différents systèmes (voiture, cheminée, loup...). Plus précisément, ils doivent sur chaque image : entourer l'objet qui se déplace, chauffe ou éclaire ; encadrer la source d'énergie ; dessiner un triangle autour du transformateur ; encadrer la ressource naturelle, et enfin, relier ces différents éléments par des flèches allant de l'objet de départ jusqu'à la ressource naturelle. C'est sur ces images que les deux valeurs de la variable « usage de systèmes biotiques » ont été opérationnalisées: (tableau 2).

Sept images communes aux deux séries de tâches		
<p>Deux images spécifiques aux tâches comportant les systèmes biotiques (humains et loup) et des objets domestiques</p>		

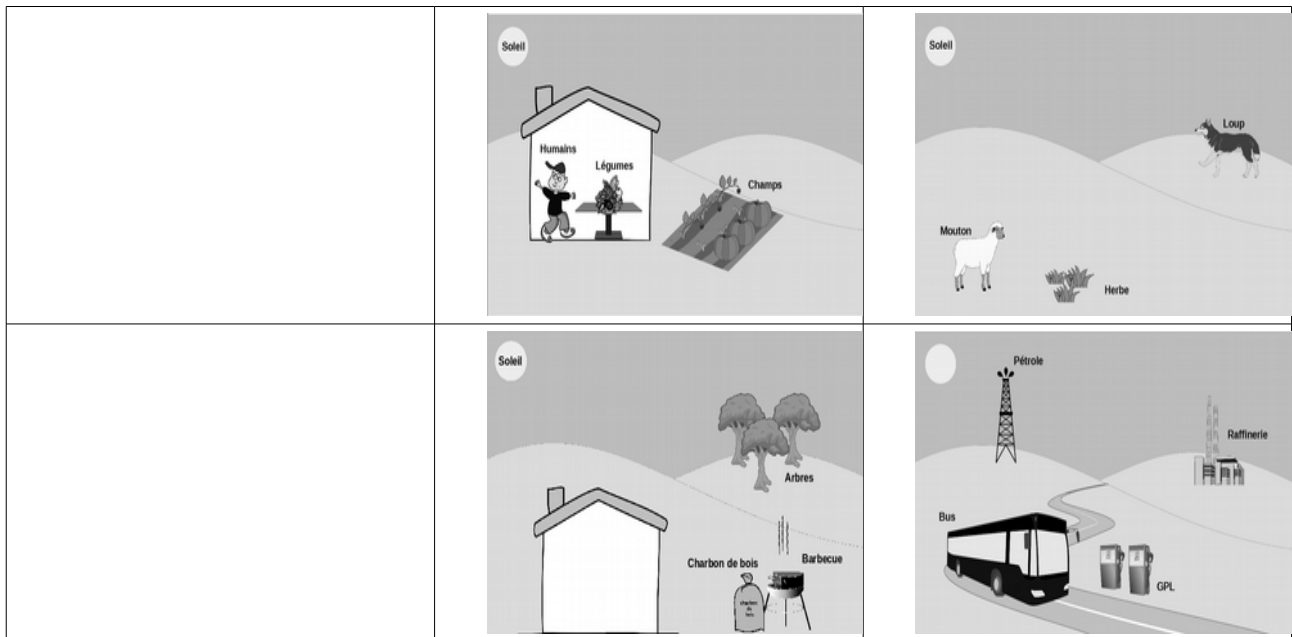


Tableau 2 : Images dans lesquelles la variable ajout de systèmes biotique a été opérationnalisée dans les tâches de la séquence d'enseignement

Les deux séries de tâches se composent de 7 images identiques (partie 1 du tableau) et de 2 qui diffèrent selon la valeur de la variable. Les 7 images correspondant aux deux valeurs de la variable représentent les éléments des systèmes : voiture, cheminée, gazinière, lampe, radiateur, voiture électrique et ordinateur. Les 2 images différentes représentent les éléments des systèmes : humain et loup (partie 2 du tableau), pour la valeur « utilisation de systèmes biotiques et domestiques », et bus et barbecue (partie 3 du tableau), pour la valeur « utilisation de systèmes domestiques uniquement ».

Ces séries de tâches ont ensuite été intégrées à deux séances d'enseignement, elles-mêmes intégrées à une séquence complète sur l'énergie.

L'objectif de l'étude est d'observer l'effet de la variable indépendante opérationnalisée dans ces deux séries de tâches sur les variables dépendantes décrites dans la partie suivante.

5.1.2 -Variables dépendantes

Les variables dépendantes de cette étude sont les actions et les opérations des élèves. C'est sur ces variables que l'effet de la condition de la tâche « usage de systèmes biotique » est testé. Il s'agit de variables quantitatives. Elles ont été mesurées après que l'enseignement ait été mis en œuvre et pendant celui-ci. Elles ont été opérationnalisées par une mesure de la progression des élèves à l'aide de l'administration d'un questionnaire avant (pré-test) et après (post-test et test à long terme) les séances dans lesquelles la variable indépendante a été opérationnalisée. Elles ont également été

opérationnalisées à travers la collecte des traces écrites et des vidéos des élèves pendant les séances. Durant ces deux séances un certain nombre de variables ont été contrôlées.

5.1.3 - Variables contrôlées

Dans le but d'isoler l'effet de la variable « ajout de systèmes biotiques » dans les tâches de la séquence sur les actions et les opérations des élèves, certaines variables ont été contrôlées autant que possible. Ces variables concernent : (a) les tâches de réalisation des chaînes énergétiques, (b) l'activité des élèves, (c) l'effet maître (Bressoux, 2012) et enfin (d) la séquence en elle-même.

5.1.3.1 -Tâches de réalisation des chaînes énergétiques

Les variables contrôlées dans les tâches de réalisation des chaînes énergétiques sont : le nombre de chaînes à réaliser, l'ordre dans lequel elles sont présentées aux élèves et les systèmes choisis.

Le nombre d'images sur lesquelles les élèves doivent réaliser les chaînes énergétiques est toujours le même pour les tâches utilisant des systèmes biotiques et pour celles comportant des systèmes domestiques uniquement.

L'ordre dans lequel ces images sont présentées aux élèves est le même dans les deux séries de tâches. L'image du barbecue remplace celle de l'humain et celle du bus remplace celle du loup. Mais leur place parmi l'ensemble des images est toujours la même. De plus, les images communes aux deux tâches sont présentées dans le même ordre pour les tâches utilisant des systèmes vivants et celles comportant des systèmes domestiques uniquement.

Enfin, les systèmes « humain » et « loup » ont des objets de départ qui se déplacent et se terminent par un végétal et le soleil (champs => soleil pour l'humain, et herbe => soleil pour le loup). Afin de ne pas trop déséquilibrer les deux tâches, il a été choisi de remplacer ces systèmes par le bus, qui est un objet qui se déplace, et par le barbecue, dont la chaîne se termine par un végétal et du soleil (arbre => soleil).

5.1.3.2 -Activité des élèves

Dans les séances étudiées, les élèves ont travaillé par groupe de 3 ou 4. Certains groupes avaient pour tâche de réaliser des chaînes énergétiques sur des systèmes biotiques et domestiques (groupe « biotique »), les autres sur des systèmes domestiques uniquement (groupe « domestique »).

Les actions selon Léontiev (1981) sont réalisées dans un système d'activité comprenant des règles, une communauté et une division du travail. Dans cette étude, deux types d'actions ont été considérées : des actions collectives et des actions individuelles. Dans un cas nous avons considéré l'élève comme sujet et le groupe de travail comme communauté, dans l'autre nous avons considéré

le groupe de travail comme sujet et l'ensemble des groupes « biotique » ou « domestique » comme communauté.

Dans les deux cas, la variable contrôlée concernant l'activité des élèves concerne la communauté, et se rapporte à l'hétérogénéité des élèves au sein de chaque groupe. Ces groupes ont été constitués par l'équipe de recherche à partir des réponses des élèves au pré-test. Les critères pour constituer ces groupes étaient :

- la capacité des élèves à réaliser des chaînes énergétiques complètes avant l'enseignement ;
- l'association de l'utilisation d'énergie et des êtres vivants par les élèves ;
- dans la mesure du possible, une répartition homogène entre filles et garçons.

À partir de ces critères, nous avons constitué des groupes présentant une hétérogénéité quasi-similaire au niveau des groupes de travail mais aussi au niveau des groupes « biotique » et « domestique ». La « division du travail » dans les groupes et les « règles » ont été laissées à la charge de l'enseignant et nous ne les avons pas contrôlées.

5.1.3.3 -L'effet-maître

L'effet-maître a été contrôlé en présentant les tâches utilisant des systèmes biotiques et celles comportant des systèmes domestiques à deux groupes d'élèves d'une même classe avec le même enseignant et non dans deux classes différentes.

5.1.3.4 -Séquence d'enseignement

Le contrôle des variables liées à la séquence elle-même est associé au contrôle de l'effet-maître puisque les deux groupes d'élèves appartiennent à une même classe et ont donc suivi le même enseignement. Ce contrôle a été effectué en s'assurant qu'à l'exception des tâches de réalisation des chaînes énergétiques, les élèves aient suivi strictement la même séquence. De plus, les séances dans lesquelles la variable indépendante a été opérationnalisée sont construites de manière à ce qu'il ne soit pas fait mention des systèmes vivants en classe entière lors des moments de mise en commun, de présentation du modèle, d'exemple...

Le tableau 3 récapitule l'ensemble des variables prises en considération dans cette étude.

Variable indépendante	Variable dépendante	Variables de contrôle
Condition de la tâche « usage de systèmes biotiques »	Actions et opérations des élèves pour reconstituer un système énergétique	Tâche : nombre de chaînes énergétiques, ordre des images, systèmes choisis activité : communauté d'élèves effet maître séquence d'enseignement

Tableau 3 : variables observées et contrôlées dans cette étude

Le contrôle de ces variables, ainsi que l'opérationnalisation des variables indépendantes et dépendantes ont été intégrés à un dispositif global de recherche.

5.1.4 -Le dispositif expérimental

Les tâches dans lesquelles la variable indépendante a été opérationnalisée, ont été intégrées à deux séances d'enseignement (voir annexe 1 : séances 3 et 7).

Dans la première séance dite « progressive » (qui est la troisième de la séquence d'enseignement), les élèves construisent le modèle progressivement en partant de systèmes à deux éléments pour arriver à des systèmes qui en comportent quatre. Cette progression est répartie sur trois tâches. Dans la première tâche, les images comprennent les objets de départ et les sources d'énergie. Dans la deuxième, les images comportent les objets de départ, les sources d'énergie et les transformateurs. Enfin, dans la troisième, les objets de départ, les sources d'énergie, les transformateurs et les ressources naturelles sont représentés sur les images. Dans cette séance, les élèves doivent réaliser des chaînes énergétiques sur cinq systèmes : voiture, gazinière, cheminée loup et humain ou voiture, gazinière, cheminée, bus et barbecue en fonction de leur groupe (« biotique » ou « domestique »). Lors de la deuxième tâche de cette séance une erreur s'est produite lors de la conception des images. En effet, une image a été décalée (barbecue) et l'ordre dans lequel les images se suivent n'est pas le même dans les deux séries de tâches. Cependant, les systèmes présentés aux élèves restent les systèmes prévus pour chacune des tâches (avec systèmes biotiques et domestiques et avec systèmes domestiques uniquement) (tableau 4).

Dans la deuxième séance dite « de synthèse » (qui correspond à la séance 7 de la séquence), les élèves doivent directement réaliser des chaînes énergétiques à quatre éléments sur les mêmes systèmes que la séance « progressive » (n°3), ainsi que sur les systèmes suivants (dont l'objet de départ utilise de l'électricité) : un radiateur, une lampe, un ordinateur et une voiture électrique.

Dans ces deux séances, l'enseignant introduit le modèle (ou le rappelle, dans le cas de la deuxième séance) avant chacune des tâches réalisées par les élèves. Ces introductions ou rappels se basent tous sur l'exemple du système « tondeuse à gazon ». À la suite des tâches de réalisation de chaînes énergétiques par les élèves, l'enseignant fait une mise en commun s'appuyant sur les corrections des deux systèmes suivants : voiture et cheminée (tableau 4).

Ces deux séances, dans lesquelles la variable indépendante a été opérationnalisée, ont ensuite été intégrées à une séquence d'enseignement sur l'énergie. Cette séquence est composée de douze séances. La variable indépendante a été opérationnalisée dans les séances 3 et 7, à la suite des séances jugées nécessaires à la réalisation des différentes chaînes énergétiques (séance sur les besoins en énergie et sur les centrales électriques) (tableau 4).

Les questionnaires qui opérationnalisent la variable dépendante « apprentissages des élèves » sont administrés avant (pré-test), pendant (post-test) et après la séquence (test à long terme). Le pré-test est administré avant la séquence d'enseignement. Le post-test est administré après la séance 7 qui constitue la dernière séance dans laquelle la variable indépendante a été opérationnalisée. Enfin, le test à long terme est administré un mois après la fin de la séquence d'enseignement (tableau 4).

Séances	Descriptions	Systèmes biotiques	Systèmes domestiques
Pré-test			
Séances 1 et 2	Séances d'introduction sur les objets qui utilisent de l'énergie		
Séance 3	Introduction des chaînes énergétiques à 2 éléments	Exemple : tondeuse à gazon	
	Réalisation de chaînes énergétiques à 2 éléments	cheminée voiture <u>humain</u> gazinière <u>loup</u>	cheminée voiture <u>barbecue</u> gazinière <u>bus</u>
	Mise en commun	Corrections : cheminée et voiture	
	Introduction des chaînes à 3 éléments	Exemple : tondeuse à gazon	
	Réalisation de chaînes énergétiques à 3 éléments	<u>humain</u> gazinière <u>loup</u> voiture cheminée	gazinière <u>bus</u> <u>barbecue</u> voiture cheminée
	Mise en commun	Corrections : cheminée et voiture	
	Introduction des chaînes à 4 éléments	Exemple : tondeuse à gazon	
	Réalisation de chaînes énergétiques à 4 éléments	cheminée voiture <u>humain</u> gazinière <u>loup</u>	cheminée voiture <u>barbecue</u> gazinière <u>bus</u>

	Mise en commun	Corrections : cheminée et voiture	
Séances 4 à 6	Séances sur les centrales électriques		
Séance 7	Introduction des chaînes à 4 éléments	Exemple : tondeuse à gazon	
	Réalisation de chaînes énergétiques à 4 éléments	radiateur <u>humain</u> lampe cheminée gazinière voiture <u>loup</u> ordinateur voiture électrique	radiateur <u>barbecue</u> lampe cheminée gazinière voiture <u>bus</u> ordinateur voiture électrique
	Première partie séance sur la renouvelabilité		
Post-test			
Séances 8 à 12	Fin de la séquence		
Durée variable (2 semaines à 2 mois)			
Test à long terme			

Tableau 4 : Dispositif de recherche

Le tableau 4 présente le dispositif de recherche. La première colonne présente la répartition des séances, la deuxième les moments analysés dans les deux séances, et les troisième et quatrième colonnes les systèmes étudiés par les élèves pendant les moments de la séance dans lesquels la variable indépendante a été opérationnalisée. Enfin le tableau inclut les parties du dispositif communes à l'ensemble des élèves (questionnaire, et séances 1,2 4, 5,6 et 8 à 12).

Pour mettre en place ce protocole expérimental, il convient de séparer les classes en deux pendant les séances 3 et 7 (dans lesquelles les élèves doivent réaliser des chaînes énergétiques). La première moitié se compose des groupes d'élèves qui auront à réaliser les tâches avec des systèmes biotiques et domestiques et la deuxième moitié aura à réaliser les tâches comportant des systèmes domestiques uniquement. Pour cela, l'enseignant, après avoir mené les parties de la séance qui se déroulent en classe entière, distribue les images au niveau desquelles les tâches diffèrent. Il distribue à certains élèves des images qui ne représentent que des systèmes domestiques et aux autres (groupe entouré sur la figure 12) des systèmes biotiques et domestiques.

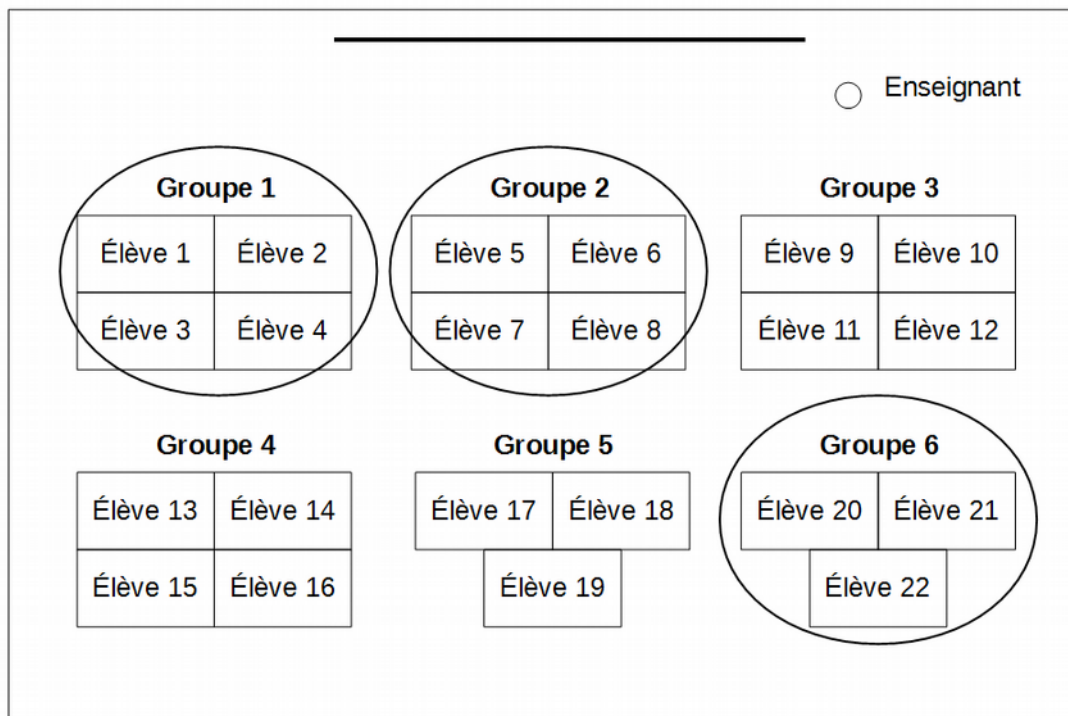


Figure 12: Exemple de la répartition des groupes d'élèves au sein d'une classe : groupes entourés : avec des systèmes biotiques et domestiques et Groupes non entourés avec des systèmes domestiques uniquement.

Le dispositif est donc constitué de questionnaires et d'une séquence d'enseignement sur l'énergie dans laquelle sont intégrées les séances où la variable « usage de systèmes biotiques » a été opérationnalisée au sein de classes divisées en deux moitiés. Ces parties du dispositif qui se déroulent en classe sont construites de manière à respecter une certaine validité écologique définies dans la partie suivante.

5.1.5 - Validité écologique

Ce dispositif expérimental a été mis en place avec l'objectif de garder une certaine validité écologique. La validité écologique d'une expérimentation est un concept qui permet de discuter l'écart qui peut exister entre une situation expérimentale, ou tout du moins construite pour la recherche, et une situation naturelle (Darses, Hoc & Chauvin, 2004). Elle permet de discuter de la généralisation des résultats. Dans cette étude, la volonté de conserver cette forme de validité écologique se traduit dans un premier temps par le fait que les notions abordées durant l'ensemble de la séquence sont des notions qui correspondent au programme de cycle 3 (MEN, 2008) au moment où l'expérimentation a été mise en place. De plus, la séquence a été adaptée par les chercheurs en fonction des habitudes des enseignants, afin de ne pas imposer de contraintes particulières au niveau de la gestion de classe à l'exception du travail de groupe. D'autre part, la

plupart des tâches de la séquence (à l'exception de certaines séances sur l'électricité) sont réalisables en classe et ne demandent pas de matériel particulier. Les images choisies dans les tâches sont également libres de droits et gratuites. En effet, elles apparaissent dans les premières pages des moteurs de recherche sur le web. Leur accès n'est donc ni restreint, ni compliqué. Enfin, le protocole mis en place vise à conserver dans la situation l'ensemble des variables qui influencent une situation de classe. En effet ces variables ont été contrôlées, dans la mesure où nous avons considéré qu'elles agissent de la même façon sur les deux groupes d'élèves comparés. L'effet-maître et l'effet de la séquence d'enseignement par exemple sont les mêmes pour les deux groupes mais agissent bien dans le protocole. Il ne s'agit donc pas d'un protocole qui viserait à faire disparaître les variables d'une situation ordinaire, par exemple en donnant les tâches à réaliser aux élèves en laboratoire en présence d'un chercheur uniquement.

Cependant, cette validité écologique reste en partie limitée. En effet, deux ou trois chercheurs étaient présents pendant l'ensemble des séquences. De plus, la présence des micros et caméras a également pu diminuer cette validité écologique. Enfin, la mise en place des séances dans lesquelles la variable « systèmes biotiques » a été opérationnalisée a pu modifier ce qu'auraient naturellement fait les enseignants. Les mises en commun et les exemples d'introduction étaient contraints par le fait de ne pas évoquer les systèmes vivants. De plus, les enseignants n'ont pas forcément l'habitude que les élèves d'une même classe réalisent des tâches différentes.

En conclusion, le protocole expérimental se compose de plusieurs parties. Il est constitué de deux séances centrales dans lesquelles les élèves doivent réaliser des chaînes énergétiques dans des tâches avec : des systèmes biotiques et des systèmes domestiques ou des systèmes domestiques uniquement. Des questionnaires ont été donnés avant (pré-test) et après (post-test et test à long terme) ces deux séances pour évaluer les progressions des élèves. Enfin, ces parties sont intégrées à une séquence d'enseignement mise en œuvre dans différentes classes.

5.2 -Participants, contexte et séquence d'enseignement

Plus de deux cents élèves ont participé à l'intégralité de cette étude. Pour certains d'entre eux, la séquence d'enseignement a été mise en œuvre et les questionnaires administrés, alors que pour d'autre, seuls les questionnaires ont été administrés. Nous présentons dans les parties suivantes le détail des participants à l'étude, le contexte scolaire puis la séquence d'enseignement mise en place.

5.2.1 -Les participants

Les participants à l'intégralité de l'étude se composent de 227 élèves issus de 11 classes de CM1 et de CM2 provenant de 6 écoles du sud de la France, ainsi que 4 enseignants. Parmi ces élèves, 76

ont participé à une étude pilote qui visait à calibrer le questionnaire. Les 151 élèves restants ont participé au dispositif de recherche concernant l'effet des systèmes biotiques dans l'enseignement. L'observation des progressions aux questionnaires sans séquence d'enseignement sur l'énergie a été réalisée sur 27 élèves. Enfin, 124 élèves ont suivi la séquence d'enseignement élaborée par les chercheurs et répondu aux questionnaires avant et après la séquence. Ces 124 élèves étaient répartis dans trois classes de CM1 avec trois enseignants différents et 2 classes de CM2 avec un seul enseignant.

Les analyses présentées dans cette thèse correspondent aux résultats obtenus dans les trois classes de CM1 (grade 4, élèves de 9-10 ans). Ces analyses ont été conduites sur 72 élèves, (30 filles et 42 garçons). Dans les 3 classes, 38 élèves (14 filles et 24 garçons) ont participé à des tâches utilisant des systèmes biotiques et domestiques et 33 élèves (12 filles et 21 garçons) à des tâches comportant des systèmes domestiques uniquement. Les enseignants ayant participé au protocole sont au nombre de trois. Ces élèves et ces enseignants appartiennent à deux écoles différentes dans lesquelles le protocole expérimental a été mis en place.

5.2.2 -Le contexte scolaire

La première école correspond à une école Freinet située dans un quartier sensible dans une grande agglomération du sud de la France. L'école compte 128 élèves répartis dans 5 classes. Le personnel éducatif est composé de 5 enseignants et 3 AVS. Dans cette école les données ont été collectées auprès d'un enseignant et de 28 élèves d'une classe de CM1. L'enseignant exerce depuis 4 ans à l'école primaire et depuis 2 ans dans une classe de CM1. Il n'a pas de formation initiale particulière en science. L'année du recueil des données l'enseignant avait traité avec ses élèves, les thèmes de l'alimentation, de la respiration et de l'eau. L'année précédente, il avait traité l'alimentation, la digestion, la respiration, les volcans et les séismes, le ciel et la terre, les phases de la lune, ainsi que l'électricité. Il s'agissait donc pour cet enseignant de son premier enseignement en CM1 sur l'énergie en tant que telle. Les 28 élèves de la classe se répartissent entre 8 filles et 20 garçons. La classe est considérée par l'enseignant comme une classe avec une bonne attitude et un bon niveau en sciences. L'enseignant considère que la classe comprend 11 élèves à besoins éducatifs particuliers. Dans cette classe, 16 élèves (4 filles et 12 garçons) ont participé à des tâches utilisant des systèmes biotiques, alors que 12 élèves (3 filles et 9 garçons) ont participé à des tâches comportant des systèmes domestiques uniquement.

La seconde école dans laquelle les données ont été recueillies, est une école ordinaire de milieu rural dans une petite ville du sud de la France. L'école compte 240 élèves répartis dans 9 classes. Le

personnel éducatif est composé de 11 enseignants et 3 AVS. Dans cette école les données ont été collectées dans 2 classes de CM1 auprès de 2 enseignants et de 44 élèves.

Dans la première classe l'enseignant enseigne depuis 25 ans à l'école primaire dont 5 ans en CM1. Il est directeur de l'école et a été maître ressources sciences dans son académie. Il n'a pas de formation initiale particulière en science. L'année du recueil des données l'enseignant avait traité avec ses élèves les thèmes des besoins végétaux, du développement des animaux, de l'ombre et la lumière, des états de l'eau, de la classification animale, du cycle de l'eau et du développement durable en lien avec l'aménagement du territoire. Il n'enseignait pas l'année précédente. Les 22 élèves de la classe se répartissent entre 11 filles et 11 garçons. La classe est considérée par l'enseignant comme une classe avec une bonne attitude, mais pas très travailleuse avec un niveau assez bon en science. L'enseignant considère que la classe comprend 3 élèves à besoins éducatifs particuliers. Dans cette classe, 11 élèves (6 filles et 5 garçons) ont participé aux tâches utilisant des systèmes biotiques et domestiques ; et 11 élèves (5 filles et 6 garçons) aux tâches ne comportant que des systèmes domestiques.

Dans la seconde classe, l'enseignant exerce depuis 20 ans à l'école primaire dont 3 ans en CM1 et il a une formation initiale en biologie (licence). L'année du recueil des données l'enseignant avait traité avec ses élèves les thèmes du système solaire, des séismes et volcans, de la respiration, de la digestion et de la circulation, ainsi que la classification des animaux. Les 22 élèves de la classe se répartissent entre 8 filles et 14 garçons. La classe est considérée par l'enseignant comme une classe bavarde avec un niveau général très hétérogène et un niveau satisfaisant en science. L'enseignant considère que la classe comprend 4 élèves à besoins éducatifs particuliers. Dans cette classe, les tâches utilisant des systèmes biotiques et domestiques ont été présentées à 11 élèves (4 filles et 7 garçons) et les tâches ne comportant que des systèmes domestiques à 11 élèves (4 filles et 7 garçons).

5.2.3 -La séquence d'enseignement

Le protocole expérimental a été mis en place au sein d'une séquence d'enseignement sur l'énergie (détaillée en annexe 1) élaborée par les chercheurs et des enseignants de l'école primaire pour les besoins de la thèse. Plus précisément, cette séquence a été élaborée dans le cadre d'un groupe de production de ressources sur les démarches d'investigation dans lequel étaient associés des chercheurs, des formateurs et des enseignants. Elle a été conçue dans une perspective d'éducation à l'énergie pour une classe de CM1 à partir des programmes du cycle 3 de 2008 (MEN, 2008). Une première prise de contact avec des enseignants a rapidement montré que selon eux la plupart des élèves de l'école primaire n'avait pas suivi d'enseignement sur l'énergie en CE2.

Certaines notions associées au programme de CE2 ont donc été intégrées à la séquence (notamment dans les premières séances). Les enseignants qui ont participé à l'expérimentation ont également apporté des modifications à la séquence au fur et à mesure de sa mise en place en fonction de leurs habitudes de travail.

La séquence est constituée de 12 séances sur l'énergie (tableau 5).

Séance	Intitulé
Séance 1	Qu'est-ce qui utilise de l'énergie ?
Séance 2	Est-ce qu'une plante utilise de l'énergie ?
Séance 3	Comment identifier les sources d'énergie ? Modèle de la chaîne énergétique
Séance 4	Comment fabriquer de l'électricité ? Hypothèses et protocole
Séance 5	Comment fabriquer de l'électricité ? Investigation
Séance 6	Comment fabriquer de l'électricité ? Les différentes centrales
Séance 7	Chaînes énergétiques et ressources énergétiques naturelles
Séance 8	Ressources énergétiques renouvelables et non renouvelables 1
Séance 9	Ressources énergétiques renouvelables et non renouvelables 2
Séance 10	Ressources énergétiques renouvelables et non renouvelables 3
Séance 11	Comment gérer les besoins énergétiques d'un village ? Première partie
Séance 12	Comment gérer les besoins énergétiques d'un village ? Deuxième partie

TABLEAU 5 : Intitulé des douze séances de la séquence d'enseignement sur l'énergie

Dans la séance 1, les élèves doivent lister les objets qui utilisent de l'énergie à l'école, ainsi que sur le chemin entre leur domicile et l'école. Les élèves doivent ensuite, par groupe de quatre, donner les sources d'énergies de ces objets et les regrouper. L'objectif était que les élèves arrivent à une classification des objets composée de trois groupes, les objets qui chauffent, les objets qui éclairent, les objets qui bougent ou se déplacent. L'enjeu de la séance était que les élèves relient les besoins en énergie à ces trois transferts d'énergie (chaleur, mouvement, lumière).

La séance 2 correspond à une séance d'investigation ayant pour but d'aider les élèves à dépasser la conception selon laquelle seuls les objets qui présentent un transfert perceptible utilisent de l'énergie. Pour cela la séance comprenait une situation de départ, une formulation d'hypothèse, puis une démarche d'observation basée sur des activités sportives. Les élèves doivent produire un effort en étant mobile (flexion) puis produire un effort en étant immobile (position de chaise contre un mur) et enfin, ne plus produire d'effort (repos). À partir de l'observation d'indicateurs provenant de leur corps (respiration, battement du cœur...), ils devaient ensuite déterminer que même sans

mouvement leur corps consomment de l'énergie. La séance se terminait par une étape de généralisation à d'autres êtres vivants (cheval, plante) et objets (voiture, télévision...).

La séance 3 correspond à l'introduction « progressive » du modèle de la chaîne énergétique. Dans cette séance, les élèves devaient réaliser des chaînes énergétiques progressivement (tâche 1 : objet de départ et source d'énergie, tâche 2 : objet de départ, source d'énergie et transformateur, tâche 3 : objet de départ, source d'énergie, transformateur et ressource naturelle). Ils devaient réaliser ces chaînes sur des documents comportant des images sur lesquelles étaient représentés les différents éléments des chaînes énergétiques. Cette séance correspond à la première séance dans laquelle la variable indépendante a été opérationnalisée et elle est décrite plus en détails dans la partie précédente.

Les séances 4, 5 et 6 correspondent à une démarche d'investigation sur la fabrication d'électricité.

Dans la séance 4, les élèves doivent d'abord individuellement, puis en groupe proposer une solution à « comment fabriquer de l'électricité ? ». Dans la suite de la séance, les élèves doivent proposer un protocole et une liste de matériel afin de tester leur solution la séance suivante.

Dans la séance 5, les élèves doivent mettre en œuvre la solution proposée précédemment, à partir du matériel qu'ils avaient apporté. Ce matériel peut être complété par du matériel mis à disposition par l'enseignant (éolienne et panneau solaire). L'enseignant a pu réaliser des montages permettant de produire de l'électricité à partir du matériel (éolienne, panneau solaire...). Les élèves ont ensuite comparé les solutions qu'ils avaient proposées avec « les montages qui fonctionnent », afin de déterminer les éléments indispensables à la fabrication d'électricité.

La séance 6 correspond à la partie institutionnalisation de cette démarche d'investigation. Dans cette séance, les élèves doivent, à partir d'une étude de document présentant les différentes centrales électriques, dégager les éléments communs et différents des différentes centrales.

La séance 7 correspond à la réalisation par les élèves de chaînes énergétiques complètes. Comme dans la séance 3, les élèves devaient dessiner une chaîne énergétique complète (objet qui chauffe, éclaire, bouge ou se déplace => source d'énergie => transformateur => ressource naturelle) sur un document comportant les images de plusieurs systèmes. Les images présentées dans cette séance sont les mêmes que dans la séance 3, mais comprennent en plus des systèmes faisant intervenir la production d'électricité. Cette séance correspond à la deuxième séance dans laquelle la variable indépendante a été opérationnalisée. Elle est présentée plus en détail dans la partie précédente. À l'issue de la tâche de réalisation des chaînes énergétiques, les élèves doivent lister les ressources naturelles identifiées et émettre des hypothèses sur leur renouvelabilité.

Dans la séance 8, les élèves doivent dégager des définitions liées à la renouvelabilité à partir d'une étude de documents (textes + photos). Les affiches que les élèves doivent étudier représentent 7 ressources énergétiques naturelles (uranium, charbon, gaz naturel, pétrole, vent, soleil, et eau) sous forme de textes et de photos. À partir de l'étude de ces documents, les élèves doivent regrouper les ressources renouvelables et les ressources non renouvelables, puis dégager une définition de ce que sont une ressource renouvelable et une ressource non renouvelable.

Les séances 9 et 10 correspondent à des séances constituées de jeux construits autour de la notion de renouvelabilité.

La séance 9 est construite autour d'un jeu de format « jeu de plateau », dans lequel l'objectif était de préparer un stock de vingt bûches de bois pour l'hiver. La notion de renouvelabilité est incorporée au jeu à travers la gestion de la forêt dont les bûches sont issues. À partir de ce jeu les élèves doivent construire l'idée que la notion de renouvelabilité dépend de la durée de formation des ressources naturelles, mais également de son taux d'utilisation.

La séance 10 a pour objectif de faire comprendre aux élèves le fonctionnement des centrales qui utilisent des ressources renouvelables (intermittence de la production, faible rendement instantané, pas d'épuisement des ressources) et de celles qui utilisent des ressources non renouvelables (fort rendement instantané, épuisement des ressources). Elle est constituée de deux jeux de plein air, de format « jeu du loup ». Dans les deux jeux, les élèves sont séparés en deux équipes. Dans le premier jeu, une équipe représente les centrales qui utilisent des ressources renouvelables et la deuxième celles qui utilisent des ressources non renouvelables. Dans le deuxième jeu, la première équipe représente une éolienne et la deuxième un panneau solaire. Les élèves dans ces jeux doivent s'attraper les uns les autres selon un système de règles représentant les contraintes des différentes centrales. L'objectif du premier jeu est de faire travailler les élèves sur l'épuisement des ressources non renouvelables et l'intérêt des ressources renouvelables, ainsi que d'avoir une première approche de l'idée de rendement. Le second jeu vise à ce que les élèves travaillent sur l'intermittence du fonctionnement des centrales qui utilisent des ressources renouvelables (vent et soleil).

Les séances 11 et 12 correspondent à des séances où les élèves préparent et jouent un débat en classe qui vise à synthétiser l'ensemble des connaissances abordées dans les séances précédentes.

Les élèves sont mis en situation de gestion des besoins énergétiques d'un village et doivent réaliser un certain nombre de choix. Les élèves travaillent par groupe de trois ou quatre pour gérer un village. Chaque élève s'est vu attribuer un rôle dans cette gestion. Un élève est en charge du coût des installations, un deuxième de l'impact environnemental des installations, un troisième doit veiller à ce que le maximum d'installation utilise des ressources renouvelables et enfin le dernier doivent s'assurer que tous les habitants du village puissent se chauffer, s'éclairer et se déplacer.

La séance 11 correspond à la préparation de ce débat par groupe de trois ou quatre et la séance 12 correspond à la présentation en classe des installations du village, suivie d'une discussion avec les élèves des autres groupes sur le remplissage des différents critères attendus.

La partie suivante présente le recueil des différentes données qui s'est déroulé avant, pendant et après cette séquence sur l'énergie.

5.3 -Mode de recueil de données

Le corpus de notre étude se compose de données de natures différentes recueillies à partir de questionnaires, de captation vidéo et de traces écrites des élèves.

Le corpus de cette étude est constitué de trois grands types de données : questionnaires, traces écrites des élèves recueillies durant la séquence et enregistrements vidéo de ces séances. Les questionnaires ont été élaborés pour évaluer l'efficacité d'un enseignement utilisant des systèmes biotiques sur les progressions des élèves au niveau de l'action -reconstituer un système énergétique- et des opérations correspondantes. Le recueil des traces écrites vise à étudier si les systèmes biotiques modifient les actions et les opérations des élèves pendant les tâches des séances d'enseignement. Enfin, les enregistrements vidéo ont pour but d'observer les opérations de contrôle de l'action à partir d'une analyse du discours des élèves. Ils ont été organisés pour pouvoir observer les opérations de contrôle de l'ensemble des élèves de chaque classe. Les parties suivantes présentent dans un premier temps l'élaboration des questionnaires, de la captation vidéo et des traces écrites, dans un deuxième temps le recueil des données et enfin la façon dont les données ont été analysées.

5.3.1 -Élaboration des questionnaires élèves et des questionnaires enseignant

Quatre types de questionnaires ont été élaborés pour les besoins de cette thèse.

Une première version du questionnaire pour les élèves a été élaborée dans le cadre d'une étude pilote (Boyer & Givry, 2016, 2017⁵). Elle a permis de calibrer les questionnaires suivants. Deux versions du questionnaire ont été conçues pour l'expérimentation. La première version plus courte a été administrée en tant que pré-test. La seconde version un peu plus longue a été utilisée pour le post-test et le test à long terme. Enfin, un questionnaire a été conçu à destination des enseignants, dans le but d'identifier certaines caractéristiques de ces derniers et de leurs élèves. Seuls les questionnaires enseignants, le pré-test et le post-test ont été utilisés dans les analyses présentées et sont développés dans les parties suivantes.

Un questionnaire à destination des enseignants (détaillé en annexe 2) a été conçu afin de recueillir des informations sur les enseignants et les élèves des classes dans lesquelles le protocole expérimental a été mis en place. Ce questionnaire se compose de quatre parties que l'enseignant devait renseigner : la première partie concerne l'établissement, la deuxième partie donne des informations sur sa classe, la troisième partie est centrée sur ses enseignements des sciences et enfin la quatrième partie nous renseigne sur son parcours professionnel.

Les questionnaires administrés aux élèves (annexe 3) se composent d'une première page qui recueille des informations sur ces derniers (âge, sexe, classe, etc.). La suite des questionnaires est construite comme une succession de quatre ou cinq tâches en fonction de la version du questionnaire (tableau 6).

Pré-test	Post-test et test à long terme
Tâche 1 usage des objets de départ, sources d'énergie et ressources naturelles	
Tâche 2 : objets qui utilisent de l'énergie	
Tâche 3 chaînes énergétiques 1	Tâche 3 chaînes énergétiques 2
Ø	Tâche 4 : chaîne énergétique sur photo
Tâche 4 (ou 5): ressources renouvelables et non renouvelables	

TABLEAU 6 : Tâches du pré-test, post-test et test à long terme

Les tâches 1, 3 et 4 du questionnaire évaluent les apprentissages des élèves sur les chaînes énergétiques réalisées pendant les séances 3 et 7 de la séquence d'enseignement. Les tâches 2 et 5 renvoient à d'autres séances de la séquence sur les objets qui utilisent de l'énergie et les ressources renouvelables ou non. Cette thèse présente les analyses des tâches 1 (sur les usages des objets de départ, sources d'énergie et ressource naturelles) et 3 (sur les chaînes énergétiques) du questionnaire. Il est important de préciser que la tâche 2 « objets qui utilisent de l'énergie » a également été prise en compte dans les pré-tests pour la constitution des groupes d'élèves. Les tâches du questionnaire présentées en détail sont i) les tâches « chaînes énergétiques 1 et 2 », ii) la tâche « usages, sources d'énergie et ressource naturelles » et iii) la tâche « objets qui utilisent de l'énergie ».

5.3.1.1 -Chaînes énergétiques 1 et 2.

Dans cette partie du questionnaire, les élèves doivent réaliser des chaînes énergétiques sur des images avec des éléments provenant des systèmes utilisés dans les séances 3 et 7 de la séquence.

Une première étude pilote (Boyer & Givry, 2016 ; 2017) a été conduite auprès de 76 élèves (n'ayant quasiment jamais eu d'enseignement sur l'énergie) afin de calibrer cette partie du

questionnaire. Certaines conditions de la tâche pouvant influencer la réussite des élèves pour réaliser des chaînes énergétiques complètes ont été testées : le nombre de dessins (3, 4, 6 ou 25) présentés sur chaque image, le nombre d'éléments (2, 3 ou 4) qui composent la chaîne énergétique et le type de système que les dessins représentent (carburant, combustible, êtres vivants). Ces résultats nous ont permis de réajuster le nombre de dessins présents sur chaque image, qui a été limité à douze. Ce nombre nous semble être un bon compromis pour ne pas donner directement les éléments pour réaliser la chaîne énergétique (c'est le cas des images sur lesquelles il n'y a que 4 éléments représentés), sans pour autant donner un nombre de choix possibles trop important, qui fait chuter le nombre de réalisations correctes (c'est notamment le cas pour les images avec 25 dessins). Au vu de la réussite des élèves sur les chaînes énergétiques à 2 éléments (plus de 62%), nous avons choisi de faire réaliser essentiellement des chaînes énergétiques se composant de 4 éléments (objet de départ, source, transformateur et ressource naturelle). La troisième condition testée dans cette étude pilote constitue quant à elle la variable centrale de cette thèse.

Dans cette partie du questionnaire, les élèves doivent donc sur 12 images (chaîne énergétique 1) ou 15 images (chaîne énergétique 2) constituées de 12 dessins, réaliser des chaînes énergétiques majoritairement à quatre éléments. Les mêmes images sont utilisées pour les quatre types de transfert (bouge ou se déplace, éclaire, chauffe, fabrique de l'électricité). Chaque transfert est accompagné d'une consigne générale illustrée d'un exemple de chaîne énergétique complète. Pour chaque image, une consigne plus succincte avec un exemple à échelle réduite est rappelée (figure 13).

5) Dessine une chaîne énergétique en commençant par ce qui chauffe sur les images A, B, et C. Utilise l'exemple et le texte d'explication ci-dessous.

Exemple : chaîne énergétique pour un objet qui chauffe

Pour faire la chaîne énergétique

- entoure d'un rond ○ le nom de l'objet qui chauffe
- encadre avec un rectangle □ le nom des sources d'énergie utilisées par l'objet qui chauffe
- dessine un triangle ▲ autour du nom de l'objet qui transforme les sources d'énergie
- relie par des flèches → le nom de chacun des objets, en commençant par l'objet entouré par un rond, et en finissant par l'objet encadré par un rectangle.

19

A- Chaleur

Sur l'image ci-dessous, dessine 2 chaînes énergétiques pour les 2 objets qui chauffent.

figure 13 : exemple de pages du questionnaire concernant les chaînes énergétiques pour des objets qui chauffent

Dans les images du questionnaire, le nom de chaque élément est inscrit au-dessus du dessin le représentant (par exemple, le mot « vent » est inscrit au-dessus du dessin d'un drapeau). Chaque image comprend les éléments de trois systèmes énergétiques différents. Par exemple, sur l'image de la figure 13 il y a les systèmes : voiture (composé de l'essence, raffinerie et pétrole), radiateur (électricité, éolienne et vent) et feu dans la cheminée (regroupant bois, arbres et soleil). Sur cette image, les élèves doivent sélectionner les deux systèmes sur lesquels réaliser deux chaînes énergétiques en partant des objets de départ qui chauffent (le radiateur et le feu dans la cheminée)

comme demandé dans la consigne. Pour la plupart des images proposées dans le questionnaire, les élèves ne doivent réaliser qu'une seule chaîne énergétique. Ils doivent en réaliser 2 pour 3 images (exemple ci-dessus, voiture électrique et loup qui se déplacent ainsi que centrale hydroélectrique et panneau solaire qui fabriquent de l'électricité). Pour réaliser ces chaînes, ils doivent :

- Entourer le nom de l'objet qui chauffe, éclaire, se déplace ou qui fabrique de l'électricité,
- Encadrer le nom de la source d'énergie qui lui correspond,
- Dessiner un triangle autour du nom du transformateur qui permet d'obtenir cette source d'énergie,
- Encadrer le nom de la ressource énergétique naturelle transformée par le transformateur et enfin relier les différents éléments par des flèches.

Les dessins choisis sont les mêmes que ceux utilisés pour les séances de la séquence d'enseignement.

Dans le questionnaire pré-test (chaîne énergétique 1), les élèves devaient réaliser les chaînes énergétiques sur les seize systèmes suivants (utilisées dans les séances 3 et 7) : une voiture à essence, un humain, une voiture électrique, un loup, une cheminée (qui éclaire), une lampe, un ordinateur (qui éclaire), une cheminée (qui éclaire), une lampe, un ordinateur (qui éclaire), une cheminée (qui chauffe), un radiateur, une gazinière, un ordinateur (qui chauffe), une éolienne, une centrale nucléaire, une centrale hydroélectrique et un panneau solaire.


Dans les questionnaires post-test et à long terme (chaîne énergétique 2) de nouvelles situations ont été rajoutées. Elles correspondent à des situations que les élèves n'ont pas étudiées en classe. Le but de cet ajout est d'étudier la capacité des élèves à réaliser des chaînes énergétiques complètes sur des situations nouvelles (c'est-à-dire jamais rencontrées pendant l'enseignement). Ces nouvelles situations concernent : une voiture avec des biocarburants comme sources, transformés dans une usine de biocarburants à partir de tournesols, ainsi qu'une lampe alimentée par de l'électricité provenant d'une centrale thermique qui fonctionne au gaz naturel.


Avant de répondre à cette partie 3 du questionnaire, les élèves doivent remplir la partie 1 qui est développée ci-après.


5.3.1.2 -Usage, sources d'énergie et ressources naturelles

La partie 1 du questionnaire a pour but d'étudier la capacité des élèves à identifier l'usage (chauffe, éclaire, bouge/se déplace ou fabrique de l'électricité), la source d'énergie et la ressource naturelle des éléments des différents systèmes de la séquence d'enseignement à partir du dessin d'un de ces éléments. Pour cela, un tableau à six colonnes est utilisé (figure 14).

1) Remplis le tableau comme dans les 3 exemples ci-dessous.

Exemple 1 : Coche la case et écris la source						
	Je ne connais pas cet objet	Éclaire	Chauffe	Bouge ou se déplace	Fabrique de l'électricité	Écris quelle est la ou les source(s) d'énergie utilisée(s).
 Centrale à charbon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Charbon

Exemple 2 : Tu peux cocher plusieurs cases et écrire plusieurs sources						
	Je ne connais pas cet objet	Éclaire	Chauffe	Bouge ou se déplace	Fabrique de l'électricité	Écris quelle est la ou les source(s) d'énergie utilisée(s).
 Lampe de jardin solaire	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	électricité Soleil

Exemple 3 : Tu peux laisser les cases vides						
	Je ne connais pas cet objet	Éclaire	Chauffe	Bouge ou se déplace	Fabrique de l'électricité	Écris quelle est la ou les source(s) d'énergie utilisée(s).
 Livre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

2

Remplis le tableau ci-dessous en t'aidant des 3 exemples précédents.

- Coche la case et écris la source.
- Tu peux cocher plusieurs cases et écrire plusieurs sources.
Tu peux laisser vide les cases.




Images	Je ne connais pas cette image	Éclaire	Chauffe	Bouge ou se déplace	Fabrique de l'électricité	Écris quelle est la ou les source(s) d'énergie utilisée(s).
 Centrale hydroélectrique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
 Lampe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
 Centrale nucléaire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

figure 14 : premières pages de la partie 1 du questionnaire

Les consignes sont données en deux étapes dans le tableau : d'abord par des exemples, ensuite à travers une consigne écrite rappelant les points importants (« coche la case et écris la source, tu peux cocher plusieurs cases... »). Pour aider à comprendre comment remplir le tableau, les élèves doivent s'appuyer sur 3 exemples présentant les différentes possibilités de réponses : a) cocher une case et écrire le nom d'une source, b) cocher plusieurs cases et écrire le nom d'une source et d'une ressource c) ne cocher aucune case et n'écrire le nom d'aucune source ni ressource. En tout, la partie 1 du questionnaire comprend 18 dessins représentant les objets de départ et certains transformateurs des chaînes énergétiques étudiées durant la séquence d'enseignement et présentées

dans la partie 3 du questionnaire. Ces dessins figurent dans l'ordre du questionnaire : une centrale hydroélectrique, une lampe, une centrale nucléaire, un panneau solaire, une éolienne, un humain, un arbre, un radiateur, un mouton, une gazinière, une cheminée, un loup, un champ, une voiture électrique, du bois et enfin un ordinateur (voir le détail en annexe 3).

Dans ce tableau, la première colonne présente les dessins des différents éléments, le nom de l'élément y est inscrit sous chaque dessin. Rappelons que ces dessins sont les mêmes que ceux utilisés durant la séquence d'enseignement. Les colonnes centrales du tableau correspondent à un Questionnaire à Choix Multiples, où les élèves doivent cocher pour chaque dessin la case : chauffe, éclaire, se déplace et/ou fabrique de l'électricité. Enfin dans la dernière colonne du tableau les élèves doivent écrire le nom de la ou des sources d'énergie utilisées par les différents éléments.

Dans le questionnaire du pré-test, il est demandé aux élèves d'écrire le nom de la ou des sources utilisées par l'élément dessiné, alors que pour les questionnaires des post-test et à long terme, on leur demande d'écrire le nom de la source et de la ressource utilisée (en effet la distinction source et ressource a été introduite durant la séquence d'enseignement).

Après avoir rempli la partie 1 du questionnaire sur « les usages, sources et ressources » les élèves devaient réaliser la partie 2 sur « les objets qui utilisent de l'énergie » détaillée ci-après.

5.3.1.3 -Objets qui utilisent de l'énergie

La partie 2 du questionnaire a été construite dans le but d'observer quels sont les objets que les élèves associent à l'utilisation de l'énergie (figure 15).

2) Entoure le nom de ce qui utilise de l'énergie sur l'image suivante.

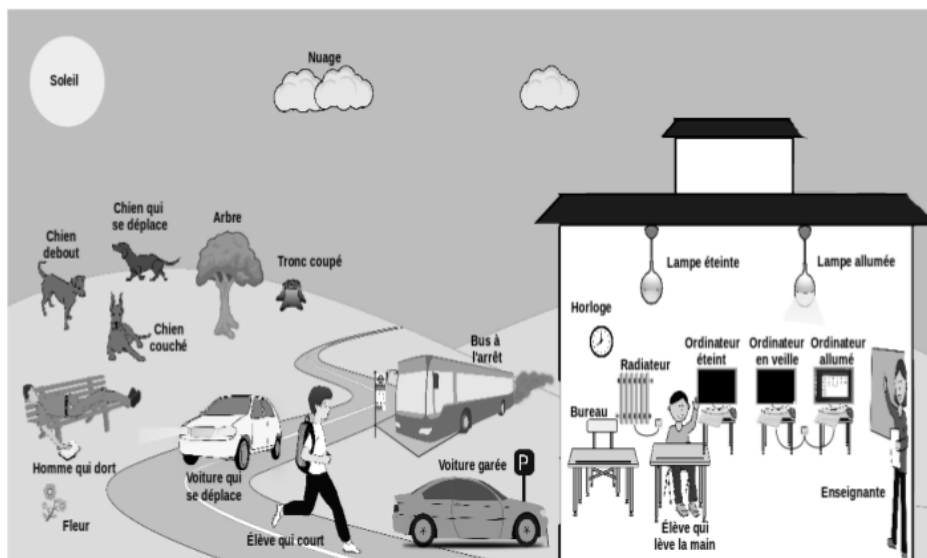


figure 15 : Partie 2 du questionnaire : objets qui utilisent de l'énergie

Sur cette image, les élèves doivent entourer « le nom de ce qui utilise de l'énergie ». Cette image se compose de 17 objets domestiques (en train de fonctionner, en veille ou éteint); ainsi que 7 êtres vivants (debout, couché; ou en mouvement). Les objets représentés sur cette image ont été utilisés lors un travail de master (Mvutsebanka, 2017) concernant les conceptions des élèves sur l'utilisation d'énergie par des entités animées ou inanimées. Dans le cadre de cette thèse, seule l'association de l'utilisation de l'énergie avec des êtres vivants à été prises en compte pour calibrer les groupes.

En plus de ces questionnaires, des captations vidéo ont été réalisées, la partie suivant présente le dispositif mis en place pour ces enregistrements.

5.3.2 -Vidéos de classe

Chacune des classes est divisée en deux avec une moitié d'élèves à qui sont présentées des tâches utilisant des systèmes biotiques et domestiques et l'autre moitié à qui sont présentés des systèmes domestiques uniquement. Chaque moitié de la classe est composée de 3 ou 4 groupes. L'objectif du dispositif vidéo mis en place est de capturer les opérations de contrôle des élèves de chacun des groupes et la façon dont l'enseignant présente les tâches.

La séquence d'enseignement a été vidéoscopée par un minimum de deux chercheurs dans trois classes avec au moins sept caméras et six micros. Le dispositif comporte une caméra fixe et un micro pour chaque groupe d'élèves (3 ou 4 élèves). Ces caméras ont été réparties en fonction de la disposition du mobilier et de la présence de prises électriques dans chaque classe. Une caméra semi-fixe était également disposée au fond de la classe afin de suivre l'enseignant. Trois dispositifs d'enregistrement ont été mis en place dans trois classes. Parmi ces dispositifs, l'un a été mis en place en CM2 et les deux autres en CM1. Le dispositif ayant donné lieu aux analyses de cette thèse correspond au dispositif de la classe de CM1 dans laquelle l'effet de la variable indépendante était le plus marqué. Il est exposé en détail ci-après. Le dispositif présenté comporte six caméras en plans fixes sur les groupes d'élèves connectées à six microphones disposés sur leurs tables, ainsi qu'une caméra en plan semi-fixe placée au fond de la salle pour suivre l'enseignant (figure 16).

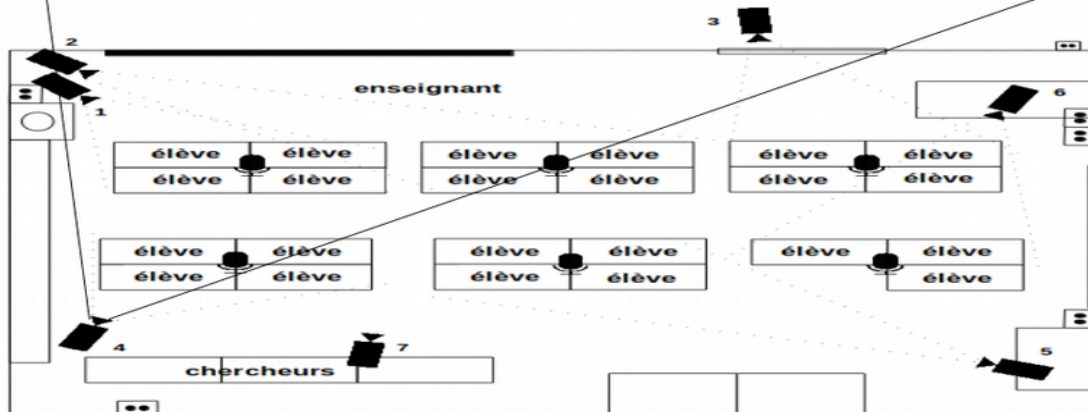


figure 16 : dispositif de captation vidéo

Lors de la mise en place de ce dispositif vidéo, nous étions présents lors de tous les enregistrements, parfois accompagnés d'autres chercheurs. Un des chercheurs enregistrait l'enseignant à partir de la caméra semi-fixe (caméra 7 sur la figure) du fond de la classe. L'autre chercheur avait pour tâche de consigner les éléments importants de la séance (interruptions, élèves absents, etc.) sur un plan de classe destinée à cet effet et préparé pour chaque séance. La présence des chercheurs avaient également pour but le contrôle du bon fonctionnement des appareils d'enregistrements. De plus lors de certaines séances (débat et jeux par exemple) le dispositif a dû être modifié sur place en cours de séance. Enfin certains aménagements de la séquence ont également été réalisés sur place à partir du ressenti de l'enseignant.

En plus de l'enregistrement vidéo de la séquence d'enseignement, l'ensemble des traces écrites des élèves ont été recueillies.

5.3.3 -Traces écrites

Toutes les traces écrites des élèves à l'exception de leur cahier de sciences ont été recueillies pour l'ensemble de la séquence. Seules les traces écrites des élèves pendant les séances 3 et 7 sur les chaînes énergétiques qui contiennent l'opérationnalisation de la variable indépendante ont été

analysées. Ces traces écrites correspondent aux images sur lesquelles les systèmes domestiques et biotiques ou domestiques uniquement sont représentés. Dans ces séances, les élèves doivent réaliser les chaînes énergétiques par groupe de trois ou quatre sur un seul livret (en format paysage).

Lors de la séance 3 (dite progressive), les élèves doivent remplir trois livrets comportant chacun cinq images sur lesquelles sont représentés les éléments de différents systèmes. Les images du premier livret comprennent les dessins de deux éléments, les images du deuxième livret représentent trois éléments et celles du troisième livret se composent de quatre éléments. Lors de la séance 7, chacun des 6 groupes doit compléter un seul livret constitué de neuf images sur lesquelles sont représentés les quatre éléments des systèmes. Dans les livrets chaque élément est accompagné de son nom (figure 17).

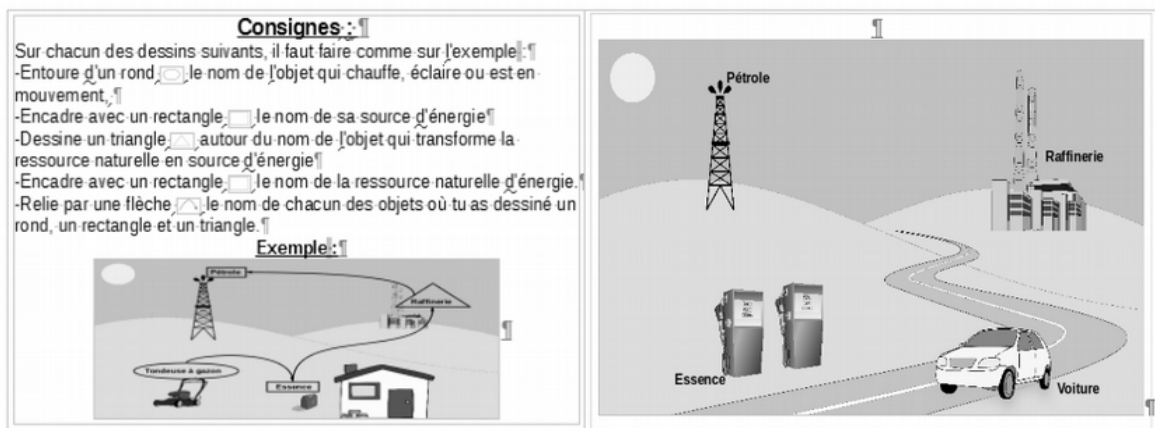


figure 17 : exemple de livrets distribués aux élèves dans les séances 3 et 7

Ces livrets sont constitués d'une page contenant une consigne écrite, ainsi que d'un exemple basé sur le système tondeuse à gazon (première page de la figure 17). Puis des images à compléter par les groupes d'élèves (deuxième page de la figure 17).

Sur ces livrets, comme dans la partie 3 du questionnaire, les élèves doivent entourer le nom de l'objet de départ, encadrer le nom de la source d'énergie, dessiner un triangle autour du nom du transformateur, encadrer le nom de la ressource naturelle et enfin relier les symboles par des flèches pour chacun des systèmes représentés sur les images.

En conclusion, différents types de données ont été recueillis : des questionnaires, des enregistrements vidéo et les traces écrites d'élèves. Les modalités du recueil de ces données sont présentées ci-après.

5.4 -Recueil des données

L'ensemble du corpus de données recueillies est constitué de 76 questionnaires pilotes, 144 pré-tests, 139 post-tests et 133 questionnaires à long terme, de l'ensemble des traces écrites des élèves (dont 57 livrets sur lesquels ils ont dessiné les chaînes énergétiques) et enfin de 666 heures de vidéo. Les analyses présentées dans cette thèse n'exploitent que les données recueillies dans les trois classes de CM1 dans lesquelles la séquence d'enseignement a été intégralement mise en œuvre. Le détail des différents recueils n'est donc présenté que pour ces trois classes nommées CM1A, CM1B et CM1C.

5.4.1 -Au CM1A

Dans le CM1A, 210 heures de vidéo ont été enregistrées, 20 pré-tests, 16 post-tests, 18 questionnaires sur les ressources renouvelables et non renouvelables, ainsi que 17 questionnaires à long terme ont été recueillis.

Dans cette classe, la séquence a été mise en place par l'enseignant un jour par semaine pendant environ deux mois. Durant chacune de ces journées l'enseignant a conduit : soit deux séances de la séquence pendant après-midi, soit une séance le matin et l'autre l'après-midi.

Les tâches du questionnaire sur : (1) les usages, les sources d'énergie et les ressources naturelles, (2) les objets qui utilisent de l'énergie, (3) les chaînes énergétiques et (4) les ressources énergétiques renouvelables et non renouvelables ont été administrées ensemble sous la forme d'un seul questionnaire avant la séquence d'enseignement. La séquence a ensuite été mise en œuvre jusqu'à la séance n°7 (deuxième séance portant sur les chaînes énergétiques). Après cette séance, les tâches du questionnaire sur : (1) les usages, les sources d'énergie et les ressources naturelles, (2) les objets qui utilisent de l'énergie, (3 et 4) les chaînes énergétiques 1 et 2 ont été administrées auprès des élèves. Puis les séances 8, 9 et 10 ont été mises en œuvre. À la suite de ces séances, le questionnaire sur les ressources renouvelables et non renouvelables a été administré à nouveau. Les dernières séances de la séquence ont ensuite été mises en œuvre. Enfin un questionnaire avec toutes les tâches a été administré environ 2 semaines après la séquence (tableau 7). Le court laps de temps entre la fin de la séquence et l'administration du questionnaire à long terme, s'explique par la mise en place du projet de recherche en fin d'année et l'impossibilité d'administrer le questionnaire à long terme plus tard pour cause de vacances scolaires. Les questionnaires ont tous été administrés en présence des chercheurs. Les instructions concernant le remplissage des questionnaires ont été données conjointement par l'enseignant et le même chercheur pour chacune des administrations (pré-test, post-test et long terme). Les chercheurs et les enseignants ont répondu aux questions des

élèves qui concernaient la tâche pendant la passation du questionnaire, il n'a été donné aucune indication sur les réponses attendues au questionnaire.

L'enseignant et l'ensemble des élèves de cette classe ont été filmés à l'aide d'un dispositif comportant 7 caméras et 6 micros. Dans cette classe, les élèves et l'enseignant ont été filmés à partir de la séance 1 sans qu'il n'y ait d'enregistrement vidéo supplémentaire pour les habituer à la présence des caméras.

31/03/2016	Administration pré-test : (1) besoins en énergie, sources d'énergie et ressources naturelles ; (2) objets qui utilisent de l'énergie : (3) chaîne énergétique 1 et (4) ressources renouvelables et non renouvelables
21/04/2016	Enregistrement vidéo séance 1
28/04/2016	Enregistrement vidéo séance 2
09/05/2016	Enregistrement vidéo séance 3
19/05/2016	Enregistrement vidéo séance 4 et séance 5
02/06/2016	Enregistrement vidéo séance 6 (matin) et séance 7 (après-midi)
02/06/2016	Administration post-test : (1) besoins en énergie, sources d'énergie et ressources naturelles, (2) objets qui utilisent de l'énergie, (3) chaîne énergétique 1 et (4) chaîne énergétique 2
09/06/2016	Enregistrement vidéo séance 8,9 et 10
20/06/2016	Administration questionnaire sur les ressources renouvelables et non renouvelable
20/06/2016	Enregistrement vidéo séance 11
23/06/2016	Enregistrement vidéo séance 12
30/06/2016	Administration test à long terme : (1) besoins en énergie, sources d'énergie et ressources naturelles ; (2) objets qui utilisent de l'énergie, (3) chaîne énergétiques 1 ; (4) chaînes énergétiques 2 et (5) ressources renouvelables et non renouvelables

Tableau 7 : recueil des données dans le CM1A

5.4.2 -Au CM1B

Dans le CM1B, 360 heures de vidéo ont été enregistrées, 26 pré-tests, 26 post-tests, 26 questionnaires sur les ressources renouvelables et non renouvelables, ainsi que 26 questionnaires à longs termes ont été recueillis.

Dans cette classe, la séquence a été mise en place par l'enseignant deux matinées par semaine pendant environ deux mois. Durant chacune de ces matinées, l'enseignant a mis en œuvre pendant une heure ou un peu plus l'une des séances de la séquence sur l'énergie, puis a continué librement

ses enseignements dans les autres disciplines (français, mathématiques, anglais, etc.) pendant le temps restant. Cet enseignant a choisi de séparer la séance 3, en deux séances. La première matinée, les élèves ont réalisé les chaînes énergétiques à deux éléments et à trois éléments. Le lendemain, ils ont réalisé les chaînes énergétiques à quatre éléments.

Les questionnaires ont été administrés de la même façon que dans le premier CM1, avant la séquence, après la séance 7, après la séance 10 et enfin environ deux mois après la séquence. La passation des questionnaires a été faite dans les mêmes conditions que dans le CM1A.

L'enseignant et l'ensemble des élèves de cette classe ont été filmés à l'aide d'un dispositif comportant 8 caméras et 7 micros (tableau 8).

21/06/2016	Enregistrement vidéo 0 : Passation du pré-test : besoins en énergie, sources d'énergie et ressources naturelles, objets qui utilisent de l'énergie, chaîne énergétique 1 et ressources renouvelables et non renouvelables
27/01/2016	Enregistrement vidéo séance 1
29/01/2016	Enregistrement vidéo séance 2
04/02/2016	Enregistrement vidéo séance 3
05/02/2016	Enregistrement vidéo séance 3 (suite)
24/02/2016	Enregistrement vidéo séance 4
26/02/2016	Enregistrement vidéo séance 5
03/03/2016	Enregistrement vidéo séance 6
04/03/2016	Enregistrement vidéo séance 7
04/03/2016	Administration post-test : besoins en énergie, sources d'énergie et ressources naturelles, objets qui utilisent de l'énergie, chaîne énergétique 1 et chaîne énergétique 2
10/03/2016	Enregistrement vidéo séance 8
11/03/2016	Enregistrement vidéo séance 9
18/03/2016	Enregistrement vidéo séance 10
18/03/2016	Administration questionnaire sur les ressources renouvelables et non renouvelable
23/03/2016	Enregistrement vidéo séance 11
25/03/2016	Enregistrement vidéo séance 12
03/06/2016	Administration test à long terme : besoins en énergie, sources d'énergie et ressources naturelles, objets qui utilisent de l'énergie, chaîne énergétique 1 ; chaînes énergétiques 2 et ressources renouvelables et non renouvelables

Tableau 8 : recueil des données dans le CM1B

Les élèves et l'enseignant ont été enregistrés sur l'ensemble de la matinée (3h, séance sur l'énergie et séance autre). Afin d'habituer les élèves et l'enseignant à la présence des caméras, l'administration du pré-test et du test sur les objets qui utilisent de l'énergie, ainsi que le cours dispensé par l'enseignant durant ces demi-journées ont été filmées le 21/06/2016.

5.4.3 -Au CM1C

Dans le troisième CM1, la séquence n'a pas été filmée. Dans cette classe 22 pré-tests, 20 post-tests, 20 questionnaires sur les ressources renouvelables et non renouvelables, ainsi que 17 questionnaires à long terme ont été recueillis.

La séquence a été mise en place par l'enseignant sur une durée d'environ deux mois, durant lesquels l'enseignant a librement conduit la séquence sur l'énergie et réparti les séances en fonction de son emploi du temps habituel. Les questionnaires ont été administrés de la même façon que dans les autres CM1 : avant la séquence, après la séance 8, après la séance 10 et enfin deux semaines après la séquence (tableau 9).

31/03/2016	Recueil des pré-tests : besoins en énergie, sources d'énergie et ressources naturelles, objets qui utilisent de l'énergie, chaîne énergétique 1 et ressources renouvelables et non renouvelables
31/03/2016 à 02/06/2016	Mise en place par l'enseignant des séances 1 à 7
02/06/2016	Recueil des post-tests : besoins en énergie, sources d'énergie et ressources naturelles, objets qui utilisent de l'énergie, chaîne énergétique 1 et chaîne énergétique 2
02/06/2016 à 20/06/2016	Mise en place par l'enseignant des séances 8 à 10
20/06/2016	Recueil des questionnaires sur les ressources renouvelables et non renouvelable
20/06/2016 à 30/06/2016	Mise en place par l'enseignant des séances 11 à 12
30/06/2016	Recueil des tests à long terme : besoins en énergie, sources d'énergie et ressources naturelles, objets qui utilisent de l'énergie, chaîne énergétique 1 ; chaînes énergétiques 2 et ressources renouvelables et non renouvelables

Tableau 9 : recueil des données dans le CM1C

Dans cette classe, également, les questionnaires à long terme n'ont pu être recueillis que peu de temps après la fin de la séquence (pour cause de vacance scolaire d'été). Les pré-tests ont été

administrés en présence des chercheurs dans les mêmes conditions que dans les autres CM1. En revanche les post-tests, les questionnaires sur les ressources renouvelables et non renouvelables, ainsi que les questionnaires à long termes ont été recueillis dans cette classe par l'enseignant sans que les chercheurs ne soient présents.

5.5 -Traitement et analyse des données

Les données analysées dans cette thèse sont : (1) les parties 1 et 3 des pré-tests et des post-tests, (2) les enregistrements vidéos de la classe de CM1A, ainsi que (3) les traces écrites concernant les chaînes énergétiques de cette même classe. La partie 2 du pré-test a également été analysée pour constituer les groupes d'élèves (« biotique » et « domestique »). Les grilles d'analyses sont présentées dans les parties suivantes, dans un premier temps pour les questionnaires, puis pour les enregistrements vidéo et enfin pour les traces écrites.

5.5.1 -Questionnaires

Le recueil des différents questionnaires a pour objectif d'évaluer l'efficacité de la condition de la tâche « usage de systèmes biotiques » dans la séquence sur les progressions des élèves au niveau de l'action « reconstituer un système énergétique complet ». Seules certaines images dans la partie 3 et certains dessins dans la partie 1 ont été pris en compte dans les analyses. Sur ces images et dessins, différents types d'analyses ont été articulés, un codage des réponses comme attendues ou non attendues dans chaque questionnaire, un codage des progressions entre le pré-test et le post-test et enfin l'analyse statistique des moyennes sur les progressions. Ces analyses sont présentées en quatre parties : 1) la sélection des images et des dessins analysés, 2) le codage des réponses comme attendues ou non attendues, 3) le codage des progressions et enfin 4) les comparaisons des moyennes des groupes « biotique » et « domestique » et les analyses statistiques.

5.5.1.1 -Sélection des images et dessins

Dans la partie 1 du questionnaire, les élèves doivent identifier les besoins en énergie, les sources d'énergie et les ressources naturelles pour dix-huit images. Dans la partie 3, ils doivent réaliser 12 ou 15 chaînes énergétiques. Lorsque la majorité des réponses des élèves pour certains dessins de la partie 1 et pour certaines images de la partie 3 n'est pas exploitable, elles n'ont pas été prises en compte pour les analyses. Les images et les dessins qui ont été retirées des analyses sont présentés en détail dans les parties suivantes d'abord pour les images de la partie 3 puis pour les dessins de la partie 1.

Images analysées dans la partie 3 du questionnaire

La partie 3 du questionnaire comporte douze images identiques (chaîne énergétique 1) dans le pré-test et le post-test. Le post-test (chaîne énergétique 2) contient en plus trois images avec des systèmes nouveaux (c'est-à-dire qu'ils n'ont pas été étudiés par les élèves durant la séance d'enseignement sur l'énergie).

Pour trois images parmi les douze composées des éléments des systèmes présents dans les tâches de la séquence, les élèves devaient dessiner des chaînes énergétiques ne comprenant que deux éléments (au lieu de quatre) avec des centrales électriques comme objet de départ (objets qui fabriquent de l'électricité). Seules les neuf images où les élèves devaient réaliser des chaînes énergétiques à quatre éléments ont été prises en compte dans nos analyses. En effet, par effet de contrat, après avoir réalisé des chaînes énergétiques composées de quatre éléments tout au long de la séquence et dans les questionnaires, presque tous les élèves ont réalisé des chaînes à quatre éléments au lieu des chaînes à deux attendues sur les trois dernières images.

Les trois images présentes uniquement dans le post-test (chaîne énergétique 2) étaient composées des éléments de systèmes nouveaux. Ces images n'ont pas été prises en compte dans les analyses présentées dans cette thèse. Les comparaisons réalisées dans cette étude entre les groupes d'élèves reposent en effet sur des mesures de progression qui ne pouvaient pas être observées dans le cas de ces systèmes qui n'étaient pas présents dans le pré-test.

Les chaînes analysées dans cette thèse correspondent donc à onze images sur lesquelles étaient représentées les systèmes : voiture, humain, loup, voiture électrique, cheminée qui éclaire, lampe, ordinateur (qui éclaire), cheminée (qui chauffe), radiateur, gazinière et enfin ordinateur (qui chauffe).

De plus, sur chacune des images du questionnaire, les élèves avaient la possibilité de réaliser plusieurs chaînes. Lorsqu'ils ont réalisé plusieurs chaînes en plus de celle(s) demandée(s), ces chaînes n'ont pas été prises en compte et seule la ou les chaîne(s) demandée(s) a(ont) été analysée(s).

Dans la partie 1 du questionnaire également, tous les dessins présentés n'ont pas été pris en compte dans les analyses.

Dessins analysés dans la partie 1 du questionnaire

Dans cette partie du questionnaire les élèves devaient cocher l'usage et écrire le nom des sources ou des ressources d'énergie pour dix-huit dessins représentant différents éléments des systèmes. Parmi ces dix-huit dessins, celui représentant du bois n'a pas été prise en compte dans les analyses des usages et des sources et des ressources. En effet, la très grande majorité des élèves a donné une source d'énergie alors qu'aucune réponse n'était attendue.

En ce qui concerne les analyses sur la partie usage, trois dessins supplémentaires ont été écartés des analyses. Ces dessins représentaient des végétaux (arbre, herbe et champ). Ces dessins étaient compris dans la partie 1 du questionnaire mais aucune réponse concernant les usages n'était attendue de la part des élèves. Seule la source d'énergie associée à ces dessins nous intéressait mais nous n'avons pas voulu ajouter une tâche supplémentaire.

Les réponses des élèves concernant les sources d'énergie ou les ressources naturelles ont donc été analysées pour dix-sept dessins. Ces dessins représentaient : une centrale hydroélectrique, une lampe, de l'herbe, une voiture, un panneau solaire, une éolienne, un humain, un arbre, un radiateur, un mouton, une gazinière, une cheminée, un loup, un champ, une voiture électrique et enfin un ordinateur. Les réponses des élèves concernant les usages ont été analysées sur quatorze de ces dessins. Ces dessins étaient les mêmes sans l'herbe, l'arbre et le champ.

Pour conclure, dans les questionnaires, onze systèmes ont été pris en compte dans la partie 3 et quatorze ou dix-sept dessins ont été pris en compte en fonction des analyses dans la partie 1. C'est sur ces systèmes et ces images que les réponses des élèves ont été analysées à l'aide des codages présentés dans la partie suivante.

5.5.1.2 -Codage des réponses attendues et non attendues

Deux parties du questionnaire ont été analysées. L'analyse de la partie 3 du questionnaire avait pour but d'étudier l'efficacité de la condition de la tâche usage de systèmes biotiques dans la séquence sur les apprentissages du modèle de chaîne énergétique. L'analyse de la partie 1 du questionnaire avait pour objectif d'interroger cette efficacité sur une tâche différente, mais reflétant les objectifs de la chaîne énergétique (identifier l'usage d'un objet de départ du système et remonter à la ressource naturelle qui y est associée). Les codages des réponses des élèves comme attendue et non attendue sont présentées pour la partie i) sur les chaînes énergétiques et ii) les usages, source d'énergie et ressources naturelles.

Codage des chaînes énergétiques de la partie 3 du questionnaire

Les réponses des élèves dans la partie 3 du questionnaire (où ils devaient réaliser des chaînes énergétiques) ont été codées comme des réponses attendues ou non attendues selon cinq critères. Le premier critère correspond aux actions « reconstituer un système énergétique à partir d'un modèle de chaîne énergétique » des élèves. Les quatre autres critères correspondent aux opérations d'exécution et d'orientation de l'action réalisées par les élèves.

5.1.2.1 Codage des chaînes complètes

Que les chaînes réalisées par les élèves soient complètes ou non constitue le premier critère avec lequel les réponses des élèves dans cette partie du questionnaire ont été codées (tableau 10).

Réponses attendues

Exemple pour le système cheminée

Chaîne complète

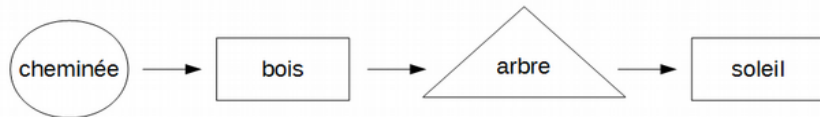


Tableau 10 : exemple du codage d'une chaîne complète pour le système cheminée

Une chaîne complète est une chaîne énergétique dans laquelle chaque élément (objet de départ, source, transformateur, et ressource naturelle) est associé au symbole du modèle qui lui correspond (rond, rectangle, triangle, rectangle) et dans laquelle toutes les flèches sont dessinées dans le sens du modèle (de l'objet de départ vers la ressource naturelle).

Toutes les chaînes dessinées, qui ne présentent pas l'ensemble de ces critères ont été considérées comme des réponses non attendues (tableau 11).

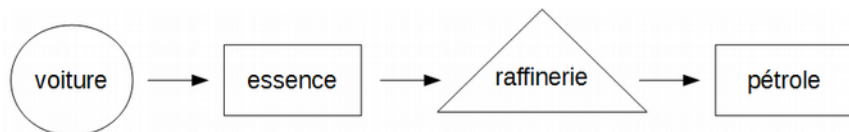
Réponses non attendues

Exemple pour le système cheminée

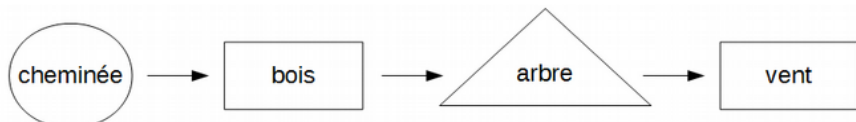
Chaîne incomplète



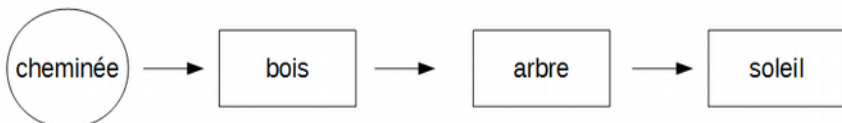
l'objet de départ n'est pas celui attendu



Les éléments identifiés ne sont pas ceux attendus



Les symboles ne sont pas ceux du modèle



Les flèches ne sont pas dans le sens du modèle ou il n'y en a pas



l'ensemble ne correspond pas à ce qui était attendu

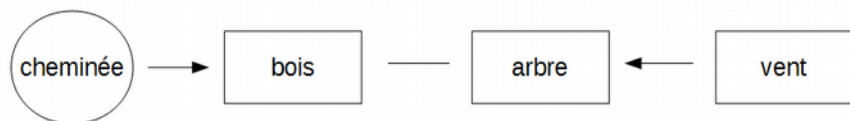


Tableau 11 : exemple de réponses considérées comme non attendues avec le critère chaîne complète pour le système cheminée

Le tableau 11 présente les réponses codées comme non attendues qui peuvent correspondre à des chaînes incomplètes (exemple 1) ou à chaînes énergétiques dans lesquelles l'objet de départ identifié n'est pas le bon (exemple 2), les éléments identifiés ne sont pas les bons (exemple 3), les symboles ou les flèches dessinés ne sont pas les bons (exemple 4 et 5). Elles peuvent également correspondre à des chaînes dans lesquelles plusieurs éléments ne sont pas ceux attendus (exemple 6 où les flèches, les symboles et les éléments ne sont pas corrects).

Ce codage correspond à un des critères avec lesquels les réponses des élèves ont été analysées, les codages des quatre critères correspondant aux opérations sont présentés ci-après.

5.1.2.2 Codage des opérations d'orientation et d'exécution

Les quatre critères suivants ont été déterminés à partir du modèle de l'activité présenté dans le cadre théorique et notamment des opérations d'orientation et d'exécution de l'action permettant de reconstituer un système énergétique à partir d'un modèle de chaîne énergétique.

Pour réaliser une chaîne énergétique, les élèves doivent : entourer le nom de l'objet qui chauffe, éclaire, bouge ou se déplace, encadrer le nom de la source d'énergie utilisée par cet objet de départ, dessiner un triangle autour du nom du transformateur (qui a permis d'obtenir cette source d'énergie), encadrer le nom de la ressource naturelle (placée à la suite du transformateur), et enfin relier les différents symboles par des flèches (allant de l'objet de départ à la ressource naturelle). La réalisation d'une chaîne énergétique est donc constituée de l'identification de certains éléments et de leur association à la convention symbolique du modèle. L'analyse a priori de l'action « reconstituer un système énergétique » nous a permis de définir quatre opérations nécessaires à la réalisation d'une chaîne énergétique. Nous avons considéré que l'identification de l'usage de l'objet de départ, ainsi que des éléments du système correspondaient à deux opérations d'orientation de l'action. De même, le dessin des flèches et des symboles correspondaient à deux opérations d'exécution. Afin d'étudier l'effet de la condition de la tâche « usage de système biotique » sur les différentes opérations, chacune d'entre elles a été analysée de manière isolée sur les chaînes énergétiques. Toutefois pour pouvoir coder chaque opération, il a été nécessaire de déterminer le sens de la chaîne dessinée par l'élève. Ces analyses ont été conduites séparément sur l'identification de l'usage de l'objet de départ et des éléments de la chaîne, ainsi que sur le dessin des symboles du modèle et des flèches du modèle.

a. Objet de départ

Les réponses codées comme attendues concernant les objets de départ sont les réponses dans lesquelles l'élève a commencé la chaîne à partir de l'objet attendu. Elles englobent les chaînes

complètes, les chaînes incomplètes et les chaînes dont la détermination du sens a permis de coder l'objet de départ (tableau 12).

Réponses attendues

Exemple pour le système cheminée

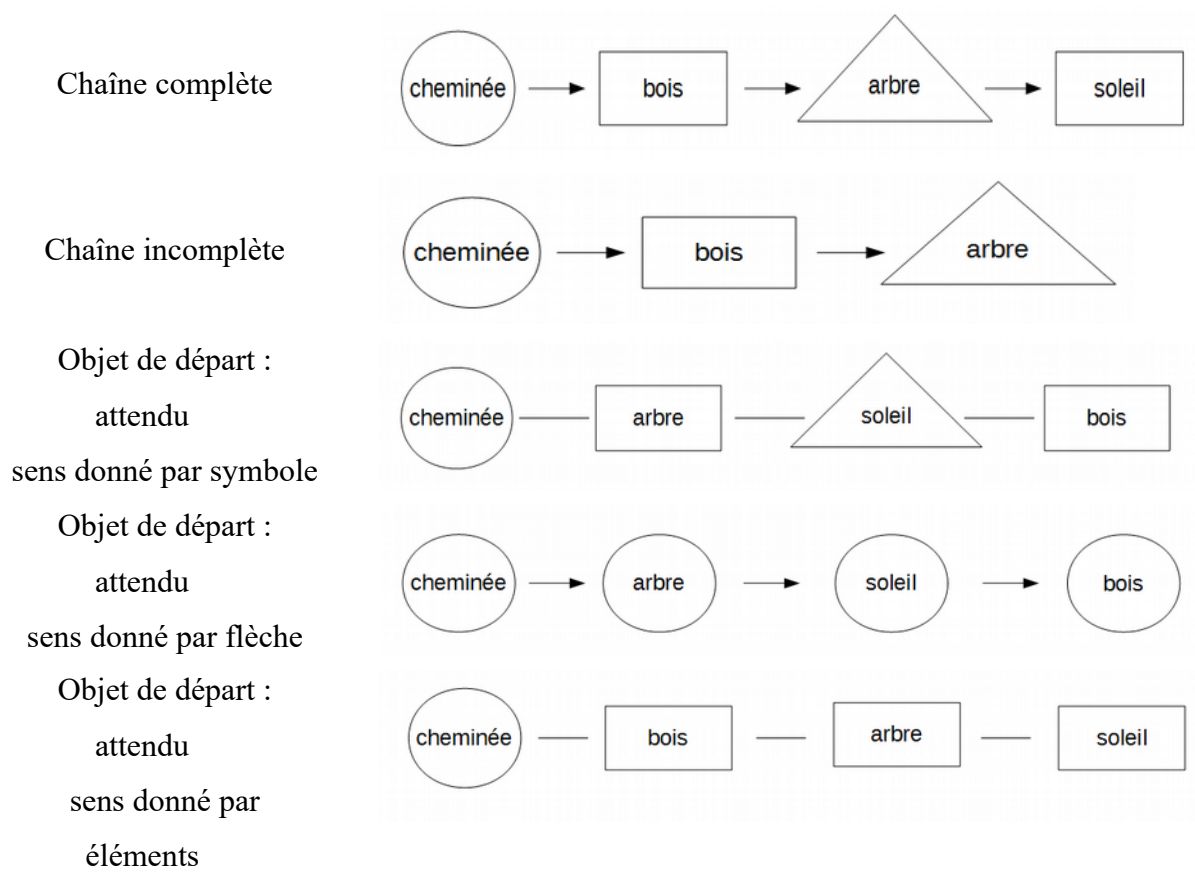


Tableau 12 : exemple de réponses considérées attendues avec le critère « identification de l'objet de départ » pour le système cheminée

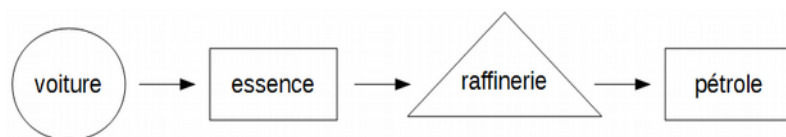
Les réponses attendues englobent les chaînes complètes (exemple 1 du tableau 12), les chaînes incomplètes (exemple 2) et les chaînes dont la détermination du sens a permis de coder l'objet de départ (exemples 3, 4 et 5).

Les réponses codées comme non attendue correspondent à des chaînes énergétiques réalisées à partir du mauvais objet de départ (tableau 13).

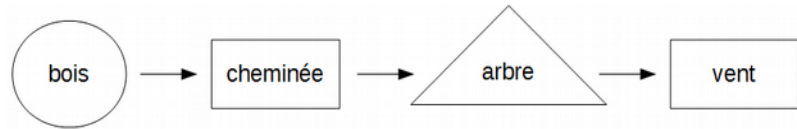
Réponses non attendues

Exemple pour le système cheminée

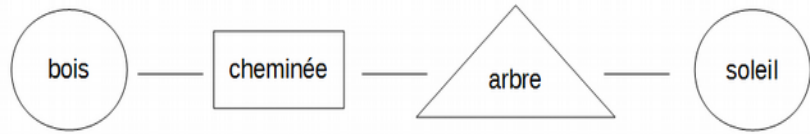
l'objet de départ est celui d'une autre chaîne



l'objet de départ n'est pas celui attendu



l'objet de départ est impossible à déterminer



Pas de réponse \emptyset

Tableau 13 : exemple de réponses considérées comme non attendues avec le critère « identification de l'objet de départ » pour le système cheminée

Les réponses codées comme non attendues avec le critère « identification de l'objet de départ » comprennent les chaînes qui ont été réalisées sur un objet qui n'était pas celui attendu (exemple 1 du tableau 13) les chaînes dont l'objet de départ était un autre élément du système (exemple 2) les chaînes dont l'objet de départ est impossible à déterminer (exemple 3) et enfin les réponses vides.

Les codages du critère identification des éléments de la chaîne énergétique sont présentés ci-après.

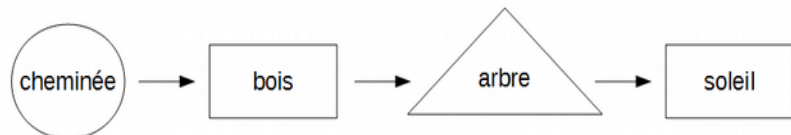
b. Éléments de la chaîne

Les réponses codées comme attendues concernant l'identification des éléments de la chaîne sont celles dans lesquelles l'élève a relié les quatre éléments attendus dans le bon ordre (tableau 14).

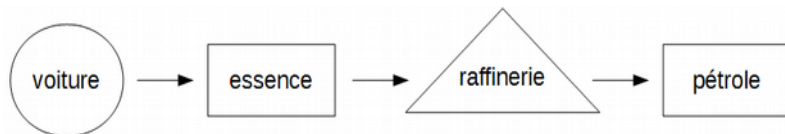
Réponses attendues

Exemple pour le système cheminée

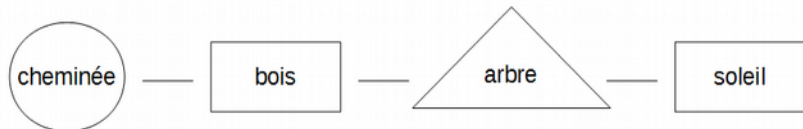
Chaîne complète



Chaîne autre



éléments : attendus sans donné par symbole



éléments : attendus sans donné par flèche



Éléments : attendus
sens donné par objet de
départ

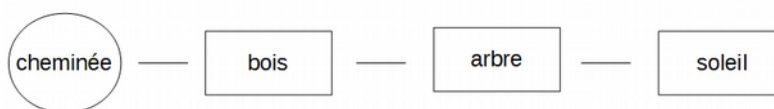


Tableau 14 : exemple des réponses considérées comme attendues avec le critère « identification des éléments » de la chaîne pour le système cheminée

Le tableau 14 représente les réponses codées comme attendues. Elles englobent les chaînes complètes (exemple 1), les chaînes réalisées sur le mauvais objet (exemple 2) et les chaînes dont la détermination du sens a permis de coder les quatre éléments présents et leur ordre (exemples 3, 4 et 5).

Les réponses codées comme non attendues se basant sur le critère « identification des éléments du système » correspondent à des chaînes énergétiques dont les éléments ne sont pas ceux attendus (tableau 15).

Réponses non attendues

Exemple pour le système cheminée

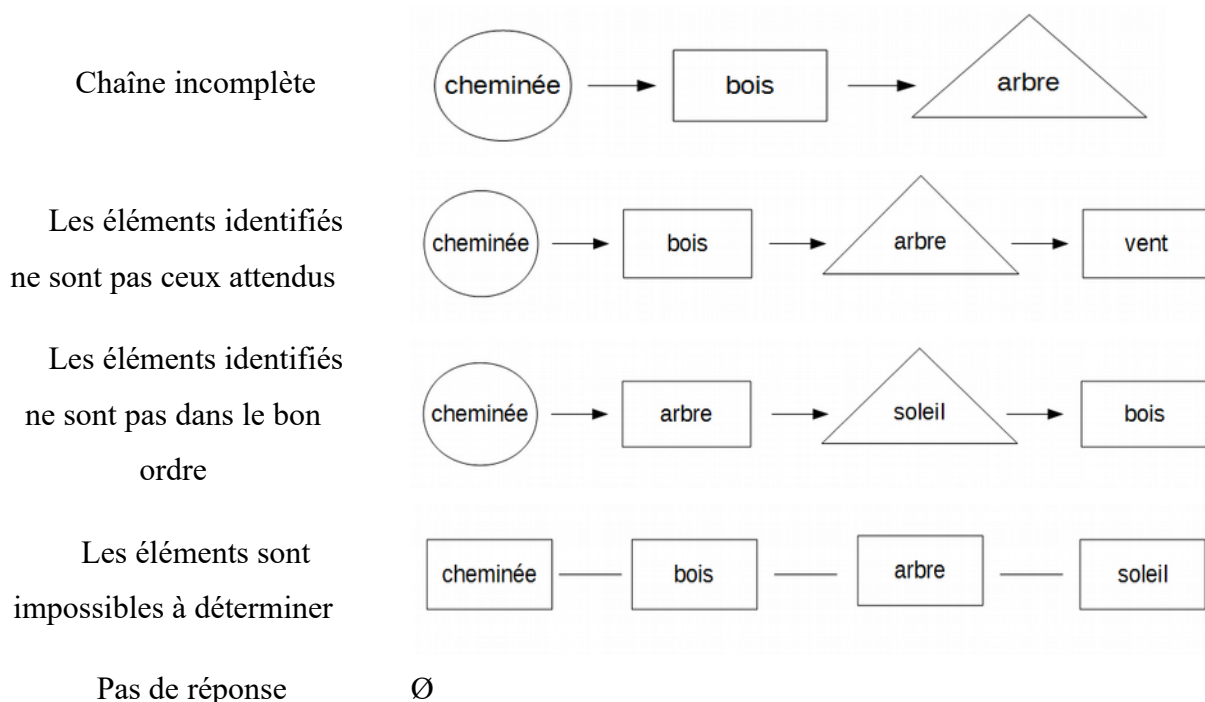


Tableau 15 : Exemple de réponses considérées comme non attendues avec le critère « identification des éléments » de la chaîne pour le système cheminée

Les réponses non attendues englobent : les chaînes incomplètes (exemple 1 du tableau 15), les chaînes dont les éléments ne sont pas ceux attendus (exemple 2), les chaînes dont les éléments ne

sont pas dans l'ordre attendu (exemple 3), les chaînes dont l'ordre des éléments est impossible à déterminer (exemple 4) et les réponses vides.

Les codages présentés ci-après correspondent au critère dessin des quatre symboles du modèle

a. Symboles du modèle

Les réponses attendues se basent sur le critère dessin du modèle, et elles sont constituées : des chaînes complètes, des chaînes réalisées sur le mauvais objet et de toutes les chaînes pour lesquelles les élèves ont dessiné à la suite un rond, un rectangle, un triangle et un autre rectangle (tableau 16).

Réponses attendues

Exemple pour le système cheminée

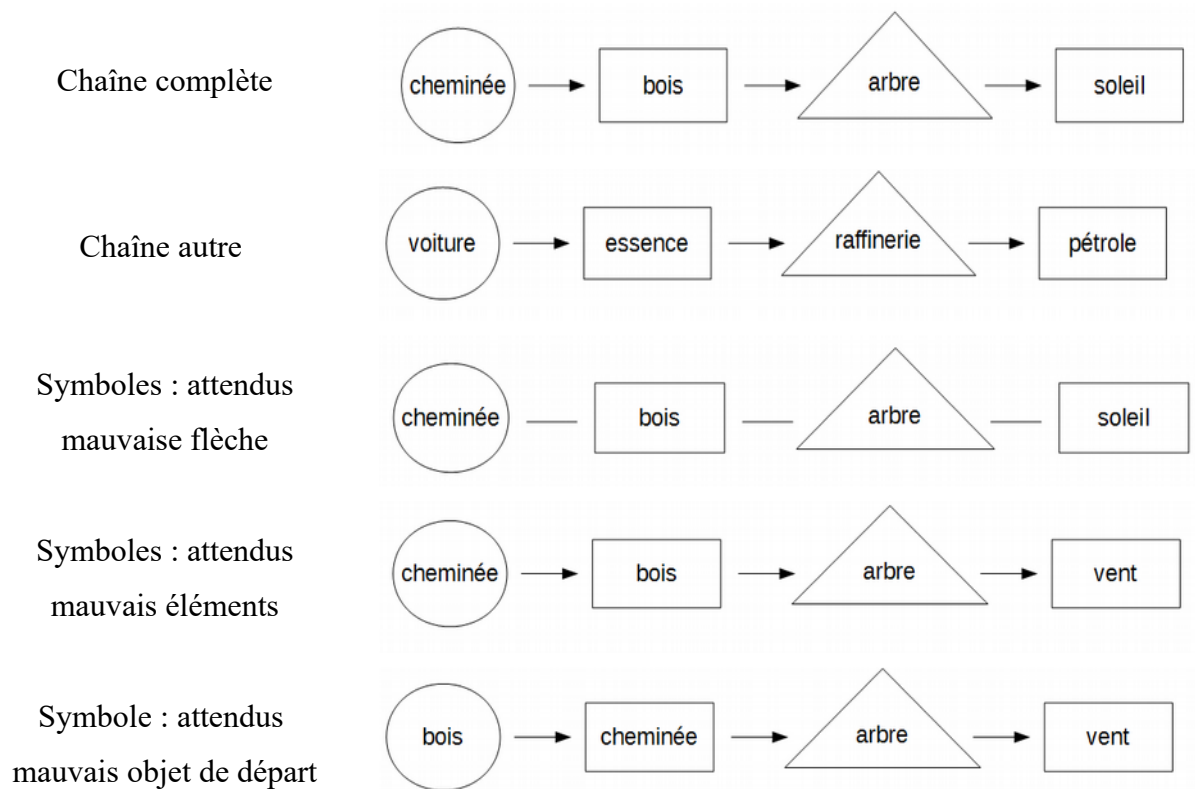


Tableau 16 : exemple des réponses considérées comme attendues avec le critère « dessin des symboles » pour le système cheminée

Le tableau 16 présente les réponses codées comme attendues selon le critère « dessin des symboles » du modèle. Dans ce cas les autres critères n'ont pas été pris en compte comme indicateur du sens de la chaîne. Les réponses attendues peuvent comporter les chaînes complètes (exemple 1), les chaînes ou seuls les symboles correspondent à ce qui est attendu (exemples 3, 4 et 5).

Les réponses non attendues (correspondant au critère dessin des symboles) comportent les chaînes incomplètes, les chaînes dont les symboles ne sont pas ceux du modèle, les chaînes dont les symboles du modèle ne sont pas dans l'ordre et les réponses vides (tableau 17)




Réponses non attendues	Exemple pour le système cheminée
Chaîne incomplète	
Les symboles ne sont pas ceux du modèle	
Les symboles ne sont pas dans le bon ordre	
Pas de réponse	∅

TABLEAU 17 : exemple des réponses considérées comme non attendues avec le critère « dessin des symboles » pour le système cheminée

Le tableau 17 représente les chaînes énergétiques codées comme non attendues avec le critère « dessins des symboles » du modèle. Il peut s'agir de chaîne incomplète (exemple 1) de chaîne comportant les mauvais symboles (exemple 2) de chaîne où les symboles ne sont pas dans le bon ordre (exemple 3) ou de réponse vide (exemple 4)

Le codage des réponses des élèves avec le critère flèches dessinées dans le sens du modèle sont présentés ci-après.

d. Flèches du modèle

Les réponses codées comme attendues sur la base du critère « dessin des flèches » du modèle correspondent aux chaînes énergétiques dans lesquelles les élèves ont dessiné les flèches de l'objet de départ vers la source d'énergie, de la source d'énergie vers le transformateur, et du transformateur vers la ressource naturelle (tableau 18).

Réponses attendues	Exemple pour le système cheminée
--------------------	----------------------------------

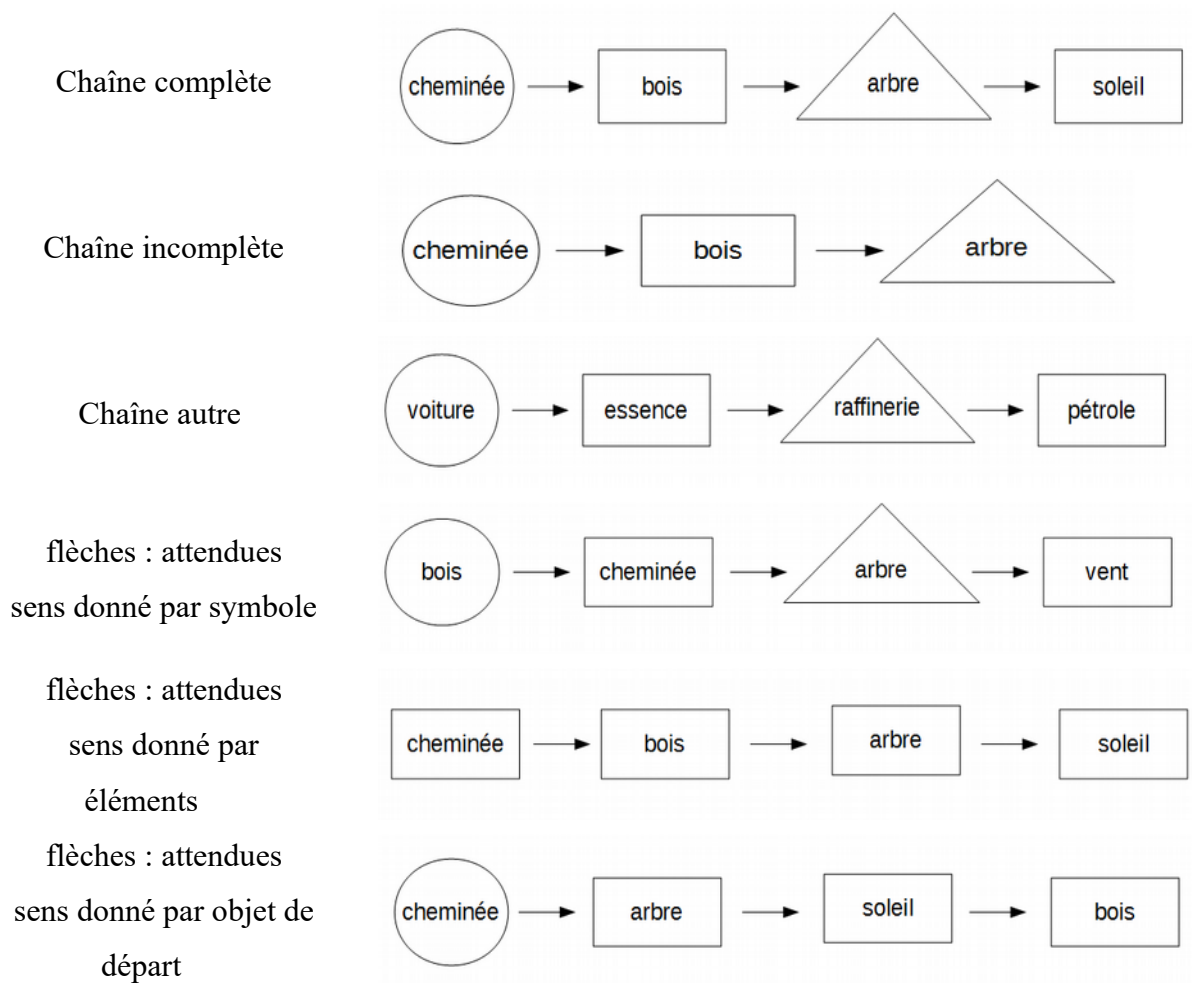


Tableau 18 : exemple de réponses considérées comme attendues avec le critère « dessin des flèches » pour le système cheminée

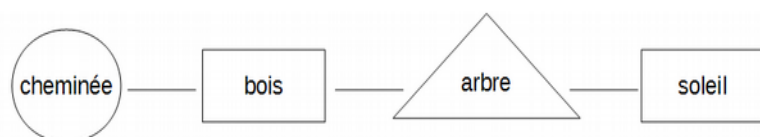
Le tableau 18 présente les réponses considérées comme attendues selon le critère dessin des flèches dans le sens du modèle. Elles comportent les chaînes complètes (exemple 1), les chaînes incomplètes (exemple 2), les chaînes réalisées sur un autre objet (exemple 3) ainsi que les chaînes dont la détermination du sens a permis de coder le sens des flèches (exemples 4, 5 et 6).

Les autres chaînes énergétiques réalisées par les élèves ont été considérées comme non attendues (tableau 19).

Réponses non attendues

Exemple pour le système cheminée

Les flèches ne sont pas celles attendues



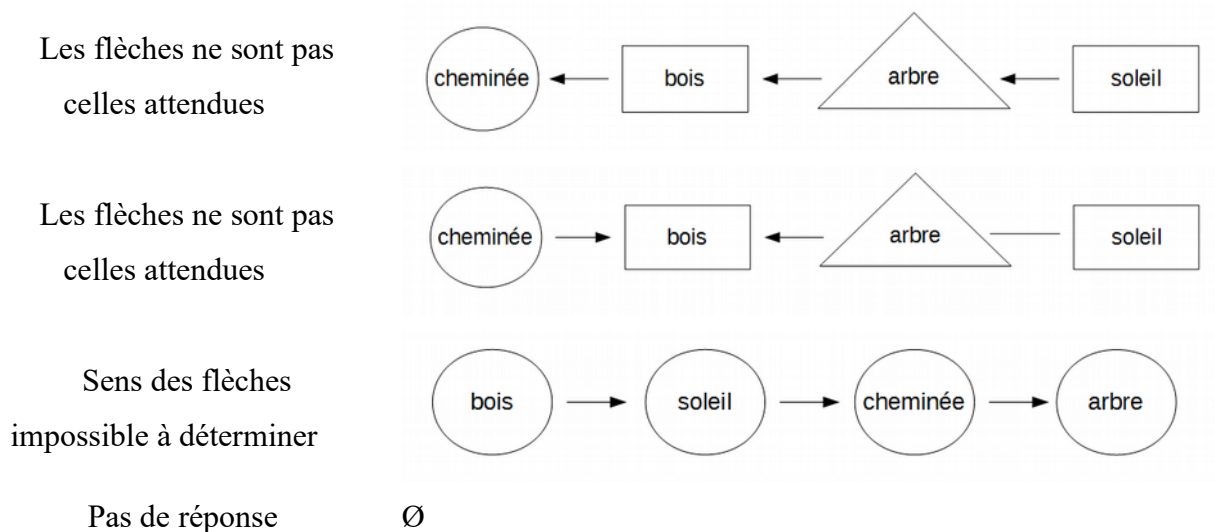


Tableau 19 : exemple des réponses considérées comme non attendues avec le critère « dessin des flèches » pour le système cheminée

Les réponses non attendues se basant sur le critère « dessin des flèches » dans le sens du modèle englobent les chaînes où les objets sont reliés par un trait uniquement (exemple 1), les chaînes où les flèches sont dessinées dans le sens inverse (exemple 2), les chaînes qui présentent ces deux aspects (exemple 3), les chaînes dans lesquelles le sens des flèches ne peut pas être déterminé (exemple 4) et enfin les réponses vides (exemple 5)

De la même manière que pour les chaînes énergétiques réalisées, les réponses des élèves dans la partie 1 du questionnaire ont été codées comme attendue ou non attendue, la façon dont ce codage a été effectué est développé dans la partie suivante.

Codage des sources d'énergie et des ressources naturelles de la partie 1 du questionnaire.

Dans cette partie du questionnaire, les élèves devaient reconstituer des systèmes énergétiques sans utiliser le modèle de chaîne énergétique. Nous avons codé les réponses des élèves sur les sources d'énergie et les ressources naturelles et les réponses sur les usages des éléments séparément.

Les réponses considérées comme attendues dans la partie source d'énergie et ressources naturelles, correspondent au nom des sources d'énergie ou au nom des ressources naturelles utilisées par les éléments présentés. Les noms des ressources naturelles et des sources d'énergie n'ont pas été distingués en ce qui concerne les objets de départ des chaînes énergétiques du fait du très faible nombre d'élèves ayant écrit le nom de la ressource naturelle. Les réponses non attendues correspondent à des élèves ayant écrit le nom : d'une source qui n'était pas celle de l'élément présenté, le nom de quelque chose qui ne correspond pas à une source d'énergie ou n'ayant rien écrit (tableau 20).

Réponse attendue	Exemple de réponses d'élèves pour le système lampe	Exemple de réponses pour le système centrale nucléaire
Source d'énergie ou ressource naturelle de l'élément présenté	Électricité, ça utilise de l'électricité, soleil et eau et vent.	uranium
Réponse non attendue	Exemple pour le système lampe	Exemple pour le système centrale nucléaire
Source ne correspondant pas à l'élément présenté		Énergie solaire
Fonction de l'élément	Allume, éclaire, elle éclaire et elle chauffe de tant en tant	qui fabrique de l'électricité
Partie de l'élément	Pour éclairer on se sert d'une ampoule	
autre	Par la lampe	nucléaire
Pas de réponse	0	0

Tableau 20 : exemple des réponses d'élèves considérées comme attendues et non attendues pour les sources d'énergie pour les systèmes cheminée et centrale nucléaire.

La seconde partie des analyses correspond aux réponses des élèves concernant les usages des différents éléments des systèmes. Le codage utilisé dans ces analyses est présenté ci-après.

Codage des usages des éléments

Dans cette partie du questionnaire les élèves doivent cocher des cases correspondant aux usages des éléments issus des chaînes énergétiques. Seuls les usages principaux des éléments des systèmes ont été pris en compte. Par exemple, dans le cas du dessin représentant une lampe, seul l'usage « éclaire » a été pris en compte alors qu'une lampe chauffe également. Cette dimension n'a pas été prise en compte du fait que ces notions n'ont pas été travaillées pendant la séquence. Les réponses non attendues correspondent donc au fait que l'usage associé à l'élément n'a pas été coché par l'élève (figure 18).




	Je ne connais pas cet objet	Éclaire	Chauffe	Se déplace / est en mouvement	Fabrique de l'électricité
 Lampe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
 Lampe	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
 Lampe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

figure 18 : réponses codées comme non attendues pour l'usage de l'objet lampe

Les réponses attendues correspondent, quant à elles, au fait que l'élève a coché la case correspondant à l'usage associé à l'élément (figure 19).




	Je ne connais pas cet objet	Éclaire	Chauffe	Se déplace / est en mouvement	Fabrique de l'électricité
 Lampe	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
 Lampe	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
 Lampe	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

figure 19 : réponses codées comme attendues pour l'usages de l'objet lampe

Pour conclure, les réponses des élèves dans les parties 1 et 3 du questionnaire ont été codées comme des réponses attendues ou des réponses non attendues au pré-test, au post-test et dans les tests à long terme. À partir de ce codage, nous allons nous centrer sur les progressions des élèves

entre le pré-test et le post-test, et sur la façon dont ces progressions ont été codées. Ce qui constitue la partie suivante.

5.5.1.3 -Analyse des progressions des élèves

L'analyse des questionnaires, nous le rappelons, a pour but d'étudier l'efficacité de la condition de la tâche « usage de système biotique » sur les progressions des élèves concernant l'action « reconstituer un système énergétique ». Afin d'observer cet effet, nous avons choisi de comparer les progressions à l'issue de l'enseignement des élèves qui ont réalisé des tâches avec des systèmes biotiques et domestiques (groupe biotique) et celles de ceux avec des systèmes domestiques uniquement (groupe domestique). Le codage des réponses de chaque élève comme progression ou non progression a été effectué pour la partie 3 du questionnaire sur les chaînes énergétiques, ainsi que sur la partie 1 du questionnaire sur les usages, les sources d'énergie et les ressources naturelles. Pour cela, les réponses des élèves ont été codées comme progression ou non progression à partir du premier codage en réponses attendues ou non attendues (tableau 21).

Pré-test	Post- test	Progression
Pas de réponse	Réponse attendue	1
Réponse non attendue	Réponse attendue	1
Réponse attendue	Réponse attendue	0
Réponse attendue	Pas de réponse	0
Réponse attendue	Réponse non attendue	0
Réponse non attendue	Réponse non attendue	0
Pas de réponse	Pas de réponse	0

Tableau 21 : codage des progressions des élèves

Les réponses codées comme une progression correspondent à des élèves ayant donné une réponse non attendue (ou pas de réponse) au pré-test et une réponse attendue au post-test (ligne 1 et 2 du tableau 21). Les réponses codées comme non progression correspondent à différents cas de figure. Il peut s'agir d'élèves ayant donné la réponse attendue au pré-test et au post-test (ligne 3), d'élèves n'ayant répondu ni au pré-test ni au post test (ligne 7) ou d'élèves ayant donné une réponse non attendue au pré-test et au post-test (ligne 6). Il peut s'agir également d'élèves ayant donné une réponse attendue au pré-test et une réponse non attendue au post-test (ligne 5) ou d'élèves ayant donné une réponse attendue au pré-test et n'ayant pas répondu au post-test (ligne 4). C'est sur ces progressions qu'ont été réalisées les moyennes et statistiques décrites dans la partie suivante.

5.5.1.4 -Moyennes et statistiques à propos des progressions des élèves

L'objectif de l'analyse des questionnaires est de pouvoir observer si les progressions des élèves ayant participé pendant la séquence à des tâches incluant des systèmes biotiques sont différentes de celles des élèves pour qui les tâches comportaient des systèmes domestiques uniquement. Pour cela le nombre de chaînes énergétiques sur lesquelles chaque élève a progressé dans la partie 3 du questionnaire a été relevé, ainsi que le nombre d'images pour lesquelles chaque élève a progressé dans la partie 1 du questionnaire. À partir de ces nombres d'images (partie 1) ou de chaînes énergétiques (partie 3), des moyennes ont été calculées pour les deux groupes d'élèves (« biotique » et « domestique »). Ces moyennes ont été calculées pour l'ensemble des élèves de CM1 ayant participé à l'expérimentation et séparément pour les CM1 A, CM1 B et CM1 C dans lesquels la séquence a été mise en œuvre. Ce deuxième calcul a pour but de vérifier si les tendances qui apparaissent sur l'ensemble des élèves se retrouvent dans les trois classes.

Les moyennes ont été relevées en fonction de la prise en compte de 3 catégories de systèmes. La première catégorie comprend l'ensemble des 11 systèmes présents dans le questionnaire. La deuxième catégorie comprend les 9 systèmes domestiques ou les éléments issus de ces systèmes. Cette dernière correspond aux systèmes présents dans les tâches de la séquence pour les élèves des deux groupes. Enfin la troisième catégorie comprend les 2 systèmes biotiques ou les éléments qui en sont issus. Cette catégorie correspond aux systèmes présents dans les tâches de la séquence uniquement pour le groupe biotique.

Des analyses statistiques ont été réalisées afin de mesurer la significativité des écarts entre les moyennes des élèves du groupe « biotique » et ceux du groupe « domestique ». Les moyennes calculées sur l'ensemble des élèves ont été comparées à l'aide de la loi normale centrée réduite, alors que les moyennes calculées séparément dans les différentes classes ont été comparées à l'aide de la table de student. Ces statistiques ont été calculées à partir des moyennes du groupe biotique (x_1) et de celles du groupe domestique (x_2) ainsi que des variances de chacun des groupes (v_1 et v_2). Puis il a été calculé un écart réduit (z) ou le t student (t) (figure 20).

$$Z \text{ ou } t = \frac{\text{Moyenne échantillon 1} - \text{Moyenne échantillon 2}}{\sqrt{\frac{\text{Var (pop ou ech) 1}}{\text{Effectif échantillon 1}} + \frac{\text{Var (pop ou ech) 2}}{\text{Effectif échantillon 2}}}}$$

figure 20 : calcul de l'écart réduit ou du t student

Après avoir calculé ces écarts réduits pour l'ensemble des élèves ou t-student pour chaque classe, ils ont été comparés aux tables statistiques correspondantes à partir du nombre de degrés de liberté calculé à partir de la formule $DDL = n_1 + n_2 - 2$. Les comparaisons de ces moyennes nous ont permis de comparer les progressions du groupe « biotique » et celles du groupe « domestique » à l'issue des séances sur les chaînes énergétiques. La suite des analyses présentées dans la partie suivante vise à observer les différences entre les deux groupes durant ces séances.

5.5.2 -Analyse des vidéos et des traces écrites

L'objectif des analyses conduites sur les enregistrements vidéo et les traces écrites (recueillies pendant les séances sur les chaînes énergétiques) est d'étudier si la condition de la tâche « usage de système biotique » dans la séquence provoque des différences au niveau des actions et des opérations des élèves de chaque groupe (« biotique » et « domestique »). Pour cela, les actions des élèves ont été analysées pendant des moments bien précis des séances 3 et 7. Il s'agit pour la séance 3, des trois tâches dans lesquelles les élèves devaient réaliser des chaînes énergétiques (d'abord à 2 éléments, puis à 3 éléments et enfin à 4 éléments). Pour la séance 7, il s'agit également de la tâche dans laquelle les élèves devaient réaliser des chaînes énergétiques (chaîne à 4 éléments comprenant des systèmes avec de l'électricité). Les traces écrites nous ont permis d'analyser l'action « reconstituer un système énergétique complet à partir d'un modèle de chaîne énergétique ». Elles nous ont également permis d'observer les opérations d'orientation (identifier l'objet de départ et les éléments du système) et les opérations d'exécution (dessiner les symboles et les flèches du modèle). L'analyse des enregistrements vidéo nous a permis d'étudier les opérations de contrôle des élèves à travers les parties du système évoquées. Le codage de ces actions et opérations est présenté : d'abord, pour les opérations de contrôle analysées sur les enregistrements vidéos, puis, sur les actions et opérations d'orientation et d'exécution analysées à partir des traces écrites.

5.5.2.1 -Analyses vidéos : opérations de contrôle des élèves pendant les tâches de la séquence d'enseignement

L'analyse des opérations de contrôle pendant la séquence a pour objectif de mettre en évidence si les élèves du « groupe biotique » expliquent et justifient leurs actions de manières différentes que les élèves du « groupe domestique ». Il s'agit également d'observer si les éléments évoqués peuvent constituer des indicateurs pour reconstruire la base d'orientation de l'action des élèves. Nous avons considéré que ces opérations de contrôle se traduisaient par les parties du système que les élèves évoquaient pendant la réalisation de l'action. Un premier codage et des transcriptions ont été réalisés sur les vidéos de l'enseignant, afin d'avoir une vision d'ensemble de la séance et de voir comment les tâches avaient été introduites (détaillé en annexe 4). Les opérations de contrôle ont

ensuite été analysées pour chaque groupe d'élèves pendant les tâches où ils devaient réaliser des chaînes énergétiques. Ces analyses ont été réalisées selon deux niveaux : un premier niveau nous a permis d'identifier les tours de parole et de catégoriser les parties du modèle évoquées par les élèves dans ces derniers, et un deuxième niveau nous a permis de coder les tours de paroles dans leur ensemble.

Le premier niveau d'analyse a permis à l'aide du logiciel Kronos de relever dans les tours de parole des élèves les évocations du modèle de chaîne énergétique. Ces tours de paroles ont été identifiés à partir d'une liste de mots clés renvoyant aux différents éléments de la chaîne énergétique et leurs interactions (tableau 22).

Partie du système	Termes utilisés
Objet de départ	Objet, Voiture, Cheminée, Gazinière, Barbecue, Humain, Loup, Bus, Ordinateur, Voiture électrique, Lampe, radiateur, truc, gazière, gazi, drapeau, drapeau bleu,
Interaction entre objet et source	à besoin de, mange de, qui fait fonctionner, fasse allumer
Source d'énergie	Source, Essence, bois, électricité, légumes, mouton, gaz butane, charbon de bois, gpl, gaz, essence pour les bus, gaz pour, ce qu'on trouve dans la station d'essence, charbon, gaz butène, essence très dangereuse, bois coupé, carburant, surce
Interaction entre source et transformateur	à besoin de, manger, a peur de, vient de, provient de, qui fait des, fabrique
Transformateur	Transformateur, Raffinerie, arbre centrale nucléaire, éolienne, panneau solaire, barrage hydroélectrique, herbe, la transformation, triangle, raffinenerie, champ, centrale, potager, centrale hydroel, centrale hydrolique
Interaction entre transformateur et ressource	à besoin de, qui fait, fait pousser, fonctionne avec de, grâce à
Ressource naturelle	Ressource naturelle, pétrole, soleil, gaz naturel, lac, vent, mine d'uranium, muianum, carré, ressource, ressource naturellele, une mine, uranium, source naturelle

Tableau 22 : mots clefs associés au modèle de chaîne énergétique

Le tableau présente les termes évoqués par les élèves pour désigner les différents éléments du système ou leurs interactions. Il peut s'agir des noms des éléments du modèle (objet, source, transformateur, ressource) ou du nom des dessins (voiture, essence, raffinerie, pétrole etc.). Il peut également s'agir d'autre nom donné par les élèves (par exemple « essence pour les bus » au lieu de « GPL »). En ce qui concerne les interactions entre les éléments du système, les termes

correspondent aux liens qui ont pu être évoqués par les élèves entre les éléments (à besoin de, fonctionne avec etc.).

Les tours de paroles dans lesquels les termes de la liste apparaissent ont été transcrits pour chaque groupe d'élève. Puis les parties du modèle évoquées ont été catégorisées selon qu'elles faisaient référence aux différents éléments du système (objet de départ, source d'énergie, transformateur, et ressource naturelle) ou aux interactions entre ces éléments (tableau 22).

Dans chaque tour de paroles des élèves, les termes utilisés ont été relevés selon qu'ils correspondent aux éléments du système (quel que soit l'élément) ou à l'interaction entre les éléments du système. À partir des catégories précédentes, les tours de paroles ont été catégorisés en fonction de leur contenu. Ils ont été catégorisés selon deux modalités, ceux qui contiennent uniquement des termes associés aux éléments du système et ceux qui contiennent des termes associés aux éléments du système et à leurs interactions.

Dans chaque groupe d'élève, le nombre de tours de paroles dans lesquels seuls les éléments du système sont évoqués a été relevé ainsi que les tours de paroles dans lesquels les éléments du système et leurs interactions sont évoqués. Puis pour les deux groupes de l'expérimentation (« biotique » et « domestique ») les nombres moyens de chaque catégorie de tours de paroles ont été calculés.

Les analyses des chaînes énergétiques que les élèves ont réalisées pendant les tâches (traces écrites) sont décrites dans la partie suivante.

5.5.2.2 -Traces écrites : analyse des actions et opérations des élèves pendant les séances

Le but de l'analyse des traces écrites est de comparer les actions et les opérations des élèves des groupes « biotique » et « domestique », pendant les tâches des séances sur les chaînes énergétiques (séances 3 et 7). L'objectif de cette analyse est de mettre en avant l'assimilation et l'élaboration de l'action pendant sa réalisation.

Dans ce but, les traces écrites des élèves ont été analysées à partir d'une grille similaire à celle utilisée pour analyser les chaînes énergétiques dessinées dans la partie 3 du questionnaire. Il a été relevé le nombre de chaînes dessinées en moyenne par les différents groupes d'élèves (« biotique » ou « domestique »). Les chaînes dessinées ont été ensuite analysées selon cinq catégories. La première catégorie correspond aux chaînes complètes (actions des élèves) et les quatre autres aux critères correspondant aux opérations d'orientation (identifier l'objet de départ et les éléments du système) et d'exécution (dessiner les symboles et les flèches du modèle).

Chaînes complètes

Il a été relevé dans les traces écrites des élèves, le nombre de chaînes complètes parmi celles qu'ils avaient dessinées. Une chaîne est complète lorsque chaque élément a été associé au bon symbole du modèle et que les symboles sont reliés par des flèches dans le sens du modèle (tableau 23).

Catégorie	Description
complète	les chaînes pour lesquelles tous les éléments de la chaîne énergétique (objet de départ, source, transformateur, et ressource naturelle) sont associés aux symboles du modèle et dans lesquelles les flèches sont dessinées dans le sens du modèle

Tableau 23 : codage des chaînes complètes dans les traces écrites des élèves

Puis il a été relevé pour chaque groupe d'élèves (« biotique » et « domestique ») le nombre moyen de chaînes complètes dessinées pendant les différentes tâches de la séquence. Comme dans les analyses des questionnaires, les chaînes réalisées par les élèves ont ensuite été codées à partir des quatre opérations déterminées.

Opération d'orientation et d'exécution de l'action

Il a été relevé dans les traces écrites des élèves, le nombre de chaînes répondant à chacun des critères déterminés à partir des opérations nécessaires à la réalisation d'une chaîne énergétique. Ces chaînes nécessitent : que l'usage de l'objet de départ ait bien été identifié, que tous les éléments de la chaîne aient bien été identifiés, que tous les symboles du modèle aient été dessinés et que les flèches soient dessinées dans le sens du modèle (tableau 24).

Catégorie	Description
Objet de départ de la chaîne énergétique identifié	chaînes énergétiques pour lesquelles les élèves ont identifié le bon objet de départ
Éléments de la chaîne énergétique identifiés	chaînes énergétiques pour lesquelles les élèves ont relié dans le bon ordre tous les éléments correspondant à la chaîne énergétique réalisée
Symboles du modèle dessinés	chaînes énergétiques pour lesquelles les élèves ont dessiné dans le bon ordre tous les symboles correspondant au modèle
Flèches du modèle dessinées	chaînes énergétiques pour lesquelles les élèves ont dessiné les flèches dans le sens du modèle (de l'objet de départ vers la ressource naturelle)

Tableau 24 : codage des chaînes dans les traces écrites des élèves à partir des quatre critères renvoyant aux opérations nécessaires à la réalisation d'une chaîne énergétique

Puis il a été relevé pour chaque groupe d'élèves (« biotique » ou « domestique ») le nombre moyen de chaîne correspondant à chaque critère réalisé pendant les différentes tâches de la séquence.

L'analyse de ces actions et opérations repose sur la comparaison entre différents groupes d'élèves. L'hétérogénéité de ces groupes avait été contrôlée par les chercheurs à partir des pré-tests. C'est ce contrôle qui est décrit dans la partie suivante.

Réponses aux pré-tests pour la composition des groupes

Afin d'avoir des groupes d'élèves présentant une hétérogénéité sensiblement équivalente, les parties 2 et 3 du questionnaire ont été analysées à partir des pré-tests. Dans la partie 2 du questionnaire, il a été relevé les élèves qui avaient entouré les êtres vivants, pour signifier qu'ils utilisaient de l'énergie. Dans la partie 3 du questionnaire, une analyse globale et sommaire des chaînes énergétiques a été réalisée, afin d'observer si certains élèves réalisaient des chaînes énergétiques complètes dès le pré-test.

À partir de ces analyses les élèves ont été répartis dans les groupes pour que chaque groupe comprenne des élèves qui associent l'utilisation d'énergie aux êtres vivants et d'autres non. En ce qui concerne les très rares élèves capables de réaliser des chaînes énergétiques complètes dès le pré-test, il a été fait en sorte qu'ils soient répartis dans les différents groupes de quatre élèves et entre les groupes « biotique » et « domestique ».

6 - Résultats

Cette thèse s'intéresse à l'efficacité de la condition « usage de systèmes biotiques » de plusieurs tâches d'une séquence d'enseignement sur les progressions des élèves au niveau de l'action « reconstituer un système énergétique complet » et de ses opérations. Ces progressions ont été observées à l'issue de l'enseignement et pendant ce dernier.

Les résultats montrent que la condition « usage de systèmes biotiques » dans plusieurs tâches des séances sur l'énergie augmente l'efficacité de cet enseignement sur les progressions des élèves de CM1 après sa mise en œuvre concernant l'action « reconstituer des systèmes énergétiques complets » aussi bien avec le modèle de la chaîne énergétique que sans ce dernier. Ils indiquent également que durant l'enseignement : les élèves du groupe « biotique » réalisent plus d'opérations de contrôle à travers un discours centré sur les interactions entre les éléments du système et ceux du groupe « domestique » réalisent plus de chaînes énergétiques complètes. Enfin, les résultats soulignent des liens entre le dessin des chaînes énergétiques complètes pendant la séance et la progression des élèves à l'issue de l'enseignement. Ils mettent également en évidence un lien entre l'évocation des interactions entre les éléments du système durant l'enseignement et la progression des élèves à l'issue de ce dernier.

Ces résultats sont issus de la comparaison entre les élèves pour qui les tâches de la séquence comportent les systèmes d'animaux, d'humains et d'objets domestiques et ceux dont les tâches comportent les systèmes d'objets domestiques uniquement. Ces groupes seront nommés respectivement « biotique » et « domestique » dans la suite de cette thèse pour alléger la rédaction des résultats. Les comparaisons entre ces deux groupes ont été réalisées :

- d'une part à partir des analyses des pré et post-tests administrés avant et après les sept premières séances (contenant les tâches utilisant le modèle de chaîne énergétique)

- d'autre part, en se basant sur les analyses des vidéos et des traces écrites des élèves dans les séances (3 et 7) sur les chaînes énergétiques.

- elles ont ensuite été couplées, afin de déterminer d'éventuels liens entre les actions et les opérations des élèves pendant ces séances (à partir des vidéos en classe et des traces écrites) et les progressions de ces derniers à l'issue de l'enseignement (déterminées à l'aide des questionnaires). Les résultats sont présentés en trois parties correspondant aux trois grands types d'analyses. La première partie présente les résultats des analyses des questionnaires. La deuxième illustre les

résultats obtenus à partir de l'analyse vidéographique et des traces écrites. Enfin, la troisième partie donne les résultats du couplage des deux analyses précédentes.

6.1 -Questionnaires : effets des systèmes biotiques sur les progressions des élèves

6.1.1 - Introduction

Cette partie présente les résultats obtenus à partir de l'analyse des questionnaires. Elle a pour objectif d'observer si la condition de la tâche usage de systèmes biotiques augmente l'efficacité de l'enseignement sur les progressions des élèves. Les résultats montrent que l'usage de systèmes biotiques dans les tâches de la séquence augmente l'efficacité de l'enseignement au niveau des progressions des élèves sur l'action « reconstituer un système énergétique complet à partir d'un modèle de chaîne énergétique ». Ils montrent également, que concernant l'action « reconstituer un système énergétique sans utiliser un modèle de chaîne énergétique », l'utilisation de systèmes biotiques augmente l'efficacité de l'enseignement au niveau de l'identification des sources d'énergie et des ressources naturelles (mais pas pour identifier les usages des éléments des systèmes). Ces résultats sont issus de l'analyse des réponses des élèves au pré-test (avant la séquence d'enseignement) et au post-test (après les séances sur les chaînes énergétiques), ainsi que de la progression entre les deux. Les réponses des élèves absents au pré-test ou au post-test n'ont pas été prises en compte dans ces analyses. Au total, les réponses de 61 élèves de CM1 ont été prises en compte : 34 élèves pour qui les tâches de la séquence comportaient des systèmes biotiques et domestiques (appelé groupe « biotique ») et 27 élèves pour qui les tâches de la séquence comportaient des systèmes domestiques uniquement (nommé groupe « domestique »). Ces élèves sont issus de trois classes de CM1, que nous appellerons respectivement : CM1A, CM1B et CM1C. La première classe compte 20 élèves : 10 dans le groupe « biotique » et 8 dans le groupe « domestique », la deuxième compte 24 élèves : 14 dans le groupe « biotique » et 10 dans le groupe « domestique », et la dernière classe compte 20 élèves : 10 dans le groupe « biotique » et 9 dans le groupe « domestique ». Les résultats correspondent à l'analyse des parties 1 et 3 des questionnaires (voir annexe 2) et sont présentés sous la forme de pourcentages moyens pour chacun des deux groupes. Les résultats concernant l'efficacité de la condition « usage de systèmes biotiques » dans certaines tâches de la séquence sont présentés dans une première partie à propos des progressions des élèves au niveau de l'action « reconstituer un système énergétique à partir d'un modèle de chaîne énergétique », puis dans une seconde partie à propos de l'action « reconstituer un système énergétique sans utiliser de modèle de chaîne énergétique ».

6.1.2 -Partie 3 du questionnaire : augmentation de l'efficacité de l'enseignement au niveau de l'action « reconstituer un système énergétique à l'aide d'un modèle de chaîne énergétique »

6.1.2.1 -Introduction: reconstituer un système énergétique à l'aide d'un modèle de chaîne énergétique

Les analyses de la partie 3 du questionnaire visent à répondre à la question de recherche : La condition « usage de système biotique » dans plusieurs tâches de séances sur l'énergie augmente-t-elle l'efficacité de cet enseignement sur les progressions des élèves de CM1 après sa mise en œuvre concernant l'action « reconstituer des systèmes énergétiques complets *à partir du modèle de la chaîne énergétique* » ? Elles montrent que : (1) les élèves du groupe « biotique » progressent sur un plus grand nombre de systèmes au niveau des chaînes complètes que ceux du groupe « domestique », (2) cette augmentation n'est pas liée à un type de système en particulier et enfin, (3) les élèves du groupe « biotique » progressent pour plus de systèmes que ceux du groupe « domestique » pour trois des quatre opérations nécessaires à la réalisation d'une chaîne énergétique.

Dans cette partie du questionnaire les élèves devaient réaliser des chaînes énergétiques sur des images représentant différents systèmes (voir annexe 2). Nous rappelons que chaque image était composée de douze dessins correspondant aux éléments de trois systèmes différents. Ces éléments correspondaient à la chaîne énergétique d'objet qui : bouge ou se déplace, éclaire ou chauffe. Sur la figure 21 donnée à titre d'exemple, on peut voir que les douze dessins correspondent aux systèmes : voiture (bouge), cheminée (éclaire ou chauffe) et radiateur (chauffe).

5) Dessine une chaîne énergétique en commençant par ce qui chauffe sur les images A, B, et C. Utilise l'exemple et le texte d'explication ci-dessous.

Exemple : chaîne énergétique pour un objet qui chauffe

Pour faire la chaîne énergétique

- entourer d'un rond le nom de l'objet qui chauffe
- encadrer avec un rectangle le nom des sources d'énergie utilisées par l'objet qui chauffe
- dessiner un triangle autour du nom de l'objet qui transforme les sources d'énergie
- relier par des flèches le nom de chacun des objets, en commençant par l'objet entouré par un rond, et en finissant par l'objet encadré par un rectangle.

19

A- Chaleur
Sur l'image ci-dessous, dessine 2 chaînes énergétiques pour les 2 objets qui chauffent.

figure 21 : exemple de consigne, d'exemple et d'image de la partie 3 du questionnaire

Pour chaque transfert d'énergie (bouge/se déplace, éclaire, chauffe, fabrique de l'électricité) la consigne était rappelée et accompagnée d'un exemple. Pour certains transferts, les élèves devaient dessiner deux chaînes énergétiques sur la même image. De plus, sur chaque image une version plus succincte de la consigne était indiquée et l'exemple était représenté à nouveau à plus petite échelle (figure 21).

Les analyses présentées correspondent aux onze systèmes du questionnaire qui étaient également présents dans les tâches de la séquence. Parmi ces systèmes, deux correspondent aux systèmes biotiques présents dans les tâches de la séquence pour un groupe d'élève seulement et neuf correspondent aux systèmes domestiques présentés dans les tâches de la séquence pour l'ensemble des élèves. Pour réaliser ces chaînes énergétiques, ils devaient : entourer l'objet qui bouge ou se déplace, éclaire ou chauffe ; encadrer la source d'énergie de cet objet ; dessiner un triangle autour de l'objet qui transforme les sources d'énergie ; encadrer la ressource naturelle utilisée par le transformateur et enfin relier les différents symboles par des flèches allant de l'objet de départ à la ressource naturelle. À partir de cette tâche, trois types d'analyses ont été conduites séparément sur les réponses des élèves. Le premier résultat présenté correspond aux analyses du nombre de

systèmes sur lesquels les groupes « biotique » et « domestique » ont réalisé des chaînes complètes. Le deuxième montre l'influence de la nature des systèmes présents dans le questionnaire sur les progressions des élèves. Enfin, le dernier résultat montre l'effet de la condition de la tâche usage de systèmes biotiques dans la séquence sur les différentes opérations nécessaires à la réalisation d'une chaîne énergétique.

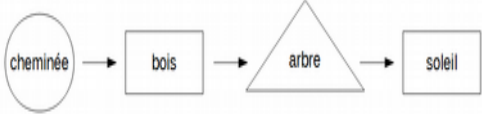
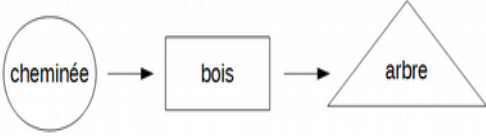
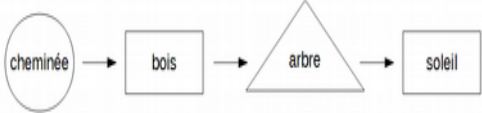

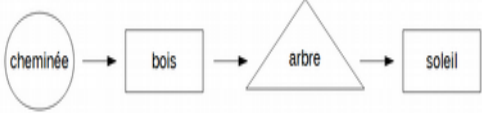

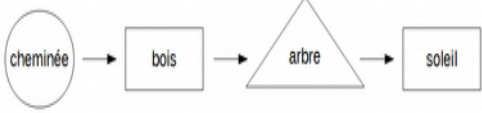


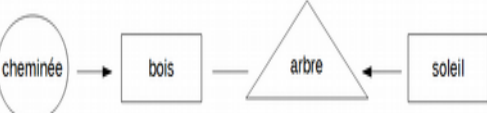
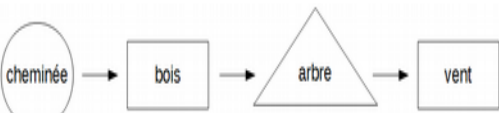

6.1.2.2 -Augmentation de l'efficacité de l'enseignement sur l'action « reconstituer un système énergétique complet à partir d'un modèle de chaîne énergétique »

Introduction : chaînes énergétiques complètes

Les premières analyses présentées ont pour but de tester l'hypothèse suivante : les élèves progressent à l'issue de l'enseignement pour un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau de l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète », lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ». Pour cela les progressions entre le pré-test et le post-test des élèves des groupes « biotique » et « domestique » ont été comparées en prenant en compte les chaînes complètes qu'ils avaient réalisées. Ces chaînes complètes correspondent à des chaînes pour lesquelles les élèves ont réalisé correctement l'ensemble de la tâche.

Les résultats montrent que les élèves ayant réalisé des tâches avec des systèmes biotiques durant la séquence (groupe « biotique ») réalisent un plus grand nombre de chaînes complètes après l'enseignement que ceux ayant réalisé les tâches comprenant des systèmes domestiques uniquement (groupe « domestique »). De plus, ils montrent que certaines des tendances qui apparaissent sur l'ensemble des élèves se retrouvent dans chacune des trois classes.

Afin d'obtenir ces résultats nous avons codé les progressions en fonction de la réalisation de chaînes complètes. Nous avons considéré qu'il y avait une progression, lorsque le même élève passe d'une réponse non attendue (ou pas de réponse) au pré-test à une réponse attendue (c'est-à-dire une chaîne énergétique complète) au post-test. Une chaîne est considérée comme complète lorsque tous les éléments (objet de départ, source, transformateur et ressource naturelle) sont associés correctement aux symboles du modèle et reliés avec des flèches dessinées dans le bon sens. Toutes les chaînes dessinées, qui ne présentent pas l'ensemble de ces critères, ont été considérées comme des réponses non attendues. Le tableau 25 illustre comment les progressions des élèves sont codées (1 : progression, 0 : pas de progression) à partir d'exemples de réponses concernant le système cheminée dans la partie 3 du questionnaire (voir annexe 2) au pré-test et au post-test.

Pré-test	Post- test	Progression
Pas de réponse	Réponse attendue	1
0 pas de réponse	 chaîne complète	1
Réponse non attendue	Réponse attendue	1
 chaîne incomplète	 chaîne complète	1
Réponse non attendue	Réponse attendue	1
 chaîne avec erreurs (ex : symbole)	 chaîne complète	1
Réponse attendue	Réponse attendue	0
 chaîne complète	 chaîne complète	0
Réponse attendue	Pas de réponse	0
 chaîne complète	0 pas de réponse	0
Réponse attendue	Réponse non attendue	0
 chaîne complète	 chaîne avec erreurs (ex : flèche)	0
Réponse non attendue	Réponse non attendue	0
		0

chaîne avec erreurs (ex : éléments)	chaîne avec erreurs (ex : objet de départ)	
-------------------------------------	--	--

TABLEAU 25 : exemples du codage de progressions sur les chaînes énergétiques complètes concernant le système cheminée du questionnaire

Le tableau 25 présente des exemples de chaînes énergétiques codées comme des réponses attendues et non attendues. Parmi ces dernières, on retrouve : des chaînes incomplètes (c'est-à-dire s'arrêtant avant la ressource naturelle), des chaînes réalisées à partir du mauvais objet de départ (ex: chaîne réalisée sur le système voiture au lieu du système cheminée), ou encore des chaînes avec des erreurs (mauvais symboles dessinés, flèches dessinées dans le mauvais sens, mauvais éléments identifiés ...). Le tableau présente également la façon dont ont été codées les progressions des élèves.

Il est important de noter que le nombre de progression des élèves ne correspond pas au nombre de réponses attendues au post-test moins celui du pré-test. Si l'on prend les exemples du tableau, on peut compter 3 réponses attendues au pré-test, 4 réponses attendues au post-test et 3 progressions (ce qui ne correspond pas à $1 = 4 - 3$).

Les résultats obtenus à partir de ce codage seront présentés (a) sur l'ensemble des élèves des trois classes, puis (b) dans les trois classes prises séparément.

augmentation de l'efficacité de l'enseignement avec des systèmes biotiques sur l'ensemble des trois classes

Les résultats sur la réalisation de chaînes complètes comprennent des analyses réalisées pour les onze systèmes du questionnaire. Parmi ces systèmes, il y a deux systèmes biotiques et neuf systèmes domestiques. L'ensemble des soixante et un élèves des trois classes ont travaillé sur ces systèmes domestiques durant la séquence. De plus, pendant cet enseignement, les élèves du groupe « biotique » ont également réalisé des chaînes énergétiques sur des systèmes biotique (humain et loup), alors que ceux du groupe « domestique » ont réalisé des chaînes sur des systèmes domestiques supplémentaires (barbecue et bus fonctionnant au GPL). Les deux groupes n'ayant pas travaillé sur les mêmes systèmes, il convient donc de présenter les résultats en tenant compte de ces spécificités. Ils sont donc présentés d'abord pour (i) l'ensemble des onze chaînes réalisées par les élèves dans la partie 3 du questionnaire, puis pour (ii) les systèmes biotiques que seuls les élèves du groupe « biotique » ont étudiés pendant la séquence et enfin (iii) pour les systèmes domestiques que tous les élèves ont étudiés pendant la séquence.

1.2.2.1 i. Ensemble des onze systèmes du questionnaire

Les résultats montrent que sur la totalité des onze systèmes du questionnaire, les élèves du groupe « biotique » progressent pour réaliser des chaînes complètes sur plus de systèmes que les élèves du groupe « domestique ». Les résultats présentés correspondent au pourcentage de chaînes énergétiques complètes dessinées par les élèves sur les onze systèmes du questionnaire. Ils sont présentés à travers les pourcentages de chaînes complètes réalisées au pré-test et au post-test, ainsi que le pourcentage de systèmes sur lequel les élèves ont progressé entre les deux (Figure 22).

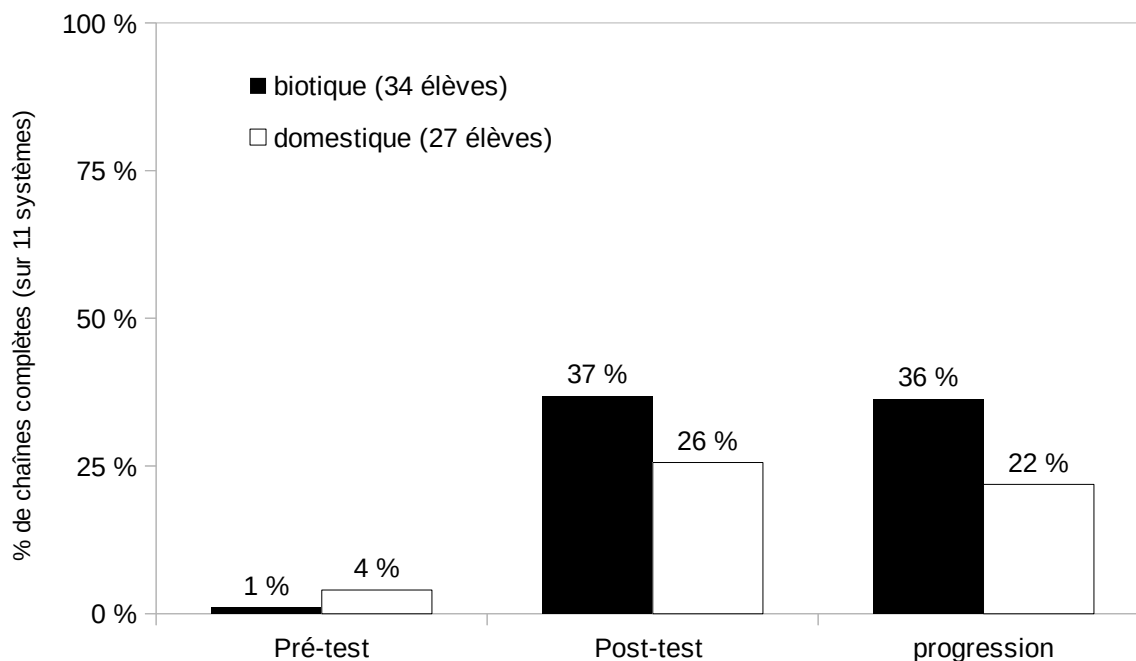


figure 22 : pourcentage de chaînes complètes réalisées par les groupes « biotique » et « domestique » au pré-test, au post-test, et pourcentage de systèmes codés comme progression

La figure 22 représente les pourcentages moyens de chaînes énergétiques complètes dessinées par les 34 élèves du groupe « biotique » (barres noires) et par les 27 du groupe « domestique » (barres blanches) sur l'ensemble des onze systèmes du questionnaire. Les trois graphiques représentent le pourcentage moyen de chaînes complètes réalisées au pré-test, au post-test et le pourcentage moyen sur lequel les élèves ont progressé entre les deux questionnaires pour l'ensemble des 61 élèves des trois classes (voir tableau ci-dessus).

Les résultats montrent que les élèves des deux groupes dessinent des chaînes énergétiques complètes sur très peu de systèmes avant l'enseignement (1 % de systèmes en moyenne pour le groupe « biotique » et 4 % pour le groupe « domestique »). Ils montrent également qu'à l'issue de l'enseignement les élèves du groupe « biotique » dessinent 11 % de chaînes complètes en plus que ceux du groupe « domestique » (respectivement 37 % contre 26 %). Il est intéressant de remarquer

que la tendance était inversée au pré-test (3 % de moins pour les élèves du groupe biotique). Enfin, les élèves du groupe « biotique » progressent plus (14 % de chaînes supplémentaires) que les élèves du groupe « domestique ».

Une comparaison des moyennes montre que l'écart entre les deux groupes sur les progressions est statistiquement significatif. Un test de comparaison de moyenne donne en effet un z-t de 1,98 ce qui permet d'accepter l'hypothèse que les effets présentés ne sont pas dus à un hasard d'échantillonnage à 0,05 avec un seuil de 1,96.

Quand on prend en compte l'ensemble des systèmes analysés dans le questionnaire, l'usage de systèmes biotique dans les tâches de la séquence semble donc avoir augmenté l'efficacité de l'enseignement du point de vue de l'action « reconstituer un système énergétique complet à partir d'un modèle de chaîne énergétique ». Dans les parties suivantes, l'objectif est d'observer si cette différence est due uniquement à l'effet des systèmes que seuls les élèves du groupe « biotique » ont étudié. Pour cela, nous présentons dans un premier temps les analyses qui ne prennent en compte que les systèmes biotiques.

1.2.2.2 ii. Systèmes biotiques

Cette partie a pour but de tester l'hypothèse : Les élèves progressent à l'issue de l'enseignement pour un plus grand nombre de *systèmes biotiques* présentés dans le questionnaire au niveau de l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète », lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ». Elle présente la comparaison des progressions du groupe « biotique » et celles du groupe « domestique » lorsqu' on ne prend en compte que les deux systèmes biotiques (humain et loup) qui étaient présents dans le questionnaire. Les résultats montrent logiquement que sur les systèmes biotiques les élèves du groupe « biotique » réalisent plus de chaînes énergétiques complètes que ceux du groupe « domestique » (figure 23).

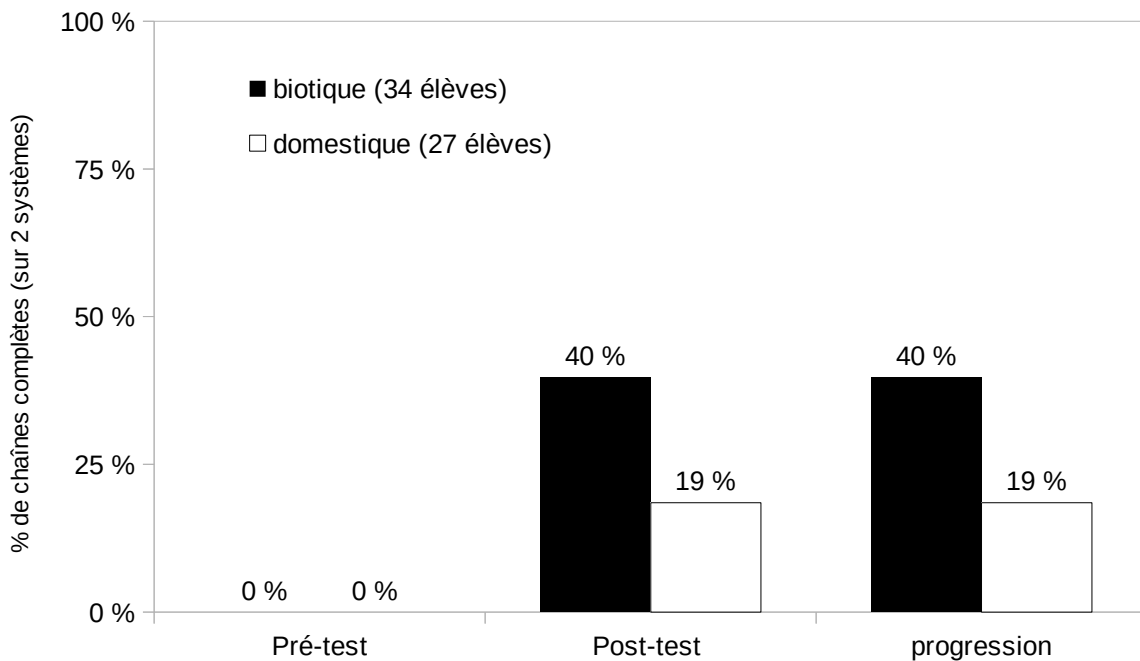


figure 23 :pourcentage de chaînes complètes réalisées par les groupes « biotique » et « domestique » au pré-test, au post-test, et pourcentage de systèmes codés comme progression

La figure 23 représente les pourcentages moyens de chaînes énergétiques complètes dessinées par les 34 élèves du groupe biotique (barres noires) et par les 27 du groupe domestique (barres blanches) sur les deux systèmes biotiques du questionnaire. Elle présente le pourcentage moyen de chaînes complètes dessinées au pré-test, au post-test, ainsi que les progressions entre les deux pour les 61 élèves des trois classes. Les résultats montrent qu'aucun élève ne dessine de chaînes complètes sur les deux systèmes biotiques avant l'enseignement. Ils montrent également qu'au post-test les élèves rencontrent beaucoup de difficultés pour réaliser des chaînes complètes sur ces systèmes, y compris lorsqu'ils les ont étudiées pendant la séquence. En effet, 40 % de chaînes complètes sur deux systèmes indique qu'un nombre important d'élèves n'a réalisé ces chaînes complètes sur aucun des deux systèmes. Le graphique montre aussi que les élèves du groupe « biotique » dessinent plus de chaînes complètes (40 %) sur les deux systèmes biotiques que ceux du groupe « domestique » (19 %) à l'issue de l'enseignement. Ce résultat correspond également aux progressions des deux groupes d'élèves entre les deux questionnaires. Une comparaison des moyennes des groupes « biotique » et « domestique » montre que l'écart entre les deux groupes sur les progressions est statistiquement significatif. Un test de comparaison de moyenne donne en effet un z-t de 2,21 pour système biotique ce qui permet d'accepter l'hypothèse que les effets présentés ne sont pas dus à un hasard d'échantillonnage à 0,05 avec un seuil de 1,96.

Les résultats montrent donc que les élèves du groupe « biotique » progressent sur plus de systèmes biotique que ceux du groupe « domestique » à l'issue de l'enseignement. Ce résultat n'a rien de

surprenant puisque les élèves du groupe biotique étaient les seuls à avoir réalisé des tâches avec des systèmes biotiques durant la séquence d'enseignement. Il paraît logique qu'ils réussissent mieux sur ce type de systèmes. La partie suivante présente les mêmes analyses quand on ne prend en compte que les systèmes domestiques.

1.2.2.3 iii. Systèmes domestiques

Dans cette partie, la question est de savoir si l'on retrouve ces tendances (groupe « biotique » progresse plus que groupe « domestique ») quand on ne prend en compte que les systèmes domestiques, alors que les élèves du groupe « domestique » ont étudié deux systèmes supplémentaires de cette catégorie pendant la séquence d'enseignement. Cette partie a donc pour but de tester l'hypothèse : Les élèves progressent à l'issue de l'enseignement pour un plus grand nombre de *systèmes domestiques* présentés dans le questionnaire au niveau de l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète », lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des systèmes biotiques.

Les résultats montrent que les élèves du groupe « biotique » dessinent plus de chaînes énergétiques complètes que ceux du groupe « domestique » (figure 24).

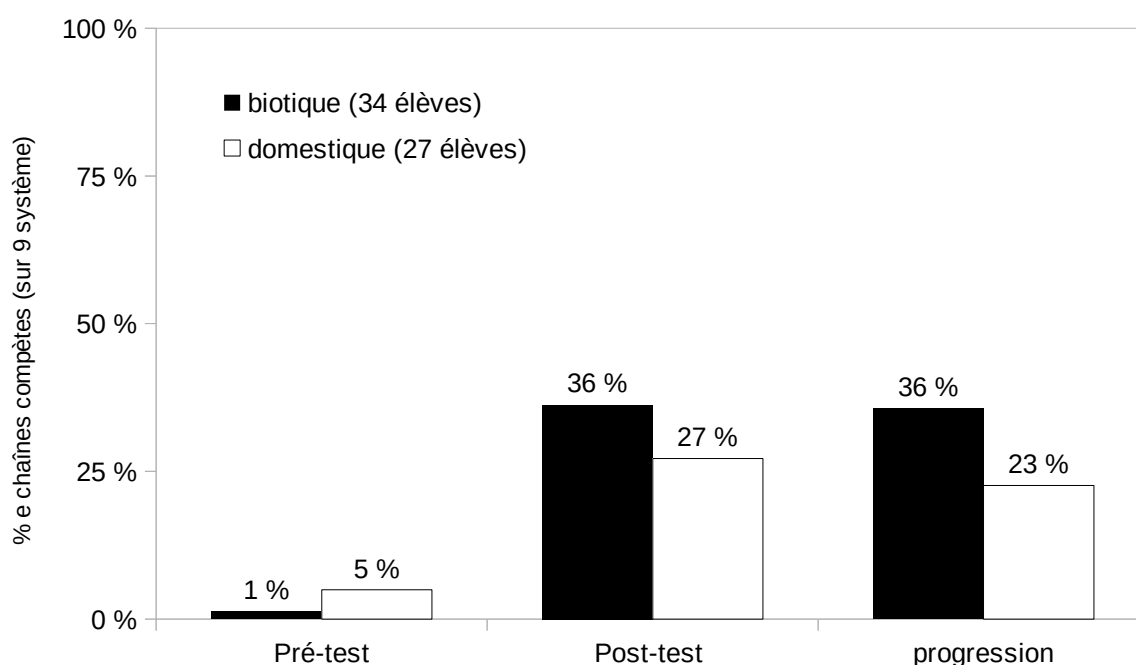


figure 24 : pourcentage de chaînes complètes réalisées par les groupes « biotique » et « domestique » au pré-test, au post-test, et pourcentage de systèmes codés comme progression

La figure 24 représente les pourcentages moyens de chaînes énergétiques complètes dessinées par les 34 élèves du groupe « biotique » (barres noires) et par les 27 du groupe « domestique » (barres

blanches) sur les 9 systèmes domestiques demandées dans le questionnaire. Elle présente le pourcentage moyen de chaînes complètes dessinées au pré-test, au post-test, ainsi que la progression des 61 élèves des 3 classes entre les deux questionnaires. Les résultats au pré-test montrent que les chaînes complètes dessinées sont très peu nombreuses (5 % pour le groupe domestique et 1 % pour le groupe biotique). Les résultats indiquent qu'au post-test les élèves du groupe « biotique » réalisent plus de chaînes énergétiques complètes (36%) que ceux du groupe « domestique » (27 %). Enfin, ils montrent que les élèves du groupe « biotique » progressent dans la réalisation de chaînes complètes sur 13 % de systèmes en plus que ceux du groupe « domestique ». Les analyses montrent en revanche que cet écart n'est pas statistiquement significatif.

Le fait que les élèves du groupe « biotique » progressent plus que les élèves du groupe « domestiques » se retrouvent donc quand on ne prend en compte que les systèmes domestiques, mais avec un écart moins important et statistiquement non significatif.

En conclusion, les résultats montrent que les élèves du groupe « biotique » progressent plus à l'issue de l'enseignement que ceux du groupe « domestique » sur : (i) l'ensemble des systèmes du questionnaire, (ii) les systèmes biotiques, mais aussi sur (iii) les systèmes domestiques. Cependant, les analyses statistiques montrent que seuls les écarts trouvés sur l'ensemble des systèmes et sur les systèmes biotiques sont significatifs. Ces résultats correspondent à l'analyse des réponses des élèves de l'ensemble des trois classes prises indifféremment. Cependant le protocole expérimental a été mis en place dans trois classes différentes dans lesquelles chaque enseignant s'est approprié à sa manière la séquence d'enseignement et l'a conduite selon ses propres habitudes. Nous avons donc observé si les tendances (groupe « biotique » progresse plus que groupe « domestique ») mises en avant globalement sur les trois classes se retrouvent séparément pour chacune d'entre elles.

Est-ce que les tendances sont similaires dans les trois classes ?

Cette partie présente les tendances sur les progressions des élèves pour réaliser des chaînes complètes dans chacune des classes de CM1. Les analyses des chaînes complètes réalisées par les élèves de chacune des classes de CM1 ont été faites avec le même codage que les analyses globales de l'ensemble des élèves (voir tableau 25 ci-dessus, analyse des progressions). Les moyennes et les pourcentages moyens ont été calculés par classe et par groupe d'élèves (« biotique » et « domestique »).

Comme pour les analyses globales de l'ensemble des élèves les résultats sont présentés en fonction des systèmes considérés. Ils sont présentés d'abord pour (i) l'ensemble des onze systèmes du questionnaire, puis pour uniquement (ii) les systèmes biotiques, enfin (iii) pour les systèmes domestiques.

1.2.2.4 i. Ensemble des onze systèmes

La tendance qui montre que les élèves du groupe « biotique » dessinent plus de chaînes énergétiques complètes à l'issue de l'enseignement se retrouve avec des écarts similaires dans les trois classes.

Les résultats sont présentés en pourcentages moyens de systèmes sur lesquels les élèves ont progressé au niveau des chaînes complètes dans chaque classe et pour chaque groupe (Tableau 26).

Classes	Biotique	Domestique	Différences
CM1 A (10 élèves « biotique », 8 « domestique »)	31 %	16 %	15 %
CM1 B (14 élèves « biotique », 10 « domestique »)	33 %	22 %	11 %
CM1 C (10 élèves « biotique », 9 « domestique »)	46 %	27 %	19 %

TABLEAU 26 : tendances similaires dans les trois classes de CM1 pour l'ensemble des systèmes du questionnaire

Le tableau 26 présente les pourcentages moyens de systèmes sur lesquels les élèves ont progressé au niveau des chaînes complètes entre le pré-test et le post-test par rapport à l'ensemble des 11 systèmes du questionnaire. Ces pourcentages moyens sont présentés pour les trois classes dans lesquelles le protocole expérimental a été mis en place (CM1A, CM1B et CM1C). La deuxième colonne présente le pourcentage moyen de systèmes sur lequel les élèves du groupe « biotique » ont progressé. La troisième colonne présente le pourcentage moyen de systèmes sur lequel le groupe « domestique » a progressé. Et enfin, la quatrième colonne présente la différence entre ces deux pourcentages (colonne 3 moins la colonne 4). La lecture de la dernière colonne montre que l'on retrouve des écarts positifs dans les trois classes. Ceci signifie que les élèves du groupe biotique progressent sur plus de systèmes que ceux du groupe domestique dans chacune des classes : 15% de systèmes en plus pour le CM1A, 11% pour le CM1B et 19% pour le CM1C. Cependant, les analyses montrent qu'aucun de ces écarts n'est statistiquement significatif.

Pour conclure, les tendances concernant l'ensemble des chaînes énergétique du questionnaire sont similaires dans les trois classes. La partie suivante présente les tendances pour les systèmes biotiques uniquement.

1.2.2.5 ii. Systèmes biotiques

Cette partie propose d'étudier les progressions dans chacune des trois classes, des deux groupes (« biotique » et « domestique ») uniquement sur les systèmes biotiques. On retrouve dans les trois classes le fait que les élèves du groupe « biotique » progressent sur plus de systèmes biotique que ceux du groupe « domestique ». Ces résultats sont présentés dans chacune des classes en fonction des groupes « biotique » et « domestique » (tableau 27)

Classe	Biotique	Domestique	Différences
CM1 A (10 élèves biotique, 8 domestique)	50 %	6 %	44 %
CM1 B (14 élèves biotique, 10 domestique)	36 %	20 %	14 %
CM1 C (10 élèves biotique, 9 domestique)	6 %	5 %	1 %

TABLEAU 27 : Différences positives pour l'ensemble des élèves des groupes biotique de chacune des trois classes de CM1 concernant les systèmes biotiques

Le tableau 27 présente les pourcentages moyens des deux systèmes biotiques du questionnaire sur lesquels les élèves ont progressé entre le pré-test et le post-test. Il présente les progressions pour les groupes « biotique » et « domestique » ainsi que la différence entre les deux pour chacune des trois classes (CM1A, CM1B et CM1C). Le premier résultat de ce tableau montre que la colonne « différences » est toujours positive. Ceci signifie que le groupe « biotique » progresse dans plus de systèmes que le groupe « domestique ». Cependant, ces différences sont très variables entre les trois classes. En effet, dans le CM1A, les élèves du groupe biotique ont progressé sur 44 % de systèmes de plus que ceux du groupe « domestique ». La différence dans le CM1B est plus faible : le groupe biotique progresse sur 14 % de systèmes de plus que le groupe « domestique ». Enfin, la différence dans le CM1C est très faible, puisque le groupe « biotique » n'a progressé que sur 1 % de systèmes de plus que le groupe « domestique ». Les analyses montrent que seul l'écart dans le CM1A est statistiquement significatif à 0,05. En effet, un test de student donne un z-student de 2,52 pour un z-seuil de 2,12. Ceci permet de rejeter l'hypothèse que l'effet observé provient d'un hasard d'échantillonnage. Parmi les autres écarts, aucun n'est statistiquement significatifs. Le tableau montre également que les élèves des trois classes rencontrent beaucoup de difficultés pour réaliser des chaînes complètes sur les systèmes biotiques.

Les tendances sur la réalisation de chaînes énergétiques concernant des systèmes biotiques se retrouvent les trois classes, mais dans des proportions différentes d'une classe de CM1 à l'autre. En effet, la différence est toujours positive dans les trois classes, donc en faveur du groupe « biotique ». Les analyses suivantes présentent les tendances obtenues dans les trois classes lorsque l'on ne prend en compte que les systèmes domestiques.

1.2.2.6 iii. Systèmes domestiques

Cette partie propose d'étudier les progressions dans les trois classes, pour chacun des deux groupes (« biotique » et « domestique ») sur les systèmes domestiques.

Nos analyses présentent les pourcentages moyens de systèmes sur lesquels les élèves ont progressé entre le pré-test et le post-test sur les 9 systèmes domestiques du questionnaire (tableau 28).

Classes	Biotique	Domestique	Différences
CM1 A (10 élèves « biotique », 8 « domestique »)	27 %	18 %	9 %
CM1 B (14 élèves « biotique », 10 « domestique »)	33 %	22 %	11 %
CM1 C (10 élèves « biotique », 9 « domestique »)	40 %	22 %	18 %

TABLEAU 28 : tendances relativement similaires dans les trois classes de CM1 sur les systèmes domestiques

La lecture de la dernière colonne du tableau 28 montre que l'on retrouve des différences positives avec une variation maximale de 9 % dans les trois classes. Ceci signifie que les groupes « biotique » de chacun des CM1 progressent plus que les groupes « domestique » avec une variation assez faible entre les classes. En effet, les élèves du groupe « biotique » progressent sur 9 % de systèmes en plus que ceux du groupe « domestique » dans le CM1 A, sur 11% de système en plus pour le CM1B et sur 18 % en plus dans le CM1C. Les analyses montrent qu'aucun de ces écarts n'est statistiquement significatif. Cependant, il semble que la tendance sur les systèmes domestiques se retrouve dans des proportions relativement proches dans les trois classes.

En conclusion, les tendances que l'on retrouve dans les trois classes sont similaires pour l'ensemble des systèmes et pour les systèmes domestiques avec des écarts entre les groupes assez semblables (8 à 9 % de variation au maximum). En revanche pour les systèmes biotiques, seul le fait que les différences soient toujours positives en faveur du groupe biotique se retrouve. De plus, sur

l'ensemble, seul l'écart observé au niveau des systèmes biotiques dans le CM1A est statistiquement significatif.

Conclusion : chaînes énergétiques complètes

Le paragraphe suivant résume les résultats concernant l'augmentation de l'efficacité de l'enseignement au niveau de l'action « reconstituer un système énergétique complet à partir d'un modèle de chaîne énergétique ».

Nous avons considéré que les résultats permettaient de conserver l'hypothèse 1 : Les élèves progressent à l'issue de l'enseignement pour un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau de l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète », lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ». Ces résultats confirment aussi les hypothèses 1' et 1'' ne prenant en compte que les systèmes biotiques ou domestiques. En effet, les analyses montrent qu'avant l'enseignement (pré-test) les élèves ont réalisé très peu de chaînes complètes dont aucune sur les systèmes biotiques. Elles indiquent également qu'après les séances sur les chaînes énergétiques (post-test), la réalisation de chaînes complète sur les systèmes biotiques reste très difficile pour tous les élèves (groupe « biotique » et groupe « domestique »).

Les résultats mettent en évidence que les élèves du groupe « biotique » progressent sur plus de systèmes que ceux du groupe « domestiques ». Cette différence sur les progressions au niveau des chaînes complètes se retrouvent pour : l'ensemble des 11 systèmes du questionnaire, les 2 systèmes biotiques, et également les 9 systèmes domestiques. Seules les différences sur l'ensemble des 11 systèmes du questionnaire et sur les 2 systèmes biotiques sont statistiquement significatives. De plus, la tendance générale indiquant que les élèves du groupe « biotique » progressent plus que les élèves du groupe « domestique » se retrouve dans les trois classes, au niveau : de l'ensemble des 11 systèmes et des 9 systèmes domestiques. En revanche, au niveau des systèmes biotiques, les différences varient de manière importante d'une classe à l'autre mais restent en faveur du groupe « biotique ». Parmi les écarts présentés pour chaque classe dans chaque catégorie de système, seul l'écart concernant les systèmes biotiques dans une classe (CM1A) est statistiquement significatif.

En conclusion, la condition « usage de systèmes biotiques » de certaines tâches de la séquence d'enseignement augmente l'efficacité de l'enseignement sur l'action des élèves « reconstituer un système énergétique à partir d'un modèle de chaîne énergétique ». Il semble que cette condition de la tâche ait permis aux élèves d'élaborer et d'assimiler l'action pour un plus grand nombre de systèmes. Ceci pourrait être interprété à travers le développement par ces derniers d'une base

d'orientation de l'action avec un degré de généralisation plus important du fait de l'usage de système biotique dans les tâches. Ce résultat est surprenant puisque les systèmes biotiques semblent être ceux pour lesquels les élèves rencontrent le plus de difficultés (Boyer & Givry, 2017⁶).

6.1.2.3 -Influence du type de systèmes sur les progressions des élèves

Introduction : types de systèmes

Les analyses précédentes se sont intéressées au nombre de systèmes sur lesquels les élèves des deux groupes avaient réalisé des chaînes énergétiques complètes au pré-test, au post-test et leurs progressions à l'issue de l'enseignement. Dans cette partie, l'objectif est d'observer si un type de systèmes particuliers a influencé ces progressions. Ces analyses ont pour but de tester l'hypothèse : les élèves progressent plus à l'issue de l'enseignement sur certains systèmes (aux caractéristiques particulières) présentés dans le questionnaire au niveau de l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète » lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ». Pour cela, les progressions des élèves ont été observées sur chacun des onze systèmes du questionnaire afin de déterminer si des caractéristiques communes se dégagent des systèmes sur lesquels les progressions sont similaires. Plus particulièrement, l'objectif est d'étudier si la condition de la tâche usage de systèmes biotiques dans l'enseignement a un effet différent (ou non) en fonction des 11 systèmes du questionnaire.

Les résultats montrent que sur dix des onze chaînes énergétiques analysées, les élèves du groupe « biotique » progressent plus que ceux du groupe « domestique ». De plus, ils indiquent que cette tendance se retrouve dans les trois classes pour certains systèmes, mais pas pour d'autres.

Pour chacune des onze chaînes énergétiques analysées dans le questionnaire, il a été calculé le pourcentage d'élèves ayant progressé sur l'ensemble des élèves de chaque groupe (« biotique » et « domestique »). Ces analyses des progressions des élèves ont été effectuées à partir du codage des progressions au niveau des chaînes complètes présenté dans la première partie (tableau 25). Ici, la significativité statistique des résultats n'a pas été mesurée. En effet, les analyses correspondent à des effectifs exprimés en pourcentages d'individu, et la validité des tests statistiques qui correspondent à ce type d'analyse est discutée. Comme dans les analyses précédentes, les pourcentages d'élèves ont été calculés d'abord sur l'ensemble de chaque groupe (« biotique » et « domestique ») en prenant en compte l'ensemble des trois classes, puis pour chaque groupe au sein de chaque classe.

Les résultats sont présentés sous la forme des pourcentages d'élèves de chaque groupe qui ont progressé au niveau de l'action « reconstituer un système énergétique complet à partir d'un modèle de chaîne énergétique ». Ils sont présentés d'abord pour les systèmes présentant des tendances

similaires dans les trois classes, puis pour les systèmes présentant des tendances variables dans les trois classes.

Systèmes pour lesquels les tendances sont similaires dans les trois classes.

Cette partie présente les analyses concernant les cinq systèmes présentant des résultats similaires dans les trois classes. Plus particulièrement, les pourcentages d'élèves de chaque groupe (« biotique » et « domestique ») ayant progressé sur ces systèmes (figure 25)

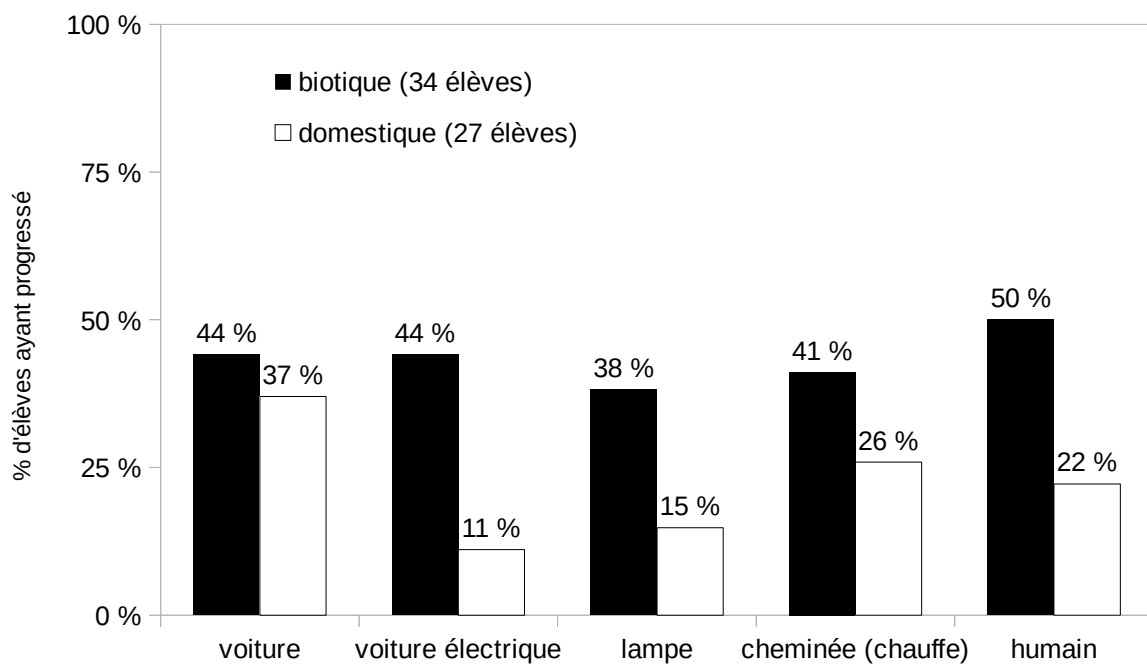


figure 25 pourcentages d'élèves des deux groupes (« biotique » et « domestique ») ayant progressé de façon similaire dans les trois classes en fonction du type de système

La figure 25 représente les pourcentages d'élèves ayant progressé dans le groupe « biotique » (barres noires) et dans le groupe « domestique » (barres blanches) en fonction des différents types de systèmes du questionnaire. Les résultats montrent que pour tous ces systèmes (voiture, voiture électrique, lampe, cheminée et humain) les élèves du groupe « biotique » progressent plus que ceux du groupe « domestique ». Il est notable que les écarts sont variables, et peuvent aller de 7 à 33 % selon les systèmes. C'est sur les systèmes de l'humain, la voiture électrique et la lampe que ces écarts sont les plus importants. En effet pour ces trois systèmes les écarts entre les deux groupes d'élèves dépassent les 20 %. En revanche, les écarts pour la voiture et la cheminée sont inférieurs à 15 %.

Les pourcentages calculés par groupe d'élèves (« biotique » et « domestique ») pour chacune des classes montrent que l'on retrouve des tendances similaires dans les trois classes (tableau 29)

	Voiture	Voiture électrique	Lampe	Cheminée (chauffe)	Humain
CM1A	2 %	37 %	27 %	17 %	60 %
CM1B	3 %	29 %	16 %	13 %	26 %
CM1C	17 %	38 %	29 %	27 %	16 %

TABLEAU 29 : tendances similaires dans les trois classes

Le tableau 29 présente les différences entre les deux groupes d'élèves dans les trois classes (CM1A, CM1B, CM1C) pour 5 systèmes du questionnaire. Les valeurs présentées dans le tableau correspondent au pourcentage d'élèves ayant progressé dans le groupe « biotique » moins le pourcentage d'élèves ayant progressé dans le groupe « domestique ». Comme dans le graphique précédent sur l'ensemble des élèves, il apparaît que c'est sur les systèmes : lampe, voiture électrique et humain que les écarts présentés sont les plus importants. En effet les écarts vont de 29 à 38 % pour la voiture électrique, de 16 à 29% pour la lampe et de 16 à 60 % pour l'humain. Quand on prend l'ensemble du tableau, on voit que les valeurs en faveur du groupe biotique varient beaucoup. Elles fluctuent de 2 à 60 % à l'intérieur d'une même classe et de 2 à 38 % entre les 3 classes. Malgré ces variations, ces valeurs sont toutes positives ce qui indique que les élèves ont été plus nombreux à progresser dans le groupe « biotique » que dans le groupe « domestique » pour ces cinq systèmes dans chacune des classes.

La partie suivante expose les analyses des six systèmes restants (parmi les onze) qui présentent des tendances variables en fonction de chacune des trois classes.

systèmes pour lesquels les résultats varient dans les trois classes

La figure 26 présente les pourcentages d'élèves ayant progressé dans chaque groupe pour les systèmes cheminée (qui éclaire), ordinateur (qui éclaire), radiateur, gazinière, ordinateur (qui chauffe) et loup.

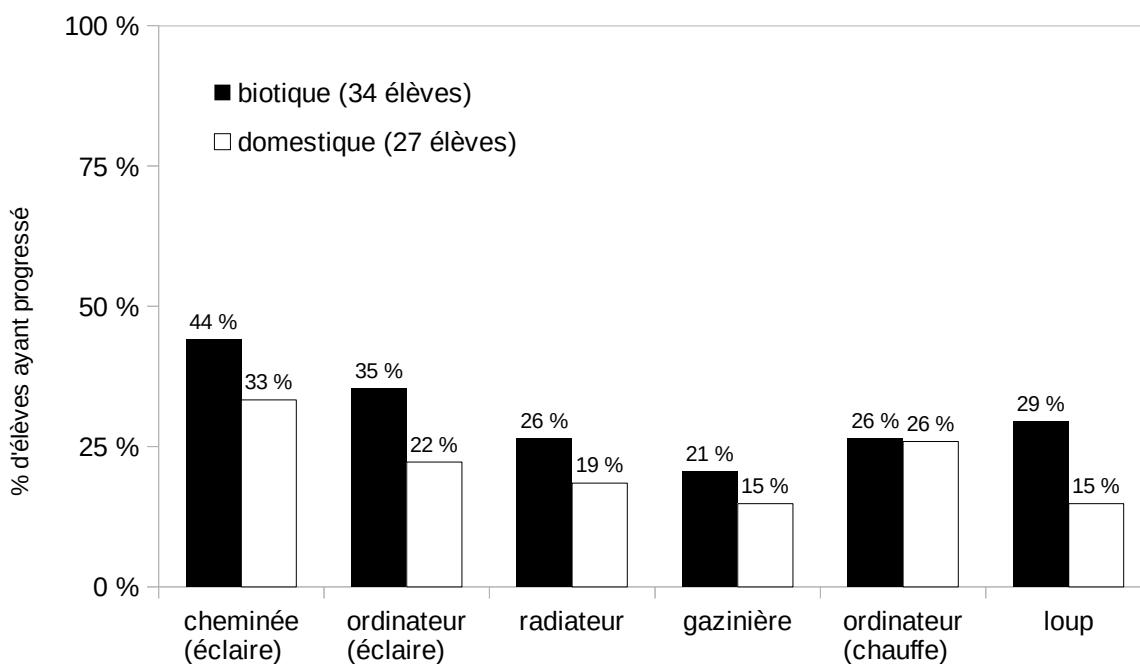


figure 26 :pourcentages d'élèves ayant progressé sur chaque chaîne énergétique pour les groupes biotique et domestique

La figure 26 représente les pourcentages d'élèves ayant progressé dans le groupe biotique (barres noires) et dans le groupe domestique (barres blanches) en fonction de six systèmes présentés dans le questionnaire. Les résultats montrent : que les élèves du groupe biotique sont plus nombreux à progressé que ceux du groupe domestique pour cinq systèmes sur six, et que les écarts entre les deux groupes sont variables (allant de +6 % à +14 %). Concernant le système restant, l'ordinateur (quand il chauffe), les élèves des deux groupes progressent autant (26 %). Les différences qui apparaissent entre les deux groupes d'élèves sont moins importantes que sur les cinq chaînes énergétiques présentées précédemment (voir figure 25). En effet, les écarts ne dépassent jamais les 15 %, et cela même pour les chaînes énergétiques de la cheminée qui éclaire (11 %), de l'ordinateur qui éclaire (13 %) et du loup (14 %) qui sont celles sur lesquelles on retrouve les différences les plus importantes.

Le tableau 30 présente les pourcentages d'élèves qui progressent pour les mêmes systèmes au sein de chaque classe.

	Cheminée (éclairage)	Ordinateur (éclairage)	Radiateur	Gazinière	Ordinateur (chauffe)	Loup
CM1A	-2 %	-5 %	-13 %	10 %	17 %	27 %
CM1B	6 %	23 %	1 %	11 %	-9 %	16 %

CM1C	37 %	18 %	38 %	-3 %	-3 %	-1 %
------	------	------	------	------	------	------

TABLEAU 30 : tendances différentes en fonction des classes

Le tableau 30, présente les différences entre les deux groupes d'élèves dans les trois classes (CM1A, CM1B, CM1C) pour les six systèmes du questionnaire. Les valeurs présentées dans le tableau correspondent au pourcentage d'élèves ayant progressé dans le groupe biotique moins le pourcentage d'élèves ayant progressé dans le groupe domestique. Les résultats montrent des différences très variables (allant de -13% à 38 %) en fonction des systèmes et des classes considérées. De plus, pour chacun des systèmes les différences peuvent être positives dans une classe et négatives dans une autre. C'est le cas notamment du système radiateur qui présente le plus de variations entre les classes. Pour cette chaîne énergétique, dans le CM1A les élèves du groupe biotique sont 13 % de moins à progresser que ceux du groupe domestique, dans le CM1B, ils sont 1 % de plus à progresser alors que dans le CM1C ils sont 38 % de plus. Il est donc difficile d'observer un effet de la condition de la tâche usage de systèmes biotiques dans les tâches de la séquence sur les progressions des élèves sur ces six systèmes.

Conclusion : types de systèmes

Pour conclure sur les types de systèmes, nous rappelons que l'objectif de ces analyses était de tester l'hypothèse 2 : les élèves progressent plus à l'issue de l'enseignement sur certains systèmes (aux caractéristiques particulières) présentés dans le questionnaire au niveau de l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète » lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ». Nous avons donc cherché si les progressions des élèves du groupe « biotique » et du groupe « domestique » étaient dépendantes de la nature des systèmes présentés dans le questionnaire. Les résultats montrent que sur dix des onze systèmes du questionnaire plus d'élèves progressent dans le groupe « biotique » que dans le groupe « domestique ». Ils montrent que sur ces dix systèmes, les écarts entre les deux groupes sont variables, mais sont toujours en faveur du groupe « biotique ». Ils indiquent également que sur un système sur onze, autant d'élèves progressent dans les deux groupes. De plus, les analyses conduites dans chacune des classes, mettent en évidence que pour cinq systèmes les tendances sont similaires dans les trois classes, alors qu'elles sont différentes pour les six systèmes restant. Les tendances similaires concernent les systèmes voiture, voiture électrique, lampe, cheminée (qui chauffe) et humain. Les systèmes pour lesquels les tendances varient dans les trois classes sont la cheminée (qui éclaire), l'ordinateur (qui éclaire), le radiateur, la gazinière, l'ordinateur (qui chauffe), et le loup. Aucune caractéristique commune entre les systèmes au sein des deux catégories (avec tendances similaires, ou avec tendances variables) ne semble pouvoir être dégagée. En effet, au sein de chaque groupe on retrouve

des objets qui chauffent (cheminée, radiateur, etc.) qui éclairent (lampe, ordinateur, etc.) et qui bougent ou se déplacent (voiture, loup, etc.). De plus, on retrouve, des systèmes biotiques, des systèmes avec de l'électricité, et des systèmes avec d'autres sources (bois, gaz, essence) dans les deux catégories. Enfin, le même système (cheminée) est présent dans les deux groupes selon qu'il chauffe ou éclaire.

Il semble donc que la condition de la tâche usage de système biotique augmente l'efficacité de l'enseignement de manière différente en fonction des systèmes présentés, mais qu'il soit impossible de dégager une caractéristique commune à ces systèmes.

6.1.2.4 -Influence de la condition de la tâche usage de systèmes biotiques sur les opérations nécessaires à la réalisation d'une chaîne énergétique complète

Introduction : opérations pour la réalisation de chaînes énergétiques

Les analyses précédentes se sont intéressées aux progressions des élèves des groupes « biotique » et « domestique » sur l'action « reconstituer un système énergétique complet à partir d'un modèle de chaîne énergétique ». Dans cette partie, le but est d'étudier plus finement la réalisation de chaînes énergétiques par les élèves. Pour cela, l'action a été décomposée a priori par les quatre opérations suivantes : (a) identifier l'usage de l'objet de départ du système et (b) identifier les éléments qui composent le système (objet de départ, source d'énergie, transformateur et ressource naturelle), (c) dessiner les symboles du modèle et (d) dessiner les flèches dans le sens du modèle (de l'objet de départ à la ressource naturelle). L'objectif de ces analyses est de tester les deux hypothèses suivantes :

Hypothèse 3 - Les élèves progressent à l'issue de l'enseignement pour un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau des deux opérations d'orientation (identifier : l'usage de l'objet de départ et les éléments du système), lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques » -

Hypothèse 3'- Les élèves progressent à l'issue de l'enseignement sur le même nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau des deux opérations d'exécution (dessiner : les symboles et les flèches du modèle), lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques » -.

Les résultats montrent que la condition « usage de systèmes biotique » dans certaines tâches de la séquence n'a pas d'effet sur les progressions des élèves au niveau de l'identification de l'usage de l'objet de départ. Ils montrent également que les élèves du groupe « biotique » progressent plus au niveau de l'identification des éléments du système, du dessin des symboles et des flèches dans le

sens du modèle. Ils indiquent enfin, que ces trois opérations sont influencées de la même manière par la condition de la tâche « usage de systèmes biotiques ».

Les résultats correspondent à l'analyse des chaînes énergétiques réalisées par les élèves dans la partie 3 du questionnaire. Pour chacune des opérations, les résultats sont présentés sous la forme du pourcentage de système sur lequel les élèves ont progressé sur l'ensemble des systèmes du questionnaire. Les opérations nécessaires à la réalisation d'une chaîne énergétique dans les pré-tests, les post-tests, ainsi que les progressions des élèves sur uniquement les systèmes biotiques ou les systèmes domestiques ont également été analysées. Ces analyses supplémentaires sont présentées en détail dans l'annexe 3.

Nous avons choisi de présenter les résultats en fonction des tendances qui apparaissent sur les différentes opérations, afin d'obtenir une présentation plus claire et plus synthétique. En effet, bien que les hypothèses testées concernent d'une part les opérations d'orientation de l'action et d'autre part les opérations d'exécution, nos résultats seront présentés pour : (a) l'identification de l'usage de l'objet de départ et (b) l'identification des éléments qui composent la chaîne énergétique, le dessin des symboles du modèle et le dessin des flèches de ce dernier.

Le groupe « domestique » identifie l'objet de départ d'un plus grand nombre de système

Nos résultats montrent que les élèves du groupe « domestique » identifient les objets de départ dans un plus grand nombre de systèmes que ceux du groupe « biotique ». L'analyse des progressions des élèves à partir de l'opération « identifier l'objet de départ » se base sur la comparaison des pré-tests et post-tests (tableau 31).

Pré-test	Post- test	Progression
Pas de réponse	Réponse attendue	1
0		1
Réponse non attendue	Réponse attendue	1
		1
Réponse non attendue	Réponse attendue	1

		1
Réponse attendue	Réponse attendue	0
		0
Réponse attendue	Pas de réponse	0
	0	0
Réponse attendue	Réponse non attendue	0
		0
Réponse non attendue	Réponse non attendue	0
		0

Tableau 31 : exemple de codage de la progression des élèves sur l'identification de l'objet de départ des chaînes énergétiques du système cheminée

Les réponses des élèves, codées comme attendu avec le critère d'identification de l'objet de départ, correspondent à des chaînes énergétiques dont le sens a été déterminé en plus de l'objet de départ à partir soit des éléments de la chaîne (exemple 4 au pré-test), soit du dessin des symboles (exemple 3 au post-test) soit de celui des flèches (exemple 5 au pré-test). Une fois ce sens déterminé, les réponses catégorisées comme attendu correspondent à celles dans lequel l'objet de départ est celui qui était demandé. Les réponses attendues peuvent donc être des chaînes complètes (exemple 1 au post-test), des chaînes incomplètes (exemple 2 au post-test) et les chaînes comportant le bon objet de départ (exemple 3 et 4 au post-test et 4,5 et 6 au pré-test). Les réponses non attendues correspondent soit à des chaînes réalisées sur le mauvais objet (exemple 2 du pré-test avec la chaîne de la voiture au lieu de celle de la cheminée), soit à des chaînes qui comportent une erreur au niveau de l'objet de départ (exemple 3 du pré-test), soit à des chaînes dont le sens n'a pas pu être déterminé (exemple 6 au post-test). Les réponses comptabilisées comme des progressions correspondent à une réponse non attendue au pré-test qui a évolué vers l'identification de l'objet de départ attendu au

post-test. Comme dans le cas des progressions au niveau des chaînes complètes, les progressions ne correspondent pas à la soustraction des réponses attendues du pré-test à celle du post-test. Par exemple dans le tableau, on a : 3 réponses attendues pour le pré-test, :4 réponses attendues pour le post-test et 3 progressions. Ce nombre de progressions est différent de $1 = 4 - 3$.

Nous avons regroupé les réponses des deux groupes (« biotique » et « domestique ») identifiant correctement les objets de départ au pré-test, au post-test, ainsi que les progressions. Les résultats sont présentés sous forme de pourcentages moyens sur l'ensemble des 11 systèmes présentés dans le questionnaire (figure 27).

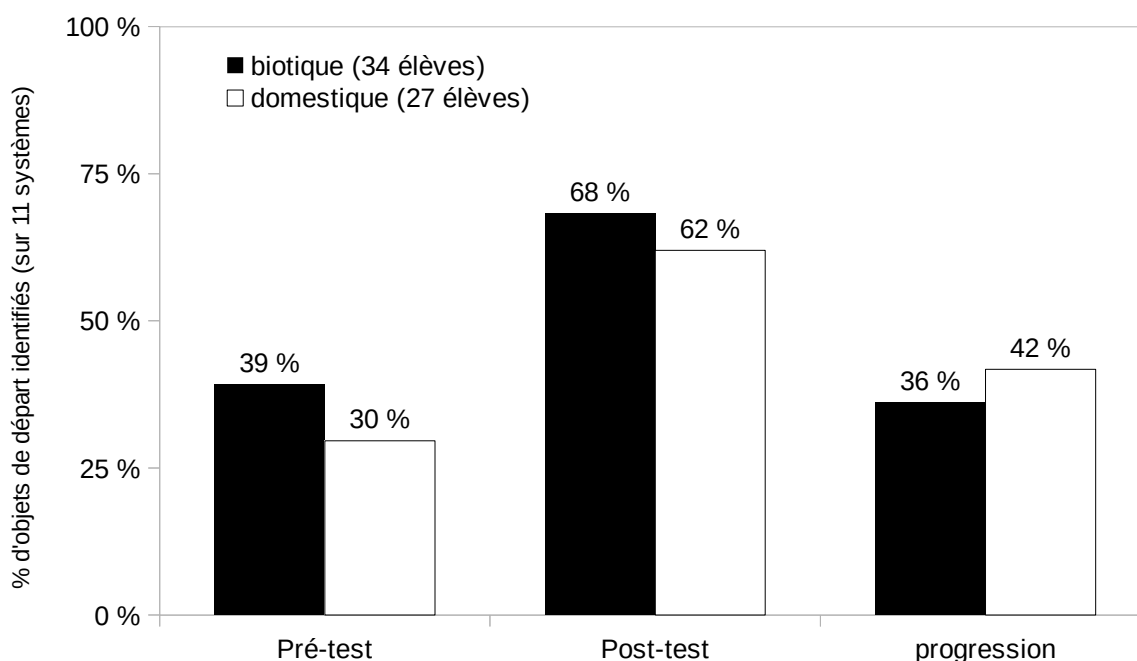


figure 27 : pourcentage d'objets de départ identifiés par les élèves des groupes biotique et domestiques au pré-test et au post-test, ainsi que les progressions

La figure 27 représente le pourcentage de systèmes pour lesquels les élèves ont identifié l'objet de départ au pré-test et au post-test, ainsi que le pourcentage de systèmes sur lesquels ils ont progressé sur l'ensemble des 11 systèmes du questionnaire. Ces pourcentages ont été calculés pour les élèves du groupe « biotique » (barres noires) et ceux du groupe « domestique » (barres blanches). Les résultats montrent que dès le pré-test, les élèves des deux groupes identifient les objets de départ d'un nombre important de système (39 % pour le groupe « biotique » et 30 % pour le groupe « domestiques »). Ils montrent également que les élèves du groupe « biotique » identifient les objets de départ de 9 % de chaîne en énergétique de plus que ceux du groupe « domestiques ». Au niveau de post-test cet écart se réduit à 6 %. Quand on compare les progressions des deux groupes, il

apparaît que les élèves du groupe « biotique » progressent moins que ceux du groupe « domestique ». En effet, ces derniers progressent sur 6 % de chaînes de plus que les élèves du groupe « biotique ».

Un test de comparaison de moyenne au niveau de ces progressions montre que cet écart n'est pas significatif.

Des analyses complémentaires correspondant à la prise en compte soit des systèmes biotiques uniquement, soit des systèmes domestiques uniquement sont détaillés dans l'annexe 3.

Elles montrent que quand on calcule ces pourcentages uniquement pour les systèmes domestiques du questionnaire, on obtient des résultats similaires. Elles indiquent également que les élèves du groupe « biotique » identifient l'objet de départ de plus de systèmes quand on ne prend en compte que les systèmes biotiques. Aucun de ces résultats n'est statistiquement significatif.

Comme pour les analyses précédentes les pourcentages ont également été calculés pour chaque groupe (« biotique » et « domestique ») au sein de chaque classe. Les calculs de ces pourcentages montrent que la tendance qui apparaît sur l'ensemble des élèves est retrouvée dans deux des trois classes de CM1 (Tableau 32).

Classes	Biotique	Domestique	Différences
CM1 A (10 élèves « biotique », 8 « domestique »)	43%	41 %	2 %
CM1 B (14 élèves « biotique », 10« domestique »)	34%	45 %	-11 %
CM1 C (10 élèves « biotique », 9« domestique »)	32 %	38 %	-6%

TABLEAU 32 : tendances similaires pour les deux classes (CM1B et CM1C) concernant l'identification des objets de départ

Le tableau 32 présente les pourcentages moyens de systèmes pour lesquels les élèves ont progressé au niveau de l'identification de l'objet de départ entre le pré-test et le post-test sur l'ensemble des onze systèmes du questionnaire. Ces pourcentages moyens sont présentés pour les trois classes (CM1A, CM1B et CM1C). La deuxième colonne présente le pourcentage moyen de systèmes sur lequel les élèves du groupe « biotique » ont progressé. La troisième colonne présente le pourcentage moyen de systèmes sur lequel les élèves du groupe « domestique » ont progressé. Et enfin la quatrième colonne présente la différence entre ces deux pourcentages (colonne 3 - colonne 4). La lecture de la dernière colonne montre des écarts variables, qui sont positifs ou négatifs (de -6% à

2%). Dans le CM1A, les élèves du groupe « biotique » sont capables d'identifier les objets de départ pour 2 % de systèmes en plus que ceux du groupe « domestique ». Dans le CM1 B, les élèves du groupe « biotique » identifient les objets de départ pour 11 % de systèmes en moins que ceux du groupe « domestique » et dans le CM1C pour 6 % de systèmes en moins. Les analyses statistiques montrent qu'aucun de ces écarts n'est significatif.

De plus, des analyses complémentaires (annexe 3) montrent que l'on obtient des résultats similaires (tendances différentes entre les classes et écarts non significatifs), lorsque l'on prend en compte uniquement les systèmes biotiques ou domestiques.

En conclusion concernant l'identification des objets de départ, les analyses montrent des écarts qui ne sont pas significatifs et qui sont variables au sein des trois classes. La condition de la tâche usage de systèmes biotique dans les tâches de la séquence ne semble pas avoir d'effet sur cette opération nécessaire à la réalisation d'une chaîne énergétique. Les trois autres opérations nécessaires à la réalisation d'une chaîne énergétique sont présentées conjointement dans la partie suivante.

le groupe « biotique » identifie les éléments de la chaîne, dessine les symboles et les flèches pour plus de systèmes.

Les analyses présentées dans cette partie visent à déterminer si la condition des tâches d'enseignement usage de système biotique présente un effet différent en fonction des opérations nécessaires à la réalisation d'une chaîne énergétique. Les opérations analysées dans cette partie sont : identifier les quatre éléments de la chaîne, dessiner les quatre symboles du modèle et dessiner les flèches dans le sens du modèle.

Les résultats montrent que les élèves du groupe « biotique » identifient les quatre éléments de la chaîne, dessinent les quatre symboles, et dessinent les flèches dans le sens du modèle pour plus de systèmes que ceux du groupe « domestique ». Ils indiquent aussi que l'effet de l'ajout de systèmes biotique dans les tâches de la séquence est le même pour ces trois opérations.

Les résultats présentés correspondent aux analyses des progressions des élèves basées sur les trois opérations suivantes : identifier les éléments de la chaîne, dessiner les symboles et dessiner les flèches.

Dans la suite de cette partie, nous présenterons des exemples de codages utilisés pour chacune de ces opérations à travers trois tableaux introduits progressivement.

Les premiers exemples de codage concernent les progressions des élèves entre le pré-test et le post-test pour l'opération « identifier les éléments de la chaîne », qui consiste par exemple à identifier la cheminée, le bois, l'arbre et le soleil pour le système cheminée (tableau 33).

Pré-test	Post- test	Progression
----------	------------	-------------

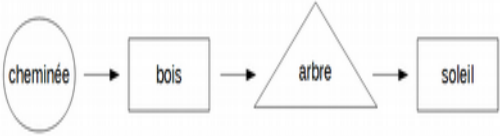

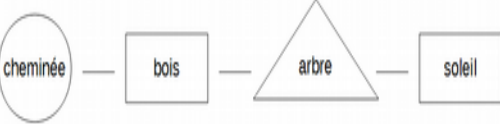
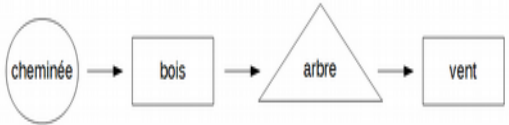
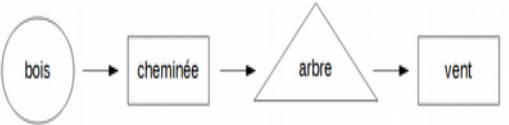
Pas de réponse	Réponse attendue	1
0		1
Réponse non attendue	Réponse attendue	1
		1
Réponse non attendue	Réponse attendue	1
		1
Réponse attendue	Réponse attendue	0
		0
Réponse attendue	Pas de réponse	0
	0	0
Réponse attendue	Réponse non attendue	0
		0
Réponse non attendue	Réponse non attendue	0
		0

Tableau 33 : exemple de progression sur l'identification des éléments de la chaîne (cheminée)

Les réponses codées comme attendues correspondent aux chaînes énergétiques pour lesquelles le sens de la chaîne a pu être déterminé, afin d'observer si les quatre éléments identifiés étaient bien ceux de la chaîne et qu'ils étaient dans le bon ordre. Elles englobent les chaînes complètes (exemple n°1 du post-test), les chaînes réalisées sur un autre objet (exemple 2 du post-test avec une chaîne complète sur une voiture au lieu de la cheminée), et toutes les chaînes comprenant les quatre

éléments dans le bon ordre (exemple 4, 5 et 6 du pré-test et 3, 4 du post-test). Les réponses non attendues comprennent les chaînes incomplètes (comme l'exemple n°7 du pré-test), les chaînes qui présentent des erreurs au niveau des éléments identifiés (exemple 2 du pré-test pour le choix des éléments ou exemple 3 du pré-test pour l'ordre des éléments) et les chaînes dont le sens n'a pas pu être déterminé (exemple n°6 du post-test). Les réponses comptabilisées comme progressions correspondent à une réponse non attendue (ou pas de réponse) au pré-test qui a évolué vers l'identification dans le bon ordre des éléments qui composent la chaîne au post-test (codés « 1 » dans le tableau).

Les deuxièmes exemples de codage concernent les progressions des élèves entre le pré-test et le post-test pour l'opération dessiner les symboles du modèle de la chaîne énergétique pour le système cheminée (tableau 34). Cette opération consiste à dessiner : un cercle, un rectangle, un triangle et un rectangle.

Pré-test	Post- test	Progression
Pas de réponse	Réponse attendue	1
0		1
Réponse non attendue	Réponse attendue	1
		1
Réponse non attendue	Réponse attendue	1
		1
Réponse attendue	Réponse attendue	0
		0
Réponse attendue	Pas de réponse	0
	0	0
Réponse attendue	Réponse non attendue	0


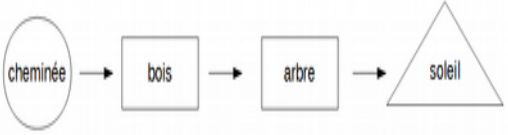
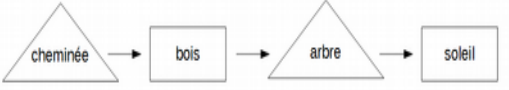

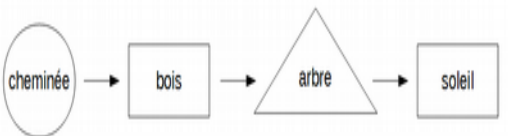
		0
Réponse non attendue	Réponse non attendue	0
		0

Tableau 34 : exemple de progression sur le dessin des symboles du modèle (cheminée)

Les réponses attendues sont les chaînes énergétiques pour lesquelles les élèves ont dessiné dans le bon ordre tous les symboles correspondant au modèle. Elles comportent les chaînes complètes (exemple n°1 du post-test), les chaînes réalisées sur un autre objet (exemple n°2 du post-test) et toutes les chaînes dans lequel les élèves ont successivement dessiné un rond, un rectangle, un triangle, et un rectangle (exemple 3,4 su pré-test et 4,5,6 du post-test). Les réponses non attendues peuvent être des chaînes incomplètes (comme l'exemple n°2 du pré-test) ou des chaînes qui comportent des erreurs au niveau des symboles (exemple 7 du pré-test avec mauvais symbole et 7 du post-test avec mauvais ordre). Les réponses comptabilisées comme progressions correspondent à une réponse non attendue (ou pas de réponse) au pré-test qui a évolué vers le dessin dans le bon ordre de l'ensemble des symboles du modèle au post-test (voir les exemples du tableau avec un « 1 » dans le codage).

Les troisièmes exemples de codage concernent les progressions des élèves entre le pré-test et le post-test pour l'opération dessiner les flèches dans le sens du modèle pour le système cheminée (tableau 35). Cette opération consiste à dessiner des flèches en partant de l'objet de départ pour le relier à la source, puis en liant la source au transformateur, puis en connectant le transformateur à la ressource naturelle.

Pré-test	Post- test	Progression
Pas de réponse	Réponse attendue	1
0		1
Réponse non attendue	Réponse attendue	1

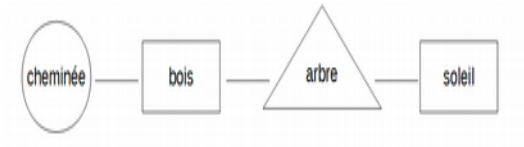
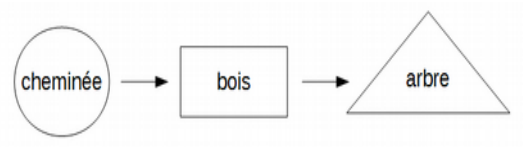
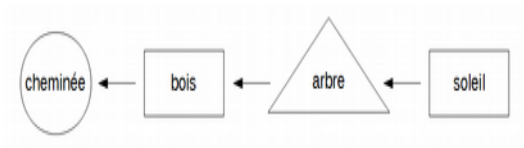
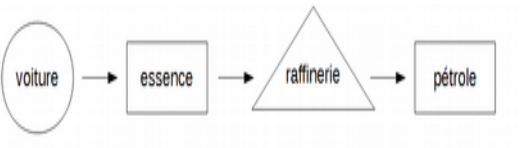
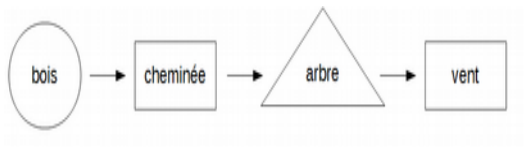
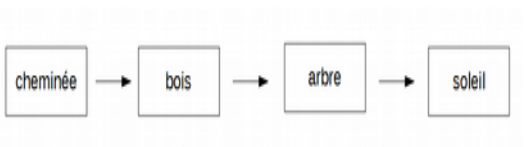
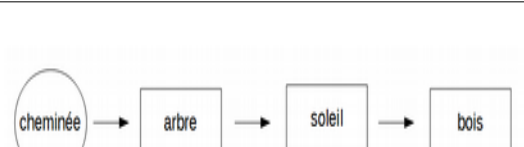
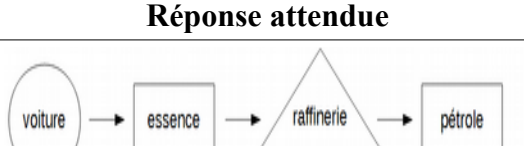
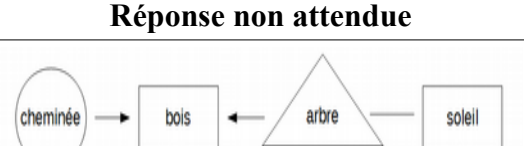
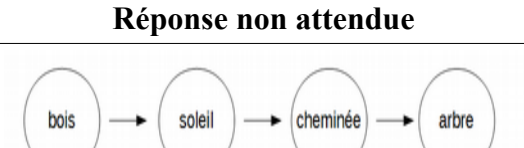

		1
Réponse non attendue	Réponse attendue	1
		1
Réponse attendue	Réponse attendue	0
		0
Réponse attendue	Pas de réponse	0
	0	0
Réponse attendue	Réponse non attendue	0
		0
Réponse non attendue	Réponse non attendue	0
		0

Tableau 35 : exemple de progression sur le dessin des flèches du modèle (cheminée)

Pour le dessin des flèches du modèle, les réponses attendues sont les chaînes énergétiques pour lesquelles les élèves ont dessiné les flèches dans le sens du modèle (de l'objet de départ vers la ressource naturelle). L'identification du sens des flèches par le chercheur a été faite après détermination du sens de la chaîne dessinée par l'élève. Les réponses attendues comprennent les chaînes complètes (exemple n°1 du post-test), les chaînes incomplètes (exemple n°2 du post-test), les chaînes réalisées sur un autre objet (exemple n°3 du post-test) et les chaînes dont les flèches sont dans le bon sens (exemple 4,5,6 du pré-test et 4 du post-test). Les chaînes considérées comme des réponses non attendues correspondent à des chaînes pour lesquelles les élèves ont : dessiné des flèches dans le sens inverse au modèle (exemple n°3 du pré-test où les flèches vont de la ressource

naturelle vers l'objet de départ), relié les éléments par un trait uniquement (exemple n°2 du pré-test) ou encore les chaînes dont le sens n'a pas pu être déterminé (exemple n°7 du pré-test). Les réponses comptabilisées comme progressions correspondent à une réponse non attendue (ou pas de réponse) au pré-test qui a évolué vers le dessin des flèches dans le sens du modèle au post-test (codage « 1 » dans la colonne progression du tableau).

Les analyses présentées ci-dessous correspondent aux pourcentages moyens de systèmes pour lesquels les élèves ont progressé sur les 3 actions entre le pré-test et le post-test sur l'ensemble des 11 systèmes du questionnaire (figure 28). Ces résultats sont présentés pour les opérations : identifier les éléments de la chaîne, dessiner les symboles, et dessiner les flèches.

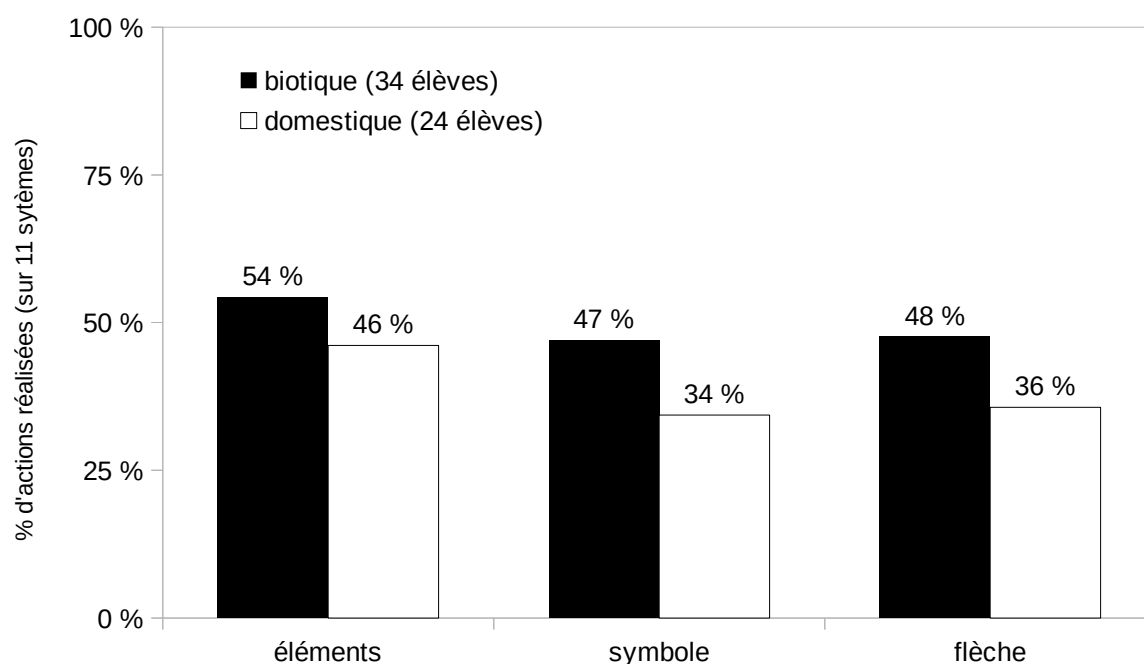


figure 28 pourcentage de systèmes pour lesquels les élèves ont progressé pour identifier les éléments de la chaîne, dessiner les symboles et dessiner les flèches

La figure 28 représente les pourcentages moyens de chaînes énergétiques sur lesquelles les élèves ont progressé à propos de l'identification des *éléments* qui composent la chaîne, du dessin des *symboles* du modèle et du dessin des *flèches* du modèle sur l'ensemble des 11 chaînes du questionnaire. Ces pourcentages ont été calculés pour les élèves du groupe « biotique » (barres noires) et pour ceux du groupe « domestique » (barres blanches) sur l'ensemble des élèves des trois CM1.

Les résultats montrent que quelle que soit l'opération considérée les élèves du groupe « biotique » progressent sur plus de chaînes énergétiques que ceux du groupe « domestique ». Ils progressent : pour 8 % de système en plus que ceux du groupe « domestique » pour l'identification des éléments

de la chaîne, sur 13 % de systèmes en plus sur le dessin des symboles du modèle et enfin sur 12 % de systèmes en plus pour le dessin des flèches du modèle. Les analyses montrent qu'aucun de ces écarts n'est statistiquement significatifs. De plus ces écarts sont assez similaires (de l'ordre de 11%). Des analyses complémentaires (détaillées en annexe 3) montrent que si l'on prend séparément les systèmes domestiques et les systèmes biotiques, on obtient des tendances similaires. Elles montrent que les élèves sont capables de réaliser ces opérations pour un nombre important de systèmes dès le pré-test : (a) ils identifient les éléments de la chaîne pour environ 50 % (biotique 53 %, objets domestiques 48 %) des systèmes du questionnaire, (b) ils dessinent les symboles du modèle pour environ 50 % (biotique 52 %, objets domestiques 51 %) des systèmes et enfin (c) ils dessinent les flèches du modèle pour environ 35 % (biotique 37 %, objets domestiques 30 %) des systèmes. De plus, ces analyses complémentaires montrent que seuls les écarts sur les systèmes biotiques pris séparément sont statistiquement significatifs.

Le calcul des pourcentages par groupe d'élèves (« biotique » et « domestique ») pour chaque classe montre que l'on retrouve des tendances similaires dans les 3 classes (tableau 36)

Différence entre les deux groupes	Éléments	symboles	Flèches
CM1A	13 %	18 %	16 %
CM1B	7 %	4 %	6 %
CM1C	20 %	14 %	19 %

TABLEAU 36 : tendances similaires pour : l'identification des éléments de la chaîne, le dessin des symboles et le dessin des flèches dans les trois classes

Le tableau 36, présente les différences entre les deux groupes (« biotique » et « domestique ») dans les trois classes (CM1A, CM1B, CM1C) pour les trois opérations nécessaires à la réalisation d'une chaîne énergétique. Les valeurs présentées dans le tableau correspondent au pourcentage de systèmes sur lequel les élèves ont progressé dans le groupe « biotique » moins le pourcentage de système sur lequel ils ont progressé dans le groupe « domestique ».

Les résultats montrent que même si les écarts sont variables (de 4 à 20 %) entre les trois classes, ils sont néanmoins toujours positifs. De plus, quand on regarde au sein d'une classe les écarts entre les trois types d'actions sont sensiblement équivalents. En effet dans le CM1 A les écarts pour : l'identification des éléments du système, le dessin des symboles et des flèches, sont respectivement de l'ordre de $16\% \pm 3\%$. Dans le CM1B, ils sont de l'ordre de $6\% \pm 2\%$. Enfin, dans le CM1C ils sont de $17\% \pm 3\%$.

Cependant, les analyses montrent qu'aucun de ces écarts n'est statistiquement significatif.

Des analyses complémentaires (détaillées en annexe 3) indiquent que si l'on prend séparément les systèmes domestiques et biotiques, on obtient des tendances similaires. De plus, ces analyses complémentaires montrent que les écarts sur les systèmes biotiques sont statistiquement significatifs pour le CM1A.

En conclusion, les résultats permettent d'établir que les élèves du groupe « biotique » progressent pour plus de systèmes quand on prend en compte l'identification des quatre éléments de la chaîne, le dessin des quatre symboles du modèle, ou le dessin des flèches dans le sens du modèle. Ils montrent également que les écarts entre les deux groupes sont les mêmes pour les trois dernières opérations.

Conclusion : opération pour la réalisation de chaînes énergétiques

En conclusion sur les quatre opérations nécessaires à la réalisation d'une chaîne énergétique nos principaux résultats montrent que la condition des tâches d'enseignement usage de systèmes biotiques a un effet sur : l'identification des éléments de la chaîne, le dessin des symboles et le dessin des flèches, mais pas sur l'identification des objets de départ. Nous considérons que nos résultats ne nous permettent pas de confirmer les hypothèses suivantes :

Hypothèse 3 - Les élèves progressent à l'issue de l'enseignement pour un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau des deux opérations d'orientation (identifier : l'usage de l'objet de départ et les éléments du système), lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques »-

Hypothèse 3' - Les élèves progressent à l'issue de l'enseignement sur le même nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau des deux opérations d'exécution (dessiner : les symboles et les flèches du modèle), lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques » -.

En effet, la condition de la tâche « usage de systèmes biotiques » semble avoir un effet seulement sur une des deux opérations d'orientation, qui est « identifier les éléments du système ». Le résultat montrant qu'il n'y a pas d'effet sur l'identification de l'usage des objets de départ peut être expliqué par le fait que cette opération n'a pas été travaillée avec les élèves pendant l'enseignement. En effet, les tâches de la séquence ne comportaient qu'un seul système et les élèves n'avaient donc pas de choix concernant l'objet de départ.

Les résultats montrent également que les opérations d'exécutions, dessiner les symboles et les flèches sont influencées par la condition des tâches d'enseignement « usage de système biotique ».

Les analyses illustrent également que parmi les trois opérations qui sont influencées par la condition des tâches de la séquence utilisation de systèmes biotiques, aucune ne semble plus spécifique pour expliquer une progression plus importante des élèves du groupe « biotique ».

6.1.2.5 -Conclusion: action « reconstituer un système à partir d'un modèle de chaîne énergétique ».

L'ensemble des analyses présentées dans cette partie indique que les élèves du groupe « biotique » progressent plus à l'issue de l'enseignement que ceux du groupe « domestique » concernant l'action « reconstituer un système énergétique à l'aide de modèle de chaîne énergétique ». Elles montrent que les élèves du groupe « biotique » progressent sur plus de systèmes au niveau de la réalisation de chaînes complètes que ceux du groupe « domestique ». Ces résultats sont valables pour : l'ensemble des 11 systèmes du questionnaire, les 2 systèmes biotiques, ainsi que les 9 systèmes domestiques. Les analyses indiquent également, qu'il n'existe pas un type de système particulier influencé par la condition «usage de systèmes biotiques » dans les tâches de la séquence. Cependant, les élèves du groupe « biotique » progressent plus que ceux du groupe « domestique » pour cinq systèmes spécifiques. Enfin, elles montrent qu'à l'exception de l'identification de l'usage de l'objet de départ, les élèves du groupe biotique progressent pour plus de systèmes au niveau de l'ensemble des opérations nécessaires à la réalisation d'une chaîne énergétique qui ont été analysées.

La condition « usage de systèmes biotique » de certaines tâches de la séquence augmente l'efficacité de l'enseignement sur les progressions des élèves concernant l'action « reconstituer un système énergétique à l'aide de modèle de chaîne énergétique ». Il apparaît que cet effet est plus accentué sur certains systèmes présents dans les tâches du questionnaire. Il semble donc que la condition de la tâche usage de système biotique permette aux élèves de mieux assimiler et élaborer l'action (au sens de Savoyant, 2006). Ces résultats peuvent être interprétés par un développement par les élèves du groupe biotique d'une base d'orientation avec un degré de généralisation plus important. En effet, il semble que qu'ils aient mieux assimilés l'action au niveau des opérations : identifier les éléments de la chaîne énergétique, dessiner les symboles du modèle et dessiner les flèches du modèle. La partie suivante s'intéresse aux effets concernant l'action « reconstituer un système énergétique sans utiliser un modèle de chaîne énergétique ».

6.1.3 -Partie 1 du questionnaire : Influence de la condition de la tache usage de systèmes biotiques sur l'action « reconstituer un système énergétique sans utiliser un modèle de chaîne »

6.1.3.1 -Introduction : sources d'énergie et usage des éléments des systèmes




Les résultats présentés dans la partie A, portaient sur les progressions des élèves concernant l'action « reconstituer un système énergétique à l'aide d'un modèle de chaîne énergétique ». L'objectif des analyses présentées dans cette partie est d'observer si à l'issue de l'enseignement, les élèves progressent sur une tâche différente dans le questionnaire. Il s'agit de répondre à la question -La

condition « usage de système biotique » dans plusieurs tâches de séances sur l'énergie augmentée l'efficacité de cet enseignement sur les progressions des élèves de CM1 après sa mise en œuvre concernant l'action « reconstituer des systèmes énergétiques complets *sans le modèle de la chaîne énergétique* » ?- Pour cela nous avons observé si les élèves étaient capables d'identifier les sources et les ressources naturelles et l'usage (pour chauffer, éclairer, se déplacer ou fabriquer de l'électricité) d'éléments issus des systèmes utilisés lors des tâches antérieures de la séquence d'enseignement.

Les résultats montrent que les élèves du groupe « biotique » progressent pour un plus grand nombre de système que ceux du groupe « domestique » en ce qui concerne l'identification des sources d'énergie ou des ressources naturelles. Ils montrent également que les progressions des deux groupes au niveau de l'identification de l'usage des éléments des systèmes sont les mêmes.

Ces résultats correspondent aux analyses de la partie 1 du questionnaire. Dans cette partie, les élèves devaient remplir un tableau avec des images issues des différents systèmes présents dans les tâches de la séquence d'enseignement (figure 29).

1) Remplis le tableau comme dans les 3 exemples ci-dessous.

Exemple 1 : Coche la case et écris la source						
	Je ne connais pas cet objet	Éclaire	Chauffe	Bouge ou se déplace	Fabrique de l'électricité	Écris quelle est la ou les source(s) d'énergie utilisée(s).
 Centrale à charbon	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Charbon
Exemple 2 : Tu peux cocher plusieurs cases et écrire plusieurs sources						
	Je ne connais pas cet objet	Éclaire	Chauffe	Bouge ou se déplace	Fabrique de l'électricité	Écris quelle est la ou les source(s) d'énergie utilisée(s).
 Lampe de jardin solaire	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Électricité Soleil
Exemple 3 : Tu peux laisser les cases vides						
	Je ne connais pas cet objet	Éclaire	Chauffe	Bouge ou se déplace	Fabrique de l'électricité	Écris quelle est la ou les source(s) d'énergie utilisée(s).
 Livre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Remplis le tableau ci-dessous en t'aidant des 3 exemples précédents.

- Coche la case et écris la source.
- Tu peux cocher plusieurs cases et écrire plusieurs sources.
- Tu peux laisser vide les cases.




Images	Je ne connais pas cette image	Éclaire	Chauffe	Bouge ou se déplace	Fabrique de l'électricité	Écris quelle est la ou les source(s) d'énergie utilisée(s).
 Centrale hydroélectrique	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
 Lampe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
 Centrale nucléaire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

figure 29 : exemples et consignes de la première partie du questionnaire

Dans cette partie du questionnaire les élèves devaient remplir un tableau en deux étapes. Dans un premier temps, ils devaient cocher une ou plusieurs cases pour sélectionner l'usage (éclaire, chauffe, se déplace ou fabrique de l'électricité) de l'élément représenté. Ils avaient également la possibilité de ne rien cocher (comme pour l'exemple avec le livre), ou de cocher plusieurs cases (comme pour l'exemple avec la lampe de jardin solaire). Dans la deuxième partie, ils devaient écrire dans une case vide le nom des sources d'énergie (comme l'électricité pour l'exemple avec la lampe de jardin solaire) et des ressources naturelles utilisées (comme le soleil pour la lampe de jardin solaire) par les différents éléments présents sur les images. Afin de faciliter la compréhension des consignes par les élèves, trois exemples ont été montrés pour illustrer les différentes possibilités de réponses.

Les résultats sont présentés sous la forme de pourcentages moyens d'éléments sur lequel les élèves ont progressé entre le pré-test et le post-test sur le nombre total d'éléments du questionnaire. Comme lors des analyses précédentes, les pourcentages ont également été calculés séparément pour les éléments issus des systèmes biotiques et pour ceux issus des systèmes domestiques. Ces analyses complémentaires sont présentées dans l'annexe 4.

Les parties suivantes présentent les résultats correspondant aux analyses de la partie 1 du questionnaire concernant l'identification : (1) des sources d'énergie et des ressources naturelles et (2) des usages des éléments issus des systèmes de la séquence.

6.1.3.2 -Influence positive sur l'identification des sources d'énergie

Introduction : sources d'énergie

L'objectif de cette partie est de tester l'hypothèse : les élèves progressent à l'issue de l'enseignement sur un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau de l'identification des sources d'énergies et des ressources naturelles, lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ».

Les résultats montrent que les élèves du groupe « biotique » progressent sur un plus grand nombre de système que ceux du groupe « domestique ».

Ces résultats correspondent aux analyses des réponses des élèves, quand ils devaient écrire le nom des sources d'énergie ou des ressources naturelles (voir figure 29) utilisées par les éléments présentés dans le questionnaire. Cette partie du questionnaire était composée de dix-huit images représentant les éléments des systèmes présents dans les tâches de la séquence. Les analyses présentées correspondent à l'analyse de dix-sept de ces images. En effet une image a été écartée, du fait du très faible nombre d'élèves ayant répondu en accord avec la tâche. Les réponses des élèves sur les sources d'énergie ont été analysées à partir des pré-test, des post-test et des progressions entre les deux (tableau 37)

Pré-test	Post- test	Progression
Pas de réponse	Réponse attendue	1
0	Électricité,	1
Réponse non attendue	Réponse attendue	1
elle éclaire et elle chauffe de tant en tant	ça utilise de l'électricité,	1
Réponse non attendue	Réponse attendue	1
Pour éclairer on se sert d'une ampoule	soleil et eau et vent.	1
Réponse attendue	Réponse attendue	0

Électricité,	ça utilise de l'électricité,	0
Réponse attendue	Pas de réponse	0
ça utilise de l'électricité,	0	0
Réponse attendue	Réponse non attendue	0
soleil et eau et vent.	Par la lampe	0
Réponse non attendue	Réponse non attendue	0
Allume,	Pour éclairer on se sert d'une ampoule	0

Tableau 37 : exemple du codage des progressions des élèves sur l'identification des sources d'énergie ou des ressources naturelles pour l'élément lampe

Les réponses considérées comme attendues correspondent au nom des sources d'énergie (dans ce cas l'électricité) ou des ressources naturelles (soleil, eau, vent, uranium, etc.) utilisées par l'élément présenté sur l'image (ici une lampe). Les réponses considérées comme attendues dans le cas des objets de départ peuvent être soit le nom de la source d'énergie soit le nom de la ressource naturelle. Ces réponses n'ont pas été distinguées du fait du très faible nombre d'élèves ayant écrits le nom de la ressource naturelle dans le cas des objets de départ. Les réponses codées comme non attendues correspondent : au nom d'une source qui n'était pas celle de l'élément présenté par exemple « énergie solaire » pour l'élément centrale nucléaire, au nom de quelque chose qui ne correspond pas à une source d'énergie (« pour éclairer on se sert d'une ampoule ») ou à aucune réponse. Les réponses comptabilisées comme progressions correspondent à une réponse non attendue (ou pas de réponse) au pré-test qui a évolué vers le nom de la source d'énergie au post-test (tableau 37). Les résultats sont présentés comme les pourcentages d'éléments pour lesquels les élèves ont donné une réponse attendue au pré-test et au post-test et ceux pour lesquels ils ont progressé entre les deux. Ces pourcentages ont été calculés pour chaque groupe (« biotique » et « domestique ») soit pour l'ensemble des élèves des trois classes, soit au sein de chacun des CM1. Ils ont été calculés sur l'ensemble des éléments du questionnaire. Des analyses complémentaires correspondant aux calculs des pourcentages quand on ne prend en compte que les éléments issus des systèmes biotiques ou que ceux issus des systèmes domestiques sont présentées en annexe 5.

Les résultats sont présentés d'abord (a) sur l'ensemble des trois classes, puis (b) pour chacune des classes de CM1.

Influence positive sur l'ensemble des 3 classes

Les résultats présentés correspondent aux pourcentages d'éléments pour lesquels les élèves ont : écrit le nom de la source d'énergie (ou de la ressource naturelle) au pré-test et au post-test et ceux pour lesquels ils ont progressé entre les deux questionnaires (figure 30)

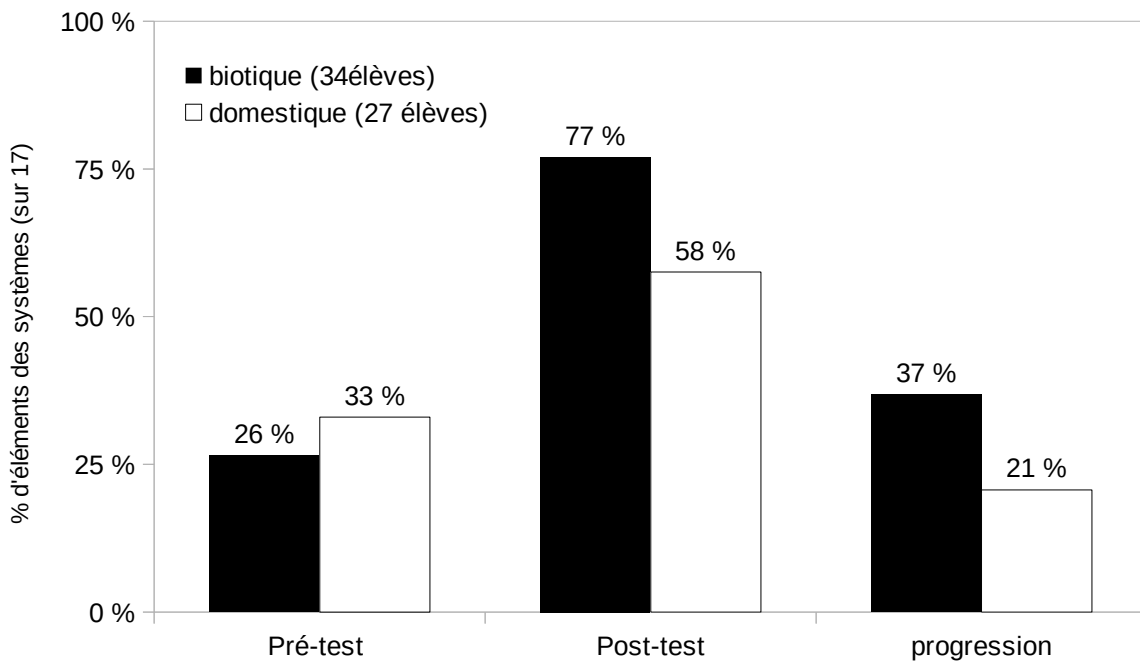


figure 30 : pourcentage d'éléments pour lesquels les élèves ont identifié la source d'énergie (ou la ressource naturelle) au pré-test et au post-test, ainsi que leurs progressions

La figure 30 représente les pourcentages moyens d'images sur lesquelles les élèves ont écrit le nom des sources d'énergie ou des ressources naturelles au pré-test et au post-test, ainsi que leurs progressions entre les deux questionnaires sur l'ensemble des 17 éléments présentés dans la partie 1 du questionnaire. Ces pourcentages ont été calculés pour les élèves du groupe « biotique » (barres noires) et ceux du groupe « domestique » (barres blanches). Les résultats montrent qu'au pré-test les élèves du groupe « biotique » écrivent le nom des sources d'énergie ou des ressources naturelles pour 26 % des éléments des systèmes et les élèves du groupe « domestique » pour 33 % des éléments. Ils montrent qu'au post-test les élèves du groupe « biotique » écrivent le nom des sources d'énergies ou des ressources naturelles pour 77 % d'élément contre 58 % pour les élèves du groupe « domestique ». Enfin, ils montrent que les élèves du groupe « biotique » progressent pour 16 % d'élément de plus que les élèves du groupe « domestique ».

Les analyses statistiques montrent que cet écart est significatif à 0,05 avec un seuil de 1,96. En effet un test de comparaison de moyenne donne un z-t de 3,05 qui permet de considérer que l'on peut accepter l'hypothèse que l'effet provient bien de la présence de systèmes d'êtres biotique dans les tâches de la séquence et pas d'un hasard d'échantillonnage.

Ces résultats concernent les éléments qui sont issus de l'ensemble des systèmes du questionnaire qui sont les mêmes que ceux sur lesquels l'ensemble des élèves des deux groupes ont travaillé pendant la séquence. Des analyses complémentaires (annexe x) montrent que l'on obtient des

résultats similaires et statistiquement significatifs si l'on prend en compte séparément les éléments issus des systèmes biotiques et ceux issus domestiques. Cela signifie que les élèves du groupe « biotique » ont davantage progressé sur les sources d'énergie des éléments issus des systèmes biotiques ce qui n'est pas surprenant, puisqu'ils étaient seuls pendant l'enseignement à avoir réalisé des tâches incluant ces éléments. Mais cela signifie également qu'ils ont progressé sur plus d'éléments que les élèves du groupe « domestique » pour des éléments issus des systèmes domestiques qui étaient présents dans les tâches de la séquence pour l'ensemble des élèves. Les analyses ci-dessus ont été répétées au sein de chaque classe et sont présentées ci-après.

Les mêmes tendances sont retrouvées dans 2 classes sur 3

Les analyses présentées ont pour objectif d'observer si des résultats similaires sur l'identification des sources d'énergie se retrouvent dans chacune des classes, malgré le fait que chaque enseignant ait conduit la séquence à sa façon. Le tableau 38 présente les résultats sur l'identification des sources d'énergie dans chacune des classes.

Classes	Biotique	Domestique	Différences
CM1 A (10 élèves biotique, 8 domestiques)	44 %	21 %	23%
CM1 B (14 élèves biotique, 10 domestiques)	41 %	19 %	22 %
CM1 C (10 élèves biotique, 9 domestiques)	24 %	22 %	2 %

TABLEAU 38 : tendances similaires pour 2 classes sur 3 concernant l'identification des sources d'énergie et des ressources naturelles

Le tableau 38 présente les pourcentages moyens d'éléments des systèmes sur lesquels les élèves ont progressé entre le pré-test et le post-test sur le nombre total d'éléments pour les trois classes (CM1A, CM1B et CM1C). La deuxième colonne présente le pourcentage moyen d'images sur lequel les élèves du groupe « biotique » ont progressé. La troisième colonne présente le pourcentage moyen d'images sur lequel ceux du groupe « domestique » ont progressé. Et enfin la quatrième colonne présente la différence entre ces deux pourcentages (colonne 3 - colonne 4). L'analyse de la colonne quatre du tableau montre que l'on retrouve des tendances similaires dans les trois classes. En effet, bien que la différence qui apparaît dans le CM1C soit inférieure (2%) à celles des deux autres classes (23 % et 22%), l'ensemble des écarts sont positifs. Les analyses statistiques montrent que les écarts dans le CM1A et le CM1B sont statistiquement significatifs.

Une comparaison de moyenne dans le CM1A donne un z-t de 2,35 ce qui est statistiquement significatif avec un z-seuil de 2,12 à 0,05. Dans le CM1B, on obtient un z-t de 2,65 ce qui est statistiquement significatif avec un z-seuil de 2,074 à 0,05. L'écart entre les deux groupes du CM1C n'est pas statistiquement significatif.

Cependant, les analyses complémentaires (détaillées en annexe 5) montrent que si l'on prend en compte séparément les éléments issus des systèmes biotiques et ceux issus des systèmes domestiques, les résultats obtenus sont différents. En effet, pour les éléments issus uniquement des systèmes domestiques, les élèves du groupe « biotique » progressent sur plus d'éléments dans les trois classes, mais seul l'écart qui apparaît dans le CM1B est statistiquement significatif. Si l'on ne prend en compte que les éléments issus des systèmes biotiques, seul l'écart qui apparaît dans le CM1A est significatif. De plus, pour cette catégorie d'éléments dans le CM1C les élèves du groupe « domestique » progressent plus que ceux du groupe biotique. Ce résultat paraît donc similaire dans seulement deux des trois classes de CM1.

Conclusion sur les sources d'énergie

Les résultats montrent que les élèves du groupe « biotique » progressent sur plus d'éléments que ceux du groupe « domestique » au niveau des sources d'énergie. Ils montrent qu'ils progressent plus au niveau des systèmes sur lesquels ils sont seuls à avoir travaillé pendant la séquence (systèmes biotique), mais aussi sur les systèmes étudiés par l'ensemble des élèves (systèmes domestiques). Ces résultats sont statistiquement significatifs et similaires dans deux des trois classes. A partir de ces résultats nous avons considéré que nous pouvions conserver l'hypothèse -les élèves progressent à l'issue de l'enseignement sur un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau de l'identification des sources d'énergies et des ressources naturelles, lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ». Il semble donc que l'ajout de systèmes biotique dans les tâches de la séquence favorise la progression des élèves pour identifier les sources d'énergie des objets de départ et les ressources naturelles des transformateurs issus des systèmes de la séquence. En revanche, très peu d'élèves des deux groupes progressent pour identifier le nom des ressources naturelles associées aux objets de départ. Ce résultat semble montrer que la chaîne énergétique lorsqu'elle est utilisée comme un instrument (au sens d'Engeström, 2001) peut favoriser chez les élèves une vision globale sur les processus énergétiques qu'il est plus compliqué de développer pour ces derniers sans l'aide de ce modèle.

6.1.3.3 -Peu d'influence de la condition de la tâche utilisation de systèmes biotiques sur l'identification des usages

Introduction : usage des éléments de différents systèmes

Dans cette partie nous nous sommes intéressés aux progressions des élèves concernant l'identification de l'usage (éléments utilisés pour chauffer, éclairer, se déplacer, ou fabriquer de l'électricité) des éléments issus des systèmes de la séquence d'enseignement. L'objectif est de tester l'hypothèse -les élèves progressent à l'issue de l'enseignement sur un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau de l'identification des usages des objets de départ, lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ».-

Les résultats montrent que les progressions des élèves du groupe « biotique » et celles du groupe « domestique » sont équivalentes.

Ces résultats correspondent aux analyses des réponses des élèves à la partie 1 du questionnaire lorsqu'ils devaient cocher la ou les cases du tableau correspondant aux usages des éléments. Cette partie du questionnaire était composée de dix-huit images représentant les éléments des systèmes présents dans les tâches de la séquence. Les analyses présentées correspondent à l'analyse de quatorze de ces images. En effet quatre images ont été écartées, du fait du très faible nombre d'élèves ayant répondu à la tâche.

Dans cette partie des analyses, seul l'usage principal des éléments a été pris en compte (par exemple dans le cas de la lampe qui pourrait être employée pour chauffer dans certains cas, seule l'identification de son usage comme objet qui éclaire a été considérée).

Les réponses non attendues correspondent donc au fait que l'usage de l'élément n'a pas été coché par l'élève, soit parce qu'il en a coché d'autres, soit parce qu'il n'en a coché aucun. Les réponses attendues correspondent, quant à elles, au fait que l'élève a coché la case correspondante à l'usage de l'élément quelles que soient les autres cases que l'élève a cochées. Les réponses comptabilisées comme progressions correspondent à une réponse non attendue au pré-test qui a évolué vers la sélection de l'usage attendu au post-test. Les résultats sont présentés sous la forme de pourcentage moyen d'éléments pour lesquels les élèves des deux groupes ont progressé au niveau de l'usage des éléments du système. Ils ont été calculés sur l'ensemble des éléments présentés dans le questionnaire. Des analyses complémentaires correspondant aux calculs des pourcentages quand on ne prend en compte que les éléments issus des systèmes biotiques ou que ceux issus des systèmes domestiques sont présentés en annexe (annexe 4).

Les résultats sont présentés d'abord (a) sur l'ensemble des trois classes, puis (b) pour chacune des classes.

Peu d'influence sur l'identification des usages des éléments des systèmes pour l'ensemble des élèves

Les résultats sont présentés sous la forme des pourcentages d'images pour lesquelles les élèves ont identifié l'usage des éléments (chauffe, éclaire, se déplace) des systèmes au pré-test et au post-test, ainsi que le pourcentage d'images sur lesquelles ils ont progressé entre les deux questionnaires (figure 31)

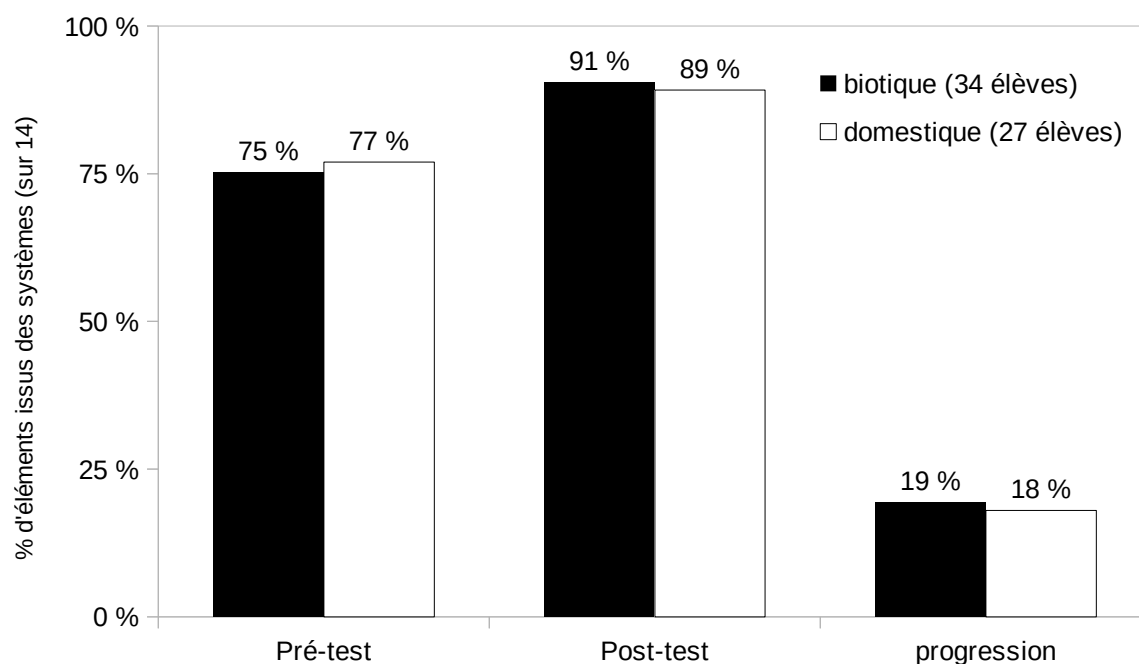


figure 31 : pourcentages d'images sur lesquelles les élèves des deux groupes (« biotique » et « domestique ») identifient l'usage des éléments du système au pré-test, au post-test, et leurs progressions

La figure 31 représente les pourcentages moyens d'images sur lesquelles les élèves ont identifié l'usage de l'élément représenté sur 14 systèmes au prétest et au post-test, ainsi que le pourcentage d'éléments sur lesquelles ils ont progressé entre les deux questionnaires. Ces pourcentages ont été calculés pour les élèves du groupe « biotique » (barres noires) et ceux du groupe « domestique » (barres blanches). Les résultats montrent qu'au pré-test les élèves des deux groupes identifient l'usage de l'élément représenté pour plus de 75 % des éléments (75 % pour le groupe biotique et 77 % pour le groupe objet domestique). Au post-test, les élèves identifient l'usage des éléments représentés pour presque toutes les images du questionnaire (91 % pour le groupe biotique et 89 % pour le groupe objet domestique). Les résultats montrent également que les élèves des deux groupes progressent pour sensiblement le même nombre d'images dans le groupe biotique (19 %) et dans le

groupe objets domestiques (18%). Les analyses montrent que cet écart n'est pas statistiquement significatif.

De plus, des analyses complémentaires (détaillées en annexe 5) montrent que l'on obtient des résultats similaires pour les deux groupes, si l'on prend en compte séparément les éléments issus des systèmes biotiques et ceux issus des systèmes domestiques.

La partie suivante présente les résultats pour chaque groupe de chacune des trois classes.

Les tendances sont variables dans les trois classes

Cette partie a pour objectif d'observer si le résultat précédent sur l'identification des usages des éléments se retrouve dans chacune des classes. Les résultats sur l'identification de l'usage des éléments des systèmes sont présentés pour chacun des groupes (biotique et domestique) de chacune des classes (tableau 39).

Classes	Biotique	Domestiques	Différences
CM1 A (10 élèves biotique, 8 domestiques)	12%	7%	5 %
CM1 B (14 élèves biotique, 10 domestiques)	17 %	20 %	-3 %
CM1 C (10 élèves biotique, 9 domestiques)	30 %	25 %	5 %

Tableau 39 : tendances différentes dans les trois classes pour l'identification de l'usage des éléments des systèmes

Le tableau 39 présente les pourcentages moyens d'éléments sur lesquels les élèves des trois classes (CM1A, CM1B et CM1C) ont progressé au niveau de l'identification de l'usage des éléments des systèmes entre le pré-test et le post-test sur le nombre total d'images. La deuxième colonne présente le pourcentage moyen d'éléments sur lequel les élèves du groupe biotique ont progressé. La troisième colonne présente le pourcentage moyen d'éléments sur lequel les élèves du groupe domestique ont progressé. Et enfin, la quatrième colonne présente la différence entre ces deux pourcentages (colonne 3 - colonne 4). Les valeurs comprises dans la dernière colonne du tableau montrent des écarts assez faibles (entre -3 et 5%) entre les deux groupes d'élèves. De plus, la valeur de la différence dans le CM1B est négative alors qu'elle est positive dans les deux autres CM1. Les analyses statistiques montrent qu'aucun de ces écarts n'est statistiquement significatif.

Les analyses complémentaires (détaillé en annexe 4) montrent que l'on obtient des résultats similaires si l'on prend en compte séparément les éléments issus des systèmes biotiques et ceux

issus des systèmes domestiques. Pour chaque catégorie d'images, les tendances diffèrent selon les classes et aucun écart n'est statistiquement significatif.

Conclusion sur l'usage des éléments des systèmes

Pour conclure, nos résultats montrent qu'au niveau de l'identification de l'usage des éléments des systèmes les écarts entre les progressions des élèves du groupe « biotique » et ceux du groupe « domestique » sont très faibles. De plus, ces écarts ne sont pas statistiquement significatifs et varient dans les trois classes. Nous avons considéré que ces résultats nous permettaient de rejeter l'hypothèse : Les élèves progressent à l'issue de l'enseignement sur un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau l'identification des usages des objets de départ, lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ».

Les résultats ne montrent donc aucun effet particulier de la condition des tâches d'enseignement « utilisation de systèmes biotiques » sur les progressions des élèves au niveau de l'identification de l'usage des éléments des systèmes.

6.1.3.4 -Conclusion sur l'action « reconstituer un système énergétique sans utiliser le modèle de chaîne énergétique »

Les analyses de la partie 1 du questionnaire indiquent qu'au niveau des prés-tests les élèves sont capables d'identifier l'usage qui est fait de nombreux éléments dans les questionnaires. Elles montrent également qu'au post-test l'ensemble des élèves des groupes (« biotique » et « domestique ») est capable de donner les sources d'énergie des objets de départ et les ressources naturelles des transformateurs. Cependant, ils n'arrivent quasiment pas à identifier les ressources naturelles des objets de départ. Au niveau des progressions, les résultats montrent que les élèves du groupe « biotique » progressent à l'issue de l'enseignement sur plus d'éléments que ceux du groupe « domestique » pour identifier les sources d'énergie et dans une moindre mesure les ressources naturelles. Enfin, ils montrent que les élèves des deux groupes progressent sur le même nombre d'éléments concernant l'usage des éléments issus des systèmes de la séquence.

Il semble donc que la condition de la tâche « usage de système biotique » augmente l'efficacité de l'enseignement au niveau de l'action « reconstituer un système énergétique sans utiliser un modèle de chaîne énergétique ». Cette condition semble avoir un effet au niveau de cette action sur l'identification des sources d'énergie et des ressources naturelles. Toutefois, elle ne semble pas favoriser l'identification des usages des objets de départ, ainsi que de certains transformateurs (par exemple les centrales électriques).

6.1.4 -Conclusion sur l'action « reconstituer un système énergétique »

Les analyses des questionnaires montrent donc qu'à l'issue de l'enseignement les élèves du groupe « biotique » progressent sur plus de systèmes que ceux du groupe « domestique » à propos de l'action « reconstituer un système énergétique à l'aide d'un modèle de chaîne énergétique ». Ils progressent plus sur cette action, ainsi que sur trois des quatre opérations nécessaires à la réalisation d'une chaîne énergétique à l'exception de l'identification de l'objet de départ. Les analyses indiquent également que les élèves du groupe biotique progressent plus au niveau de l'action « reconstituer un système énergétique sans utiliser un modèle de chaîne énergétique ». Au niveau de cette action, ils progressent plus concernant l'identification des sources d'énergie et des ressources naturelles. En revanche, les progressions des élèves du groupe « biotique » et celles du groupe « domestique » sont équivalentes concernant l'identification de l'usage des éléments issus des systèmes présentés dans la séance.

Il semble donc que la condition de la tâche « usage de système biotique » augmente l'efficacité de l'enseignement concernant l'action des élèves « reconstituer un système énergétique », notamment au niveau de l'identification des sources d'énergie et des ressources naturelles (chaînes énergétiques dans la partie 3, sources d'énergie et ressources naturelles dans la partie 1). Il semble en revanche que concernant l'usage des éléments du système (identification des objets de départ dans la partie 3 des questionnaires et identification de l'usage dans la partie 1), la condition systèmes biotiques n'ait pas vraiment d'effet. La partie suivante présente les analyses de l'effet de la condition « usage de système biotique » pendant la réalisation des tâches de la séquence d'enseignement sur l'énergie.

6.2 -Analyse fine à partir des vidéos et des traces écrites de la totalité des élèves du CM1A

Les résultats précédents ont mis en évidence une augmentation de l'efficacité de l'enseignement favorisée par la condition de la tâche « usage de système biotique ». Ils reposaient sur l'analyse des questionnaires administrés avant (prétest) et après (post-test) la première partie de la séquence d'enseignement (séance 1 à 7 voir, annexe 1) qui comprenait les séances 3 et 7 sur les chaînes énergétiques. Dans cette partie, c'est l'effet de la condition « usage de système biotique » pendant certaines tâches des séances 3 et 7 qui est observé. L'objectif est de répondre à la question suivante : la condition « usage de système biotique » dans certaines tâches de séances sur l'énergie augmente-t-elle l'efficacité de l'enseignement concernant les actions réalisées par des élèves de CM1 pour reconstituer des systèmes énergétiques complets pendant cet enseignement ? Il s'agit également

d'étudier ce qui a pu générer des différences au niveau des progressions à travers une analyse plus fine sur la totalité des élèves d'une classe.

Les résultats montrent que les opérations de contrôle des élèves du groupe biotique sont différentes de celles des élèves du groupe domestique. En effet, elles reposent beaucoup plus sur l'interaction entre les éléments du système pour le groupe biotique. Les analyses illustrent également le fait que les élèves du groupe biotique rencontrent plus de difficultés pour réaliser l'action « reconstituer un système énergétique complet », ainsi que les opérations correspondantes. Il apparaît durant ces séances que les élèves du groupe « biotique » semblent adopter une approche plus systémique (plus centrée sur les interactions des éléments du système) et à la fois rencontrer plus de difficultés pour réaliser des chaînes énergétiques complètes.

Ces résultats correspondent aux analyses des actions et des opérations des élèves de la classe de CM1A. Elle présente parmi les 3 CM1, les écarts les plus significatifs concernant les systèmes biotiques. Ces actions et opérations ont été analysées pendant les séances 3 et 7 de la séquence (annexe 1). Ces analyses sont réalisées à partir de la transcription des tours de paroles dans lesquels les élèves évoquent les chaînes énergétiques durant les tâches et le recueil des traces écrites de ces derniers.

Les résultats sont présentés en trois parties. La première partie correspond à une description des tâches réalisées par les élèves durant les séances 3 et 7. La deuxième partie présente les opérations de contrôle des élèves (analyse vidéo). Enfin, la troisième partie présente les actions, ainsi que les opérations d'orientation et les opérations d'exécution des élèves à partir des traces écrites.

6.2.1 -Description des tâches réalisées par les élèves

L'objectif de cette partie est de décrire les conditions dans lesquelles les élèves des deux groupes (« biotique » et « domestique ») ont réalisé les tâches dans lesquelles ils devaient appliquer un modèle de chaîne énergétique. Il s'agit de décrire le contexte dans lequel ces tâches ont été réalisées, la façon dont elles ont été introduites par l'enseignant et enfin les supports sur lesquels elles ont été réalisées. L'analyse montre que les conditions dans lesquelles les tâches ont été réalisées sont les mêmes pour les deux groupes à l'exception de deux systèmes représentés sur les images du support. Les tâches analysées sont celles dans lesquelles les élèves devaient réaliser des chaînes énergétiques. Elles sont incorporées aux séances 3 et 7 de la séquence (voir annexe 1). La séance 3 est précédée de deux séances sur l'utilisation d'énergie par des objets domestiques ou des êtres vivants. La première séance avait pour objectif que les élèves réalisent une classification des objets ou des êtres vivants qui utilisent de l'énergie à partir de trois usages. Ils devaient classer les objets selon qu'ils : chauffent, éclairent ou se déplacent. La deuxième séance devait permettre aux

élèves de comprendre que certains objets domestiques ou êtres vivants utilisaient de l'énergie même lorsqu'aucun transfert n'était perceptible (par exemple, un humain immobile utilise de l'énergie). La mise en place de ces séances avant la séance 3 devait permettre aux élèves d'identifier les objets de départ des chaînes énergétiques et d'introduire la nécessité d'identifier d'où provenait l'énergie utilisée. Puis venait la séance 3, qui présentait le modèle de chaîne énergétique. Elle est séparée de la séance 7 par une démarche d'investigation composée de trois séances sur les centrales électriques (séance 4 : hypothèse, séance 5 : fabrication et manipulation, séance 6 : étude de document d'institutionnalisation). Cette démarche d'investigation a été mise en place avant la séance pour ne pas avoir à présenter la source d'énergie électricité en dehors du système objet électrique, électricité, centrale électrique, ressource naturelle. En effet, l'électricité étant un transfert d'énergie qui par définition ne peut être stocké, elle ne pouvait pas être représentée en dehors du système sur une image comme peut l'être un bidon d'essence par exemple.

L'analyse des tâches d'application du modèle de chaîne énergétique des séances 3 et 7 est présentée en deux parties. La première partie présente le déroulement des séances qui est identique pour les deux groupes d'élèves. La deuxième partie présente les supports sur lesquels les élèves ont réalisé les tâches et où la tâche varie pour les deux groupes d'élèves.

6.2.1.1 - Déroulement des deux séances

L'analyse des séances 3 et 7 nous a permis d'observer comment, à partir de la séquence prescrite par les chercheurs, l'enseignant a introduit et corrigé les tâches pour chacun des groupes d'élèves (« biotique » et « domestique »). Deux aspects principaux ont été observés : (1) le fait que les tâches soient introduites et corrigées de la même façon pour chacun des élèves des deux groupes et (2) les systèmes évoqués par l'enseignant pendant les introductions et les corrections des tâches. L'observation des systèmes évoqués par l'enseignant nous a permis de nous assurer que lors des moments en classe entière les systèmes biotiques ne soient pas mentionnés afin que seuls les élèves du groupe « biotique » les aient rencontrés durant les séances. La description des consignes nous a également permis d'observer comment la division du travail et les règles dans l'activité des élèves (pour lesquels rien n'avait été prescrit par les chercheurs) ont été prescrites par l'enseignant.

La description des séances 3 et 7 concerne le CM1A qui se compose de 22 élèves. Ces élèves sont répartis en 6 groupes de travail. Trois de ces groupes ont réalisé des tâches utilisant des systèmes biotiques et des systèmes domestiques, les trois autres ont réalisé des tâches comportant des systèmes domestiques uniquement. Chacun de ces groupes présentait la même hétérogénéité. Ce facteur a été contrôlé à partir d'une analyse des prés-tests. Les critères de cette analyse étaient

l'association des êtres vivants à l'utilisation d'énergie et la réalisation de chaînes énergétiques complètes.

La séance 3 est la première de la séquence (annexe 1) qui comporte la réalisation de chaînes énergétiques par les élèves. Dans cette séance le modèle est introduit progressivement dans trois tâches différentes. Les élèves doivent réaliser des chaînes sur des images comportant : deux éléments (objet de départ et source d'énergie) dans la première tâche, trois éléments (objet de départ, source d'énergie et transformateur) dans la deuxième et quatre éléments (objet de départ, source d'énergie, transformateur et ressource naturelle) dans la troisième.

La séance prescrite par les chercheurs (détaillée en annexe 1) comprend trois phases principales, la présentation d'une situation de départ, la réalisation des trois tâches sur les chaînes énergétiques et une synthèse sur le modèle (tableau 40)

Phases de la séance 3	Durée	Gestion de classe et mise en œuvre	
Phase 1 : situation de départ	5 min.	Classe entière : Présentation de la situation de départ : « que se passe-t-il si un objet n'a plus sa source ? »	
Phase 2 : Réalisation de chaîne énergétique	5 min.	Classe entière : Introduction des chaînes avec une tondeuse à gazon (objet de départ) et de l'essence (source d'énergie)	
	10 min.	Les élèves du groupe « biotique » réalisent des chaînes à 2 sur des systèmes biotique et domestiques	les élèves du groupe « domestiques » réalisent des chaînes à 2 sur des systèmes domestiques uniquement
	5 min.	Classe entière : Corrections des chaînes à 2 (système cheminée et voiture) et introduction du transformateur dans le modèle (raffinerie du système tondeuse à gazon)	
	10 min.	Les élèves du groupe « biotique » réalisent des chaînes à 3 sur des systèmes biotique et domestiques	Les élèves du groupe « domestiques » réalisent des chaînes à 3 sur des systèmes domestiques uniquement
	5 min.	Classe entière : Corrections des chaînes à 3 (système cheminée et voiture) et introduction de la ressource naturelle dans le modèle (pétrole du système tondeuse à gazon)	
	10 min.	Les élèves du groupe « biotique » réalisent des chaînes à 4 sur des systèmes biotique et domestiques	Les élèves du groupe « domestiques » réalisent des chaînes à 4 sur des systèmes domestiques uniquement

Phase 3 : synthèse	10 min.	Classe entière : Synthèse sur le modèle de chaîne énergétique
--------------------	---------	---

Tableau 40 : séance prescrite par les chercheurs

Le tableau 39 présente les trois phases de la séance prescrite par les chercheurs. La phase deux est structurée par trois tâches dans lesquelles les élèves doivent réaliser, en groupe, des chaînes énergétiques. Chaque tâche est précédée d'un moment en classe entière. Un diaporama (annexe 1) a été élaboré par les chercheurs et fourni à l'enseignant. Sur ce diaporama les éléments de la chaîne énergétique étaient introduits à partir de l'exemple du système tondeuse à gazon (tondeuse à gazon->essence->raffinerie->pétrole), et les exemples des systèmes voiture et cheminée étaient corrigés. Aucun système particulier n'était fourni pour l'introduction de la situation de départ et la synthèse. Le tableau 41 présente la séance 3 conduite par l'enseignant qui a été décrite à partir des enregistrements vidéo (transcription présentée dans l'annexe 4)

Phases	Durée	Déroulement de la séance 3 pour l'enseignant et les élèves	
Phase 1 : situation de départ	6 min 30	L'enseignant présente la situation de départ : « que se passe-t-il si un objet n'a plus sa source ? »	
Phase 2 : réalisation de chaîne énergétique	6 min.	L'enseignant introduit les chaînes avec un objet de départ et une source d'énergie en classe entière	
		L'enseignant passe les consignes pour réaliser les chaînes énergétiques à 2 éléments et distribue les supports	
	6 min.	Les élèves des trois groupes biotique (1, 2 et 6) réalisent des chaînes à 2 éléments sur des systèmes biotique et domestiques	Les élèves des trois groupes domestiques (3, 4 et 5) réalisent des chaînes à 2 éléments sur des systèmes domestiques uniquement
	9 min	L'enseignant corrige certains systèmes en classe entière	
	6 min 30	L'enseignant introduit le transformateur dans le modèle en classe entière	
		L'enseignant passe les consignes pour réaliser des chaînes énergétiques à 3 éléments et distribue les supports	
	6 min.	Les élèves des trois groupes biotique (1, 2 et 6) réalisent des chaînes à 3 éléments sur des systèmes biotique et domestiques	Les élèves des trois groupes domestiques (3, 4 et 5) réalisent des chaînes à 3 éléments sur des systèmes domestiques uniquement
	4 min.	L'enseignant corrige certains systèmes en classe entière	
	8 min 30	L'enseignant introduit la ressource naturelle dans le modèle en classe	

		entière	
		L'enseignant passe les consignes pour réaliser des chaînes énergétiques à 4 éléments et distribue les supports	
	6 min.	Les élèves des trois groupes biotique (1, 2 et 6) réalisent des chaînes à 4 éléments sur des systèmes biotique et domestiques	Les élèves des trois groupes domestiques (3, 4 et 5) réalisent des chaînes à 4 éléments sur des systèmes domestiques uniquement
Phase 3 : synthèse	27 min.30	L'enseignant fait un retour sur la situation de départ	
		Les élèves rédigent la question de départ dans leur cahier de sciences	
		L'enseignant fait une mise en commun en classe entière de la réponse à la question de départ	
		L'enseignant fait une mise en commun en classe entière sur les chaînes énergétiques	
		Les élèves rédigent la synthèse finale dans leur cahier de sciences	

Tableau 41 : déroulement effectif de la séance 3.

Le tableau 41 présente le déroulement de la séance 3. On voit dans le tableau que la différence principale avec la séance prescrite par les chercheurs (tableau 39) concerne les durées. Ce tableau montre également comment l'enseignant a suivi le déroulement en trois phases de la séance et comment il a organisé les moments qui précèdent les tâches des élèves. Ces moments comprennent une introduction du modèle réalisée avec les élèves en classe entière. Dans le cas des chaînes à trois et quatre éléments cette introduction est précédée de la correction de certains systèmes provenant des tâches déjà réalisées. Après chaque introduction du modèle, l'enseignant donne les consignes de la tâche. L'analyse des transcriptions montre que l'enseignant utilise certains systèmes comme exemple dans l'introduction de la situation de départ, dans les introductions du modèle, les corrections des tâches, ainsi que dans la synthèse finale (tableau 42).

Actions de l'enseignant	Systèmes évoqués par l'enseignant
L'enseignant présente la situation de départ : « que se passe-t-il si un objet n'a plus sa source ? »	Voiture Radiateur Lampe
L'enseignant introduit les chaînes avec un objet de départ et une source d'énergie en classe entière	Tondeuse à gazon
L'enseignant corrige certains systèmes en classe entière	Voiture Cheminée
L'enseignant introduit le transformateur dans le modèle en classe entière	Cheminée Voiture Tondeuse à gazon

L'enseignant corrige certains systèmes en classe entière	Cheminée
L'enseignant introduit la ressource naturelle dans le modèle en classe entière	Voiture
L'enseignant fait une mise en commun en classe entière sur les chaînes énergétiques	Voiture Cheminée

Tableau 42 : systèmes évoqués par l'enseignant au cours de la séance

Le tableau 42 montre que l'enseignant n'a pas utilisé les systèmes exactement comme le suggérait le diaporama conçu par les chercheurs. En effet, il a parfois utilisé les exemples de la voiture et de la cheminée pour introduire le modèle et non uniquement comme corrections. De plus, il n'a pas non plus toujours corrigé les deux systèmes. Cependant, le tableau montre qu'aucun système biotique n'a été évoqué pendant les moments en classe entière. L'analyse des transcriptions (détaillée en annexe 4) montre que l'enseignant n'a jamais utilisé d'exemple de système pour passer les consignes. Ces consignes ont toujours été organisées de la même manière par l'enseignant. Elles débutaient par une description de la tâche à réaliser, notamment en précisant quel symbole (rond, rectangle, triangle) devait être associé à quel élément du système (objet de départ, source, transformateur, ressource naturelle). Puis les élèves étaient amenés à expliciter les règles du travail en groupe, qui consistaient principalement à se mettre d'accord en donnant des arguments et qu'une fois le groupe d'accord un élève pouvait dessiner la chaîne. Ces consignes ne faisaient pas mention en revanche d'une quelconque division du travail entre les élèves (par exemple, ils auraient pu devoir dessiner une chaîne énergétique chacun).

Dans la séance 7, une synthèse sur les chaînes énergétiques est utilisée pour introduire la notion de renouvelabilité des ressources naturelles. Dans cette synthèse les élèves doivent dessiner des chaînes énergétiques complètes sur les systèmes étudiés dans la séance 3, ainsi que sur de nouveau système concernant des objets électriques. Cette étude présente cette phase de synthèse sur les chaînes énergétiques au niveau de la séance : prescrite par les chercheurs (tableau 43) et effectivement mise en œuvre par l'enseignant (tableau 44).

Phases	Durée	Gestion de classe et mise en œuvre	
Réalisation des chaînes énergétique	5 min.	Classe entière : rappel sur le modèle de chaîne énergétique	
	15 min.	Les élèves du groupe « biotique » réalisent des chaînes à 4 éléments sur des systèmes biotique et domestiques	Les élèves du groupe « domestiques » réalisent des chaînes à 4 éléments sur des systèmes domestiques uniquement

Tableau 43 : séance 7 prescrite par les chercheurs

Le tableau 43 présente la séance 7 telle qu'elle a été conçue par les chercheurs. La séance prévoit un retour sur le modèle de chaîne énergétique qui s'appuie sur un rappel de la séance 3, ainsi que sur les séances qui concernent les centrales électriques. À la suite de ce rappel, les élèves doivent réaliser des chaînes énergétiques sur des systèmes à 4 éléments. Dans cette séance comme dans la séance 3, un diaporama qui présente le modèle de chaîne énergétique à partir de l'exemple de la tondeuse à gazon a été conçu par les chercheurs.

Le tableau 44 montre comment l'enseignant a effectivement mis en œuvre cette partie de la séance.

Phases	Durée	Déroulement de la séance 3 pour l'enseignant et les élèves	
Rappel séances sur centrale électrique	10 min.	L'enseignant fait un retour sur la séance électricité	
Réalisation des chaînes énergétique	6 min.	L'enseignant rappelle en classe entière le modèle de chaîne énergétique	
		L'enseignant passe les consignes pour réaliser les chaînes énergétiques à 4 éléments et distribue les supports	
	12 min.	Les élèves des trois groupes biotique (1, 2 et 6) réalisent des chaînes à 4 éléments sur des systèmes biotique et domestiques	Les élèves des trois groupes domestique (3, 4 et 5) réalisent des chaînes à 4 éléments sur des systèmes domestiques uniquement

Tableau 44 : déroulement effectif de la partie chaîne énergétique de la séance 7

Le tableau 44 montre le déroulement effectif de la séance 7. On peut voir dans le tableau que l'enseignant a choisi d'organiser un retour concernant les séances sur les centrales électriques bien distinct du rappel sur le modèle de chaîne énergétique. On voit également que les durées des différents moments concernant les chaînes énergétiques sont similaires à celles prévues dans la séance prescrite (tableau 42). Dans cette séance, bien que n'ayant pas utilisé le diaporama conçu par les chercheurs, l'enseignant a utilisé les systèmes prévus comme exemple. Il a rappelé le modèle en s'appuyant uniquement sur l'exemple de la tondeuse à gazon. Et a évoqué les différentes centrales électriques (centrale nucléaire, éolienne, panneau solaire, centrale hydroélectrique) dans le rappel sur les séances précédentes. Dans cette séance également, il n'a jamais été fait mention des systèmes biotiques dans les moments en classe entière. Les consignes ont été passées de la même façon que lors de la séance 3. La partie suivante présente en détail les tâches dans lesquelles les élèves devaient réaliser les chaînes énergétiques.

6.2.1.2 -Description des supports

La description des supports correspond aux parties des séances qui étaient différentes pour les deux groupes d'élèves (« biotique » et « domestique »). En effet les supports sur lesquels les élèves ont réalisé les chaînes énergétiques comportaient 7 systèmes d'objets domestiques communs aux deux groupes, ainsi que 2 systèmes propres au groupe « biotique » et 2 systèmes propres au groupe « domestique ». Ces supports ont la forme de livret en format paysage dans lesquels chaque page comporte une image sur laquelle sont représentés les éléments d'un système. (Annexe 1)

Lors de la séance 3, les élèves devaient remplir trois livrets (correspondant aux tâches : n°1 avec deux éléments, n°2 avec trois éléments et n°3 avec quatre éléments) comportant chacun cinq images. Les livrets se composent de trois systèmes (voiture, gazinière et cheminée) communs à tous les groupes et de deux systèmes différents pour le groupe « biotique » (loup et humain) et pour le groupe « domestique » (bus et barbecue).

Lors de la séance 7, les groupes devaient compléter un seul livret constitué de neuf images sur lesquelles étaient représentés les quatre éléments de la chaîne énergétique. De la même manière que lors de la séance 3, les livrets comprenaient sept systèmes communs aux deux groupes (voiture, gazinière, cheminée, lampe, ordinateur, voiture électrique et radiateur) et deux systèmes différents selon les groupes : loup et humain pour le groupe « biotique » et bus et barbecue pour le groupe « domestique ». Parmi les sept systèmes communs aux deux groupes, trois avaient déjà été vus par les élèves lors de la séance 3 (voiture, gazinière, cheminée) et quatre étaient nouveaux (lampe, ordinateur, voiture électrique et radiateur).

Ces livrets sont constitués d'une page contenant une consigne écrite ainsi que d'un exemple. Puis des images à compléter par les élèves. (figure 32)

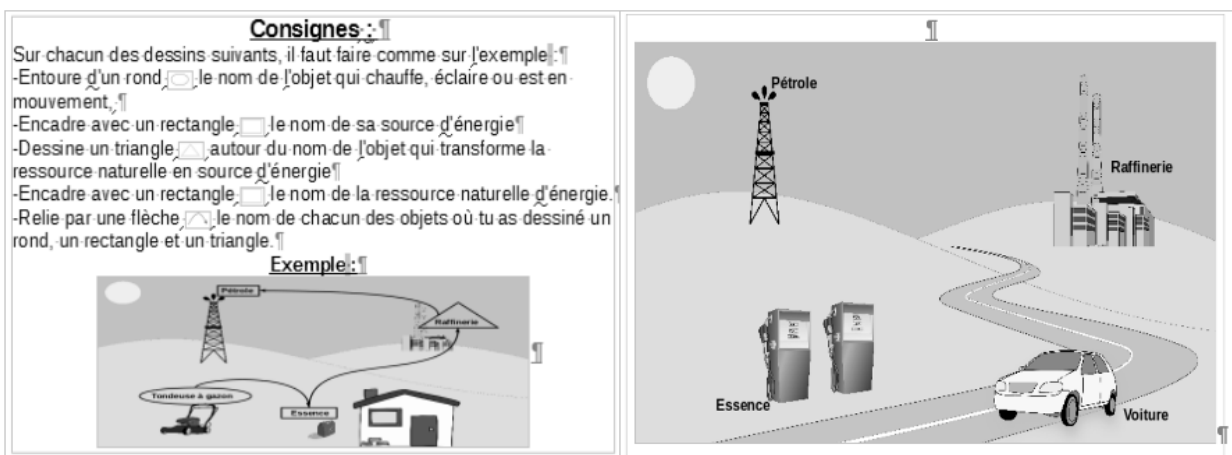


figure 32 : consigne, et exemple de la première page des livrets distribués aux élèves dans les séances 3 et 7

La consigne écrite contient le nom des éléments du modèle, ainsi que la convention symbolique. Elle insiste sur l'identification de l'objet qui chauffe, éclaire ou est en mouvement. Elle désigne les interactions des éléments du système par le symbole de la flèche, mais ne leur donne pas de signification.

L'ensemble des analyses de la tâche des élèves a donc permis d'observer comment le protocole expérimental a effectivement été mis en place. Il montre que les élèves du groupe « biotique » et du groupe « domestique » ont bien suivi strictement les mêmes séances. Il montre également qu'il n'a jamais été fait mention des systèmes biotiques dans les moments en classe entière. De plus, les analyses ont permis d'observer que les règles de l'activité des élèves données par l'enseignant concernent l'argumentation et la prise de décision collective. Ces règles n'imposent aucune division du travail spécifique. Cette analyse montre que les tâches des élèves sont exactement les mêmes à l'exception de deux systèmes représentés sur les images des livrets. Les actions et les opérations que les élèves des deux groupes ont effectuées pour réaliser ces tâches sont décrites dans les parties suivantes.

6.2.2 -Analyse vidéo de l'activité des élèves : le groupe « biotique » développe une approche plus systémique

L'objectif de cette partie est d'observer si les opérations de contrôle réalisées par les élèves des deux groupes (« biotique » et « domestique ») sont les mêmes pendant les tâches de la séquence demandant de réaliser des chaînes énergétiques. Ces analyses ont pour but de tester l'hypothèse 6 : les élèves réalisent plus d'opérations de contrôle à travers un discours centré sur les interactions entre les éléments du système pendant l'enseignement, lorsque certaines tâches comportent des « systèmes biotiques ».

Durant les séances 3 et 7, les élèves du groupe « biotique » évoquent plus les interactions entre les éléments des systèmes présents dans les images du livret que ceux du groupe « domestique ». Ce résultat s'appuie sur l'analyse des transcriptions (voir annexe 5) des tours de paroles dans lesquels les élèves évoquent le modèle durant le travail en groupe des séances 3 et 7 (voir partie 1 sur la description des 2 séances). Dans la séance 3, cinq groupes d'élèves sur six ont été analysés (18 élèves), en effet le microphone d'un groupe a été défaillant. Dans la séance 7, les vidéos des 20 élèves (six groupes d'élèves dont deux absents) ont été analysés. Ces analyses ont été effectuées pendant les moments où les élèves travaillaient en groupe sur les chaînes énergétiques. Pendant ces tâches, il a été relevé chaque fois qu'un élève prenait la parole, s'il évoquait une partie du modèle

de chaîne énergétique (objet, sources, transformateurs, ressources naturelles ou interactions). Les parties du modèle évoquées pendant ces tours de paroles ont été relevées à partir d'une liste de mots-clés et catégorisées selon qu'elles faisaient référence aux différents éléments du système ou aux interactions entre ces éléments (tableau 45).

Partie du modèle de chaîne énergétique	Mots-clés utilisés
Éléments du système	<p>-Objet : voiture, cheminée, gazinière, barbecue, humain, loup, bus, ordinateur, voiture électrique, lampe, radiateur, truc, gazière, gazi, drapeau, drapeau bleu.</p> <p>-Source : essence, bois, électricité, légumes, mouton, gaz butane, charbon de bois, gpl, gaz, essence pour les bus, gaz pour, ce qu'on trouve dans la station d'essence, charbon, gaz butène, essence très dangereuse, bois coupé, carburant, muianum</p> <p>-Transformateur : raffinerie, arbre, centrale nucléaire, éolienne, panneau solaire, barrage hydroélectrique, herbe, transformation, triangle, raffinenerie, champ, centrale, potager, centrale hydroel, centrale hydrolique,</p> <p>-Ressource naturelle : pétrole, soleil, gaz naturel, lac, vent, mine d'uranium, carré, ressource, ressource naturelle mine, uranium, source naturelle</p>
Interaction entre les éléments du système	à besoin de, mange de, a peur de , vient de, provient de, fonctionne avec de, grâce à, qui fait fonctionner, fasse allumer, qui fait des , fabrique

Tableau 45 : catégories d'analyse des termes utilisés par les élèves

Le tableau 45 présente les mots clefs qui ont été utilisés pour faire référence aux différentes parties du modèle. Concernant les éléments du système, ces mots clés peuvent être les noms du modèle directement (objet, source, transformateur, ressource), le nom du symbole correspondant (triangle, carré) ou le nom des éléments (lampe, électricité, etc.) Parmi les noms des éléments, nous avons également pris en compte à partir de la structure de la phrase certaines moitiés de mots dans le cas où l'élève a été coupé (par exemple, l'élève commence à dire gazi... en ouvrant la page du livret correspondante à la gazinière et est coupé par l'assistante de vie scolaire qui réprimande un autre élève, puis il reprend dans un autre tour de parole gazinière, gaz butane). Certains mots mal prononcés ont également été pris en compte (par exemple dans le tour de parole « la gazinière a besoin du muianum »).

Concernant les interactions entre les éléments du système, les mots clefs correspondent à des parties d'expressions dans lesquelles les élèves donnent une signification aux liens entre deux éléments (par exemple « ça il a besoin du gaz » ou « après le charbon de bois c'est ça qui fait fonctionner le barbecue »).

À partir de ce premier classement des termes employés durant les tours de paroles, deux catégories ont été définies : l'une contenant uniquement les termes associés aux éléments du système et l'autre regroupant les termes évoquant les éléments du système et leurs interactions. (tableau 46)

Catégorie de tour paroles	contenus	exemples
Éléments du système uniquement	Le tour de parole ne contient que les termes liés aux éléments du système	« le radiateur (montre sur le livret) c'est l'objet t'es d'accord l'électricité (montre sur le livret) c'est la rr c'est la source l'éolienne (montre sur le livret) c'est le transformateur d'accord et le vent (montre sur le livret) c'est heu c'est quoi déjà c'est la ressource »
Éléments du système + interactions	Le tour de parole contient les termes liés aux éléments du système ainsi que leurs interactions	« ça il a besoin du gaz le gaz il a besoin de raffinerie le raffinerie il a besoin du pétrole », « après le charbon de bois c'est ça qui fait fonctionner le barbecue » « ben si ça c'est la ressource naturelle parce que c'est grâce au vent (pointe le livret) que l'éolienne elle tourne que elle fabrique de l'électricité (pointe le livret) pour que ça fasse(pointe le livret) allumer le radiateur »

Tableau 46 : catégorie d'analyse de tours de paroles des élèves et exemple

Le tableau 46 présente les catégories d'analyse des tours de paroles des élèves regroupés en deux catégories : celles où les élèves évoquent les éléments du système uniquement et celles où ils discutent des éléments du système et de leurs interactions (colonne 1). La seconde colonne donne une brève description des tours de paroles contenus dans chaque catégorie. La troisième colonne donne des exemples. Les tours de paroles catégorisés comme « éléments du système » ne contiennent jamais la notion de lien entre les éléments. Les tours de paroles codés comme

« éléments du système et interactions » contiennent des expressions qui renvoient explicitement aux liens entre les éléments.

Pour chacun des six groupes, le nombre de tours de parole de chaque catégorie a été relevé. Ensuite, les nombres moyens de chaque catégorie de tours de paroles ont été calculés pour les deux groupes (« biotique » et « domestique »). Enfin, les pourcentages de chaque type de tour de parole (éléments du système versus éléments + interactions) sur l'ensemble des tours de paroles évoquant la chaîne énergétique durant les tâches des séances 3 et 7 ont été calculés.

Les résultats sont présentés dans un premier temps pour la séance progressive (n°3), puis pour la séance de synthèse (n°7).

6.2.2.1 -Séance n°3 : progressive

Dans la séance progressive, les trois tâches dans lesquelles les élèves devaient dessiner les chaînes énergétiques ont été analysées conjointement. C'est le nombre moyen de types de tours paroles sur les tours de paroles compris dans les trois tâches qui constitue le pourcentage analysé (figure 33)

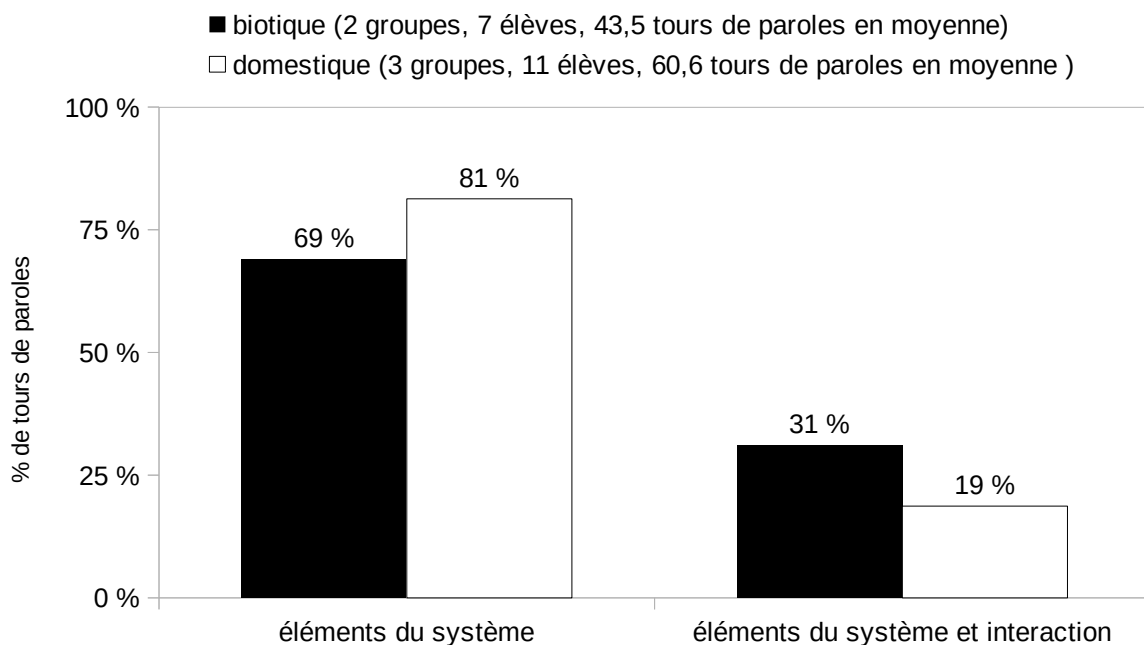


figure 33 : pourcentages des catégories "éléments du système" et "éléments du système et interactions" pour les groupes biotique et domestique durant la séance progressive (n°3)

La figure 33 représente les pourcentages moyens de tours de paroles contenant l'évocation : des éléments du système uniquement et des interactions entre ces éléments. Ces pourcentages ont été calculés pour les groupes « biotique » (barres noires) et « domestique » (barres blanches) durant la

séance progressive. Les résultats montrent que les élèves du groupe « biotique » communiquent moins (43,5 tours de parole par groupe en moyenne) à propos de la chaîne énergétique que ceux du groupe « domestique » (60,6 tours de paroles par groupe en moyenne). Le graphique illustre que les élèves du groupe « biotique » évoquent plus les interactions entre les éléments du système (31 %) que ceux du groupe « domestique » (19 %). Les tours de paroles des élèves du groupe « domestique » présentent une proportion plus importante d'évocations uniquement des éléments du système que ceux du groupe biotique (12 % de plus). La partie suivante présente les mêmes analyses réalisées lors de la séance de synthèse (n°7)

6.2.2.2 -Séance n°7 : synthèse

Dans cette séance les élèves devaient dessiner des chaînes énergétiques complètes au cours d'une tâche de synthèse. Pendant cette tâche les proportions de chaque catégorie de tours de paroles ont été relevées (figure 34).

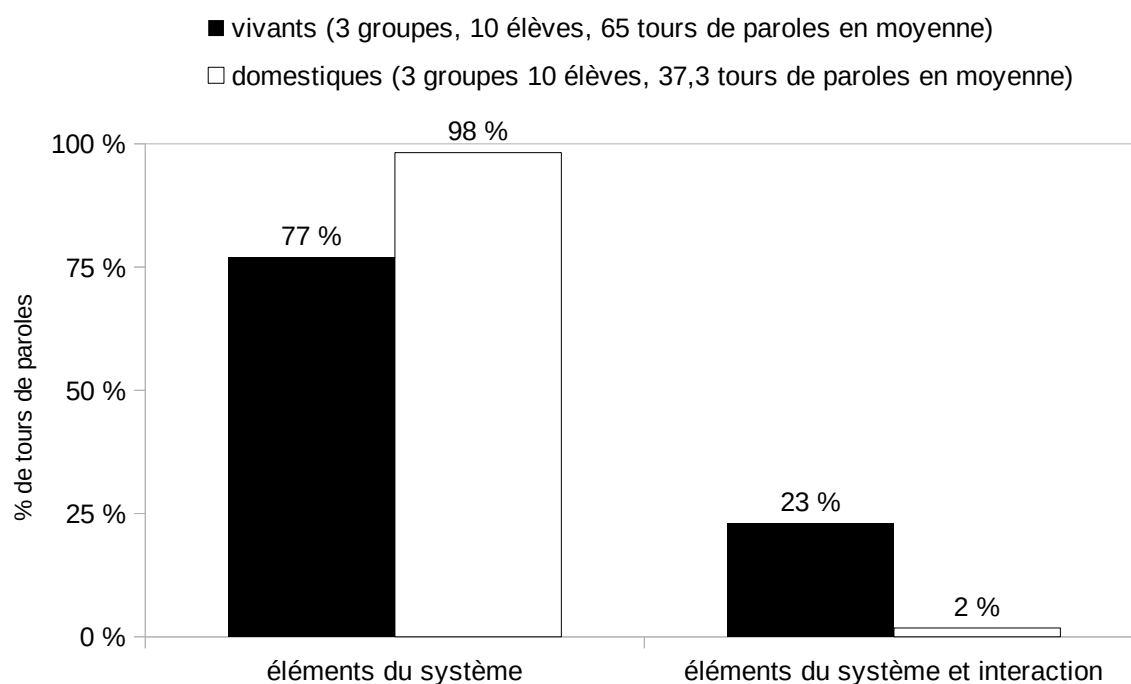


figure 34 : pourcentages des catégories "éléments du système" et "éléments du système et interactions" pour les groupes « biotique » et « domestique » durant la séance de synthèse (n°7)

La figure 34 représente les pourcentages moyens de tours de paroles contenant l'évocation : des éléments du système uniquement et des interactions entre ces éléments. Ces pourcentages ont été calculés pour les groupes « biotique » (barres noires) et « domestique » (barres blanches) durant la séance de synthèse. Les résultats montrent que les élèves du groupe « biotique » communiquent

plus à propos de la chaîne énergétique (65 tours de parole par groupe en moyenne) que ceux du groupe « domestique » (37,3 tours de paroles par groupe en moyenne). Ils montrent également que les élèves du groupe « biotique » évoquent plus les interactions entre les éléments du modèle (23 %) que ceux du groupe « domestique » (2 %). On retrouve cette différence au niveau des tours de paroles contenant l'évocation des éléments du système uniquement représentant en moyenne 98 % des tours de paroles du groupe « domestique », et 77 % des tours de paroles du groupe « biotique ». Les résultats sur les opérations de contrôle pendant les séances 3 et 7 montrent que les élèves ayant réalisé des tâches utilisant des systèmes biotiques durant l'enseignement évoquent plus souvent les interactions entre les éléments du système que ceux ayant réalisé des tâches comportant uniquement des systèmes domestiques. Il semble donc que la condition de la tâche « usage de système biotique » favorise le développement d'opération de contrôle de l'action basé sur les interactions entre les éléments du système. À partir de ces résultats, nous avons considéré que nos résultats confirment l'hypothèse 7 : les élèves réalisent plus d'opérations de contrôle à travers un discours centré sur les interactions entre les éléments du système pendant l'enseignement, lorsque certaines tâches comportent des « systèmes biotiques ».

Ce focus sur les liens entre les parties du modèle peut être considéré comme se rapprochant d'une approche systémique, qui relie les éléments et se concentre sur leurs interactions (De Rosnay, 1997), contrairement à l'approche analytique qui isole et se concentre sur les éléments, on peut également considérer que ces évocations peuvent être interprétées comme un indicateur concernant la base d'orientation de l'action développée par les élèves. En effet, même s'il apparaît très difficile de reconstruire complètement la base d'orientation d'un individu, il nous semble que celle développée par les élèves du groupe « biotique » puisse être plus axée sur les interactions entre les éléments du système que celle des élèves du groupe « domestique ».

La partie suivante présente l'analyse des actions de réalisation de la tâche des élèves, c'est-à-dire dans notre cas l'analyse des chaînes énergétiques réalisées pendant la séquence.

6.2.3 -Traces écrites : Le groupe biotique rencontre plus de difficultés pour réaliser les actions et opérations

Cette partie propose d'analyser les traces écrites des élèves des deux groupes (« biotique » et « domestique ») pour étudier l'effet de la condition de la tâche « usage de système biotique » sur la réalisation de l'action « reconstituer un système énergétique complet à partir d'un modèle de chaîne énergétique » et des opérations correspondantes pendant la réalisation des différentes tâches en classe.

L'objectif de cette partie est de répondre aux trois hypothèses suivantes :

-Hypothèse 7 : les élèves réussissent à réaliser l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète » pour un plus grand nombre de systèmes pendant l'enseignement, lorsque certaines tâches comportent des « systèmes biotiques ».

-Hypothèse 8 : Les élèves réussissent à réaliser les deux opérations d'orientation (identifier : l'usage de l'objet de départ et les éléments du système) pour un plus grand nombre de systèmes pendant l'enseignement, lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques »

-Hypothèse 8' : Les élèves réussissent à réaliser les deux opérations d'exécution (dessiner : les symboles et les flèches du modèle) pour le même nombre de systèmes pendant l'enseignement lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ».

Nous avons fait le choix dans cette partie, pour éviter la multiplication des graphiques et pour plus de clarté de présenter les tests de ces hypothèses ensemble dans une seule partie.

Les résultats montrent que les élèves du groupe « biotique » rencontrent plus de difficultés pour réaliser les actions et opérations que ceux du groupe « domestique ».

Ces résultats sont issus de l'analyse des traces écrites de chaque groupe recueillies durant les séances 3 et 7 (détaillées dans l'annexe 1). L'analyse des traces écrites a été réalisée sur :21 élèves des 6 groupes (avec un élève absent) durant la séance 3 et 20 élèves des 6 groupes (avec 2 absents) durant la séance 7.

Ces traces écrites ont été étudiées à partir d'une grille similaire à celle utilisée pour analyser les chaînes énergétiques réalisées dans les questionnaires. Dans un premier temps, le nombre de chaînes dessinées par chacun des groupes d'élèves a été comptabilisé. Dans un second temps, les chaînes dessinées ont été regroupées en cinq catégories (tableau 47).

Catégorie	Description
Chaîne énergétique complète	Chaîne énergétique avec tous les éléments (objet de départ, source, transformateur, et ressource naturelle) associés aux symboles du modèle et les flèches dessinées dans la bonne direction
Objet de départ de la chaîne énergétique identifié	Chaînes énergétiques pour lesquelles les élèves ont identifié le bon objet de départ
Éléments de la chaîne énergétique identifiés	Chaînes énergétiques avec tous les éléments reliés dans le bon ordre
Symboles du modèle dessinés	Chaînes énergétiques avec tous les symboles du modèle dessinés dans le bon ordre
Flèches du modèle dessinées	Chaînes énergétiques avec les flèches dans la bonne direction (de l'objet de départ vers la ressource naturelle)

Tableau 47 : catégorie d'analyse des traces écrites des élèves

Le tableau 47 présente les catégories utilisées pour analyser les traces écrites des élèves. Comme dans le cas des questionnaires, la première catégorie correspond à des chaînes énergétiques complètes pour lesquelles l'ensemble de ce qui est attendu a été réalisé. Les quatre autres catégories sont basées sur les opérations nécessaires à la réalisation d'une chaîne énergétique. Les codages effectués sont les mêmes que dans les questionnaires, les sens des chaînes dessinées par les élèves a été déterminé à l'aide d'une ou deux opérations (éléments, symboles, objet de départ ou flèche). Une fois ce sens déterminé, les chaînes ont été codées en ne prenant en compte qu'une seule des opérations.

Les résultats sont présentés d'abord pour la séance progressive (n°3) puis pour la séance de synthèse (n°7)

6.2.3.1 -Séance n°3 : progressive

Dans cette séance les élèves devaient réaliser trois tâches, dans lesquelles ils devaient réaliser des chaînes énergétiques. Dans la première tâche, ils devaient dessiner des chaînes sur des systèmes à 2 éléments, dans la deuxième sur des systèmes à 3 éléments et enfin dans la troisième sur des systèmes à 4 éléments. En tout, ils devaient dessiner quinze chaînes énergétiques durant cette séance. La figure 35 présente le nombre total de chaînes dessinées, ainsi que le nombre de chaînes complètes réalisées sur les quinze chaînes.

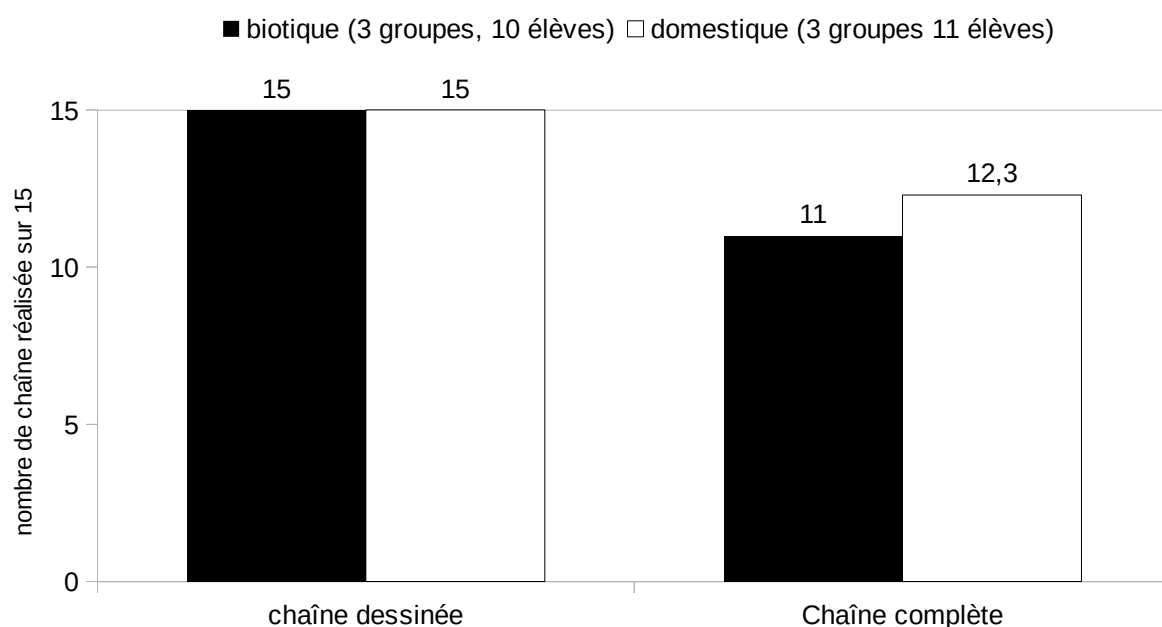


figure 35 : Nombre de chaînes énergétiques dessinées et complètes réalisées par chacun des deux groupes (biotique et domestique) durant la séance n°3

La figure 35 représente le nombre moyen de chaînes énergétiques dessinées et complètes réalisées par les élèves du groupe « biotique » (barres noires) et ceux du groupe « domestique » (barres blanches) durant la séance 3. Les résultats montrent que les élèves des deux groupes dessinent les quinze chaînes énergétiques demandées dans les trois tâches de la séance. Cependant, les élèves du groupe « domestique » dessinent en moyenne plus de chaînes complètes (12,3) que ceux du groupe biotique (11).

Comme durant l'analyse des questionnaires, nous avons cherché à déterminer si certaines opérations pour réaliser le dessin d'une chaîne énergétique complète étaient plus influencées que d'autres (figure 36)

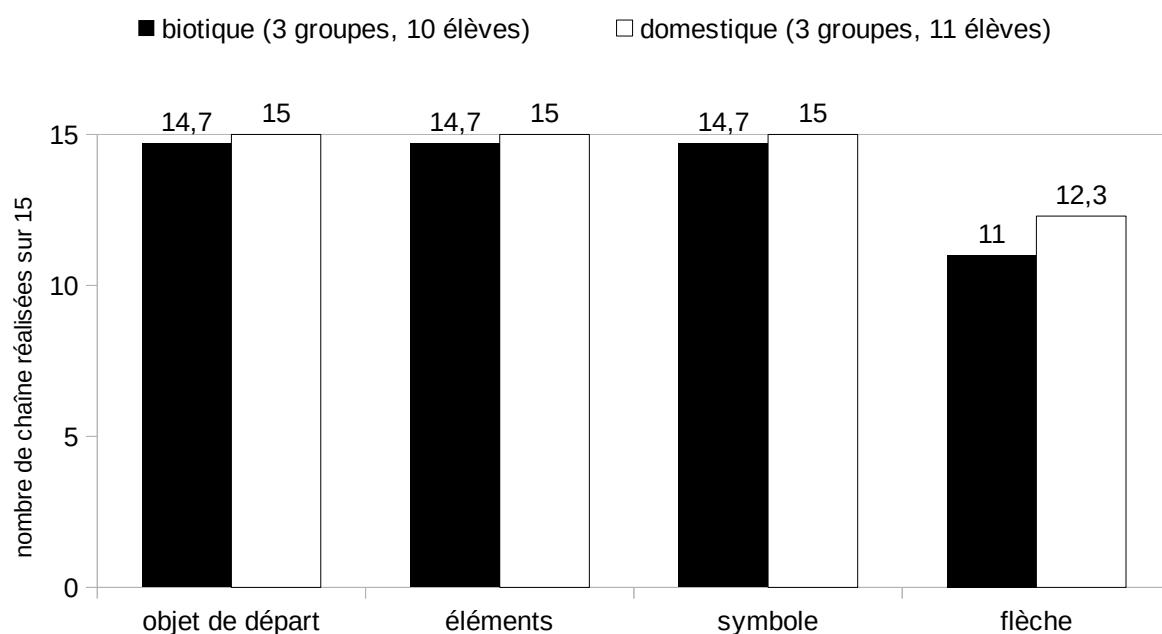


figure 36 : nombre de chaînes réalisées par les élèves des deux groupes (« biotique » et « domestique ») avec : l'objet de départ identifié, les éléments identifiés, les symboles du modèle dessinés et les flèches du modèle dessinées pendant la séance 3

La figure 36 représente le nombre moyen de chaînes énergétiques avec : l'objet de départ identifié, les éléments de la chaîne identifiés, les symboles du modèle dessinés et les flèches du modèle dessinées pour les élèves du groupe biotique (barres noires) et ceux du groupe domestique (barres blanches) durant la séance 3.

Les résultats montrent que c'est au niveau du dessin des flèches que les élèves rencontrent le plus de difficultés pendant la tâche. En effet, sur les quinze chaînes attendues, les élèves des groupes « biotique » dessinent correctement les flèches du modèle dans 11 chaînes en moyenne et ceux du

groupe « domestiques » dans 12,3. Ces nombres correspondant exactement au nombre de chaînes complètes dessinées par les élèves (figure 35). Il semblerait que le dessin des flèches permette d'expliquer l'écart entre les deux groupes sur les chaînes complètes (figure 35). De plus, les élèves du groupe « domestique » ne rencontrent de difficulté qu'à propos du dessin des flèches. En effet, ils ont identifié l'objet de départ et les éléments de la chaîne ; ils ont dessiné les symboles et les flèches du modèle dans les quinze chaînes énergétiques demandées. En revanche, certains élèves du groupe « biotique » ont rencontré pour certaines chaînes quelques difficultés sur : l'identification de l'objet de départ (14,7 chaînes sur 15) et des éléments (14,7 chaînes sur 15), ainsi que sur les dessins des symboles (14,7 chaînes sur 15).

Durant la séance progressive, les élèves des deux groupes réalisent l'ensemble des chaînes énergétiques demandées et ne semblent rencontrer des difficultés qu'au niveau du dessin des flèches. Au niveau de ces flèches les élèves du groupe « biotique » réalisent moins de chaînes correctes que ceux du groupe « domestique ». La partie suivante présente les mêmes analyses conduites dans la séance de synthèse (n°7)

6.2.3.2 -Séance n°7 synthèse

Dans la séance de synthèse (n°7), les élèves devaient réaliser 9 chaînes énergétiques sur des systèmes à quatre éléments dont certains comportaient de l'électricité. Le nombre total de chaînes dessinées et le nombre de chaînes complètes réalisées ont été relevés sur ces neuf systèmes (figure 37)

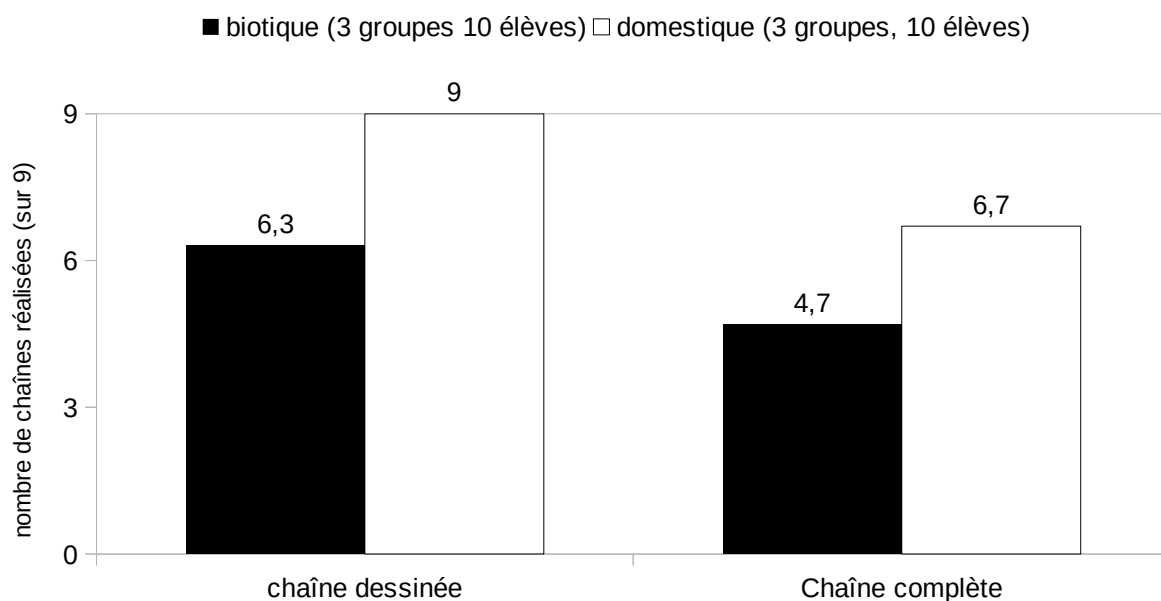


figure 37 : nombre de chaînes dessinées et complètes réalisées par les groupes « biotique » et « domestiques » durant à la séance 7

La figure 37 représente le nombre moyen de chaînes énergétiques dessinées et complètes réalisées par les élèves du groupe « biotique » (barres noires) et ceux du groupe « domestique » (barres blanches) pendant la séance 7. Les résultats montrent que les élèves du groupe « biotique » dessinent moins de chaînes énergétiques que ceux du groupe « domestique ». En effet, ils dessinent en moyenne 6,3 chaînes énergétiques sur les 9 demandées, quand les élèves du groupe « domestique » dessinent l'ensemble des chaînes attendues. Le nombre de chaînes énergétiques complètes ramené au nombre de chaînes énergétiques dessinées sont équivalents pour les deux groupes d'élèves (4,7 pour 6,3 équivaut à environ 74% pour les élèves du groupe biotique et 6,7 pour 9 équivaut à environ 74% pour les élèves du groupe domestique).

La figure 38 présente le nombre de chaînes réalisées en fonctions des critères définis à partir des opérations nécessaires à la réalisation d'une chaîne énergétique.

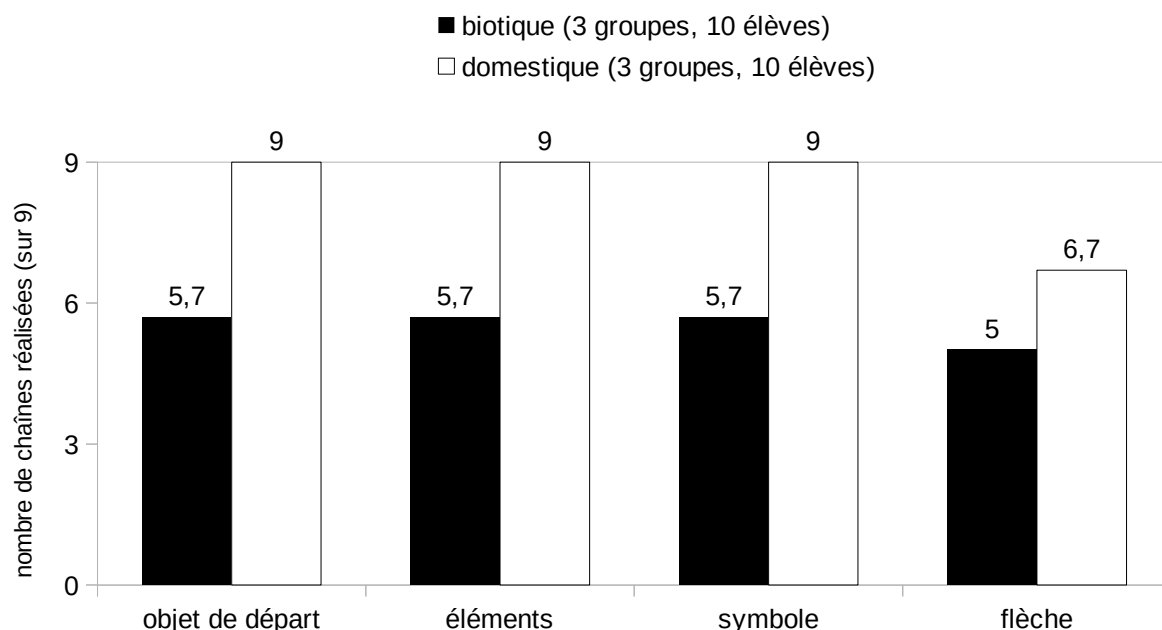


figure 38 : Nombre de chaînes réalisées par les élèves des deux groupes (« biotique » et « domestique ») avec : l'objet de départ identifié, les éléments identifiés, les symboles du modèle dessinés et les flèches du modèle dessinées durant la séance 7

La figure 38 représente le nombre moyen de chaînes énergétiques avec l'objet de départ identifié, les éléments de la chaîne identifiés, les symboles du modèle dessinés et les flèches du modèle dessinées pour les élèves du groupe « biotique » (barres noires) et ceux du groupe « domestique » (barres blanches) pendant la séance 7. Les résultats montrent que les élèves du groupe « domestique » ne rencontrent des difficultés qu'au niveau du dessin des flèches (6,7 chaînes sur 9 en moyenne). Les élèves du groupe « biotique » ont quant à eux, en plus d'avoir rencontré des difficultés concernant le dessin des flèches (5 sur 6,7 chaîne en moyenne), dessiné certaines chaînes énergétiques ne comportant pas le bon objet de départ, ni les bons éléments, ni les bons symboles (5,7 sur 6,7 chaîne en moyenne).

En conclusion pendant la séance 7, les élèves du groupe « biotique » ont réalisés un moins grand nombre de chaînes énergétiques que les élèves du groupe « domestique ». Les chaînes qu'ils ont dessinées reflètent plus de difficultés, au niveau des objets de départ, des éléments de la chaîne et des symboles.

Pour conclure sur les analyses des traces écrites des deux séances, les résultats montrent que dans l'ensemble les élèves réussissent à réaliser des chaînes énergétiques complètes sur la majorité des images. La principale difficulté qu'ils rencontrent pendant la réalisation de la tâche est le dessin des flèches dans la même direction que le modèle. Cette difficulté est rencontrée pour les élèves des

deux groupes (« biotique » et « domestique »). Certains élèves du groupe biotique ont également rencontré des difficultés pour : l'identification de l'objet de départ, celle des éléments de la chaîne et le dessin des symboles. De plus dans la séance 7 les élèves du groupe « biotique » réalisent un nombre moins important de chaînes énergétiques. Nos résultats ne permettent pas de confirmer les hypothèses suivantes :

-Hypothèse 7 : Les élèves réussissent à réaliser l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète » pour un plus grand nombre de système pendant l'enseignement, lorsque certaines tâches comportent des « systèmes biotiques ».

-Hypothèse 8 : Les élèves réussissent à réaliser les deux opérations d'orientation (identifier : l'usage de l'objet de départ et les éléments du système) pour un plus grand nombre de système pendant l'enseignement, lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques »

-Hypothèse 8' : Les élèves réussissent à réaliser les deux opérations d'exécution (dessiner : les symboles et les flèches du modèle) pour le même nombre de systèmes pendant l'enseignement lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ».

Durant la séance d'enseignement les élèves du groupe biotique rencontrent plus de difficultés pour réaliser l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète », ainsi que chacune des opérations nécessaires à cette réalisation. Il semble que la condition de la tâche « usage de système biotique » soit un frein les premières fois que les élèves réalisent cette action dans les tâches des séances 3 et 7. Il semble également que cette condition soit un frein à l'assimilation de l'action lors de ces premières réalisations, puisque les élèves réalisent moins de chaînes énergétiques, ce qui semble montrer que leurs actions sont moins efficaces.

La partie II concernant les actions et les opérations des élèves pendant les séances d'enseignement a permis de mettre en avant deux résultats principaux. Les analyses des traces écrites indiquent que la condition de la tâche « usage de système biotique » freine l'assimilation de l'action pendant la séance au niveau des actions, des opérations d'orientation et des opérations d'exécution. Ensuite, les analyses des vidéos montrent que la condition de la tâche « usage de système biotique » favorise le développement d'opérations de contrôle et d'une base d'orientation plus axées sur les interactions entre les éléments du système.

Les analyses des actions et des opérations des élèves montrent donc des différences entre les deux groupes d'élèves pendant les tâches de la séquence. Les analyses des questionnaires avaient quant à elles, montré une progression plus importante des élèves du groupe « biotique ».

La troisième et dernière partie présentée dans les résultats s'intéresse au lien entre les résultats des analyses des questionnaires (avant et après l'enseignement) et ceux des vidéos et des traces écrites (pendant la séquence d'enseignement).

6.3 -Analyse croisée du questionnaire, des vidéos et des traces écrites des séances : liens entre les actions des élèves et progressions

L'objectif des analyses présentées dans cette partie est d'observer si les résultats concernant les deux groupes (« biotique » et « domestique ») pendant la séquence d'enseignement ont un effet sur les progressions de ces élèves entre le pré-test et le post-test. Cette partie propose de répondre à la question : Quelles sont les actions et les opérations réalisées durant les tâches de séances sur l'énergie susceptibles d'influencer la progression des élèves après l'enseignement pour reconstituer des systèmes énergétiques complets ?

Pour y répondre, nous avons analysé les questionnaires à nouveau, mais cette fois-ci, en comparant des groupes d'élèves constitués sur la base des résultats de l'analyse des vidéos et des traces écrites. Les résultats montrent que les différentes actions et opérations des groupes « biotique » et « domestique » pendant les tâches de la séquence ont un effet sur le nombre de systèmes sur lesquels les élèves progressent à l'issue de l'enseignement.

Ces résultats sont issus du croisement des analyses vidéographiques et des traces écrites avec celles des questionnaires. En effet les analyses des questionnaires montrent que dans l'ensemble les élèves du groupe « biotique » progressent sur plus de systèmes à l'issue de l'enseignement que les élèves du groupe « domestique ». Ils progressent notamment sur plus de systèmes quand on prend en compte la réalisation de chaînes énergétiques complètes. Les analyses vidéographiques et des traces écrites de la classe de CM1A, ont montré quant à elles que pendant les tâches de la séquence les élèves du groupe « domestique » rencontrent moins de difficultés quant à la réalisation des chaînes énergétiques complètes. Elles ont également montré que les élèves du groupe biotique évoquent plus les interactions entre les éléments du système. C'est lors de la séance 7 que ces résultats sont les plus marqués. Les analyses présentées dans cette partie correspondent donc dans un premier temps à la constitution de différents groupes d'élèves à partir de leurs actions et opérations pendant les tâches de la séance 7. Les groupes d'élèves ainsi obtenus sont ceux qui ont évoqué les interactions entre les éléments du système et ceux qui ne l'ont pas fait d'une part, et ceux qui ont dessiné au moins une chaîne complète pendant la séance et ceux qui ne l'ont pas fait d'autre part. La seconde partie des analyses a consisté en la comparaison du nombre de systèmes sur lesquels les

élèves ont progressé entre le pré-test et le post-test pour chaque action. Les résultats sont présentés d'abord au niveau des opérations de contrôle sur l'évocation des interactions entre les éléments du système puis pour l'action au niveau du dessin des chaînes complètes.

6.3.1 -Parler des interactions des éléments du système durant l'enseignement favorise la progression des élèves pour réaliser des chaînes énergétiques complètes dans le questionnaire

L'objectif de ces analyses est de tester l'hypothèse 9 : Les élèves progressent à l'issue de l'enseignement pour un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau de l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète », lorsqu'ils ont réalisé plus d'opérations de contrôle à travers un discours centré sur les interactions entre les éléments du système pendant l'enseignement.

Les résultats montrent que le fait d'évoquer les interactions entre les éléments du système pendant la séance 7 de la séquence d'enseignement permet aux élèves de progresser sur un nombre plus important de systèmes entre le pré-test et le post-test.

Ces résultats proviennent de la combinaison des analyses vidéographiques avec les réponses des élèves dans la partie n° 3 des questionnaires.

Durant la séance 7, les actions de communications pendant le travail en groupe ont été analysées. À partir de ces analyses deux groupes d'élèves ont été constitués. Un groupe composé des 8 élèves ayant évoqué les interactions entre les éléments du système pendant la séance et un groupe de 10 élèves ne les ayant pas évoquées. Pour chacune de ces catégories les pourcentages moyens de systèmes pour lesquels les élèves ont progressé au niveau des chaînes complètes ont été calculés. Les groupes d'élèves ainsi constitués comprennent à la fois des élèves du groupe « biotique » et des élèves du groupe « domestique ». Durant les séances d'enseignement les élèves du groupe biotique sont les seuls à avoir travaillé sur les systèmes humain et loup. Afin de pouvoir comparer les deux groupes (« avec interaction » et « sans interaction ») les systèmes humain et loup qui étaient également présents dans le questionnaire n'ont pas été pris en compte dans les analyses de ce dernier. Seuls les neuf systèmes de la partie 3 du questionnaire sur lesquels l'ensemble des élèves a réalisé des chaînes énergétiques durant la séquence d'enseignement ont été pris en compte. Les nombres moyens de systèmes sur lesquels les élèves des deux groupes ont progressé ont été comparés à l'aide d'un test de comparaison de moyenne basé sur la table de student.

La figure 39 présente en pourcentage sur les neuf systèmes analysés, le nombre de système sur lesquels les élèves des deux groupes ont progressé.

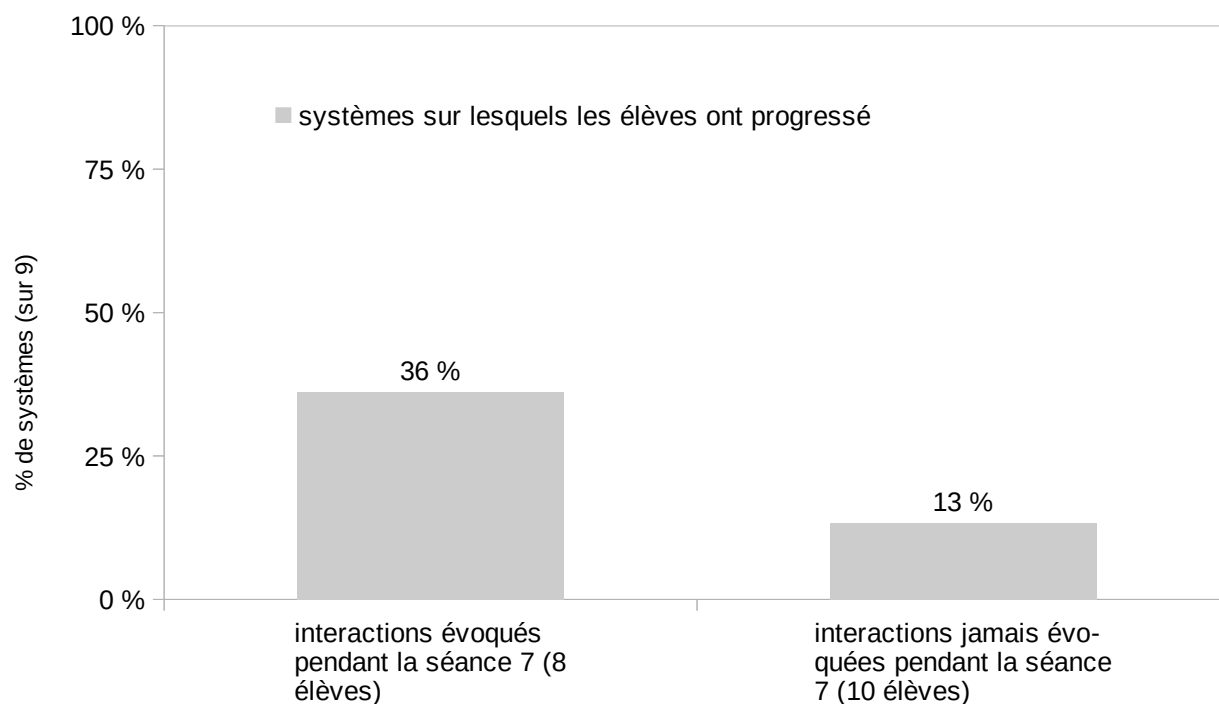


figure 39: Pourcentages de systèmes sur lesquels les élèves progressent entre le pré-test et le post-test en fonction de l'évocation des interactions entre les éléments du système durant la séance n°7

La figure 39 représente les pourcentages moyens de systèmes sur lesquels les élèves progressent entre le pré-test et le post-test pour réaliser des chaînes énergétiques complètes en fonction de l'évocation des interactions entre les éléments du système durant la séance n°7. Les résultats montrent que les élèves ayant évoqué les interactions entre les éléments du système ont progressé sur plus de systèmes (36 %) que ceux qui n'avaient jamais évoqué les interactions entre les éléments du système (13 %). La différence de progression est de 23 %, ce qui est important. Cependant, les analyses montrent que l'écart présenté n'est pas statistiquement significatif.

Les résultats montrent donc que les élèves ayant évoqué les interactions entre les éléments des systèmes pendant la séquence d'enseignement progressent plus pour réaliser des chaînes énergétiques complètes que ceux ne les ayant pas évoquées. Cependant, ce résultat n'est pas statistiquement significatif. Nous considérons que l'évocation par les élèves des interactions entre les éléments du système peut-être interprétée par un développement d'une base d'orientation de l'action présentant un degré de généralisation plus important.

6.3.2 -La réalisation d'une chaîne complète pendant la séance n°7 favorise la progression des élèves dans les questionnaires

Les analyses présentées dans cette partie ont pour but de tester l'hypothèse 10 : Les élèves progressent à l'issue de l'enseignement pour un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau de l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète », lorsqu'ils ont réussi à réaliser cette même action pendant les tâches des séances de la séquence sur l'énergie.

Les résultats montrent que le fait d'avoir réalisé au moins une chaîne énergétique complète pendant la séquence d'enseignement permet aux élèves de progresser pour réaliser des chaînes complètes sur un nombre plus important de systèmes dans les questionnaires.

Ces résultats proviennent de l'analyse des traces écrites et des vidéos durant l'enseignement couplée aux progressions des élèves dans la partie 3 du questionnaire.

Durant la séance 7, les traces écrites produites pendant le travail en groupe ont été collectées. Pendant cette séance, les élèves devaient réaliser des chaînes énergétiques sur neuf images sur lesquelles étaient représentés les quatre éléments de différents systèmes. L'analyse de ces traces écrites a permis de relever les chaînes énergétiques complètes (objet de départ et éléments du système identifiés correctement ; symboles et flèches dessinés comme attendu) réalisées par les élèves de chaque groupe. Les vidéos ont permis ensuite d'associer chaque chaîne énergétique à l'élève qui l'avait dessinée. Les élèves ont ensuite été regroupés en deux catégories : ceux qui avaient dessiné au moins une chaîne énergétique complète et ceux qui n'avaient dessiné aucune chaîne énergétique ou uniquement des chaînes énergétiques incomplètes (dont une partie n'était pas celle attendue). La catégorie des élèves ayant dessiné au moins une chaîne complète est composée de cinq élèves du groupe biotique et de deux élèves du groupe domestique. La catégorie d'élèves n'ayant jamais dessiné de chaîne complète est composée de trois élèves du groupe biotique et de sept élèves du groupe objet domestique.

Pour chacune de ces catégories, le pourcentage moyen de systèmes du questionnaire sur lesquels les élèves ont progressé pour réaliser des chaînes complètes a été calculé. Comme dans le cas de l'évocation des interactions entre les éléments du système, seules les neuf chaînes énergétiques sur lesquelles l'ensemble des élèves ont travaillé pendant la séquence ont été prises en compte. Les nombres moyens de chaînes complètes réalisées par chaque groupe ont également été comparés statistiquement.

Les pourcentages moyens de systèmes sur lesquels les élèves de chaque groupe ont progressé pour réaliser des chaînes complètes en fonction du fait d'avoir réalisé (ou pas) au moins une chaîne complète durant la séance n°7 ont été calculés (figure 40).

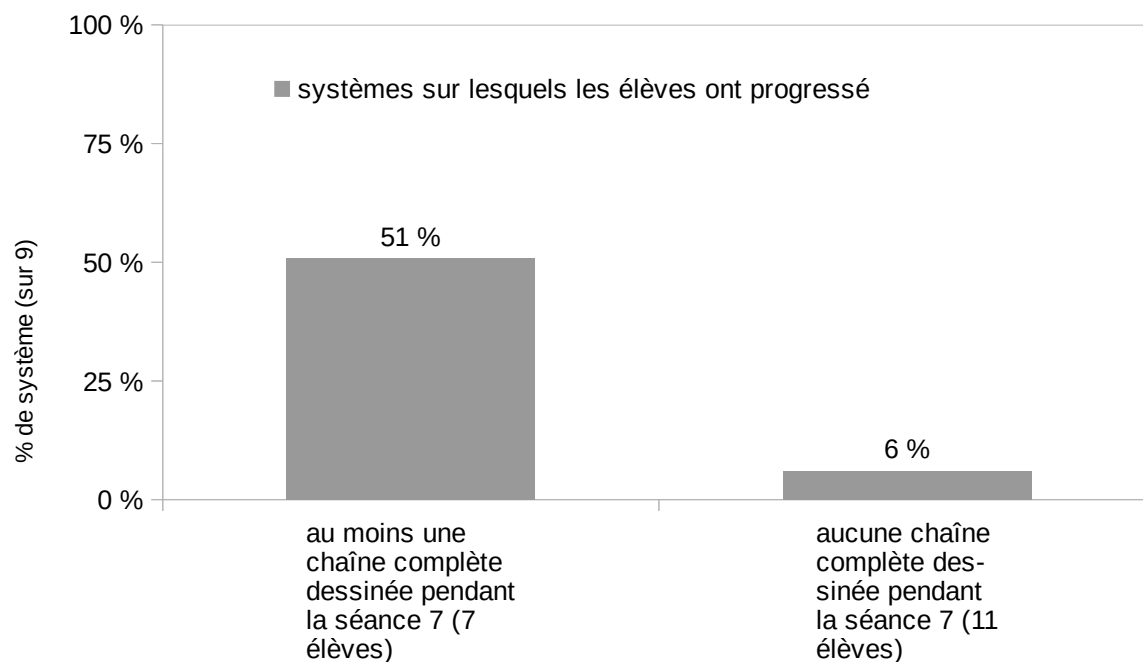


figure 40 : Pourcentages de systèmes du questionnaire sur lequel les élèves progressent entre le pré-test et le post-test pour réaliser des chaînes complètes en fonction de la réalisation de chaînes complètes pendant la séance n°7

La figure 40 représente les pourcentages moyens de systèmes du questionnaire sur lesquels les élèves ont progressé entre le pré-test et le post-test pour dessiner des chaînes énergétiques complètes en fonction de celles dessinées pendant la séance n°7

Les résultats montrent que les élèves ayant dessiné au moins une chaîne énergétique complète durant l'enseignement ont progressé sur plus de systèmes que ceux qui n'en avaient dessiné aucune. Ils progressent en effet sur 45 % de chaînes de plus que les élèves qui n'en ont dessiné aucune.

Les analyses montrent que l'écart présenté est statistiquement significatif. En effet une comparaison de moyennes réalisée à l'aide d'un test de student donne un z-t de 3,26, ce qui est significatif à 0,05 avec un z-seuil de 2,12.

Les résultats montrent donc que les élèves ayant dessiné au moins une chaîne énergétique complète pendant la séquence d'enseignement progressent plus que ceux n'en ayant dessiné aucune.

Ce résultat peut paraître contradictoire avec les résultats sur les progressions des élèves aux questionnaires et ceux concernant leurs traces écrites durant la séance. En effet, les analyses précédentes montrent que les élèves du groupe biotique ont progressé sur plus de chaînes énergétiques dans les questionnaires, alors qu'ils ont dessiné moins de chaînes complètes durant la séquence. Cet effet peut provenir de la façon dont les élèves se sont réparti le travail au sein des

groupes. En effet, les analyses vidéographiques montrent que la division du travail a été différente au sein de chacun des groupes. Et notamment que les élèves du groupe « biotique » ont tous (10 élèves sur 10) dessiné une ou plusieurs chaînes. Au contraire, dans le groupe « domestique », seulement quatre élèves sur huit ont dessiné la totalité des chaînes énergétiques.

L'ensemble des résultats de cette partie tend donc à montrer un effet positif de la condition de la tâche usage de systèmes biotiques. En effet, le groupe biotique progresse plus dans les questionnaires à l'issue de la séquence, et ce malgré le fait qu'il rencontre plus de difficultés dans la réalisation de la tâche pendant la séquence. Il semble que ces difficultés rencontrées pendant la séquence soient compensées par une meilleure répartition du travail entre les élèves du groupe « biotique ». De plus, la réalisation de chaînes énergétiques sur des systèmes biotiques dans les tâches de la séquence entraîne un plus grand nombre d'évocations des interactions entre les éléments du système. Ces évocations qui peuvent être associées à une approche systémique, semblent également avoir un effet positif sur les progressions des élèves.

7 - Conclusion, discussion, perspectives et implications

7.1 -Conclusion

Cette thèse interroge les facteurs qui peuvent influencer l'efficacité d'un enseignement à l'école primaire ancré dans une perspective d'éducation à l'énergie. Les recherches sur l'enseignement et l'apprentissage de l'énergie ont mis en avant un nombre important de conceptions chez les élèves et convergent vers certaines recommandations concernant l'enseignement. Un aspect important des conceptions des élèves est qu'ils associent l'énergie uniquement à certains systèmes ou processus (Colonese, Heron, Michelini, Santi, & Stefanel, 2012). De plus, ils semblent posséder peu de connaissances sur les enjeux de société (Bodzin, 2012). Concernant l'enseignement de l'énergie les recherches en éducation ont proposé une importante variété d'enseignements (Besson & Ambrosis, 2014 ; Kurnaz & Calik, 2009), mais très peu ont été testés en termes d'efficacité (Millar, 2014). Beaucoup de ces propositions convergent vers certains aspects jugés nécessaires pour enseigner le concept d'énergie. Ces aspects concernent l'adoption d'une approche : globale (Morge & Buty, 2014), interdisciplinaire (Bruguière et al., 2002) mettant en avant les liens entre sciences et société (Doménech et al., 2007) et s'appuyant sur le modèle de la chaîne énergétique (Bruguière, Sivade, & Cros, 2002 ; Devi, Tiberghien, Baker, & Brna, 1996 ; Koliopoulos & Argyropoulou, 2012 ; Koliopoulos & Ravanis, 2000 ; Morge & Buty, 2014 ; Papadouris & Constantinou, 2012 ; Sissemeri & Koliopoulos, 2014 ; Tiberghien & Megalakaki, 1995 ; Vince & Tiberghien, 2012). Afin d'aider les élèves à faire évoluer leurs conceptions et en tenant en compte des différentes recommandations, nous avons développé un modèle de chaîne énergétique basé sur une approche systémique de l'énergie (De Rosnay, 1975 ; Lemoigne, 1994). L'objectif principal de ce modèle est de pouvoir reconstituer des systèmes énergétiques complets (Boyer & Givry, 2017⁷). À partir des travaux sur les conceptions des élèves, nous avons considéré qu'un des facteurs d'efficacité le plus déterminant vis-à-vis de notre modèle était le type de système utilisé dans l'enseignement, notamment l'utilisation de systèmes biotique et domestique. Ce facteur relève d'un effet lié à la tâche et son efficacité a été testée sur les progressions des élèves quant au nombre de systèmes énergétiques qu'ils étaient capables de reconstituer. Inscrits dans le champ de la didactique des sciences et s'appuyant sur une approche socio-constructiviste de l'apprentissage, nous en avons

analysé l'efficacité à l'aide de la théorie de l'activité (Leontiev, 1981). Pour cela nous avons choisi de nous appuyer sur un modèle de l'activité basé sur les résultats et les processus de production de ces résultats (Leplat, 2003). Ce modèle s'appuie d'une part sur la décomposition de l'activité en : activité, actions, et opérations (Leontiev, 1978) et d'autre part sur la considération de l'utilisation de système biotique ou domestique comme condition spécifique de la tâche (Leplat et Hoc, 1983). Il s'agit d'étudier l'effet d'une condition spécifique (l'usage de système biotique) de la tâche sur le développement d'une action performante réalisée par les élèves pour reconstituer un système énergétique complet (Savoyant, 2006). L'objectif de cette thèse est d'observer l'effet de la condition « usage de systèmes biotiques » de certaines tâches d'enseignement sur la formation de l'action des élèves « reconstituer des systèmes énergétiques complets ». Ce développement de l'action a été observé à travers cinq opérations : l'identification de l'usage de l'objet de départ et des éléments du système, le dessin des flèches et des symboles, ainsi que les évocations des différentes parties du système.

L'objectif de cette thèse est donc de chercher à observer si la condition « usage de système biotique » de certaines tâches augmente l'efficacité de l'enseignement vis-à-vis de la formation de l'action des élèves « reconstituer des systèmes énergétiques complets ». Pour répondre à cet objectif un certain nombre d'hypothèses ont été formulées concernant les progressions des élèves, les mécanismes mis en œuvre pendant l'enseignement et le lien entre les deux.

Pour répondre à ces hypothèses, une méthodologie articulant ingénierie didactique et méthode expérimentale a été mise en place. Cette méthode a consisté à séparer les élèves d'une même classe en deux groupes : le groupe biotique (dont les tâches comportent des systèmes biotiques et domestiques) et le groupe domestique (dont les tâches comportent uniquement des systèmes domestiques). Ces tâches ont ensuite été insérées dans une séquence d'enseignement élaborée par des chercheurs, mais tentant de respecter la plus grande validité écologique possible. Soixante-douze élèves issus de 3 classes de 2 écoles différentes ont participé à cette étude. Pour mesurer l'effet de la variable « usage de systèmes biotiques » des questionnaires ont été administrés aux élèves avant et après l'enseignement. De plus, l'enseignant et tous les élèves ont été vidéoscopés en classe durant les douze séances de la séquence et les traces écrites de ces derniers ont été récupérées. Les analyses des questionnaires et des traces écrites ont été conduites à travers l'observation des chaînes complètes réalisées par les élèves, ainsi que la façon dont ils ont : (a) identifié l'objet de départ et les éléments du système et (b) dessiné les flèches et les symboles du modèle. Les analyses vidéos ont été analysées à partir des éléments du système et des interactions entre ces éléments évoqués par les élèves pendant l'enseignement.

La première hypothèse testée dans cette étude est que les élèves progressent à l'issue de l'enseignement pour un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau de l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète » lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ». Cette hypothèse a été testée également quand on ne prend en compte que les systèmes biotiques ou uniquement les systèmes domestiques. Nos résultats permettent de confirmer ces hypothèses. En effet à l'issue de l'enseignement, les élèves du groupe biotique progressent au niveau de la réalisation de chaîne complète pour un plus grand nombre de systèmes que les élèves du groupe domestique.

Ce résultat se retrouve lorsqu'on prend en compte : (1) l'ensemble des systèmes du questionnaire, (2) seulement les systèmes biotiques et (3) uniquement les systèmes domestiques. Ces écarts ne sont significatifs que sur l'ensemble des systèmes et au niveau des systèmes biotiques. Lorsque l'on regarde ces écarts au niveau de chaque classe (CM1A, B et C) on retrouve des tendances similaires au niveau de l'ensemble des systèmes et des systèmes domestiques. Cependant, les tendances sont très variables d'une classe à l'autre au niveau des systèmes biotiques, mais restent en faveur du groupe « biotique ». Parmi ces écarts, seul celui dans la classe de CM1A sur les systèmes biotiques est statistiquement significatif.

Nous avons ensuite pour essayer de comprendre ce résultat, testé l'hypothèse - Les élèves progressent plus à l'issue de l'enseignement sur certains systèmes (aux caractéristiques particulières) présentés dans le questionnaire au niveau de l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète » lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ». Les résultats montrent que les élèves du groupe biotique réussissent mieux à reconstituer l'ensemble des systèmes. Ils montrent également que pour cinq de ces systèmes cette tendance est la même dans les trois classes, mais que pour cinq autres la tendance varie en fonction de chacune des classes considérées. Il n'apparaît pas de caractéristiques communes aux cinq systèmes pour lesquels les résultats sont reproductibles. Nous avons considéré que ces résultats permettaient de rejeter notre hypothèse concernant le type de système. L'ensemble de ces résultats montrent que l'utilisation de système biotique dans les tâches de l'enseignement augmente l'efficacité de ce dernier et permet aux élèves de réaliser l'action « reconstituer un système énergétique complet à l'aide d'un modèle de chaîne » pour un plus grand nombre de systèmes.

La troisième hypothèse testée dans cette étude concerne les opérations d'orientation et d'exécution de l'action et se décline en deux sous-hypothèses -les élèves progressent à l'issue de l'enseignement pour un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau des opérations d'orientation (identifier : l'usage de l'objet de départ et les éléments du système)

quand certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques »- et - Les élèves progressent à l'issue de l'enseignement sur le même nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau des deux opérations d'exécution (dessiner : les symboles et les flèches du modèle) lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ». Les résultats montrent que les élèves du groupe « biotique » progressent sur plus de systèmes au niveau de l'identification des éléments du système, du dessin des flèches et de celui des symboles. De plus, aucune de ces opérations ne semblent présenter un écart plus important que l'autre. Les analyses montrent que ces différences ne sont pas statistiquement significatives, lorsque l'on prend en compte l'ensemble des systèmes du questionnaire ou uniquement les systèmes domestiques. Les écarts sont en revanche significatifs quand on prend en compte les systèmes biotiques uniquement. De plus, les mêmes tendances apparaissent dans les trois classes au niveau de ces opérations, mais aucun écart n'est statistiquement significatif. Les résultats montrent également que les élèves du groupe « biotique » progressent sur moins de systèmes en ce qui concerne l'identification de l'usage des objets de départ. À propos de cette opération, aucun écart n'est statistiquement significatif et les tendances sont variables dans les trois classes. À partir de ces résultats nous avons réfuté la troisième hypothèse. Il semble en effet que l'usage de systèmes biotiques dans les tâches de l'enseignement ait un effet sur les opérations d'exécution : dessin des symboles et des flèches. Concernant les opérations d'orientation, cette condition a un effet positif sur l'identification des éléments du système et pas d'effet clair sur l'identification de l'usage de l'objet de départ.

Les tests de ces hypothèses montrent que l'utilisation de systèmes biotiques dans l'enseignement augmente l'efficacité de ce dernier au niveau des apprentissages sur la chaîne énergétique. Le développement de l'action « reconstituer un système énergétique complet » à l'aide d'un modèle de chaîne énergétique est favorisé par l'usage des systèmes biotiques dans les tâches d'enseignement. Ces derniers semblent permettre aux élèves de développer une base d'orientation (Savoyant, 2006) avec un degré de généralisation plus important. Ces effets se manifestent principalement au niveau des deux opérations d'exécution « dessin des symboles et des flèches » et de l'opération d'orientation « identification des éléments du modèle ». L'opération identification de l'objet de départ ne semble pas être influencée.

La quatrième hypothèse nous a permis de tester si les élèves progressent à l'issue de l'enseignement sur un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau de l'identification des sources d'énergies et des ressources naturelles, lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ». Les résultats montrent que les élèves du groupe biotique progressent sur plus d'éléments lorsqu'il s'agit de donner la source d'un objet de

départ ou la ressource d'un transformateur. En revanche ils semblent avoir beaucoup de difficultés à donner la ressource naturelle utilisée directement à partir de l'objet de départ. On retrouve ce résultat lorsque l'on prend en compte : l'ensemble des systèmes du questionnaire, uniquement les systèmes domestiques et seulement les systèmes biotiques. De plus, l'ensemble de ces différences est statistiquement significatif. Lorsque l'on observe l'identification de ces sources et ressources dans les trois classes prises séparément, les tendances sont les mêmes dans deux classes sur trois. En effet, dans les trois classes les élèves du groupe biotique progressent sur plus d'éléments, cependant l'écart est très faible dans une classe. Dans les deux classes où les tendances sont similaires, les écarts sont statistiquement significatifs lorsque l'on prend en compte l'ensemble des systèmes du questionnaire. Lorsqu'on ne prend en compte que les systèmes domestiques, les élèves du groupe biotique progressent plus dans les trois classes. Cependant les écarts ne sont pas statistiquement significatifs. Lorsqu'on ne prend en compte que les systèmes biotiques, les élèves du groupe biotique progressent plus dans deux classes, mais moins dans la troisième. Seul l'écart dans une classe est statistiquement significatif. Ces résultats nous ont conduit à conserver l'hypothèse : les élèves progressent à l'issue de l'enseignement sur un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau de l'identification des sources d'énergies et des ressources naturelles, lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ».

Dans cette même partie du questionnaire, il était demandé aux élèves d'identifier l'usage des objets représentés. La cinquième hypothèse a testé si les élèves progressent, à l'issue de l'enseignement, sur un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau de l'identification des usages des objets de départ lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ». Les résultats montrent un écart très faible entre les progressions des élèves du groupe biotique et ceux du groupe domestique sur l'ensemble des systèmes du questionnaire. Cet écart n'est pas statistiquement significatif quels que soient les systèmes considérés (biotiques, domestiques ou les 2). De plus, les tendances sont variables dans les trois classes et aucune n'est statistiquement significative. Les résultats montrent également que dès le pré-test, les élèves des deux groupes étaient capables d'identifier ces usages pour un grand nombre d'éléments. Nous avons considéré qu'à partir de ces résultats, nous pouvions réfuter la quatrième hypothèse de cette étude. Il semble que l'utilisation de systèmes biotiques dans les tâches de l'enseignement n'ait pas d'effet sur l'identification des usages des éléments issus des différents systèmes.

Les tests de ces hypothèses montrent que l'utilisation de systèmes biotiques dans les tâches de l'enseignement augmente son efficacité sur les apprentissages concernant les sources d'énergie et

les ressources naturelles, mais pas ceux sur les usages des éléments issus des différents systèmes. La présence de systèmes biotiques dans l'enseignement semble favoriser le développement de l'action « reconstituer un système énergétique » sans utiliser de modèle de chaîne énergétique. Mais il apparaît que la reconstitution de ces systèmes n'est pas complète puisque les élèves ne réussissent pas à donner la ressource naturelle directement à partir de l'objet de départ.

L'ensemble des résultats aux questionnaires semble donc montrer que l'utilisation de système biotique dans certaines tâches de la séquence augmente l'efficacité de l'enseignement. Cette efficacité est augmentée au niveau de l'identification des sources et des ressources (chaîne énergétique et identification directe des sources et ressources), mais pas de l'identification de l'usage des éléments (objet de départ des chaînes énergétiques et identification directe). En revanche sur l'identification des usages, les résultats sont différents. Dans le cas de l'identification directe, les élèves progressent peu mais présentent de bons résultats au pré-test. Dans le cas des chaînes énergétiques, ils progressent mais il n'apparaît pas de différence entre les deux groupes. La condition de la tâche « usage de systèmes biotiques » favorise le développement de l'action « reconstituer un système énergétique ». Elle semble avoir permis aux élèves de développer une base d'orientation de l'action (Savoyant, 2006) avec un degré de généralisation plus important avec et sans l'utilisation de l'instrument chaîne énergétique. L'action paraît avoir été mieux assimilée au niveau des sources et des ressources. Concernant l'identification de l'usage de l'objet de départ, la condition de la tâche ne présente pas d'effet. Cependant les élèves sont capables d'identifier directement les usages. C'est donc bien l'orientation de leur action qui est modifiée, autrement dit le choix du système à reconstituer et non l'opération d'identification de l'usage en elle-même. De plus, les tâches de l'enseignement ne permettaient pas aux élèves de travailler directement cet aspect (un seul système était présent sur chaque image des supports de la tâche). Les hypothèses suivantes ont été testées à partir de l'analyse des vidéos et des traces écrites dans une seule des trois classes (CM1A). Elles visent à mettre en avant les processus d'assimilation et d'élaboration de l'action pendant l'enseignement.

La première de ces hypothèses est que les élèves réalisent plus d'opération de contrôle à travers un discours centré sur les interactions entre les éléments du système pendant l'enseignement lorsque certaines tâches comportent des systèmes biotiques. Les analyses des vidéos montrent que les élèves du groupe « biotique » évoquent plus les interactions entre les éléments du système durant les tâches de la séance. Ce résultat se retrouve au niveau de la séance 3 dans laquelle les élèves devaient réaliser des chaînes énergétiques progressivement et également dans la séance 7, qui était une séance de synthèse sur le modèle. C'est lors de cette séance que le résultat est le plus marqué.

Ce résultat nous a conduits à conserver l'hypothèse concernant les opérations de contrôle. Il semble que l'utilisation de système biotique dans l'enseignement ait amené les élèves à contrôler et réguler leurs actions à partir des interactions entre les éléments du système. Ce résultat peut également indiquer que la base d'orientation de l'action développée par les différents groupes d'élèves n'est pas la même. Bien qu'il soit difficile de reconstruire intégralement la base d'orientation d'un sujet, celles des élèves du groupe biotique semblent reposer plus fortement sur les interactions entre les éléments du système.

Les hypothèses suivantes portent sur les actions et les opérations des élèves pendant l'enseignement, reconstruites à partir de l'analyse des traces écrites. Nous avons testé si les élèves réussissent à réaliser l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète » pour un plus grand nombre de systèmes pendant l'enseignement lorsque certaines tâches comportent des « systèmes biotiques ». Les résultats montrent que durant la séance 3, les élèves du groupe biotique réalisent moins de chaînes énergétiques complètes que ceux du groupe domestique. Ils montrent également que dans la séance 7, les élèves du groupe domestique réalisent moins de chaînes énergétiques que ceux du groupe domestique, mais que proportionnellement au nombre de chaînes réalisées le nombre de chaînes complètes est le même dans les deux groupes. À partir de ces résultats nous avons fait le choix de réfuter notre hypothèse. La présence de systèmes biotiques dans les tâches d'enseignement semble être une source de difficulté pour les élèves. Les élèves du groupe biotique réalisent moins d'actions performantes. Leurs actions semblent moins efficaces pendant les tâches de la séance.

Au niveau des opérations liées à ces actions, nous avons testé comme dans le cas des questionnaires, deux sous-hypothèses. Nous avons testé si les élèves réussissent à réaliser les deux opérations d'orientation (identifier : l'usage de l'objet de départ et les éléments du système) pour un plus grand nombre de systèmes pendant l'enseignement lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ». Et nous avons également testé si les élèves réussissent à réaliser les deux opérations d'exécution (dessiner : les symboles et les flèches du modèle) pour le même nombre de systèmes pendant l'enseignement lorsque certaines tâches de l'enseignement comportent des « systèmes biotiques ». Les résultats montrent que durant la séance 3 les élèves du groupe domestique ne rencontrent des difficultés qu'au niveau du dessin des flèches, alors que ceux du groupe biotique rencontrent également quelques difficultés au niveau de l'identification de l'usage de l'objet de départ et des éléments, ainsi que sur le dessin des symboles. Dans la séance 7, les analyses montrent les mêmes résultats. À partir de ces résultats, nous avons rejeté notre hypothèse. L'utilisation de systèmes biotiques provoque des difficultés chez les élèves au niveau de

toutes les opérations, d'exécution et d'orientation. C'est au niveau des flèches du modèle que cette difficulté est la plus marquée pour tous les élèves.

L'ensemble de ces résultats montre que pendant l'enseignement la condition de la tâche « usage de système biotique » ne favorise pas l'assimilation et l'élaboration de l'action. En effet, les opérations d'exécution et d'orientation de l'action des élèves du groupe biotique produisent un moins grand nombre d'actions performantes que dans le groupe domestique. En revanche, la présence de ces systèmes favorise le développement d'une base d'orientation de l'action plus centrée sur les interactions entre les éléments du système, ce que nous avons associé à une approche plus systémique.

Les dernières hypothèses testées dans cette étude visent à tester quels sont les liens entre les différences qui apparaissent pendant la séquence et les progressions des élèves.

Le premier de ces liens nous a conduit à tester l'hypothèse: les élèves progressent à l'issue de l'enseignement pour un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau de l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète » lorsqu'ils ont réalisé plus d'opérations de contrôle à travers un discours centré sur les interactions entre les éléments du système pendant l'enseignement. Les résultats montrent que les élèves qui ont évoqué les interactions entre les éléments du système pendant la séance 7, progressent sur un plus grand nombre de systèmes à l'issue de l'enseignement. Cependant l'écart entre les élèves ayant évoqué les interactions et ceux ne l'ayant pas fait n'est pas statistiquement significatif. Ce résultat nous a conduit à conserver l'hypothèse concernant les opérations de contrôle. Il semble que les interactions entre les éléments du système constituent une part de la base d'orientation des élèves qui lui donne un degré de généralisation plus important.

La seconde hypothèse testée interroge si les élèves progressent à l'issue de l'enseignement, pour un plus grand nombre de systèmes présentés dans le questionnaire au niveau de l'action « reconstituer une chaîne énergétique complète » lorsqu'ils ont réussi à réaliser cette même action pendant les tâches de l'enseignement. Les résultats montrent que les élèves qui ont réalisé des chaînes complètes pendant l'enseignement, progressent sur un plus grand nombre de systèmes à l'issue de l'enseignement. Les analyses montrent que ce résultat est statistiquement significatif. Ces résultats nous ont conduit à confirmer notre hypothèse. Il semble que réaliser des actions performantes pendant l'enseignement permette d'assimiler et d'élaborer l'action plus facilement.

L'ensemble de ces résultats tendent à montrer que la condition de la tâche « usage de système biotique » augmente l'efficacité d'un enseignement basé sur une approche systémique de l'énergie.

Cette efficacité se traduit par une meilleure formation de l'action « reconstituer un système énergétique ». Cette thèse montre que les élèves qui ont travaillé sur des systèmes biotiques progressent plus à l'issue de l'enseignement notamment au niveau des actions performances. L'analyse des opérations montrent que les élèves assimilent mieux l'action et ont développé une base d'orientation de celle-ci dont le degré de généralisation est plus important. Les analyses vidéos montrent que c'est l'appui sur les interactions entre les éléments du système qui augmente ce degré de généralisation. Ce résultat indique aussi l'adoption d'une approche plus systémique de l'énergie. En revanche, la présence de ces systèmes biotiques pendant l'enseignement présente un effet plutôt négatif sur les actions performantes des élèves pendant l'enseignement. En effet, les élèves qui travaillent sur les systèmes biotiques réalisent moins d'actions performantes pendant les tâches de la séquence.

Dans une perspective d'éducation à l'énergie, l'utilisation de systèmes biotiques dans l'enseignement semble donc permettre aux élèves de reconstituer des systèmes énergétiques dans une plus grande variété de situations. Ceci nous semble être un aspect important pour mieux comprendre les enjeux liés à l'énergie.

7.2 -Discussion

Les résultats de cette étude corroborent certaines recommandations que l'on retrouve dans la littérature. Elles concernent notamment l'adoption d'une approche globale et interdisciplinaire de l'énergie (Bruguière, Sivade, & Cros, 2002 ; Morge & Buty, 2014). Au niveau de l'adoption d'une approche interdisciplinaire, ces études s'adressent plutôt à l'enseignement secondaire dans lequel l'énergie est enseignée différemment en physique, sciences de la vie et de la terre et en géographie (Bruguière, Sivade, & Cros, 2002). Bien qu'ayant travaillé à l'école primaire, nous avons considéré que nos travaux pouvaient renvoyer à une forme d'interdisciplinarité. En effet, les types de systèmes pris en compte dans cette étude renvoient souvent à des contextes disciplinaires spécifiques. Les systèmes biotiques sont la majorité du temps étudiés en sciences de la vie et de la terre. Et les systèmes de type carburant (voiture, essence, raffinerie, pétrole) sont souvent réservés à l'enseignement de la géographie, car sauf au niveau de la voiture, ils n'impliquent pas de transformation d'énergie au sens strict. Vis-à-vis de ces aspects, notre étude semble montrer que l'utilisation de systèmes variés et notamment de systèmes biotiques (pouvant être associée à une forme d'interdisciplinarité) favorise l'adoption d'une approche globale par les élèves.

De nombreux travaux recommandent également l'usage des modèles de chaînes énergétiques (Bruguière, Sivade, & Cros, 2002 ; Devi, Tiberghien, Baker, & Brna, 1996 ; Koliopoulos & Argyropoulou, 2012 ; Koliopoulos & Ravanis, 2000a, 2000b ; Morge & Buty, 2014 ; Papadouris & Constantinou, 2012 ; Sissemperi & Koliopoulos, 2014 ; Tiberghien & Megalakaki, 1995 ; Vince & Tiberghien, 2012). Les résultats de cette étude semblent ici aussi aller dans le sens de ces travaux. En effet, nos résultats montrent que sans l'usage de l'instrument chaîne énergétique, les élèves rencontrent beaucoup de difficultés pour identifier une ressource naturelle associée à une consommation d'énergie domestique (une lampe qui éclaire par exemple). Il semble que le modèle de la chaîne énergétique leur permette d'adopter une approche globale. Concernant ces chaînes énergétiques Morge et Buty (2014) ont mis en avant l'importance de tester leur usage dans différents contextes disciplinaires. Comme dans le cas de l'adoption d'une approche interdisciplinaire, nous considérons que cette thèse, à travers l'utilisation de systèmes variés, reflète cette approche et montre une efficacité accrue de l'enseignement quand les chaînes sont utilisées dans des situations variées. Ces modèles de chaînes énergétiques sont principalement centrés sur l'utilisation de raisonnement linéaire causal (Koliopoulos & Argyropoulou, 2012). Dans cette thèse, le modèle proposé ne s'appuie pas sur ce raisonnement ce qui semble être une source de difficultés pour les élèves. En effet, le dessin des flèches du modèle a été la source d'erreur principale des élèves pendant l'enseignement. Cependant à l'issue de l'enseignement les résultats montrent que l'évocation des interactions entre les éléments du système permet de compenser cette difficulté puisque les élèves l'ayant évoqué réussissent dans l'ensemble mieux à réaliser les chaînes énergétiques.

Cette thèse s'appuie sur une approche systémique de l'énergie (De Rosnay, 1975 ; Lemoigne 1994). Un des outils principaux de cette approche est l'analogie (Donnadieu, Durand, Neel, Nunez, Saint-& Paul, 2003). Les résultats de cette thèse montrent qu'en « forçant » cette analogie entre des systèmes qui apparaissent très différents pour les élèves (Colonese, Heron, Michelini, Santi, & Stefanel, 2012), l'efficacité de l'enseignement est augmentée. De plus, il semble que, le fait de se centrer sur les interactions entre les éléments du système (De Rosnay, 1975) soit une approche qui permette aux élèves de reconstituer des systèmes énergétiques dans une plus grande variété de situation et donc d'adopter une vision plus globale de l'énergie.

Un des objectifs de cette thèse était de tester à travers une analyse de niveau 2 (au sens de Bissonnette, Richard, & Gauthier, 2005) l'efficacité de résultats montrés dans étude de niveau 1. Les études de niveau 1, que nous avons considérées sont les travaux sur les conceptions des élèves, notamment sur leur association de l'énergie à certains systèmes (Chabalengula, Sanders, & Mumba,

2012 ; Colonese, Heron, Michelini, Santi, & Stefanel, 2012 ; Lancor, 2014a, 2014b ; Yuenyong & Yuenyong, 2007) ou aux difficultés qu'ils rencontrent vis-à-vis de certains systèmes (Boyer & Givry, 2017⁸). L'expérimentation mise en place pour tester cette efficacité a montré que le type de système utilisé dans l'enseignement était un facteur important de l'efficacité au niveau de la tâche. En effet, nous obtenons des résultats différents au niveau des progressions des élèves malgré une modification minime de la tâche quand on prend en compte l'ensemble de l'enseignement. À propos de ces mesures d'efficacité, cette étude met aussi en avant l'importance de croiser les outils de recueil de données. En effet, l'analyse des traces écrites et des vidéos, montrent plus de difficultés pour les élèves ayant travaillé sur des systèmes biotiques pendant l'enseignement, alors que les analyses montrent des progressions plus importantes à l'issue de celui-ci.

Enfin les résultats de cette étude interrogent notre modèle d'analyse de l'activité des élèves. Nous avons considéré que la variable principale étant une condition de la tâche, c'est sur les opérations d'orientation (Galepérine, 1966, cité par Savoyant, 2006) que l'effet serait le plus marqué. Nos résultats montrent qu'il est difficile de dégager un effet de cette condition de la tâche sur une opération spécifique. En effet, les opérations d'exécution, et de contrôle apparaissent différentes, alors qu'un effet n'apparaît que sur une des deux opérations d'orientation. Cependant l'opération sur laquelle nous ne voyons pas d'effet a été très peu travaillée pendant la séquence. Il semble donc que l'effet observé agisse sur l'action dans sa totalité, mais qu'il soit difficile de mettre en avant son influence sur chacune des opérations.

L'ensemble de ces résultats et conclusions doit cependant être nuancé par un certain nombre de limites posées par cette étude.

Les premières limites de cette étude proviennent de la méthodologie mise en place. Tout d'abord, elle ne nous a pas permis d'analyser si l'effet observé est dû à une spécificité des systèmes biotiques ou s'il est dû uniquement à l'utilisation de systèmes très différents pour les élèves. Ensuite, notre choix de nous placer dans une méthodologie expérimentale et de contrôler l'effet-maître, la séquence et les tâches, nous a conduit à ne faire varier qu'un aspect minime de la tâche. Ces choix nous ont poussés à travailler sur un type de système présenté au lieu d'observer un véritable contexte disciplinaire. De plus, pour pouvoir maîtriser ces variables, nous avons volontairement réduit au minimum l'interaction entre l'enseignant et les élèves à propos des systèmes biotiques. Les résultats obtenus auraient pu être différents sans ces limites méthodologiques. Une autre limite en lien avec notre méthodologie est le choix des tâches d'enseignement présentées aux élèves. En effet, la présentation d'un seul système par page a donné une impression de simplicité aux élèves

qui ne les a pas conduits à discuter ou à expliquer ce qu'ils faisaient aux autres élèves pendant les tâches. Cet aspect des tâches d'enseignement a limité nos analyses vidéos et ne nous a pas permis d'obtenir d'indicateurs précis sur la façon dont les élèves ont réalisé les chaînes énergétiques. La dernière limite posée par cette méthodologie est notre choix de laisser l'enseignant organiser le travail des groupes des élèves comme à son habitude. En effet, les différences dans la division du travail au sein des groupes « biotique » et « domestique » ont limité nos analyses en ce qui concerne les liens entre réalisation de chaîne complète pendant la séance et les progressions des élèves.

Cette étude présente également un certain nombre de limites au niveau des résultats présentés. En effet, la validation des résultats peut sembler difficile du fait de l'hétérogénéité dans la signification statistique des résultats. De plus, cette étude a reproduit des tendances la plupart du temps en faveur du groupe biotique, mais les écarts peuvent apparaître différents entre les trois classes. Cette validation est également limitée par l'articulation entre cette signification statistique et la reproduction de ces tendances. En effet, certains résultats statistiquement significatifs sur l'ensemble des élèves, se retrouvent avec des tendances très différentes au niveau de chaque classe. Et certains résultats non significatifs présentent des écarts très similaires dans les trois classes. Enfin au niveau des résultats, une dernière limite se pose quant au fait de n'avoir analysé les enregistrements vidéos que dans une seule classe. Cette limite, rend difficile le fait de généraliser les mécanismes d'efficacité mis en avant.

7.3 - Perspectives et implications

Dans le cadre de cette thèse, un corpus de données beaucoup plus important que ce qui a été analysé a été constitué. Les premières perspectives de recherche qui émergent de cette thèse renvoient à l'analyse de ce corpus.

La première perspective de recherche à laquelle nous invite cette thèse est directement en lien avec la dernière limite de l'étude présentée. En effet, il nous paraît intéressant de pouvoir analyser les enregistrements vidéos de la seconde classe dans laquelle la séquence a été filmée. Ces analyses permettraient de vérifier si les résultats des analyses vidéos et les mécanismes mis en avant sont reproductibles. De plus, il apparaît dans les vidéos analysées quelques indicateurs dans le discours des élèves de ce qui aurait pu rendre l'utilisation de systèmes biotiques efficace. Notamment au niveau de la complexité des systèmes biotiques, de la familiarité des élèves avec ces systèmes et aussi de la nature des interactions entre les éléments du système. Cependant, ces indicateurs apparaissent de manière très ponctuelle et variable en fonction des groupes. Nous pensons que

l'analyse de la seconde classe pourrait permettre de dégager des tendances plus claires au niveau de ces indicateurs et donc de mettre en avant des mécanismes plus précis qui auraient provoqué l'augmentation d'efficacité observée.

Toujours dans l'optique d'analyser les données recueillies qui nous permettrait d'enrichir nos résultats, il nous apparaît nécessaire d'analyser le débat par lequel se termine la séquence d'enseignement proposée. L'analyse de ce débat permettrait de discuter de l'efficacité de la variable étudiée dans une perspective plus directement liée à une éducation à l'énergie. En effet, l'analyse de ce débat permettrait d'observer directement si le modèle proposé aux élèves leur sert à faire des choix et à comprendre les enjeux de société liés à l'énergie. De plus, au cours de ce débat, il devrait apparaître plus clairement si les élèves arrivent à adopter une approche systémique de l'énergie, notamment en modifiant plusieurs variables simultanément sur les différents systèmes.

Enfin, à propos des données complémentaires, l'analyse des parties restantes du questionnaire devrait nous permettre d'analyser l'efficacité des enseignements proposés de manière un peu différente. La partie 4 du questionnaire n'a pas été analysée, elle demandait aux élèves de dessiner des chaînes énergétiques dans une case vide à partir d'une série de photographies sur des situations nouvelles et connues. La partie 3 du questionnaire contenait également des situations non étudiées en classe qui n'ont pas été analysées. L'analyse de ces éléments du questionnaire devrait nous permettre d'interroger l'efficacité de l'usage de systèmes biotiques sur le développement de compétences chez les élèves à travers des situations nouvelles et un changement de registre sémiotique. La partie 2 du questionnaire n'a été utilisée que pour équilibrer les groupes d'élèves. Elle demandait aux élèves sur une image représentant un certain nombre d'éléments, qu'est-ce qui utilise de l'énergie. Ces premières analyses ont montré très peu d'associations entre l'utilisation d'énergie et les êtres vivants, ce qui nous semble intéressant car interrogeant la conception anthropomorphique attribuée aux élèves. Enfin la partie 5 du questionnaire concernait la notion de renouvelabilité qui nous paraît être une notion au cœur d'une éducation à l'énergie et qu'il conviendrait d'interroger.

D'autres perspectives ont émergées de cette thèse et concernent la mise en place d'autres protocoles et d'autres objets de recherches. Dans un premier temps, il nous apparaît intéressant de mettre en place un protocole expérimental afin de comprendre si l'effet observé dans cette étude est dû à la spécificité des systèmes biotiques ou s'il est dû à l'utilisation de systèmes différents quels qu'ils soient. Il nous paraît également intéressant dans une perspective d'analyse de l'efficacité de réaliser une étude de niveau 3 (au sens de Bissonette, Richard & Gauthier, 2005) c'est-à-dire une étude de grande ampleur dans un nombre important de classes, sur l'effet de la nature des systèmes

dans les tâches de l'enseignement. Dans une perspective assez proche, il nous semblerait intéressant de conduire une enquête auprès de différents enseignants pour comprendre pour quelles raisons et comment ils choisissent les systèmes présentés aux élèves dans l'enseignement. Il serait également intéressant d'observer l'effet de cette analogie forcée à propos d'autres thématiques et d'autres niveaux scolaires.

Cette thèse présente un certain nombre d'implications pour l'enseignement et la formation des enseignants.

Au niveau de l'enseignement, les résultats de cette thèse interrogent l'association de certains systèmes avec certaines disciplines ou certains outils, par exemple le fait que les programmes n'évoquent les chaînes d'énergie qu'à propos des systèmes domestiques. Ils montrent l'importance de faire travailler les élèves sur une importante variété de situations et notamment le recours aux systèmes biotiques dans lesquels l'approche systémique est plus souvent mobilisée.

De manière plus générale, la mise en évidence des liens entre certains aspects de la tâche d'enseignement et l'activité des élèves en classe, constitue un outil qui peut permettre d'adapter et de modifier la structuration de certains enseignements en vue d'améliorer leur efficacité sur les apprentissages des élèves. De plus, les réflexions engagées sur l'articulation entre l'approche systémique et « éducations à l'énergie » présentent un apport pour la construction d'enseignements qui à travers une approche interdisciplinaire, englobent formation de la personne et du citoyen, compréhension des systèmes naturels et techniques, et représentation du monde et de l'activité humaine (socle commun de connaissances, de compétences et de culture, 2016).

Au niveau de la formation, ces travaux de recherches peuvent être utilisés pour provoquer une posture réflexive chez les étudiants quant aux tâches qu'ils construisent et aux systèmes sur lesquels elles reposent. L'analyse de l'activité des élèves en classe conduite au sein de ces recherches et l'éclairage qu'elle peut apporter sur certains processus d'apprentissage peuvent constituer un support de formation pour développer des compétences en lien avec la connaissance de ces processus.

Les liens entre ces processus et certains éléments de la tâche d'enseignement qui se dégagent du protocole expérimental mis en place dans cette recherche sont des éléments qui peuvent être remobilisés dans le cadre de la formation concernant le développement de compétences sur l'organisation et la structuration de conditions d'enseignement favorables aux apprentissages.

Enfin, la façon dont sont interrogées les « éducations à » et les modalités de leur mise en place, notamment en ce qui concerne leur ancrage possible dans une approche systémique, s'inscrit dans

une réflexion à partir de laquelle, les compétences en lien avec une compréhension des finalités du système éducatif peuvent être travaillées.

Bibliographie

- Allal, L. (2011). Pedagogy, didactics and the co-regulation of learning: a perspective from the French-language world of educational research. *Research Papers in Education*, 26(3), 329-336. <https://doi.org/10.1080/02671522.2011.595542>
- Agabra, J. (1985). Energie et mouvement. Représentations à partir de l'étude de jouets mobiles, *Aster*, 1, 95-113
- Agabra, J. (1986). Échanges thermiques, *Aster*, 2, 1-41
- Amigues, R., Azoulay, C., & Loigerot, A. (2002). Le mémoire professionnel des professeurs des écoles, ou comment instrumenter l'action ? *Recherche & Formation*, 40(1), 75-86. <https://doi.org/10.3406/refor.2002.1760>
- Anderson, C. W., Sheldon, T. H., & Dubay, J. (1990). The effects of instruction on college nonmajors' conceptions of respiration and photosynthesis. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(8), 761-776. <https://doi.org/10.1002/tea.3660270806>
- Ault, C. R., Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1988). Constructing Vee maps for clinical interviews on energy concepts. *Science Education*, 72(4), 515-545. <https://doi.org/10.1002/sce.3730720410>
- Batchold, M. & Munier, V. (2014). Enseigner le concept d'énergie en physique et éduquer à l'énergie : rupture ou continuité ? *Actes des « Huitièmes journées scientifiques de l'ARDIST »*, *Skhole*, vol. 18(1), 21-29.
- Bächtold, M., Munier, V., Guedj, M., Lerouge, A., & Ranquet, A. (2014). Quelle progression dans l'enseignement de l'énergie de l'école au lycée ? Une analyse des programmes et des manuels. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (10), 63-91. <https://doi.org/10.4000/rdst.932>
- 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*, 24, 81-112.
- Barak, J., Sheva, B., Gorodetsky, M., & Gurion, B. (1999). As 'process' as it can get: students' understanding of biological processes. *International Journal of Science Education*, 21(12), 1281-1292. <https://doi.org/10.1080/095006999290075>

- Bart, D. (2015). Évaluer des « effets » d'enseignements/apprentissages : quelques apports des recherches en didactique (p. 317-321). Présenté à L'évaluation à la lumière des contextes et des disciplines. Consulté à l'adresse <http://hal.univ-lille3.fr/hal-01569128>
- Bedny G.& Karwowski. W. (2007). A systemic-structural theory of activity applications to human performance and work design. CRC press: Boca Raton.
- Besson, U., & Ambrosis, A. D. (2014). Teaching Energy Concepts by Working on Themes of Cultural and Environmental Value. *Science & Education*, 23(6), 1309-1338.
<https://doi.org/10.1007/s11191-013-9592-7>
- Bevilacqua, F. (2014). Energy: Learning from the Past. *Science & Education*, 23(6), 1231-1243.
<https://doi.org/10.1007/s11191-014-9690-1>
- Bissonnette, S., Richard, M., & Gauthier, C. (2005). Interventions pédagogiques efficaces et réussite scolaire des élèves provenant de milieux défavorisés. *Revue française de pédagogie*, 150(1), 87-141. <https://doi.org/10.3406/rfp.2005.3229>
- Bliss, J., & Ogborn, J. (1994). Force and motion from the beginning. *Learning and Instruction*, 4(1), 7-25. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90016-7](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90016-7)
- Bodzin, A. (2012). Investigating Urban Eighth-Grade Students' Knowledge of Energy Resources. *International Journal of Science Education*, 34(8), 1255-1275.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2012.661483>
- Bodzin, A. M., Fu, Q., Peffer, T. E., & Kulo, V. (2013). Developing Energy Literacy in US Middle-Level Students Using the Geospatial Curriculum Approach. *International Journal of Science Education*, 35(9), 1561-1589. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.769139>
- Boulidoires, B., & Lefevre, R. (1993). Les élèves de lycée et la notion d'énergie. *Trema*, (3-4), 49-67. <https://doi.org/10.4000/trema.2329>
- Boyer, A., & Givry, D. (2016a). Quel est l'impact d'un moment de formulation d'hypothèses sur l'investigation menée par des élèves français (grade 7, 12 ans) durant un enseignement sur la flottabilité ? *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 11(1), 19-54.
- Boyer, A., & Givry, D. (2016b). Quelles conditions influencent la réalisation de chaînes énergétiques par des élèves de cycle 3 (grade 4 et 5) ? *Educational Journal of the University of Patras UNESCO Chair*, 0(0). Consulté à l'adresse <http://societyandtheory.lis.upatras.gr/index.php/ejupUNESCOchair/article/view/2746>

- Boyer, A. & Givry, D. (à paraître) Développement d'un modèle de chaîne énergétique pour aider les élèves à adopter une vision globale de l'énergie dès l'école primaire, *Review of Science, Mathematics and ICT Education*
- Boyer, A., Givry, D., Jegou, C., Derradj, C., Delserieys-Pedregosa, A., & Said, F. (2014). *Rôle de l'enseignant dans deux séquences d'enseignement fondées sur l'investigation: la flottabilité en classe de cinquième. Educational Journal of the University of Patras UNESCO Chair*, 1(2), 96-111.
- Boylan, C. (2008). Exploring Elementary Students' Understanding of Energy and Climate Change. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 1(1), 1-15.
- Bressoux, P. (1994). les recherches sur les effets-écoles et les effets-maîtres. *Revue française de pédagogie*, 108(1), 91-137.
- Bressoux, P. (2012). 13. L'influence des pratiques enseignantes sur les acquisitions scolaires des élèves. *Regards croisés sur l'économie*, 12(2), 208-217.
- Bru, M., Altet, M., & Blanchard-Laville, C. (2004). À la recherche des processus caractéristiques des pratiques enseignantes dans leurs rapports aux apprentissages. *Revue Française De Pédagogie*, 148, 75-87
- Bruguière, 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, 67-100.
- Bruguière, C. Sivade, A. & Cros, D. (1994) Les représentations spatiales des concepts associés à l'énergie comme outil de formation des enseignants: Application à l'analyse du nouveau programme de physique des classes de première de série scientifique. *Didaskalia*, 5, 105-118
- Bui-Thi, K.H. (2005), Une étude didactique de la vie de l'Énergie 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 ? Thèse de doctorat, Université de Grenoble
- Bunge, M. (2000). Energy: Between Physics and Metaphysics. *Science & Education*, 9(5), 459-463. <https://doi.org/10.1023/A:1008784424048>
- Cambien, A. (2008). *Une introduction à l'approche systémique: appréhender la complexité*. Paris : Les rapports d'étude CERTU.

- Carette, V. (2008). Les caractéristiques des enseignants efficaces en question. *Revue française de pédagogie*, 162(1), 81-93.
- Carlsson, B. (2002). Ecological understanding 2: Transformation - a key to ecological understanding. *International Journal of Science Education*, 24(7), 701-715.
<https://doi.org/10.1080/09500690110098877>
- Chabalengula, V. M., Sanders, M., & Mumba, F. (2011a). Diagnosing students' understanding of energy and its related concept in biological context . *International Journal of Science and Mathematics Education*, 10(2), 241-266. <https://doi.org/10.1007/s10763-011-9291-2>
- Chatoney, M., Gunther, F., & Saïd, F. (2016). Les outils de l'analyse fonctionnelle dans les pratiques enseignantes en technologie. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 10(1), 23-38.
- Chen, L.L., Huang, S.H. & Liu, S.Y., (2013), Devising a framework for energy education in Taiwan using the analytic hierarchy process, *Energy Policy*, 55, 396–403.
- Cheong, I. P.-A., Johari, M., Said, H., & Treagust, D. F. (2015). What Do You Know about Alternative Energy? Development and Use of a Diagnostic Instrument for Upper Secondary School Science. *International Journal of Science Education*, 37(2), 210-236.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2014.976295>
- Clanet, J. (2012). L'efficacité enseignante, quelle modélisation pour servir cette ambition ? *Questions Vives. Recherches en éducation*, 6(18), 15-37.
<https://doi.org/10.4000/questionsvives.1121>
- Clot, Y. (2006). Clinique du travail et clinique de l'activité. *Nouvelle revue de psychosociologie*, 1, 165-177.
- Coelho, R. L. (2012). On the Concept of Energy: Conservation and Transformation versus Equivalence. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 6(1), 7-19.
- Coelho, R. L. (2014). On the Concept of Energy: Eclecticism and Rationality. *Science & Education*, 23(6), 1361-1380. <https://doi.org/10.1007/s11191-013-9634-1>
- Coleman, J. S., et al. (1966). Equality of Educational Opportunity. Washington, U.S. Department of Health, Education and Welfare
- Colonnese, D., Heron, P., Michelini, M., Santi, L., & Stefanel, A. (2012). A vertical pathway for teaching and learning the concept of energy. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 6(1), 21-50.

- Conseil français de l'énergie (2015). Les enjeux énergétiques mondiaux vus par les acteurs français, Conseil français de l'énergie, word energy council
- Conseil national du débat (2013) Débat national sur la transition énergétique : synthèse des travaux, citizen press, Paris, France.
- Creemers, B. P. M., & Kyriakides, L. (2007). *The Dynamics of Educational Effectiveness: A Contribution to Policy, Practice and Theory in Contemporary Schools* (Routledge).
- Culley, M. R., Carton, A. D., Weaver, S. R., Ogley-Oliver, E., & Street, J. C. (2011). Sun, Wind, Rock and Metal: Attitudes toward Renewable and Non-renewable Energy Sources in the Context of Climate Change and Current Energy Debates. *Current Psychology*, 30(3), 215-233. <https://doi.org/10.1007/s12144-011-9110-5>
- Cusset, P.-Y. (2011). *Que disent les recherches sur l'"effet enseignant" ? Note d'analyse*, (232), 1-12.
- Darot, E. (1986). Enseignement de l'énergie. Une recherche pluridisciplinaire de l'INRP. *Aster*, 2, 105-132
- Darses, F., Hoc, J. M., & Chauvin, C. (2004). Cadres théoriques et méthodes de production de connaissances en psychologie ergonomique. In Hoc & Darses (eds), *Psychologie ergonomique: tendances actuelles* (pp. 221-251). Paris : Presses Universitaires de France.
- De Rosnay, J. (1975). *Le Macroscopie : vers une vision globale*. Paris : Éditions du Seuil.
- Debeir, J.C., Deléage, J.P., Hémery, D. (2013) Une histoire de l'énergie. Les servitudes de la puissance. Lonrai :Flammarion
- Derradj, C., & Givry, D. (2014). Comparaison entre deux approches d'enseignement par investigation sur le thème de la flottabilité en collège : la problématisation favorisée dans l'approche hypothético-déductive. *Educational Journal of the University of Patras UNESCO Chair*, 0(0). Consulté à l'adresse <http://electra.lis.upatras.gr/index.php/ejupUNESCOchair/article/view/2202>
- Dessus, B. (2014). *Déchiffrer l'énergie*. Paris, France: Belin.
- Devi, R., Tiberghien, A., Baker, M., & Brna, P. (1996). Modelling students' construction of energy models in physics. *Instructional Science*, 24(4), 259-293. <https://doi.org/10.1007/BF00118052>
- DeWaters, J., Qaqish, B., Graham, M., & Powers, S. (2013). Designing an Energy Literacy Questionnaire for Middle and High School Youth. *The Journal of Environmental Education*, 44(1), 56-78. <https://doi.org/10.1080/00958964.2012.682615>

- Dias, R.A., Mattos, C.R. & Balestieri, J.A.P., (2004), Energy education: breaking up the rational energy use barriers , *Energy Policy*, 32, 1339–1347.
- Diemer. A. (2013). L'éducation systémique, une réponse aux défis posés par le développement durable. *Éducation relative à l'environnement*, 11, 247-264.
- Doménech, J. L., Gil-Pérez, D., Gras-Martí, A., Guisasola, J., Martínez-Torregrosa, J., Salinas, J., Vilches, A. (2007). Teaching of Energy Issues: A Debate Proposal for a Global Reorientation. *Science & Education*, 16(1), 43-64. <https://doi.org/10.1007/s11191-005-5036-3>
- Donnadiou, G. , Durand, D., Neel, D., Nunez, E., & Saint-Paul, L.(2003). *L'Approche systémique : de quoi s'agit-il ? Paris :Union Européenne de Systemique* <http://www.afscet.asso.fr/SystemicApproach.pdf>
- Driver, R., & Warrington, L. (1985). Students' Use of the Principle of Energy Conservation in Problem Situations. *Physics Education*, 20(4), 171-76.
- Duit, R. (1981). Students' Notions About the Energy Concept--Before and After Physics Instruction. Consulté à l'adresse <http://eric.ed.gov/?id=ED229237>
- Duit, R. (1984). Learning the energy concept in school - empirical results from The Philippines and West Germany. *Physics Education*, 19(2), 59-66. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/19/2/306>
- Duit, R. (2012). Teaching and Learning the Physics Energy Concept. Consulté à l'adresse <http://esummit-msu.net/content/teaching-and-learning-physics-energy-concept>
- Dumay, X., & Dupriez, V. (2009). *L'efficacité dans l'enseignement: promesses et zones d'ombre* (Vol. 1–1). Bruxelles, Belgique: De Boeck.
- Duru-Bellat, M. (2003). Les apprentissages des élèves dans leur contexte : les effets de la composition de l'environnement scolaire. *Carrefours de l'éducation*, 16(2), 182-206.
- Duval, R. (2006). A Cognitive Analysis of Problems of Comprehension in a Learning of Mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 61(1-2), 103-131. <https://doi.org/10.1007/s10649-006-0400-z>
- Eilam, B. (2002). Strata of comprehending ecology: Looking through the prism of feeding relations. *Science Education*, 86(5), 645-671. <https://doi.org/10.1002/sce.10041>
- Engeström, Y. (1987). *Learning by Expanding: An Activity-Theoretical Approach to Developmental Research*. Orienta-Konsultit Oy Helsinki.

- Engeström, Y. (2001). Expansive Learning at Work: Toward an activity theoretical reconceptualization. *Journal of Education and Work*, 14(1), 133-156.
<https://doi.org/10.1080/13639080020028747>
- Engeström, Y. (2016). Foreword, Making Use of Activity Theory in Educational Research. *Activity Theory in Education, Research and Practice*. Rotterdam: Sense Publishers.
- Fagnant, A., & Schillings, P. (2015). L'évaluation de l'efficacité des approches didactiques : l'art de conjuguer didactique et évaluation ? Symposium du réseau EVADIDA. Consulté à l'adresse <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/183835>
- Feyfant, A. (2011). Effets des pratiques pédagogiques sur les apprentissages. Dossier d'actualité veille et analyses, 65, 1-14
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (1977). *The Feynman Lectures on Physics, Vol. 1: Mainly Mechanics, Radiation, and Heat* (1 edition). Reading, Mass.: Addison Wesley.
- Folcher, V., & Rabardel, P. (2004). 15. *Hommes, artefacts, activités : perspective instrumentale*. Presses Universitaires de France. Consulté à l'adresse http://www.cairn.info/article.php?ID_ARTICLE=PUF_FALZO_2004_01_0251
- Ginestié, J., & Tricot, A. (2013). Activité d'élèves, activité d'enseignants en éducation scientifique et technologique. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (8), 9-22.
- Givry, D., & Andreucci, C. (2015). Un schéma vaut-il mieux qu'un long discours ? *Education & didactique*, 9(1), 119-141.
- Givry, D., & Pantidos, P. (2015). Ambiguities in representing the concept of energy: a semiotic approach. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 9(2), 41-64.
- Gökmen, A., Atik, A. D., Ekici, G., Çimen, O., & Altunsoy, S. (2010). Analysis of high school students' opinions on the benefits and harms of nuclear energy in terms of environmental values. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 2350-2356.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.03.335>
- Guedj, M., & Mayrargue, A. (2014). Éclairages historiques sur l'émergence du concept d'énergie. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 10, 35-61.
<https://doi.org/10.4000/rdst.925>
- Güne, M. H., Güne, O., & Hoplan, M. (2011). The using of computer for elimination of misconceptions about photosynthesis. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 15, 1130-1134. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.03.251>

- Günesa, M. H. (2011). Modelling about energy transformation in living organism. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 15, 1183-1187. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.03.260>
- Gunther, F. (2016). Étude de l'efficacité des outils de l'analyse fonctionnelle dans l'enseignement et l'apprentissage de systèmes techniques au collège. thèse de doctorat, Université Aix-Marseille
- Herakleioti, E., & Pantidos, P. (2016). The Contribution of the Human Body in Young Children's Explanations About Shadow Formation. *Research in Science Education*, 46(1), 21-42. <https://doi.org/10.1007/s11165-014-9458-2>
- Herrmann-Abell, C.F. & DeBoer, G.E (2013) Developing and Using Distractor-Driven Multiple-Choice Assessments Aligned to Ideas about Energy Forms, Transformation, Transfer, and Conservation *American Association for the Advancement of Science / Project 2061*
- Hervé, N. (2012), Analyses de pratiques d'enseignement de savoirs de la physique stabilisés (l'énergie) et controversés (le changement climatique), thèse de doctorat, Université Toulouse 2.
- Hervé, N., Venturini, P., & Albe, V. (2014). La construction du concept d'énergie en cours de physique : analyse d'une pratique ordinaire d'enseignement. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (10), 123-151. <https://doi.org/10.4000/rdst.942>
- Hogan, K., & Fisherkeller, J. (1996). Representing students' thinking about nutrient cycling in ecosystems: bidimensional coding of a complex topic. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), 941-970. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199611\)33:9<941::AID-TEA1>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199611)33:9<941::AID-TEA1>3.0.CO;2-V)
- Jewett, J. W. (2008a). Energy and the Confused Student III: Language. *The Physics Teacher*, 46(3), 149-153. <https://doi.org/10.1119/1.2840978>
- Jewett, J. W. (2008b). Energy and the Confused Student IV: A Global Approach to Energy. *The Physics Teacher*, 46(4), 210-217. <https://doi.org/10.1119/1.2895670>
- Jin, H., Zhan, L., & Anderson, C. W. (2013). Developing a Fine-Grained Learning Progression Framework for Carbon-Transforming Processes. *International Journal of Science Education*, 35(10), 1663-1697. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.782453>
- Kaptelinin, V., & Nardi, B. A. (2006). *Acting with Technology: Activity Theory and Interaction Design*. London: MIT Press.

- Kesidou, S., & Duit, R. (1993). Students' conceptions of the second law of thermodynamics—an interpretive study. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(1), 85-106.
<https://doi.org/10.1002/tea.3660300107>
- Kishore, P., & Kisiel, J. (2013). Exploring High School Students' Perceptions of Solar Energy and Solar Cells. *International Journal of Environmental and Science Education*, 8(3), 521-534.
- Kılınc, A., Boyes, E., & Stanisstreet, M. (2012). Exploring Students' Ideas About Risks and Benefits of Nuclear Power Using Risk Perception Theories. *Journal of Science Education and Technology*, 22(3), 252-266. <https://doi.org/10.1007/s10956-012-9390-z>
- Koliopoulos, D., & Argyropoulou, M. (2012). Constructing qualitative energy concepts in a formal educational context with 6-7 year old students. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 5(1), 63-80.
- Koliopoulos, D., & Ravanis, K. (2000). Réflexions méthodologiques sur la formation d'une culture concernant le concept d'énergie à travers l'éducation formelle. *Spirale*, 26, 73-86.
- Koliopoulos, D., & Tiberghien, A. (1986). Eléments d'une bibliographie concernant l'enseignement de l'énergie au niveau des collèges. *Aster*, 2, 167-178.
- Kose, S. (2008) A comparative study of science majors and non majors prospective teachers understanding of energy for living organism. *research journal of Environmental science*, 2(5), 377-384
- Kruger, C., Palacio, D., & Summers, M. (1992). Surveys of english primary teachers' conceptions of force, energy, and materials. *Science Education*, 76(4), 339-351.
<https://doi.org/10.1002/sce.3730760402>
- Kurnaz, M. A., & Calik, M. (2009). A thematic review of 'energy' teaching studies: focuses, needs, methods, general knowledge claims and implications. *Energy Education Science and Technology Part B: Social and Educational Studies*, 1(1), 1-26.
- Kyriakides, L., Creemers, B. P. M., & Antoniou, P. (2009). Teacher behaviour and student outcomes: Suggestions for research on teacher training and professional development. *Teaching and Teacher Education*, 25(1), 12-23. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2008.06.001>
- Lancor, R. (2014a). Using Metaphor Theory to Examine Conceptions of Energy in Biology, Chemistry, and Physics. *Science & Education*, 23(6), 1245-1267.
<https://doi.org/10.1007/s11191-012-9535-8>

- Lancor, R. (2014b). Using Student-Generated Analogies to Investigate Conceptions of Energy: A multidisciplinary study. *International Journal of Science Education*, 36(1), 1-23.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2012.714512>
- Lane, J.F., Floress, K. & Rickert, M., (2014), Development of school energy policy and energy education plans: A comparative case study in three Wisconsin school communities , *Energy Policy* 65, 323–331
- Le Moigne, J. L. (1994). *La théorie du système général: théorie de la modélisation*. Collection *Les classiques du réseau intelligence de la complexité*, mcxapc@mcxapc.org
- Lee, H.-S., & Liu, O. L. (2009). Assessing learning progression of energy concepts across middle school grades: The knowledge integration perspective. *Science Education*, 94(4), 665-688.
<https://doi.org/10.1002/sce.20382>
- Lee, R. P. (2016). Misconceptions and biases in German students' perception of multiple energy sources: implications for science education. *International Journal of Science Education*, 38(6), 1036-1056. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1176277>
- Leontiev. A. (1981). *Activité Conscience Personnalité* . Moscou : Editions du Progrès (1ère édition 1975, en russe).
- Leplat, J. (2003). *1. La modélisation en ergonomie à travers son histoire*. Presses Universitaires de France. Consulté à l'adresse http://www.cairn.info/article.php?ID_ARTICLE=PUF_BOPPE_2003_01_0002
- Leplat, J. (2004). L'analyse psychologique du travail. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 54(2), 101-108.
<https://doi.org/10.1016/j.erap.2003.12.006>
- Leplat. J. & Hoc. J.M (1983) tache et activité dans l'analyse psychologique des situations, *cahiers de psychologie cognitive*,3(1), 43-63
- Lévy, J.-P., Roudil, N., Flamand, A., & Belaïd, F. (2014). Les déterminants de la consommation énergétique domestique, The determinants of domestic energy consumption. *Flux*, (96), 40-54.
- Lewis, E. L., & Linn, M. C. (1994). Heat energy and temperature concepts of adolescents, adults, and experts: Implications for curricular improvements. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(6), 657-677. <https://doi.org/10.1002/tea.3660310607>

- Licoppe, C. (2008). Dans le « carré de l'activité » : perspectives internationales sur le travail et l'activité. *Sociologie du Travail*, 50(3), 287-302.
<https://doi.org/10.1016/j.soctra.2008.06.002>
- Lijnse, P. (1990). Energy between the life-world of pupils and the world of physics. *Science Education*, 74(5), 571-583. <https://doi.org/10.1002/sce.3730740507>
- Lin, C., & Hu, R. (2003). Students' understanding of energy flow and matter cycling in the context of the food chain, photosynthesis, and respiration. *International Journal of Science Education*, 25(12), 1529-1544. <https://doi.org/10.1080/0950069032000052045>
- Liu, X., Ebenezer, J., & Fraser, D. M. (2002). Structural characteristics of university engineering students' conceptions of energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(5), 423-441.
<https://doi.org/10.1002/tea.10030>
- Liu, X., & McKeough, A. (2005). Developmental growth in students' concept of energy: Analysis of selected items from the TIMSS database. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 493-517. <https://doi.org/10.1002/tea.20060>
- Liu, X., & Ruiz, M. E. (2008). Using data mining to predict K-12 students' performance on large-scale assessment items related to energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(5), 554-573. <https://doi.org/10.1002/tea.20232>
- Marmaroti, P., & Galanopoulou, D. (2006). Pupils' Understanding of Photosynthesis: A questionnaire for the simultaneous assessment of all aspects. *International Journal of Science Education*, 28(4), 383-403. <https://doi.org/10.1080/09500690500277805>
- Martinás, K. (2005). Energy in Physics and in Economy. *Interdisciplinary Description of Complex Systems : INDECS*, 3(2), 44-58.
- Mayen, P. (2012). Les situations professionnelles : un point de vue de didactique professionnelle. *Phronesis*, 1(1), 59-67. <https://doi.org/10.7202/1006484ar>
- Megalakaki, O. (2009). Développement conceptuel de la notion d'énergie relative à des objets inanimés et animés chez les élèves de dix à 17 ans. *Psychologie Française*, 54(1), 11-29.
<https://doi.org/10.1016/j.psfr.2008.06.003>
- MEN (2008). Programmes d'enseignement de l'école primaire, *Bulletin officiel de l'Éducation nationale*, hors serie no 3, 19 juin 2008.
- MEN (2015). Programmes d'enseignement du cycle des apprentissages fondamentaux (cycle 2), du cycle de consolidation (cycle 3) et du cycle des approfondissements (cycle 4). Bulletin officiel spécial n°10

- MEN (2015) Socle commun de connaissances, de compétences et de culture. Bulletin officiel n° 17
- Mencacci, N., (2014), Les apports de recherches en évaluation et de l'ergologie
à l'efficacité des pratiques en éducation scientifique, technologique et professionnelle
Note de synthèse proposée dans le cadre d'une habilitation à diriger les recherches.
- Mérenne-Schoumaker, B. (2011). *Géographie de l'énergie : Acteurs, lieux et enjeux*. Paris: Belin.
- Millar, R. (2014). Towards a Research-Informed Teaching Sequence for Energy. In *Teaching and Learning of Energy in K – 12 Education* (p. 187-206). Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-05017-1_11
- Morge, L., & Buty, C. (2014). L'énergie : vers des recherches plurididactiques. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 10, 9-34.
- Musial, M., Pradère, F., & Tricot, A. (2011). Prendre en compte les apprentissages lors de la conception d'un scénario pédagogique. *Recherche et formation*, 68, 15-30.
<https://doi.org/10.4000/rechercheformation.1483>
- Mvutsebanka, C.(2015) La part de l'enseignement d'Education Physique et Sportive dans l'évolution des conceptions des élèves de 9-11 ans sur le concept d'énergie. Mémoire de master non publié
- Nardi, B. A. (1996). *Context and Consciousness: Activity Theory and Human-computer Interaction*. London : MIT Press.
- Neumann, K., Viering, T., Boone, W. J., & Fischer, H. E. (2013). Towards a learning progression of energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 162-188.
<https://doi.org/10.1002/tea.21061>
- Nordine, J., Krajcik, J., & Fortus, D. (2011). Transforming energy instruction in middle school to support integrated understanding and future learning. *Science Education*, 95(4), 670-699.
<https://doi.org/10.1002/sce.20423>
- Normand, R. (2006). L'école efficace ou l'horizon du monde comme laboratoire. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, 154, 33-44. <https://doi.org/10.4000/rfp.114>
- OCDE (2012). Énergie les cinquante prochaines années
- OECD/IEA (2014). Energy. The journal of international energy agency, 6(2)
- Opitz, S. T., Harms, U., Neumann, K., Kowalzik, K., & Frank, A. (2015). Students' energy concepts at the transition between primary and secondary school. *Research in Science Education*, 45(5), 691- 715.<https://doi.org/10.1007/s11165-014-9444-8>

- Papadouris, N., & Constantinou, C. P. (2011). A Philosophically Informed Teaching Proposal on the Topic of Energy for Students Aged 11–14. *Science & Education*, 20(10), 961-979. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9305-4>
- Papadouris, N., & Constantinou, C. P. (2012). Middle school students using energy analysis in diverse phenomena. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 6(1), 73-87.
- Papadouris, N., Constantinou, C. P., & Kyratsi, T. (2008). Students' use of the energy model to account for changes in physical systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(4), 444-469. <https://doi.org/10.1002/tea.20235>
- Pastré, P. (2002). L'analyse du travail en didactique professionnelle. *Revue française de pédagogie*, 138(1), 9-17. <https://doi.org/10.3406/rfp.2002.2859>
- Pastré, P., Mayen, P., & Vergnaud, G. (2006). La didactique professionnelle. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, 154, 145-198. <https://doi.org/10.4000/rfp.157>
- Pintó, R., Couso, D., & Gutierrez, R. (2005). Using research on teachers' transformations of innovations to inform teacher education. The case of energy degradation. *Science Education*, 89(1), 38-55. <https://doi.org/10.1002/sce.20042>
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies: approche cognitive des instruments contemporains*. Paris, France: A. Colin, DL 1995.
- Ragou, P. & Souchon C. (2000) L'approche systémique :une méthode d'apprentissage et un outil d'évaluation pédagogique en éducation relative à l'environnement. *Éducation relative à l'environnement*, 2, 195-200.
- Reezigt, G. J., & Creemers, B. P. M. (2005). A comprehensive framework for effective school improvement. *School Effectiveness and School Improvement*, 16(4), 407-424. <https://doi.org/10.1080/09243450500235200>
- Reiner, M., & Eilam, B. (2001). Conceptual classroom environment - a system view of learning. *International Journal of Science Education*, 23(6), 551-568. <https://doi.org/10.1080/095006901300172458>
- Relieu, M., Salembier, P., & Theureau, J. (2004). Introduction au numéro spécial « Activité et Action/ Cognition Située ». *Activités*, 01(2). Consulté à l'adresse <http://activites.revues.org/1215>
- Rizaki, A., & Kokkotas, P. (2013). The Use of History and Philosophy of Science as a Core for a Socioconstructivist Teaching Approach of the Concept of Energy in Primary Education. *Science & Education*, 22(5), 1141-1165. <https://doi.org/10.1007/s11191-009-9213-7>

- Robert, A., & Rogalski, J. (2002). Le système complexe et cohérent des pratiques des enseignants de mathématiques: Une double approche. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 2(4), 505-528. <https://doi.org/10.1080/14926150209556538>
- Rogalski, J. (2008). Théorie de l'activité et cadres développementaux pour l'analyse liée des pratiques des enseignants et des apprentissages des élèves. In *La classe de mathématiques : activités de élèves et pratiques des enseignants*. (Octares edition).
- Rollnick, M., Dlamini, B. T., & Bradley, J. (2015). Unawareness to Production, Dropout to Innovator—Primary teachers' understanding and use of a science, technology and society approach to science teaching. *International Journal of Science Education*, 37(8), 1202-1224. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1025888>
- Roth, W. M. (2004). INTRODUCTION:" Activity Theory and Education: An Introduction". *Mind, Culture, and Activity*, 11(1), 1-8.
- Rule, A. C. (2005). Elementary Students' Ideas concerning Fossil Fuel Energy. *Journal of Geoscience Education*, 53(3), 309-318.
- Rumelhard, G. (1985). Quelques représentations à propos de la photosynthèse. *Aster*, 1, 37-66.
- Sakschewski, M., Eggert, S., Schneider, S., & Bögeholz, S. (2014). Students' Socioscientific Reasoning and Decision-making on Energy-related Issues—Development of a measurement instrument. *International Journal of Science Education*, 36(14), 2291-2313. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.920550>
- Savoyant, A. (2006). Tâche, activité et formation des actions de travail. *Education permanente*, 166, 127-136.
- Scheerens, J., Glas, C., & Thomas, S. M. (2003). *Educational Evaluation, Assessment and Monitoring: a Systemic Approach*. Swets & Zeitlinger. Consulté à l'adresse [https://research-information.bristol.ac.uk/en/publications/educational-evaluation-assessment-and-monitoring-a-systemic-approach\(7fe0b57e-dcea-467c-b17c-4a85bd18a22d\)/export.html](https://research-information.bristol.ac.uk/en/publications/educational-evaluation-assessment-and-monitoring-a-systemic-approach(7fe0b57e-dcea-467c-b17c-4a85bd18a22d)/export.html)
- Schwartz, Y. (2007). Un bref aperçu de l'histoire culturelle du concept d'activité. *Activités*, 4(2), 122-133. <https://doi.org/10.4000/activites.1728>
- Seck, M. (2008) analyse de la « vie » du savoir en classe de physique. Cas de l'énergie en 1reS. *Didaskalia*, 33 89-119
- Sissamperi, N., & Koliopoulos, D. (2015). A didactical approach of large-scale electricity generation systems at the elementary school level. *Educational Journal of the University of*

Patras UNESCO Chair, 0(0). Consulté à l'adresse

<http://electra.lis.upatras.gr/index.php/ejupUNESCOchair/article/view/2234>

- Solbes, J., Guisasola, J., & Tarín, F. (2009). Teaching Energy Conservation as a Unifying Principle in Physics. *Journal of Science Education and Technology*, 18(3), 265-274.
<https://doi.org/10.1007/s10956-009-9149-3>
- Svihla, V., & Linn, M. C. (2012). A Design-based Approach to Fostering Understanding of Global Climate Change. *International Journal of Science Education*, 34(5), 651-676.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2011.597453>
- Talbot, L. (2012). Les recherches sur les pratiques enseignantes efficaces. *Questions Vives. Recherches en éducation*, 6(18), 129-140. <https://doi.org/10.4000/questionsvives.1234>
- Tatar, E., & Oktay, M. (2007). Students' Misunderstandings about the Energy Conservation Principle: A General View to Studies in Literature. *International Journal of Environmental and Science Education*, 2(3), 79-81.
- Tiberghien, A., & Malkoun, L. (2007). Différenciation des pratiques d'enseignement et acquisitions des élèves du point de vue du savoir. *Éducation et didactique*, 1(1), 29-54.
<https://doi.org/10.4000/educationdidactique.69>
- Tiberghien, A., & Megalakaki, O. (1995). Characterization of a modelling activity for a first qualitative approach to the concept of energy. *European Journal of Psychology of Education*, 10(4), 369. <https://doi.org/10.1007/BF03172927>
- Trellu, J. L., & Toussaint, J. (1986). La conservation, un grand principe. *Aster*, 2, 43-87.
- Trumper, R. (1993). Children's energy concepts: a cross-age study. *International Journal of Science Education*, 15(2), 139-148. <https://doi.org/10.1080/0950069930150203>
- Trumper, R. (1997a). A survey of conceptions of energy of Israeli pre-service high school biology teachers. *International Journal of Science Education*, 19(1), 31-46.
<https://doi.org/10.1080/0950069970190103>
- Trumper, R. (1997b). The need for change in elementary school teacher training: the case of the energy concept as an example. *Educational Research*, 39(2), 157-174.
<https://doi.org/10.1080/0013188970390204>
- Trumper, R. (1998). A Longitudinal Study of Physics Students' Conceptions on Energy in Pre-Service Training for High School Teachers. *Journal of Science Education and Technology*, 7(4), 311-318. <https://doi.org/10.1023/A:1021867108330>

- Trumper, R., & Gorsky, P. (1993). Learning about energy: The influence of alternative frameworks, cognitive levels, and closed-mindedness. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(7), 637-648. <https://doi.org/10.1002/tea.3660300704>
- Trumper, R., Raviolo, A., & Maria Shnersch, A. (2000). A cross-cultural survey of conceptions of energy among elementary school teachers in training — empirical results from Israel and Argentina. *Teaching and Teacher Education*, 16(7), 697-714. [https://doi.org/10.1016/S0742-051X\(00\)00020-2](https://doi.org/10.1016/S0742-051X(00)00020-2)
- Tsaparlis, G., Hartzavalos, S., & Nakiboğlu, C. (2013). Students' Knowledge of Nuclear Science and Its Connection with Civic Scientific Literacy in Two European Contexts: The Case of Newspaper Articles. *Science & Education*, 22(8), 1963-1991. <https://doi.org/10.1007/s11191-013-9578-5>
- Venturini, P. (2012). Action, activité, « agir » conjoints en didactique : discussion théorique. *Education & didactique*, 6(1), 127-136.
- Vergnaud, G. (2011). *Au fond de l'action, la conceptualisation*. Paris : Presses Universitaires de France. Consulté à l'adresse http://www.cairn.info/article.php?ID_ARTICLE=PUF_BARBI_2011_01_0275
- Vieira, P.F. (2003). Éducation pour l'écodéveloppement au Brésil: promesses et incertitudes. *éducation relative à l'environnement*, 4, 57-75.
- Vinatier, I. (2017). *Le travail de l'enseignant: Une approche par la didactique professionnelle*. Bruxelles, Belgique : De Boeck (Pédagogie et Formation).
- Vince, J., & Tiberghien, A. (2012). Enseigner l'énergie en physique à partir de la question sociale du défi énergétique. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 6(1), 89-124.
- Vygotsky, L. (1997). *Pensée et langage*. Paris : La dispute.
- Watts, D. M. (1983). Some alternative views of energy. *Physics Education*, 18(5), 213-217. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/18/5/307>
- Wilson, C. D., Anderson, C. W., Heidemann, M., Merrill, J. E., Merritt, B. W., Richmond, G., ... Parker, J. M. (2006). Assessing Students' Ability to Trace Matter in Dynamic Systems in Cell Biology. *CBE-Life Sciences Education*, 5(4), 323-331. <https://doi.org/10.1187/cbe.06-02-0142>
- Yuenyong, C., Jones, A., & Yutakom, N. (2007). A Comparison of Thailand and New Zealand Students' Ideas About Energy Related to Technological and Societal Issues. *International*

Journal of Science and Mathematics Education, 6(2), 293-311.

<https://doi.org/10.1007/s10763-006-9060-9>

Yuenyong, C., & Yuenyong, J. (2007). Grade 1 to 6 Thai students' existing ideas about energy.

Science Education Journal, 18(4), 289-298.

Zografakis, N., Menegaki, A.N. & Tsagarakis, K.P., (2008), Effective education for energy efficiency *Energy Policy*, 36, 3226– 3232

Zélem, M.-C. (2010). *Politiques de maîtrise de la demande d'énergie et résistances au changement: une approche socio-anthropologique*. Paris, France : L'Harmattan.