

2013

Thèse n°

THÈSE

pour le

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ BORDEAUX 2

Ecole doctorale Sociétés, Politique, Santé publique

Mention : Sociétés, Politique, Santé publique

Spécialité : Sciences de l'éducation

Présentée et soutenue publiquement

Le 29 Octobre 2013

Par Mr TINAS Jean-Louis

Né(e) le 16-12-1970 à Trinité

**APPRENTISSAGE D'UN CONCEPT SCIENTIFIQUE :
STATUT DE L'HYPOTHESE DANS LA DEMARCHE
D'INVESTIGATION EN SCIENCES PHYSIQUES**

Membres du Jury

M Patrice VENTURINI, Professeur à l'Université du Mirail Toulouse 2
Rapporteur

M Jean-Marie BOILEVIN, Professeur à l'Université de Bretagne Occidentale
Rapporteur

M Gérard VERGNAUD, Directeur de recherche émérite, CNRS
Examineur

M Johann-Gunther EGGINGER, Maître de conférences à l'Université d'Artois
Examineur

M Bernard N'KAOUA, Professeur à l'Université Victor Segalen Bordeaux 2
Examineur

M Jean-Claude SALLABERRY, Professeur à l'Université Montesquieu-Bordeaux IV
Directeur de Thèse

SOMMAIRE

Introduction	p.3
PREMIERE PARTIE : OUTILLAGE THEORIQUE	p.14
Chapitre premier	
REFORMER L'ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE : UNE PRISE DE CONSCIENCE MONDIALE. L'INVESTIGATION PAR LES ELEVES, UNE REPONSE UNIVERSELLE ?	p.15
Chapitre II	
LES THEORIES D'APPRENTISSAGE : QUELLE DIDACTIQUE POUR ENSEIGNER LES SCIENCES PHYSIQUES?	p.51
Chapitre III	
LE CONCEPT DE REPRESENTATION DANS L'APPRENTISSAGE ET CATEGORISATION DES REPRESENTATIONS	p.81
Chapitre IV	
STATUT DE L'HYPOTHESE DANS LA DEMARCHE EXPERIMENTALE	p.109
Chapitre V	
POINT DE VUE EPISTEMOLOGIQUE ET REFLEXION SUR LA METHODE ...	p.133
DEUXIEME PARTIE : RECUEIL ET EXPLOITATION DES DONNEES	p.171
Chapitre VI	
IMPACT DE L'EXPERIMENTATION SUR LA TRANSFORMATION DES HYPOTHESES INITIALES EN SAVOIRS SCIENTIFIQUES, ETUDE COMPAREE	p.172
Chapitre VII	
LA CONSTRUCTION DE L'HYPOTHESE : LES PARAMETRES IMPORTANTS	p.214
Chapitre VIII	
CONSTRUCTION D'UN SAVOIR SCIENTIFIQUE EN TERMINALE S. FONCTION STRUCTURANTE DE L'HYPOTHESE DANS L'EVOLUTION DE LA PENSEE	p.241
Conclusion et perspectives	p.306
ANNEXES	p.317

REFERENCES.....	p.346
INDEX DES NOMS.....	p.356
TABLE DES MATIERES.....	p.358

INTRODUCTION

La physique et la chimie sont des sciences expérimentales qui se fondent sur la méthode scientifique. Cette méthode consiste pour l'essentiel à répondre aux questions scientifiques grâce à des expériences soigneusement planifiées et exécutées.

Pour illustrer ce propos, considérons la déclaration suivante proposée par Mc Quarrie (1992, p.3-5) :

« L'eau bouillie, chaude, gèle plus rapidement que l'eau froide¹ »

Pour beaucoup, cette assertion paraît fausse car ils peuvent poser que l'eau bouillie, chaude doit d'abord se refroidir avant de se congeler. De ce fait, ils estiment qu'il faudra plus de temps pour la congélation de l'eau bouillie, chaude que pour l'eau froide. Toutefois, un argument n'a pas la valeur d'une expérience, ainsi, rien ne prouve que des arguments issus uniquement de l'intuition ou du bon sens soient valides, ou même pertinents.

La méthode scientifique permet d'apporter une réponse satisfaisante à la situation. Pour tirer satisfaction de cette méthode, il faut définir en premier lieu l'objectif, c'est-à-dire qu'il faut au préalable formuler la question à laquelle on souhaite répondre. Pour la situation considérée précédemment la question peut être:

« Est-ce que l'eau froide se congèle plus rapidement que l'eau bouillie, chaude ? ».

Ensuite, la méthode scientifique se décline selon Mc Quarrie (1992) en différentes étapes permettant de "cerner" le problème :

Tout d'abord, l'objectif étant fixé, il faut récolter des informations et des données en relation avec le problème étudié. Ces données sont de deux types : des données qualitatives qui sont des observations de nature descriptive et des données quantitatives qui sont des valeurs issues de mesures. A l'aide des données recueillies, on cherche ensuite à formuler une hypothèse, c'est-à-dire une proposition qui est avancée comme étant l'explication ou la prédiction possible de l'observation ou du phénomène. L'étape suivante consiste à tester la validité de l'hypothèse. Pour cela, on réalise des expériences. Si l'hypothèse n'est pas invalidée par l'expérience et que les résultats sont reproductibles, on procède à l'étude dans des situations diverses afin de dégager un modèle qui peut se mettre sous la forme d'une relation. Cette

¹ On passe sur l'inconvénient du langage courant, qui ignore la séparation qui fonde l'émergence des deux concepts, chaleur et température, en les séparant (Sallaberry, 2004, p.61) : la chaleur (grandeur extensive) s'écoule entre deux corps possédant des températures différentes. La température, grandeur intensive, ayant les propriétés d'un potentiel. Ici, dans l'énoncé "l'eau bouillie, chaude" il faut entendre "l'eau bouillie, à température plus élevée..."

formulation est appelée loi scientifique, elle n'apporte aucune explication du phénomène. C'est son inscription par la suite dans une théorie qui va apporter une explication à la loi. La théorie est elle aussi éprouvée et peut subir des modifications ou être rejetée.

Ainsi, l'application de la méthode scientifique à l'exemple proposé ci-dessus peut donner :

Objectif	Savoir si c'est l'eau bouillie chaude ou l'eau froide qui se congèle le plus rapidement.
Données	<ul style="list-style-type: none"> • L'eau du robinet contient de l'air à l'état dissous • L'air dissous est chassé au cours de l'ébullition • L'air dissous est chassé au cours de la congélation • La glace qui se forme à partir de l'eau bouillie est translucide. • La glace qui se forme à partir de l'eau du robinet est opaque. • La glace peut contenir des poches d'air qui y sont piégées. • La congélation de l'eau débute en surface et se poursuit vers la profondeur. • Au cours de la congélation de l'eau du robinet, l'air qui n'a pas été chassé s'accumule à un niveau situé entre la glace déjà formée et le liquide sous-jacent.
Hypothèse	Sachant que dans l'eau bouillie l'air qui y était dissous est chassé, il ne se forme pas de couche d'air pour gêner le transfert de l'eau de la phase liquide vers la phase solide. Ainsi, l'eau bouillie, chaude se congèlera plus rapidement que l'eau ordinaire du robinet.
Expérience	Mettre deux verres en plastiques, contenant respectivement de l'eau bouillie, chaude et de l'eau du robinet dans un congélateur. Examiner au cours du temps la congélation des deux eaux.

On note toutefois qu'aucune expérience ne pourra jamais prouver qu'une théorie est correcte. Les résultats expérimentaux peuvent au maximum corroborer une théorie car une ou d'autres expériences peuvent mettre en évidence une imperfection dans ladite théorie. Ainsi, on

considère qu'il est préférable de concevoir des expériences qui visent à réfuter une hypothèse ou une théorie plutôt que celles qui se bornent simplement à la corroborer (Popper, 1985).

Le schéma ci-dessous est généralement proposé pour montrer les interconnexions entre expériences, hypothèses, lois et théories dans la méthode scientifique. Nous reprenons ici celui proposé par Mc Quarrie (1992, p.5).

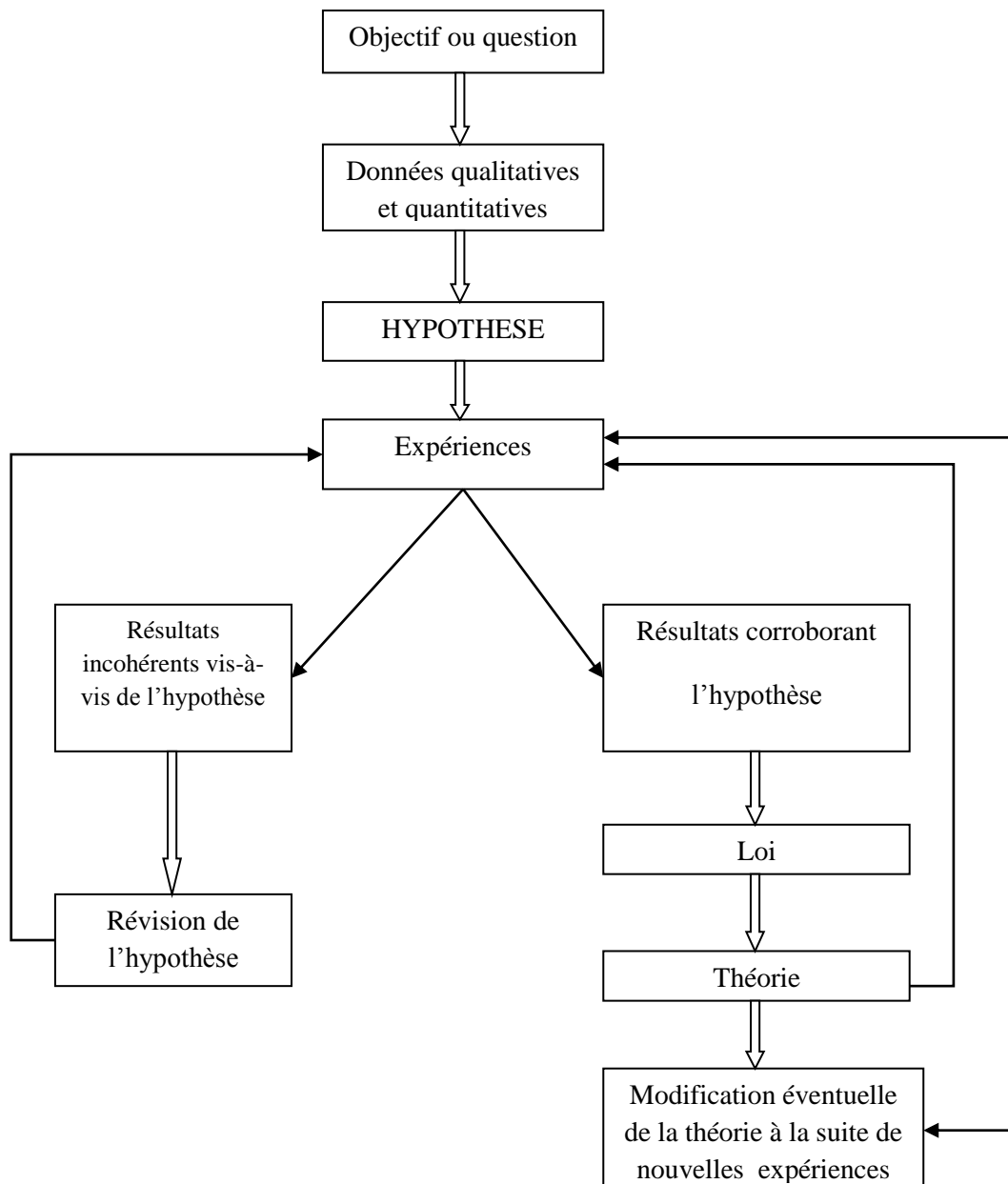


Figure : Rôle interactif des expériences, des hypothèses, des lois et des théories dans la méthode scientifique (Mc Quarrie (1992, p.5))

La figure proposée montre que les théories scientifiques sont sujettes à des révisions continues et la plupart des théories que l'on utilise (exemple : la théorie de Lewis en chimie) présentent des limitations connues. Selon Mc Quarrie (1992), une théorie imparfaite reste toutefois souvent utile, même si on ne peut pas se fier complètement à ses prévisions théoriques. De manière générale, on n'abandonne pas une théorie même si elle présente des imperfections tant qu'une meilleure théorie n'est pas élaborée.

Dans le même temps, notre époque est marquée par la réforme en profondeur de l'enseignement des sciences à l'école, dans le secondaire et même dans le supérieur². Elle préconise avec insistance de faire acquérir par les élèves la méthode scientifique. Les élèves doivent en effet participer activement à la construction de leur savoir, et pour ce faire, ils doivent « revêtir l'habit du chercheur » et utiliser ses méthodes de travail. C'est ainsi que les programmes (B0 N° 5 du 25 Aout 2005) insistent fortement sur la mise en œuvre de l'apprentissage par investigation. C'est une pratique pédagogique qui place l'élève en situation de recherche en s'appuyant sur leur questionnement sur le monde réel. Cette méthode reprend pour l'essentiel les étapes de la figure donnée précédemment.

On propose ci après un exemple de démarche d'investigation pour une classe de niveau cinquième présentée lors d'une réunion de formation disciplinaire à l'attention des professeurs de physique-chimie de l'académie de la Martinique sur la mise en œuvre de la démarche par investigation durant l'année scolaire 2008-2009.

Exemple : Niveau 5ème

NOTION ABORDEE : Conservation de la masse lors d'un changement d'état

PRE-REQUIS : Changement d'état (fusion) ; mesure de masse (instrument, unités)

OBJECTIFS : Mettre en évidence la conservation de la masse lors de la fusion

LES DIFFERENTES ETAPES DE LA DEMARCHE :

Situation de départ : Le professeur amène un Floup pour sa pause goûté ou son dessert et a oublié de le mettre au congélateur. Il reste sur le bureau, en évidence devant les élèves.



² Nouveaux programmes de physique et chimie en première année de CPGE à la rentrée 2013.

Problématisation : recherche de questionnements

Faire chercher individuellement aux élèves quelles questions suscitent chez eux la situation exposée puis pratiquer une mise en commun pendant laquelle on retiendra particulièrement certaines questions (celles qui nous intéressent ...)

Questionnement attendu :

- Y a t il moins à déguster si le Floup fond ?
- Est-il encore bon à manger ?
- A-t-il le même goût ?

Remarque : D'autres questionnements peuvent se poser pour les élèves, il faut y répondre de suite si les connaissances le permettent ou les renvoyer dans un autre chapitre.

Mise en place d'hypothèses :

Faire les élèves chercher individuellement, les réponses intuitives qu'ils donneraient aux questionnements retenus.

Hypothèses formulées :

- Quand c'est liquide, ça doit être moins lourd ! Ce n'est pas dur !
- Il y a du Floup qui s'échappe, car c'est mouillé !
- Ce n'est pas juste, ça doit être étanche, ils ne pourraient pas le fabriquer comme ça ! (emballage étanche, imperméable ?) donc c'est pareil !

Expérimentation :

Faire chercher aux élèves un protocole à suivre pour pouvoir répondre aux questionnements à partir des résultats des expériences proposées.

Après cette étape, il est possible de faire une mise en commun et de retenir éventuellement un protocole commun à suivre mais cette démarche assez fermée se prête volontiers à leur laisser toute liberté d'action.

Protocole expérimental attendu : Peser le Floup solide et après fusion

Faire réaliser aux élèves le schéma (à vérifier) puis l'expérience et les laisser noter observations puis conclusion.

Observations :

Le Floup a la même masse, « glacé » (solide) et fondu (liquide)

Remarque : Il voit qu'il se forme de l'eau sur le Floup lors de sa fusion, il se pose donc la question : « D'où vient cette eau ? » On répond facilement après fusion, il n'y a plus aucune fuite si on essuie le plastique (L'emballage est imperméable). Donc l'erreur de certains groupes, s'ils ne l'ont pas essuyé avant la deuxième pesée (après fusion) est évitée.

Conclusion : A établir à partir des conclusions des élèves.

La masse reste la même lors de la fusion (changement d'état).

Si cette pratique pédagogique est largement préconisée, c'est que l'on considère quelle est plus efficace pour faire apprendre. Néanmoins, elle suscite chez de nombreux enseignants de vives inquiétudes vis-à-vis de la perte de « directivité » et du besoin en temps qu'elle suppose. Dans l'architecture de la démarche, les élèves doivent s'approprier la situation qui est en général tirée de leur contexte de vie. Pour cela, ils doivent parvenir à en faire une situation problème à laquelle il convient d'apporter une réponse. La réussite de la démarche repose sur l'engagement des élèves eux-mêmes puisque pour poursuivre l'investigation, ils doivent donner leur réponse provisoire à la situation problème étudiée : c'est-à-dire élaborer une hypothèse. « L'élaboration de l'hypothèse » est donc une étape très importante de la démarche puisque c'est elle qui va orienter la suite du cheminement pour atteindre les objectifs fixés. C'est en même temps une étape qui semble « aller de soi » tant pour les enseignants que pour les élèves. Un questionnaire (voir Annexe2) autour de la notion d'hypothèse donné à une centaine d'étudiants en 3^{ème} année de licence de biologie et à des étudiants en IUFM autour de la notion d'hypothèse fait ressortir les points suivants :

- L'ensemble des personnes interrogées ont une représentation plutôt convergente de ce qu'est une « hypothèse » : c'est-à-dire « Une explication provisoire d'un phénomène », « l'anticipation d'un résultat d'expérience », « une réponse à une question ». Dans la plupart des cas, les étudiants indiquent qu'ils formulent des hypothèses dans des situations diverses et variées et qu'ils utilisent pour cela leurs connaissances scolaires, leurs acquis personnels et les observations de la situation.

- Pour formuler une hypothèse, les étudiants utilisent des techniques très variées : environ 37% utilisent le conditionnel et font ressortir un caractère incertain dans leur formulation. 15% des étudiants ne savent pas comment procéder, environ 20% donnent une réponse très vague, 11% utilisent une forme interrogative, 8% proposent une affirmation et 6% un raisonnement, déduction.
- Si la majorité des étudiants considèrent que l'hypothèse est importante en science, plus de la moitié n'arrivent pas proposer une explication. D'autre part, seuls 51% des étudiants situent correctement l'étape de formulation d'hypothèse dans la démarche scientifique. 41% situent incorrectement ou de manière peu précise l'étape de formulation d'hypothèse dans la démarche scientifique. 8% des étudiants indiquent qu'ils ne savent pas.
- Seuls 38,7% des étudiants affirment avoir appris à concevoir et à formuler une hypothèse au cours de leur parcours scolaire. Parmi ceux-ci, environ la moitié des étudiants répondent « oui » sans pouvoir dire à quel moment ils ont appris à le faire. Environ 20,4% des étudiants répondent qu'ils n'ont pas appris à formuler une hypothèse, 10,7% répondent qu'ils ont appris de façon implicite tout au long de leur scolarité. Environ 13% ne donnent pas de réponse et 17,2% indiquent qu'ils ont appris par eux-mêmes.
- 32% des étudiants considèrent qu'on ne peut pas parler de bonnes ou mauvaises hypothèses puisque l'hypothèse autorise « l'erreur ». ils sont 29% à opposer « bonnes » et « mauvaises » hypothèses, en attribuant à une « bonne » hypothèse un caractère démontrable, qui se rapproche de la réalité, ou encore comme étant logique et sans incertitude. 20% des étudiants ne s'expriment pas. Néanmoins, ils sont 65% à préciser qu'il faut tenir compte des « mauvaises hypothèses » car permet de faire progresser le raisonnement scientifique.
- Dans leur très grande majorité, les étudiants pensent qu'il est nécessaire de chercher à valider ou invalider une hypothèse pour permettre à l'apprentissage de progresser. De même ils trouvent nécessaire que l'apprenant émette une hypothèse avant tout apprentissage.

L'interprétation de ces résultats montre qu'il n'y a pas une véritable définition de l'hypothèse en science, ni une explicitation de son rôle dans la construction du savoir. Si les étudiants ont une représentation plutôt convergente de ce qu'est une hypothèse, ils ne semblent pas partager des critères communs par exemple pour son élaboration ou pour sa

formulation. « Emettre une hypothèse » semble être une compétence qui s'apprend à mesure avec peut être quelques éléments apportés ici ou là en français ou en histoire. Dans les disciplines scientifiques, on ne trouve aucune référence dans les programmes portant sur la formation de l'élève sur « l'hypothèse en sciences ». Les enseignants de leur côté ne semblent pas sensibles à cet état de fait. Dans leur for intérieur, ils considèrent que les élèves possèdent la compétence « savoir formuler et émettre une hypothèse », sans se préoccuper ni du « quand » ni du « comment ».

C'est précisément à cette étape de la démarche scientifique que s'intéresse ce travail en se donnant comme question de recherche :

« Quelle fonction structurante de l'hypothèse dans la construction d'un savoir scientifique dans le secondaire ? Cas de la démarche par investigation »

En effet, la conjonction du positionnement stratégique de l'étape de formulation d'hypothèse dans la méthode scientifique (ou dans la démarche par investigation) et de sa représentation « évasive » par les acteurs de l'apprentissage constitue une opportunité pour en faire un sujet de recherche. L'hypothèse joue t-elle un rôle dans l'efficacité supposée de la démarche par investigation ? S'il est possible d'apporter des éléments de connaissances supplémentaires sur « l'hypothèse » et de mieux la maîtriser, on pourra dès lors très certainement agir plus efficacement sur l'apprentissage d'un savoir scientifique.

Pour constituer l'outillage théorique « du statut de l'hypothèse en physique-chimie », nous nous proposons dans un premier chapitre de faire un rapide état des lieux de l'enseignement des sciences en France et à l'échelle mondiale. Cet état des lieux nous permet de comprendre la nécessité affichée de mettre en œuvre des réformes qui passent par des pratiques pédagogiques utilisant « l'hypothèse ». Nous saisissons l'occasion pour exprimer notre parcours par rapport à « l'hypothèse ».

Ensuite, dans un deuxième chapitre, nous proposons d'évoquer les théories de l'apprentissage pour repérer la place qu'elles accordent à « l'hypothèse » dans le cas de l'apprentissage (de la construction) des concepts scientifiques. Nous nous appuyons pour l'essentiel sur les travaux de repérage des paradigmes de l'apprentissage (du 20^e siècle) effectués par Sallaberry (2004). Nous tentons d'esquisser une réponse à la question de fond de ce travail, à savoir :

Quelle didactique pour enseigner les sciences physiques dans le secondaire ?

Nous continuons d'enrichir cet outillage théorique par un troisième chapitre qui est consacré au concept de représentation dans l'apprentissage, dans la mesure où les représentations

participent à l'élaboration des « hypothèses ». Nous retenons la catégorisation proposée par Sallaberry (2004).

Il nous paraît ensuite indispensable d'interroger le statut de l'hypothèse dans la démarche expérimentale. Nous cherchons entre autres à repérer le positionnement et l'articulation de l'hypothèse dans la démarche constructiviste d'acquisition du savoir scientifique.

Enfin nous complétons cet outillage théorique avec un cinquième chapitre, qui apporte un éclairage épistémologique. Nous en profitons pour préciser notre positionnement épistémologique grâce, entre autres, à l'apport de Le Moigne (1995). Les méthodes utilisées pour le recueil et l'exploitation des données sont décrites et une réflexion sur ces méthodes est amorcée.

Nous proposons de décliner la présentation et l'exploitation du corpus de données expérimentales recueillies en trois temps :

Le sixième chapitre est consacré à l'exploitation des données recueillies sur l'échantillon « primaire ». Nous proposons de mettre en comparaison deux démarches pour l'acquisition de savoirs scientifiques : l'une utilisant l'expérimentation par les élèves, l'autre opérant simplement par l'écoute de l'enseignant. Nous nous intéressons à la significativité de l'efficacité d'une expérimentation par les élèves sur le processus « déconstruction-reconstruction »³ qui caractérise l'apprentissage selon Giordan (1998).

Dans le septième chapitre, nous cherchons à interroger l'élaboration d'une hypothèse. Quels sont les paramètres ou, mieux, les structures qui semblent être mobilisées pour concevoir une hypothèse ? Pour tenter d'apporter une réponse, le recueil des données va s'opérer sur un échantillon d'élèves de collège. Dans ce chapitre et le précédent, il s'agit de décrire et de caractériser si possible les « états de pensée » des élèves. Pour cela, nous recueillons des énoncés à partir desquels nous inférons des représentations, qui nous permettent, nous l'espérons de caractériser des états de pensée.

Enfin dans le huitième chapitre, nous tentons de repérer non plus des états de pensée mais des processus. Pour ce faire, nous montrons les limites de la méthode précédente et la nécessité de concevoir une nouvelle méthode de recueil des représentations des élèves. Nous portons notre attention sur deux niveaux :

³ Les propos de Giordan sont largement développés dans le chapitre III.

- celui du groupe d'élèves en train d'utiliser le montage électrique et les expériences proposés (nous tentons de repérer, à partir des représentations recueillies étape par étape, les processus à l'œuvre dans l'évolution de la "pensée du groupe")
- celui de deux élèves du groupe, nous tentons de repérer mais aussi de caractériser deux "parcours" personnels.

PREMIÈRE PARTIE

OUTILLAGE THEORIQUE

Chapitre premier

**REFORMER L'ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE :
UNE PRISE DE CONSCIENCE MONDIALE.
L'INVESTIGATION PAR LES ELEVES, UNE REPONSE
UNIVERSELLE ?**

Introduction

La situation de l'enseignement scientifique est aujourd'hui paradoxale : jamais la science n'a autant conditionné nos sociétés, et parallèlement, jamais elle n'a suscité un tel climat de désaveu chez les apprenants (Capelier, 2007). En effet, si pour les étudiants, on parle de désaffection pour les filières scientifiques, dans le secondaire, il est question de désamour (Rapport du Haut conseil de la science et de la technologie, 2004). Pour le primaire, l'enseignement des sciences apparaît comme une discipline non prioritaire contrairement aux mathématiques ou le français. L'inquiétude sur l'avenir de l'enseignement scientifique, et plus largement sur la crise de la science, a engendré de nombreuses études, des travaux et la rédaction de nombreux rapports au niveau national comme au niveau international. C'est le cas de la commission européenne (2008) qui a mis en place des groupes⁴ de travail sur ce thème ou encore l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE, 2006a) qui organise le *Forum mondial* des sciences depuis quelques années. En France, le ministère de l'Education nationale a commandé plusieurs rapports⁵ sur ce thème (Porchet, 2003). Dans un premier temps, nous cherchons grâce à l'analyse de ses rapports, à dresser un état des lieux de la Science et de l'enseignement scientifique dans notre société. Dans un deuxième temps, nous abordons les différentes réformes ((Eurydice, 2006), (Gispert, 2007)), introduites dans l'enseignement scientifique en évoquant le cas de quelques pays. Cette approche va montrer le caractère mondial de cette problématique et va mettre en évidence la convergence des solutions proposées et des stratégies mises en œuvre (Convert, 2006), (Porchet, 2003), (Venturini, 2007).

⁴ High Level Group on Science Education, 2004, 2007 ; Working Group *Increasing participation in Maths, sciences and Technology*, 2003, 2004 ; Eurydice, 2006

⁵ Bach, 2004. Inspection générale, 2001, 2006, 2007

I- Sciences et enseignement scientifique : représentations et état des lieux.

1. Sciences et société

Toutes les disciplines scolaires font l'objet de nombreux débats internes : orientation, contenus, méthodes... Les sciences n'échappent pas à cette logique mais font en plus l'objet d'enjeux de société. De nombreuses questions se posent en effet reliant par exemple les sciences au développement économique du pays, à la contribution de l'enseignement des sciences dans la réussite des citoyens dans leur vie professionnelle et personnelle... Lors du colloque « réussir avec les sciences » en 2003, le Conseil national des programmes faisait constater qu'il serait dangereux pour l'avenir du pays que l'enseignement scientifique décline car la science n'est pas que nuisances et dangers, elle est source de bien être et de progrès social.

L'enseignement scientifique souffre néanmoins d'un réel malaise. Les sciences suscitent chez tout citoyen, une réaction contrastée : soit elles exercent une sorte de fascination, car vecteur de progrès, soit elles provoquent le rejet, car elles font peur. Par exemple une enquête réalisée pour le *Monde de l'éducation*⁶ indique que 33% des Français estimaient que les chercheurs sont dévoués et travaillent au bien de l'humanité contre 53% il y a trente ans. Par ailleurs 41% estimaient que leur pouvoir rendait les scientifiques dangereux. Or les sciences sont partout et leurs applications concernent tout le monde. Les sciences occupent une place sans commune mesure dans notre société ce qui génère une forte demande à leur égard. Dans le même temps, la forte consommation de technologie dans la vie quotidienne banalise les principes scientifiques. La conception des produits de la technologies ne permet plus d'observer les principes scientifiques et les mécanismes, ce qui a pour conséquence de donner un caractère magique aux sciences. Certains considèrent que la période d'euphorie scientifique avec la conquête spatiale est aujourd'hui achevée. En effet, progrès et sciences se confondaient à cette époque glorieuse. Aujourd'hui, le doute semble bouleverser les certitudes scientifiques avec les différentes remises en causes⁷.

⁶ Cf. Le Monde de l'Education octobre 2002.

⁷ Exemples : le problème des pesticides, les catastrophes nucléaires à Tchernobyl et à Fukushima au Japon

2. Sciences et enseignement

Le groupe interuniversitaire responsable du projet Sophia⁸, a publié les résultats de leur recherche dans un article dans la revue internationale d'éducation de sèvre. Ces résultats font état de l'enseignement des sciences dans les cinq pays⁹ intervenant dans ce projet. Les données chiffrées issues de ces recherches menées en Europe à propos des sciences, de leur enseignement ou des représentations qui leur sont associées, montrent que la situation est contrastée. Les personnes interrogées manifestent curiosité et intérêt vis-à-vis de la science, contrairement aux faits qui révèlent un « certain désenchantement ». Par exemple, l'intérêt que suscitent les sciences n'est pas suffisant pour qu'un jeune souhaite faire carrière dans un domaine scientifique. Ce constat est comparable dans tous ces pays. Il y a une baisse d'appétence des jeunes pour les études scientifiques, une déshérence notable de certaines filières scientifiques ou technologiques. D'une façon plus discrète, d'autres indicateurs semblent pointer une tendance plus profonde. Lorsque l'on s'intéresse à certains pays où il est possible de choisir des sujets d'étude optionnels scientifiques, on constate que le désintérêt se manifeste de façon assez précoce : c'est le cas de la Slovénie, où le nombre d'élèves qui choisissent un sujet scientifique optionnel à l'école primaire ou ceux qui optent pour les sciences lors de leur examen terminal à la fin de l'enseignement secondaire décroît de façon constante, passant de 25% à 18% entre 1995 et 2003¹⁰.

Dans le cas de la France si le nombre de lycéens qui conservent une option scientifique après la seconde se maintient, c'est pour des raisons autres que pour un intérêt pour la science¹¹. Donc d'une manière globale, au-delà des différentes formes qu'il peut prendre, il existe un problème de fonds communs à tous ces pays, celui de la désaffection pour les sciences. Les différentes raisons avancées sont les suivantes : tout d'abord, dans la représentation que l'on en fait, « faire des études scientifiques ne fait plus recette », c'est la formule qui pourrait dépeindre la situation. Les études scientifiques sont trop abstraites, trop longues, avec de faibles perspectives de carrières et de salaires. L'avènement de la société de l'information et de la communication a entraîné de profonds bouleversements tels que la prééminence des domaines d'études comme le commerce, la finance ou le management. Un aspect d'ordre psychosocial est aussi évoqué : c'est la volonté pour les

⁸Projet de recherche européen sur l'enseignement des sciences appelé Projet COMENIUS)

⁹ Cinq équipes basées à Chypre, en Irlande, en Slovénie, en République tchèque et en France

¹⁰ Cf. Résultat des enquêtes dans La revue internationale d'éducation de sèvre n°51.

¹¹ Cf. Le monde de l'éducation, octobre 2002.

jeunes de se construire une identité et « être » étudiant. Pour cela, ceux-ci portent leurs choix sur la finance, l'économie, le management, l'art ou encore les sciences humaines. Selon Convert (2006) la « crise de l'emploi » aurait conduit à un « détournement des orientations des étudiants vers les formations professionnalisées, les études les plus convoitées seraient celles qui offrent « les diplômes les plus facilement monnayables sur le marché de l'emploi ».

Pour ce qui concerne l'impact du facteur « méthode d'enseignement des sciences », différents rapports émanant d'institutions internationales montrent que cette question constitue une part importante dans l'explication du problème (OCDE, 2006). Cette question de l'amélioration de l'enseignement scientifique est devenue une préoccupation¹² pour les politiques comme pour les scientifiques. Les conséquences perceptibles sont les récentes évolutions introduites dans l'enseignement scientifique avec des dénominateurs communs pour les différents pays. Partout on privilégie l'approche socioconstructiviste, la nécessité de proposer aux élèves des activités qui favorisent le développement des compétences qu'emploient les chercheurs dans leurs activités, la réaffirmation des enjeux culturels et citoyens de l'enseignement scientifique, la formation des enseignants de sciences pour qu'ils mettent en place dans leur classe des démarches qui « accompagnent la construction du savoir avec l'élève ».

A mesure que les élèves gravissent les degrés de notre scolarité, leur passion pour les sciences diminue. Ainsi, « Jamais La science n'a suscité un tel désaveu de la part des étudiants [...] », « Au fil des ans, certaines filières universitaires se vident dangereusement, menaçant à terme la recherche française. Les filières scientifiques sont en faillites. On parle de chute libre, en effet en cinq ans, de 1995 à 2000, les inscriptions en filières sciences à l'université ont connu un reflux¹³ important de l'ordre de -24%, avec une baisse de -46% pour la filière physique chimie. Plus de 42% des lycéens n'ont pas envie de se lancer dans des études scientifiques, alors que 73% considèrent que le statut de chercheur est socialement élevé, et que 68% pensent que c'est un métier bien rémunéré. C'est en grande partie la réputation d'être des études longues et difficiles qui décourage les lycéens à s'inscrire dans les filières scientifiques. Les jeunes veulent des études courtes, encadrées et professionnalisantes. Ce serait l'une des raisons de cette déroute ».

¹²Le rapport « L'enseignement des sciences dans les établissements scolaires en Europe. Etat des lieux de la politique et de la recherche d'Eurydice » publié en 2006 rappelle dans son préambule que « l'acquisition de compétences et de connaissances dans les matières scientifiques constitue un enjeu crucial pour l'Europe »

¹³ Cf. article dans le Monde de l'éducation, octobre 2002.

Dans le secondaire la situation est tout aussi préoccupante. On parle même de maillon faible ou chaînon manquant concernant le collège et le lycée en matière de culture scientifique. Si l'enseignement scientifique est bien présent dans le secondaire, il s'est transformé en un instrument de sélection et de fabrication sociale de l'élite. Il est totalement coupé de son inscription historique, politique ou philosophique et ne constitue plus un espace de culture scientifique. Soulignons que les filles se détournent massivement des études et des carrières scientifiques¹⁴ : Elles ne sont environ que 43% en série S en terminale contre 82% pour la section littéraire. Dans le supérieur, elles ne représentaient qu'autour de 34% des élèves de sciences et structure de la matière, 18% en sciences et technologie, sciences pour l'ingénieur. Le pourcentage de fille à l'école polytechnique autour de 15% et ceux des écoles nationales d'ingénieurs, environ 7%. Ces données montrent bien le faible engouement des filles pour les filières scientifiques. Pour Mosconi¹⁵, « les choses se jouent dès le primaire », contrairement à l'idée que le collège serait l'étape du décrochage féminin. S'appuyant sur les travaux de Algan¹⁶, cette auteur explique que les interactions entre les professeurs et les élèves ne sont pas les mêmes selon le sexe : « On ne sollicite pas de la même façon les garçons et les filles. Avec ces dernières, on évalue, on vérifie les savoirs acquis. Les garçons sont plus sollicités pour l'acquisition de nouvelles connaissances ». Elle souligne par ailleurs que les filles sont très tôt résignées à l'idée qu'elles ne seront pas heureuses dans les études scientifiques. Les enseignants de leur côté ne pousse guère les filles à s'engager dans cette voie. Certains enseignants considèrent qu'il faudrait « transformer l'image de la science auprès des filles » pour espérer une amélioration. D'autres proposent de regarder du côté de la conception des programmes, qu'il faudrait repenser dans leur globalité. Car pour des contraintes de temps, ils considèrent que l'on a abouti à la conception de programmes en structure de gruyère suite à une suppression de parties explicatives fondamentales, souvent celles qui permettaient aux élèves d'asseoir leurs connaissances sur une compréhension de fond ou d'alimenter leur réflexion citoyenne, sans raison et sans aucune analyse didactique sérieuse de ce que ces résultats pouvaient engendrer. Sans chercher à utiliser d'autres données, on constate que l'état des lieux de l'enseignement des sciences

¹⁴Données extraites dans « le monde de l'éducation » octobre 2002, P.37.

¹⁵Nicole Moscovie est professeur en sciences de l'éducation à Nanterre-Paris-X citée dans la Revue internationale d'Education de Sèvres n°51.

¹⁶Annette Algan est maître de conférences à Nancy citée dans la Revue internationale d'Education de Sèvres n°51.

révèle l'existence d'une crise profonde à laquelle il faut apporter des réponses. Différentes stratégies ont été évoquées pour solutionner cette crise. Pour ce travail, nous nous intéressons à celle concernant l'enseignement scientifique. En effet, réformer l'enseignement des sciences est l'une des principales réponses mise en œuvre à l'échelle mondiale pour répondre à cette crise et pour, mettre en cohérence l'enseignement et les attentes au niveau de la société.

II- Réformer l'enseignement scientifique : une prise de conscience mondiale.

1. Introduction

La *Revue internationale d'Education de Sèvres* n°51 (2009), est entièrement consacrée au thème du renouveau de l'enseignement des sciences. Elle aborde la question du déclin des vocations pour l'enseignement scientifique qui préoccupe aux plus hauts niveaux politiques depuis quelques années, dans pratiquement tous les pays du monde et dans les instances internationales. Si les premiers signes étaient déjà visibles vers 1995, selon Robine (2009)¹⁷, « l'alerte n'est donnée que vers les années 2000, engendrant alors une avalanche d'analyses et de recommandations ». Tout cela se traduit aujourd'hui par la mise en œuvre de nouvelles politiques éducatives, la promotion de nouvelles pratiques pédagogiques et des réformes éducatives. La gestion de cette question dans différents pays montre qu'il y a une convergence dans les objectifs poursuivis et surtout dans les démarches et stratégies adoptées.

2. La mondialisation de l'éducation et ses objectifs.

Avec le passage des sociétés modernes à une ère « post-industrielle » dans les années quatre-vingt dix, la politique éducative a connu un tournant. L'OCDE¹⁸, institution internationale très influente, développe la notion de « capital humain » qu'elle place au centre de la compétition économique mondiale. Ainsi, garantir une éducation de qualité est devenu une préoccupation pour tout pays sur la scène internationale. Dès lors, parmi d'autres, « les compétences d'ordre scientifique et technologique, les aptitudes de base en mathématiques sont affirmées comme essentielles face au défi de la mondialisation ». Ainsi différentes questions dans ce domaine telles que : le déséquilibre fille/ garçon dans les voies

¹⁷ Florence Robine a été Inspectrice générale de l'Education nationale, actuellement Rectrice d'Académie et auteur d'un article dans la *Revue internationale d'Education de Sèvres* n°51.

¹⁸ Organisation de Coopération et de Développement Economique

scientifiques, la « désaffection » sont « portées au plus haut niveau politique en Europe. Il en est de même dans de nombreux autres pays du monde comme par exemple les Etats Unis, ou le National Sciences Board à l'instar de l'OCDE ou de la Commission européenne publie en 2003 un rapport qui souligne que « la future force de la science américaine et de son ingénierie est en danger ». L'introduction et l'extension des évaluations internationales ainsi que les comparaisons concernant les acquis des élèves constituent un autre élément majeur sur la scène mondiale ayant des influences sur les pilotages des systèmes éducatifs, singulièrement sur l'enseignement scientifique. Par exemple, le programme PISA¹⁹ réalisé tous les trois ans est à l'initiative de l'OCDE. Cette enquête a eu des conséquences sur les politiques éducatives dans les différents pays. On constate par exemple une révision des objectifs éducatifs et une convergence pour les stratégies mises en place. On peut évoquer la volonté affichée d'encourager l'orientation des jeunes vers les filières et les carrières scientifiques et technologiques tout en garantissant un enseignement de pointe et par exemple la prise en compte de l'enseignement scientifique dans la formation du nouveau citoyen du XXI siècle : si pour la Chine, Wei (2009)²⁰ parle de « développement social durable », Léna (2003)²¹ pour la France considère qu'il faut lutter contre « l'isolement de la science et développer partout le goût de la culture qu'elle délivre, part essentielle du patrimoine commun moderne ». D'autres auteurs évoquent, dans le cas des pays africains ou d'Europe de l'est tel la Serbie (Stevan, 2009), la nécessité de démocratiser l'enseignement des sciences en développant son apprentissage par tous.

3. Démarches et stratégies communes

Pour tenter d'atteindre les objectifs fixés, les démarches et les stratégies mises en œuvre par les états sont homogènes. Tout d'abord, l'accent est mis sur l'enseignement primaire dans tous les pays. Les politiques éducatives mettent en avant l'efficacité d'un enseignement scientifique le plus tôt. L'opération « la main à la pâte », initiée en France en est un exemple (Charpak, 2005). L'autre stratégie repose sur la formation et le développement professionnel des enseignants. Sur ce point, certains pays considèrent qu'il faut former certains enseignants du primaire car ceux-ci ont reçu une formation scientifique initiale de faible niveau²², d'autres optent pour un approfondissement des enseignants spécialisés dans les disciplines scientifiques afin de faire évoluer leurs pratiques

¹⁹ Programme international pour le suivi des acquis des élèves

²⁰ Wei est citée par Robine dans *la Revue Internationale d'Education de Sèvres* n°51 (2009, p.30)

²¹ Léna est cité par Robine dans *Revue Internationale d'Education de Sèvres* n°51 (2009, p.30)

²² C'est le cas par exemple de la France, la Chine, la grande Bretagne

pédagogiques entre autres, c'est le cas du Sénégal et de la Suède. La coopération internationale est désormais placée au centre des stratégies de l'enseignement des sciences ce qui contribue à renforcer la mondialisation de cet enseignement qui repose sur l'universalité des contenus et des concepts enseignés ainsi que sur le développement de l'utilisation de la technologie.

Pour ce qui concerne les pratiques pédagogiques préconisées pour l'enseignement des sciences, une vision renouvelée de la pédagogie s'est imposée partout (Robine, 2009), (Rocard, 2007), (Ourisson, 2002), (Capelier, 2007), (Charpak, 2005), (Chevigny, 2009), (Goffard, 2005), (Léna, 2003)). Elle est basée sur des démarches actives d'investigation de résolution des problèmes, sur le développement de compétences en lien avec les questions actuelles et les problèmes sociétaux. Prônée désormais par les textes internationaux²³, elle est reprise partout et souvent centrale dans les actions de formation des enseignants et dans les développements curriculaires. Dans le cas de la France, des réformes profondes sont progressivement menées dans l'enseignement des sciences depuis le primaire jusqu'au supérieur. En effet après le primaire, et le collège c'est au tour du lycée de revoir les pratiques pédagogiques utilisées pour l'enseignement scientifique²⁴. La démarche par investigation en science s'impose de plus en plus pour devenir une méthode courante tant pour le professeur que pour l'élève. La question de recherche pour ce travail porte précisément sur une étape incontournable de cette pratique pédagogique, il s'agit de l'étape de formulation d'hypothèse par l'apprenant. En effet de par son positionnement dans le déroulement de la démarche par investigation, de son rôle, de sa nature, et de ses caractéristiques, il s'agit de comprendre son utilité et surtout son impact sur l'efficacité de l'enseignement scientifique.

III- La démarche par investigation en science : exemple de piste universelle pour la rénovation pédagogique de l'enseignement scientifique.

1. Les raisons d'un enseignement par investigation.

La démarche d'investigation est une pratique pédagogique de nature constructiviste²⁵. Elle répond aux objectifs visés par la rénovation des pratiques pédagogiques en sciences. En effet, elle permet selon Robine (2009, p.32-33) « le développement d'une nouvelle citoyenneté éveillée, active, munie de compétences socio-émotionnelles qui favorisent une

²³ Evaluation PISA, rapports de l'OCDE et de la commission Européenne

²⁴ Voir les préambules des différents programmes de physique-chimie de collège et lycée, par exemple B.O.N°8 du 13 octobre 2011.

²⁵ Ce terme sera développé plus en détail dans les chapitres suivants.

vraie insertion positive dans le monde d'aujourd'hui. Elle permet aussi une meilleure compréhension de ce qu'est actuellement l'activité scientifique, basée sur la curiosité, l'inventivité, la recherche plutôt que sur la répétition de savoirs décontextualisés ». L'exemple de «la main à la pâte »²⁶ est une démarche qui s'inscrit dans cette perspective. Son succès sur le plan international démontre que ce type de démarche répond favorablement aux attentes sur le plan pédagogiques de notre époque. Par ailleurs comme le souligne Wei²⁷ (2009, p.37), « l'enseignement des sciences devrait devenir l'une des missions essentielles de la scolarité primaire, puisque cette scolarité primaire est l'un des rouages essentiels permettant d'accroître la littératie scientifique des citoyens. A l'époque où nous vivons, l'enseignement des sciences ne se résume en aucun cas à la fabrication de scientifiques et devrait par là-même bénéficier à chaque étudiant plutôt qu'à une élite ». Wei (2009, p.37) explique la nécessité d'enseigner les sciences très tôt car elle considère qu' « un grand nombre d'élèves de l'école primaire occuperont à l'avenir un emploi lié aux sciences... ». Dans cette optique, les contenus d'enseignement et les manières d'enseigner doivent évoluer avec le développement de la société humaine, il est nécessaire que cette société soit armée d'un esprit de synthèse qui lui permette de résoudre avec efficacité les problèmes qu'elle découvre et par ailleurs, elle doit posséder des compétences socio-émotionnelles. L'enseignement fondé sur l'investigation scientifique est une approche pédagogique qui permet d'acquérir ces compétences et donc se révèle efficace pour atteindre ces objectifs (Robine, 2009).

En effet, selon Robine(2009) l'enseignement traditionnel des sciences s'effectue par une approche pédagogique déductive descendante pour faire passer les connaissances. Dans cette approche, l'appui expérimental sert à illustrer les connaissances dispensées en classe, à consolider leur compréhension et peut constituer des applications. Dans le cadre d'un enseignement des sciences par investigation scientifique, il s'agit d'une approche pédagogique inductive de construction des connaissances qui va du bas vers le haut. Ce type d'approche place l'élève au cœur de son apprentissage en l'érigeant en « petit chercheur » contrairement au précédent. Il mobilise un contexte d'apprentissage familial à l'apprenant et lié aux concepts dépendant du sujet. Ainsi, on attend des apprenants qu'ils identifient et soulèvent des questions portant sur leur environnement direct et, après des discussions interactives avec leurs enseignants et leurs camarades, qu'ils se concentrent sur une problématique qu'ils vont explorer plus avant. Ces élèves collectent des données, conduisent

²⁶ Collectif, La Main à la pâte. Les sciences à l'école primaire, présentation G.Charpak, Ed. Flammarion, 1996.

²⁷ Cf. article dans Revue internationale d'Education de Sèvres n°51, « réforme de l'enseignement des sciences en Chine »p.37.

des analyses et parviennent à certaines conclusions. Tout ceci s'élabore dans une « communauté d'apprentissage » composée d'élèves et d'enseignants : les enfants élaborent les connaissances qu'on s'attend qu'ils possèdent, à partir de l'écriture, de la communication verbale et de la discussion. Ce faisant, les élèves prennent l'initiative dans le processus d'apprentissage. Leur implication n'est pas seulement mentale, elle est également physique... Ce type d'enseignement est une simulation des principaux moments des processus permettant aux scientifiques de découvrir des connaissances. En effet on y retrouve les étapes d'élaboration de questions, de conception de plans d'exploration pour la collecte des données, l'élaboration de conclusion à partir de l'analyse de ces données ainsi que l'expression et la communication des résultats. Cette pratique pédagogique peut aussi être considérée comme « une simulation de pratique sociale » selon Wei (2009).

L'approche psycho-cognitive développée par Piaget (1979) vient renforcer cette orientation en faveur d'un enseignement scientifique par l'investigation. L'accent mis sur la découverte par soi-même dans le cadre de l'enseignement par investigation personnelle trouve son origine dans la théorie de la construction de Piaget (1979). Selon cette théorie, l'apprentissage ne peut être séparé du contexte social de l'apprenant. Un autre aspect concerne le rôle important joué par le langage dans le développement mental. Cette approche rejoint la perspective de Vygotsky (1985), ainsi que le concept d'« échafaudage » qui est maintenant largement accepté dans le domaine de l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation personnelle. La biologie moléculaire contemporaine fournit des preuves solides qui permettent de défendre et d'étendre la perspective définie par Vygotsky (1985). Les mécanismes moléculaires de la mémoire à long terme prouvent que l'information que nous stockons dans notre cerveau dépend de processus continus de construction qui créent des synapses entre les neurones et ne dépend pas seulement de facteurs génétiques, mais également fortement de l'environnement. Outre l'école, la famille, les pairs, la communauté et la société dans son ensemble font partie du contexte d'apprentissage de l'enfant qui est un environnement vital pour son développement.

Les découvertes récentes en matière de neurosciences ainsi que les retours concernant de nombreux projets d'enseignement des sciences fondés sur la recherche personnelle corroborent tous l'idée que ce type d'enseignement est une façon d'apprendre qui place l'élève au centre. Les élèves mènent de façon active un processus d'exploration qui les engage physiquement et mentalement, processus conduit, organisé et facilité par les enseignants eux-mêmes. Néanmoins, si l'on s'écarte de l'engouement que suscite cette pédagogie qui est entrée dans « l'air du temps », il est légitime de chercher les raisons scientifiques qui

expliquent ce qui semble admis, à savoir que cette méthode d'enseignement scientifique est plus efficace que le mode d'enseignement pratiqué jusqu'à récemment où l'élève ne participe pas à la construction de son savoir, mais où il le reçoit de la part du maître. Quel intérêt de commencer cette pédagogie très tôt ? En quoi une démarche active utilisant l'investigation est-elle plus efficace ? Quelles compétences sociales, relationnelles, langagières, sont développées par cette pratique pédagogique ? On s'intéresse dans ce travail de recherche à l'une de ces problématiques, à savoir : l'efficacité de cette méthode pédagogique dans l'apprentissage d'un concept scientifique. Cette problématique conduit de manière évidente à s'intéresser aux questions suivantes : « En quoi une démarche par investigation est-elle plus efficace dans l'apprentissage d'un concept scientifique ? Peut-on mettre en évidence les éléments scientifiques dans cette démarche pédagogique qui laisseraient entrevoir la réussite de cette politique de rénovation de l'enseignement scientifique ? »

Dans la suite on aborde l'effectivité de la mise en œuvre de cette démarche, et le recensement des résultats déjà disponibles des évaluations de cette rénovation de la pédagogie en science. Ensuite, une analyse de l'architecture de cette nouvelle pratique pédagogique va permettre de mieux cibler la question de recherche.

2. Mise en œuvre de la démarche par investigation : effectivité et bilan.

Nous nous appuyons ici sur les propos développés par Robine (2009). La démarche d'investigation est préconisée à l'école primaire avec une volonté marquée de prendre en compte les conceptions et raisonnements des élèves dans des jeux de prévision/ confrontation aux résultats de l'expérience mais aussi l'utilisation de démarche hypothético-déductive. Aujourd'hui il est admis que les enfants se font une image préconçue ou erronée de quelques « grandes idées » ou concepts clefs en matière de sciences avant même qu'ils n'assistent à leur premier cours de science. On parle de représentation initiale de l'enfant. Par exemple les apprenants ont leur représentation initiale de la chaleur, du courant électrique, de la lumière, du froid. De nombreux auteurs tel que Giordan (1998), considèrent que les représentations initiales des apprenants doivent être prises en compte dans l'acte d'apprendre. Cette prise en compte doit se faire par une émergence de ces représentations initiales en début d'apprentissage du concept. Dans l'approche par investigation²⁸, un espace est consacré à l'expression de l'apprenant sur le concept en construction. Il peut être considéré comme un moment opportun pour la prise en compte des représentations initiales de l'apprenant.

²⁸ Voir canevas de la méthode ci-dessous.

Les nouveaux programmes du cycle central de collège ainsi que ceux des classes de seconde, première et terminale prônent le développement de la démarche d'investigation chaque fois que cela est possible. Pour ce qui concerne le bilan de cette pédagogie active par « investigation », si les évaluations restent encore limitées, il est intéressant de noter cette interrogation concernant les bases théoriques sur lesquelles reposent cette pratique pédagogiques actives comme l'indique Robine (2009, p.33) : « au-delà des impressions, de la sensation profonde que ces stratégies actives sont plus en phase avec les attentes des jeunes, avec leur rapport aux savoirs, et plus à même de les attirer vers les sciences, il convient de se demander si l'on peut asseoir ces réformes didactiques et pédagogiques sur des éléments conceptuels plus solides ». Certains auteurs abordent cette question dans leur pays respectifs. Il est légitime de prendre en compte les résultats obtenus dans ces pays compte tenu de la mondialisation de l'enseignement des sciences évoquée plus haut ainsi que de la convergence des stratégies adoptées pour la rénovation de cet enseignement. Tout d'abord le cas de la Chine est évoqué dans l'article de Wei (2009, p.35) « Un programme pilote d'apprentissage par la pratique ». C'est une réforme fondée sur le programme « Apprendre en faisant », résultats d'une importante collaboration internationale sur la réforme de l'enseignement des sciences auprès des enfants. En effet « en 2001, le ministère de l'éducation de la République populaire de Chine (MOE) et l'Association chinoise pour la science et la technologie (CAST) ont lancé de concert un programme pilote articulé autour d'une réforme de l'enseignement des sciences fondée sur l'apprentissage par la pratique²⁹... Il s'agit d'un programme d'enseignement des sciences centré sur l'élève, organisé et facilité par les enseignants et fondé sur la notion d'investigation scientifique. » Selon Wei (2009, p.39), « les recherches menées de façon théorique et pratique, montrent que cette manière d'enseigner améliore considérablement la capacité qu'ont les élèves d'approcher les problèmes de façon intégrée, tout comme cela accroît leurs compétences socio-émotionnelles –tout spécialement leur interaction, leur coopération et leur communication verbale. Enfin, cela les fait réfléchir à une façon de vivre qui soit compatible avec une économie fondée sur la connaissance et avec la société du XXI^e siècle. » Selon Wei(2008), la mise en œuvre du programme « Apprendre en faisant » a exercé une influence considérable sur la réforme de l'enseignement en Chine à cause d'une part de sa diffusion réussie dans le public mais aussi parce que les expériences accumulées ont été reçues de façon positive. Durant la décennie de mise en œuvre de la démarche, les scientifiques ont contribué, en collaboration avec les équipes enseignantes à

²⁹ C'est le programme « apprendre en faisant ».

« combler le fossé entre les sciences de l'éducation, les sciences cognitives et les neurosciences ». Selon l'auteure, « la recherche scientifique a permis d'éclairer la nature de l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation personnelle ainsi que les cheminements les plus adéquats permettant de le mettre en place. »

Une autre situation tirée du contexte de l'enseignement des sciences dans les écoles primaires au Royaume-Uni vient corroborer l'efficacité d'un enseignement scientifique utilisant la pédagogie de recherche par rapport à une pédagogie de la transmission. En effet, selon Harlen (2003), les moyens alloués au cours des années qui ont suivi l'introduction des sciences comme matière obligatoire dans les écoles primaires n'ont pas été reconduits. Cela a poussé les enseignants à recourir à la pédagogie de transmission plus fréquemment qu'au développement de la pédagogie de recherche. Harlen (2003) souligne que « le rapport que les enfants entretenaient avec les sciences au travers de leurs expériences et de leur environnement quotidiens a été sacrifié » ; Par ailleurs, il précise que « les études ont montré une baisse de l'intérêt que les enfants portent aux sciences et de la confiance en leur capacité à les étudier, comme le montre l'étude du TIMSS de 2007 » (Sturman, 2008).

3. Apprentissage par démarche d'investigation : architecture de la démarche.

Nous nous appuyons sur les préambules des bulletins officiels³⁰ (B.O. 2001) de l'Education Nationale. Le concept d'apprentissage par soi-même est devenu une manifestation tout à fait populaire de l'apprentissage fondé sur l'investigation personnelle. Dans ce concept, durant le processus d'apprentissage, les élèves sont capables de découvrir et apprendre les sciences par eux-mêmes, alors que les enseignants doivent moins communiquer et donner moins d'instructions afin de leur laisser davantage de liberté. En somme, les connaissances qu'ils acquièrent sont moins importantes que le processus d'acquisition lui-même. Dans le cadre d'une approche par investigation, les élèves sont amenés à soulever des questions à partir d'une situation déclenchante tirée de leur environnement quotidien. Grâce à un dialogue interactif dans la classe et encadré par l'enseignant, émerge une problématique que les élèves vont explorer plus attentivement. Cela passe par la formulation et l'émission d'hypothèses, suivi de l'élaboration puis de la mise en œuvre d'une activité leur permettant de collecter des données. Cette étape peut être l'occasion d'une expérimentation scientifique. L'analyse et l'exploitation des données permettent ensuite d'établir une conclusion au regard des hypothèses de départ. Dans cette approche, l'élève est au centre de la construction de son

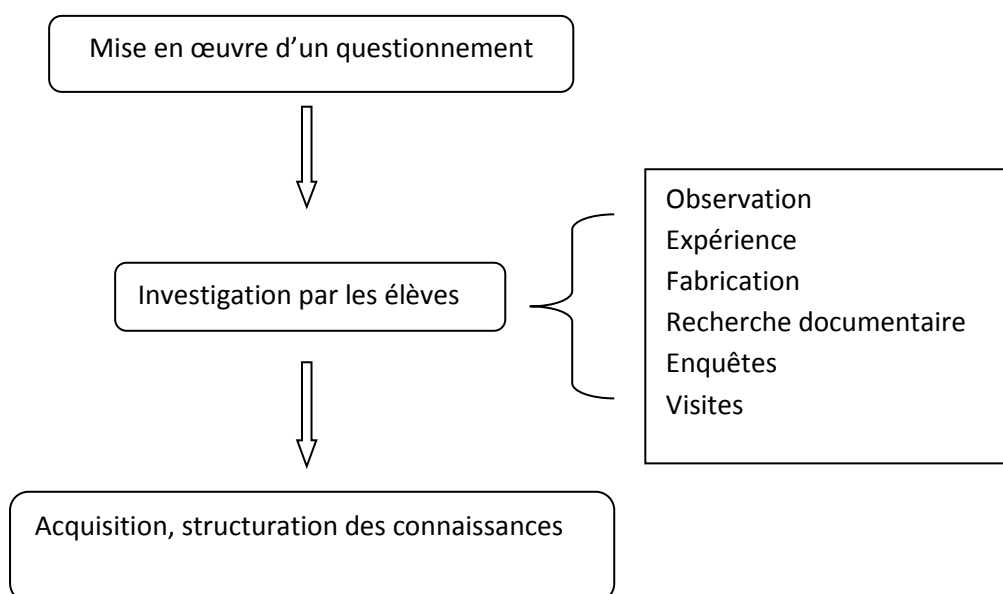
³⁰ Par exemple le B.O. N°8 du 13 octobre 2001

savoir. Il participe activement au processus d'apprentissage. On retrouve ici les grandes étapes suivies par le scientifique dans la construction des connaissances.

Pour résumer, un enseignement par démarche d'investigation est :

- Une pratique pédagogique qui place les élèves en situation de recherche en s'appuyant sur leur questionnement sur le monde réel.
- Dont l'objectif est de permettre aux élèves de mener des investigations avec l'aide du professeur qui doivent déboucher sur :
 - L'acquisition de connaissances
 - L'acquisition de compétences méthodologiques.
 - La mise au point de savoir faire techniques.

D'un point de vue schématique on distingue trois temps forts selon:



Mais dans sa mise en œuvre pratique avec les élèves d'une classe, le canevas³¹ d'une séquence d'investigation fait intervenir sept moments essentiels dont l'ordre ne constitue pas une trame à adopter de manière linéaire :

Etape 1-Choix d'une situation déclenchante par le professeur.

Les objectifs visés sont:

³¹ Cf. BO n°5 du 25 août 2005

- Repérer les acquis initiaux des élèves.
- Identifier les conceptions ou représentations initiales des élèves ainsi que les difficultés persistantes.
- Aménager le projet d'enseignement en fonction de ces différents éléments

Etape 2-Appropriation du problème par les élèves.

C'est un travail guidé par l'enseignant pour faire émerger des éléments de solution proposés par les élèves dans le but de :

- Aider à reformuler les questions pour s'assurer de leur sens.
- Recentrer sur le problème à résoudre qui doit être compris par tous.
- Permettre de travailler sur leurs représentations initiales,
- confronter les divergences pour favoriser l'appropriation du problème à résoudre par la classe.

Etape 3-Formulation d'hypothèses explicatives, de protocoles possibles.

- Formulation orale ou écrite d'hypothèses par les élèves (ou les groupes)
- Communication à la classe des hypothèses et des protocoles expérimentaux proposés.

Etape 4-Investigation conduite par les élèves

- Moments de débat interne au groupe d'élèves,
- Contrôle de l'isolement des paramètres et de leur variation, description et réalisation de l'expérience -(schémas, description écrite)
- Description et exploitation des méthodes et des résultats. (Recherche d'éléments de justification et de preuve, confrontation avec les hypothèses formulées précédemment.)

Etape 5-Echange argumenté autour des positions élaborées.

- Communication au sein de la classe des solutions élaborées, des réponses apportées, des résultats obtenus, des interrogations qui demeurent;
- Confrontation des propositions, débats autour de leur validité, recherche d'arguments.

Etape 6-Acquisition et structuration des connaissances

- Mise en évidence, avec l'aide de l'enseignant, de nouveaux éléments de connaissance (notion, technique, méthode) utilisés au cours de la résolution.
- Confrontation avec le savoir établi en s'inspirant des productions auxquelles les groupes sont parvenus.
- Recherche des causes d'un éventuel désaccord, analyse critique des expériences faites et propositions d'expériences complémentaires.
- Reformulation écrite par les élèves, des connaissances nouvelles acquises en fin de séquence avec l'aide du professeur.

Etape 7-Opérationnalisation des connaissances

- Exercices permettant d'automatiser certaines procédures, de maîtriser les formes d'expression liées aux connaissances travaillées.
- Nouveaux problèmes permettant la mise en œuvre des connaissances acquises dans de nouveaux contextes (réinvestissement).
- Evaluation des connaissances et des compétences méthodologiques.

IV- La formulation d'hypothèse : une étape clé de la démarche d'investigation.

1. La formulation d'hypothèse : une nécessité pédagogique

Il convient de constater que le recours à l'hypothèse est aujourd'hui clairement précisé dans l'acte pédagogique en science³² (de Vecchi, 2006). L'une des raisons se trouve très certainement dans le fait que les enfants dès leur plus jeune âge, développent des idées³³ sur le monde qui les entoure, que nous leur enseignons ou non la science. Les recherches en didactique démontrent ce point de manière irréfutable dans le domaine de la physique selon les travaux de Delacôte et Tiberghien (1976), ainsi que les travaux de Driver (1985) et Anderson (1986), Giordan et Martinand (1986) pour la biologie, cités par Goffard (2005). Si ces idées se fondent sur des observations fortuites, des événements non étudiés et l'acceptation des « on dit », ce seront probablement des idées non scientifiques, des idées ordinaires. Beaucoup d'idées de ce genre entourent les enfants et ils peuvent se les approprier.

³² Cf. aussi B.O. du 25 Août 2005.

³³ Comprendre « schémas explicatifs »

Par exemple : « l'électricité circule mieux si le fil n'est pas tordu ». Les mythes sont très répandus en particulier dans les slogans publicitaires et ils influencent l'interprétation que les enfants se font de leurs propres expériences avec le monde selon Harlen (2004).

Laissés à eux-mêmes, les enfants n'empruntent pas seulement des idées par ouï-dire, mais ils vont aussi élaborer des idées qui ont une apparence scientifique. Par exemple, ils concluent souvent de leurs observations qu'« une force est nécessaire pour mettre en mouvement un objet et que celui-ci s'immobilisera en l'absence de force ». Ils pensent que « les objets lourds coulent et les objets légers flottent ». Toutes ces idées, comme celles qui sont acquises par ouï-dire, peuvent aisément être soumises à l'expérience avant d'être acceptées. L'éducation scientifique des enfants doit précisément les conduire dans cette voie, et leur fournir les méthodes et outils nécessaires. Ils auront ainsi la possibilité non seulement de modifier leurs idées, mais aussi d'apprendre à rester sceptiques devant des vérités proclamées jusqu'à ce qu'il y ait des preuves pour les appuyer. Ils finiront par comprendre que toutes les idées ne sont que des hypothèses de travail, des explications provisoires dont l'« exactitude » ne pourra jamais être démontrée, mais qu'elles sont utiles aussi longtemps qu'elles « collent » aux résultats de l'expérience selon Harlen (2004, p.12). L'étape de formulation d'hypothèse est donc très importante dans cette approche pédagogique dans la mesure où elle constitue une articulation nécessaire entre la question (palpable) tirée du contexte de l'apprenant et l'expérimentation avant les étapes de formalisation plus abstraites. Chacun sait maintenant que l'observation seule n'est pas suffisante et que l'élaboration des savoirs théoriques ne va pas « des faits à la théorie » car il faut nécessairement s'être posé, au préalable un certain nombre de questions. Aujourd'hui les approches pédagogiques, notamment la démarche par investigation, proposent que l'apprenant autonome et créatif construise son savoir, on parle de constructivisme³⁴, c'est-à-dire que l'apprenant doit trouver la réponse à sa question en construisant son savoir. Cette participation consciente de l'apprenant permet à l'acquisition de s'installer et d'être plus stable. Pour ce faire, l'enseignant doit concevoir des situations appelées situations-problèmes ou situations déclenchantes en s'appuyant sur le quotidien de l'apprenant afin de faire surgir chez celui-ci des questions. Dans l'étape suivante de formulation d'une idée ou d'une hypothèse, c'est l'élève qui devient acteur du processus d'apprentissage dans la mesure où la suite de la démarche va dépendre de l'hypothèse qu'il aura proposé. En effet c'est en s'appuyant, sur son hypothèse que l'apprenant avec l'aide de

³⁴ Ce terme sera développé plus en détail dans les chapitres suivants.

l'enseignant va installer des situations de travail³⁵ pour permettre de structurer son intelligence et construire son savoir. C'est une démarche spiralaire (Robine 2009) car elle associe structure de pensée et structure de connaissance, les deux se trouvant liées dans l'activité intellectuelle et pratique de l'enfant : « il doit agir pour comprendre », « il doit comprendre pour agir ». L'enseignant doit donc tenir compte en même temps, des contenus à installer et des capacités structurelles de la pensée.

Il est important de commencer cet apprentissage très tôt. D'une part, les enfants comprennent que ne sont utiles que les idées qui se conforment aux observations. D'autre part, ils sont moins enclins à formuler ou à accepter des idées communes opposées aux observations et aux concepts scientifiques. Des résultats de recherche indiquent que « des idées non scientifiques sont d'autant plus difficiles à corriger qu'elles sont acquises depuis longtemps. Par exemple, beaucoup d'enfants arrivent au collège sans connaître les notions scientifiques dont ils ont besoin et, pire encore, leurs idées erronées leur interdisent de comprendre les cours de sciences » selon Osborne et Freyberg, (1982, 1985) cités par Harlen (2004, p. 12). La science est difficile à apprendre, et d'autant plus difficile si elle n'est pas reliée aux images qu'ils construisent à partir de leur expérience. Par exemple, en séance de travaux pratiques, nous constatons habituellement que la majorité des élèves répondent que la masse du pendule pesant agit sur son rythme d'oscillation. Ils sont nombreux à manifester leur étonnement en soumettant cette idée à l'épreuve de l'expérimentation. Il en est de même de l'acceptation du mouvement relatif du Soleil par rapport à la Terre. Ainsi, les activités scientifiques proposées aux enfants à l'école doivent leur permettre de développer une attitude scientifique et s'appuyer sur le fait que l'enfant comprend en observant et en agissant lui-même. L'apprenant doit trouver une satisfaction dans le fait que les idées qu'il accepte s'accordent avec ce qu'il observe dans son environnement. Selon Giordan (1998), « c'est en confrontant ses idées aux observations, à un examen critique, que se développe son attitude scientifique. L'éducation scientifique doit donc permettre le développement simultané des compétences, des attitudes et des concepts. Pour atteindre ces objectifs, elle doit partir des idées initiales des enfants à savoir leurs hypothèses, pour les amener à une vision scientifique fondée sur l'observation ». Selon Giordan (1998, p.118) « c'est en expérimentant (un geste), en testant une hypothèse, en soupesant une idée que l'on apprend ». Il ne suffit donc pas d'engranger l'expérience d'autrui ou d'écouter l'autre pour apprendre. Par ailleurs, la simple confrontation à l'autre

³⁵ Elles peuvent être expérimentales ou documentaires.

aide à avancer car la dynamique du binôme ou du groupe entraîne des modifications des idées ou des façons d'appréhender l'environnement par opposition à Piaget (1961).

En effet, de nombreuses recherches en didactique des sciences montrent que les apprenants possèdent, avant d'aborder tout enseignement, des idées sur les questions étudiées que nous appelons représentations initiales par exemples, Anderson(1986); Driver(1985); Giordan et Tiberghien, (1987). Ces « représentations » ont une certaine stabilité, et l'apprentissage d'une connaissance, d'une démarche, en dépendent. Ces mêmes travaux suggèrent que pour construire un savoir scientifique, l'apprenant doit transformer ses « représentations initiales ». De même, des chercheurs comme Astolfi (1998), considèrent qu'à tous les niveaux, les apprentissages ne viennent pas remplir un espace vide dû à l'ignorance, mais que ceux-ci sont en concurrence avec ce que les élèves savent ou croient déjà savoir. Balpe (1995) et Astolfi (1998) considèrent que la non-prise en compte de ces conceptions initiales peut faire obstacle aux apprentissages. Giordan et de Vecchi (2002), par contre se demandent si le fait de considérer ces conceptions initiales ne pose pas plus de problèmes que le fait de les ignorer.

2. La formulation d'hypothèse : une forme d'émergence des représentations initiales de l'apprenant.

Pour comprendre les résultats des recherches sur la transformation des représentations initiales en savoir scientifiques construits, il est important au préalable de définir le concept de représentation initiale en pédagogie, ainsi que ce qui les distingue du savoir scientifique construit. Le terme « initiale » est parfois remplacé par celui de « naïve ». En effet le terme « naïve » prend en compte aussi bien les connaissances communes ou quotidiennes partagées socialement, que les connaissances spontanées mises en œuvre par des individus dans des situations particulières. De même, le terme « connaissances » renvoie à celles d'une personne alors que le terme « savoir » renvoie à une institution sociale. Il y a encore quelques années, les idées « fausses » des enfants étaient considérées comme relevant de la bêtise. Aujourd'hui elles sont considérées autrement. Viennot (1985) cité par Goffard (2005) tente, par exemple, de les répertorier car elles ne correspondent pas à des « mots en l'air », mais possèdent une signification et peuvent être la manifestation d'un mécanisme intellectuel profond. On les appelle les « conceptions » ou représentations initiales.

Pour ce qui concerne la terminologie du mot représentation, elle est diverse. Nous nous appuyons pour ce qui suit sur les propos de Astolfi (1998). On utilise parfois l'expression « représentations préalables » qu'il faut écarter dans la mesure où ce qui caractérise les

représentations, c'est leur capacité à resurgir malgré les efforts didactiques. L'expression anglaise, « *misconception* » (conception fausse) qui est parfois utilisée retient pour sa part leur aspect de fausseté vis-à-vis du savoir légitimé, or ce qui assure leur pérennité, c'est plutôt leur valeur explicative et fonctionnelle pour l'élève qui les véhicule. C'est par contre le terme de « conceptions alternatives » qui s'est imposé dans la littérature internationale. Il signifie en effet que les représentations correspondent à une alternative conceptuelle chez les élèves par rapport aux objectifs d'enseignement, occupant mentalement la même « valeur » qu'eux. Le mot « représentation » est très utilisé en psychologie génétique et cognitive ou en sociologie. Dans la littérature, le mot « représentation » est souvent employé mais est aussi ouvertement remplacé par celui de « conception » qui met l'accent sur le fait qu'il s'agit d'un ensemble d'images, de modèles présents chez l'apprenant, avant même qu'une activité quelconque d'apprentissage ne débute. Dans ce travail de recherche, ces deux mots sont employés sans distinction.

La nature des représentations initiales demande de tenir compte de leur aspect multidimensionnel et de leur complexité. Pour Sallaberry (1996), cette complexité se déploie sur quatre axes : Tout d'abord la représentation fonctionne à la fois comme processus, comme produit et comme processeur. Elle véhicule du sens. Elle est toujours à la fois représentation d'un objet par un sujet, mais aussi représentation d'un sujet. Enfin elle est toujours engagée dans une dynamique « intérieur/extérieur ». Ce dernier aspect désigne ce qui permet d'articuler l'individuel et le collectif. D'après Sallaberry (1996), « Une représentation est ce qu'échangent deux instances qui interagissent ; leur interaction se réalise par la construction, la modification, la circulation des représentations ».

Les points de vue de Giordan (et al, 2002) et Astolfi (1998) apportent de leur côté un précieux éclairage. La conception correspond d'abord à une structure sous-jacente.

Elle correspond ensuite à un modèle explicatif organisé, simple et cohérent. Par exemple, lorsque l'on demande à des élèves de représenter le tube digestif de l'homme, les schémas réalisés mettent en évidence une conception fausse qui montre un conduit unique qui part de la bouche et qui se sépare en deux chemins différents, un pour aliments solides, l'autre pour les liquides. Cette représentation est certes erronée, mais elle reste logique selon Giordan (et al., 2002). L'enfant se construit un modèle explicatif, simple et logique à partir de ce qu'il connaît de sa propre réalité : les aliments entrent par la bouche et les produits de leur transformation, urine liquide et excréments solides, ressortent par deux autres orifices spécialisés. Cela pourrait expliquer la ténacité des conceptions face à l'apport de connaissances qui sont souvent plus complexes et ne donnent pas une explication aussi simple

et claire des phénomènes observés. Les enfants possèdent un certain nombre de conceptions, et c'est avec elles qu'ils tentent d'interpréter les phénomènes et le monde qui les entourent.

De plus, la conception est en rapport avec le niveau de connaissances et l'histoire de l'apprenant. Ainsi, lorsque des élèves de primaire sont face à des phénomènes dont l'explication n'est pas immédiate, les représentations qu'ils font intervenir sont surprenantes. Par exemple, presque tous agissent comme si le froid et le chaud étaient des substances. Ainsi, les conceptions que les apprenants ont de la réalité dépendent de l'évolution de leur système cognitif au plan psychogénétique. Cela renvoie aux travaux de Piaget sur la conservation de la matière (Piaget, 1961).

Une conception est personnelle et elle peut évoluer. Chacun possède un ensemble de représentations qu'il utilise pour expliquer son environnement. Cependant, beaucoup d'apprenants possèdent des représentations similaires qui se retrouvent d'une classe à l'autre. Pour ce qui est de l'évolution des représentations, elle correspond à une construction progressive du savoir. C'est une transformation lente et complexe qui se réalise par un phénomène d'« appropriation », à travers les situations vécues. Certaines représentations peuvent ainsi faire obstacle en limitant ou en empêchant l'acquisition du savoir, ce sont les « conceptions-obstacles » qu'il faut prendre en compte dans la démarche pédagogique (Astolfi, 1998).

Enfin, une conception dépend du contexte socio-culturel dans lequel elle est émise. En effet, les termes utilisés dans le langage ainsi que les images pour désigner un objet ou un phénomène varient en fonction du milieu social et culturel (Giordan, 2002). Ils contribuent à la construction de représentations fausses chez les enfants lesquelles sont en désaccord avec ce que véhiculent les mots scientifiques employés à l'école. Ainsi, le langage est porteur de représentations sous-jacentes qui peuvent être très fortes et qui font que les conceptions sont très variées suivant le milieu et la situation vécue.

Nous retiendrons en nous appuyant sur Giordan (2002) qu'une conception est multidimensionnelle, elle correspond à une structure de pensée sous-jacente, à un modèle explicatif simple, logique et organisé, dont les origines sont diverses, et qui peut être utilisé dans une situation donnée pour poser ou résoudre un problème. Ces représentations sont détectées par les enseignants dès les classes maternelles ; elles sont également présentes à l'école primaire, au collège et au lycée, ainsi que chez les adultes. Cela traduit ainsi leur grand pouvoir de persistance, et constitue un des points délicats de leur approche pédagogique. Chacun de nous possède une somme de conceptions. Celles-ci constituent le

substrat de la connaissance et, « apprendre » c'est peut-être faire évoluer ses propres représentations en relation avec les grands concepts scientifiques. Pour cela, il convient de les faire émerger avant de les prendre en considération. Dans la démarche par investigation, l'étape de formulation d'hypothèse constitue un moment où l'apprenant exprime sa représentation du phénomène ou de la situation- problème qu'on lui expose. C'est donc un moment privilégié où l'enseignant s'informe de la représentation initiale de l'apprenant, c'est-à-dire le schéma explicatif que dispose l'apprenant pour s'expliquer la situation-problème avant tout apprentissage du savoir scientifique. Dans cette optique, l'enseignant doit disposer de critères pour permettre l'émergence et la prise en compte des représentations initiales de l'apprenant.

3. La formulation d'hypothèses : une forme de prise en compte des représentations initiales des apprenants par l'enseignant.

Pour les faire émerger, il n'y a pas une méthode pédagogique spécifique mais plutôt une somme d'outils qui sont à notre disposition d'après Giordan (2002). Il faut être attentif, car les conceptions enfantines peuvent émerger de manière spontanée quand un enfant souhaite, par exemple, donner une explication lors d'un entretien collectif. L'enseignant doit, créer des situations spécifiques pour laisser les enfants s'exprimer. Il peut leur demander de dessiner la façon dont ils se représentent un phénomène naturel, le fonctionnement d'un appareil. Il peut demander de faire classer, comparer différents objets, ou différents phénomènes. Il peut organiser un questionnement semi-directif écrit après la projection d'un document (diapo, film...) après une sortie, une activité expérimentale ou après un entretien général sur une situation de vie. Les questionnaires écrits sont très employés. Ils sont placés à différents moments de la démarche pédagogique : avant d'entamer le sujet, pendant la progression, en fin d'étude et aussi quelques temps après. A côté des renseignements qu'apportent les productions écrites, le langage oral joue aussi un grand rôle. Il est important de faire parler les apprenants, en leur posant des questions en petits ou grands groupes, afin qu'ils expriment leurs idées.

Dans le choix des questions, il est préférable d'utiliser des situations familières, afin de relier la construction des connaissances des élèves à leur pratique. Par exemple, « Pourquoi, quand on souffle sur une vitre, cela produit de la buée ? ». Les mots choisis pour formuler les questions doivent être simples, précis afin d'éviter toute ambiguïté. On doit adopter en priorité les termes qui ont une signification pour l'élève, même si scientifiquement, ils, ne correspondent pas toujours au choix le plus pertinent Balpe (1995). Les dessins constituent un

autre moyen pour faire émerger les représentations. Pour certains élèves cela peut s'avérer plus riche et moins contraignant à réaliser qu'une rédaction.

En physique, les situations qui étonnent et interrogent sont nombreuses, elles font souvent partie de l'expérience quotidienne de l'apprenant. Pour l'émergence de ses représentations, l'important ici n'est pas la manipulation en elle-même, mais les remarques, les contradictions qu'elle soulève.

Pour ce qui est de l'interprétation des données recueillies, il n'est pas toujours aisé d'accéder à la véritable signification des informations données par les enfants, car le plus souvent, les réponses ne représentent que le reflet des structures sous-jacentes que sont leurs conceptions (Giordan & Martinand, 2002). En effet, selon les arguments développés par ces mêmes auteurs, les élèves ne peuvent généralement pas dire « ce qu'ils savent » ou « comment ils savent », ils n'utilisent que les mots qui sont à leur portée pour expliquer un phénomène. L'enseignant doit toujours prendre des précautions et recouper les différents outils qui ont permis de faire émerger les représentations (dessin, langage...) de l'élève. L'élève se prend très souvent lui-même comme modèle d'explication. Cet égoïsme constitue un obstacle à une mise en doute de sa pensée et à l'écoute réelle d'autrui. De plus, les conceptions enfantines sont souvent teintées d'animisme (conception qu'une volonté anime chaque chose) de finalisme (chacun des événements qui entoure l'enfant a une raison d'exister qui peut toujours s'expliquer par sa finalité) et d'artificialisme (l'enfant croit que tout ce qui l'entoure a été construit par l'Homme). Une autre difficulté vient de l'utilisation par l'apprenant d'une codification qui n'est pas celle utilisée par celui qui analyse les informations recueillies. Ainsi, s'il existe de nombreuses techniques qui permettent de connaître les représentations des élèves, leur analyse n'est pas toujours facile, ni immédiate afin de les prendre en considération dans l'acte pédagogique.

Si pour certains, les conceptions enfantines ne peuvent être intéressantes que pour les chercheurs, d'autres au contraire, considèrent qu'elles doivent jouer un rôle essentiel dans la pédagogie en tant qu'outil permettant d'améliorer son enseignement.

Selon Giordan et Martinand (2002), ceux qui soutiennent que les représentations sont pédagogiquement inutilisables, considèrent que l'enseignant doit être vigilant sur ce qu'il faut retenir des propos tenus par un enfant. En effet, l'un des objectifs essentiels de l'enfant, lorsqu'il s'exprime en classe, est de trouver la « bonne réponse », pour faire plaisir à l'enseignant ou pour s'affirmer face à ses camarades. Giordan et Martinand (2002) considèrent ainsi que certains vont construire un pseudo-schéma hypothétique au moment où on leur demande, ce qui conduit à des classes dans lesquelles les représentations qui émergent

sont très pauvres et particulièrement stéréotypées. Par ailleurs, certaines représentations s'avèrent ne pas avoir un grand intérêt dans la construction du savoir. Il est donc nécessaire de choisir celles qui sont significatives parce qu'en relation avec certains obstacles importants. Le risque que les représentations fausses « parasitent » les autres élèves, est aussi une raison que les auteurs évoquent pour ignorer des représentations enfantines. En effet, d'une part, le fait de faire exprimer une conception fausse au sein d'une classe pourrait lui donner une importance et amènerait un « ancrage » de cette représentation tout en incitant d'autres élèves à l'adopter. D'autre part, ils considèrent que dans un débat, ce sont souvent les arguments les plus simples, les plus directement accessibles, qui sont retenus et non ceux qui sont les plus pertinents. Ainsi, pour certains, une conception « bien défendue » par un enfant risque de « parasiter » les autres élèves et de la consolider plutôt que de la faire évoluer. Les résultats des recherches menées par Giordan et Martinand (2002) montrent que chaque fois que l'enseignant se contente de faire émerger les représentations sans véritablement les confronter et qu'on ne tient pas compte du cadre de référence dans lequel la conception se situe, il est possible qu'elle persiste et même se renforce.

En outre, lorsqu'on les prend en compte, les représentations évoluent le plus souvent, mais de manière progressive par paliers successifs. Ces auteurs montrent, en effet, qu'un test réalisé immédiatement après un travail peut être décevant quant aux résultats dans l'acquisition d'une connaissance ; mais que le même test proposé un peu plus tard, sans que le sujet soit abordé entre temps, donne des réponses très différentes. L'intégration de la connaissance semble se faire dans le temps. En d'autres termes, il semble que la prise en compte des représentations soit possible car ces dernières sont peu nombreuses contrairement à leurs manifestations qui sont diverses. La « perte de temps » liée à leur prise en compte n'est que très relative. S'il reste vrai que certaines représentations peuvent résister chez un même sujet, ou s'imposer à d'autres enfants, le retard que cela occasionnerait serait relatif au gain dans la construction du savoir à long terme.

Laisser émerger les représentations, les faire se confronter, en essayant de critiquer et de remettre en cause celles qui sont fausses par des comparaisons, des analyses, à travers des documents, des expériences, des activités de recherche, permettent de constater que l'on peut aboutir à une véritable construction du savoir (Bonan, 1998). Pour Giordan et Martinand (2002), prendre en compte les conceptions préalables est possible et beaucoup plus efficace que les ignorer. Ainsi, cette prise en compte des représentations initiales peut permettre à l'enseignant d'organiser des activités destinées à créer un « conflit socio-cognitif » qui favorisent l'évolution de la pensée de l'enfant de façon dialectique comme l'écrit

Bachelard (1938), de mieux choisir les activités et rechercher des contre-exemples qui feront évoluer ces conceptions premières, de mieux connaître le véritable niveau conceptuel des apprenants. Cela laisse entrevoir une certaine complexité et une lenteur du processus d'appropriation du savoir.

V- L'erreur, un outil pour enseigner

1. Le statut de l'erreur

Dans ce qui suit, nous reprenons l'essentiel de ce que propose Astolfi (2001), puisqu'il apporte un éclairage intéressant à notre travail.

Si l'erreur peut être occasion de défis ou dépassement de soi, par exemple dans le sport, dans le milieu scolaire, il n'en est pas de même ! L'erreur est plutôt considérée comme une source de stress : Les élèves ont peur de l'erreur ! En général, ils se considèrent victimes de l'erreur et attribuent à un facteur extérieur la cause de leur erreur (le maître, la malchance...).

Dans les nouvelles pratiques pédagogiques, il convient d'interroger le statut que l'on doit accorder à l'erreur ! En effet si jusqu'alors, l'école était considérée comme le lieu de l'expression de « la science » où l'erreur n'a pas sa place, l'épistémologie contemporaine invite à revoir cette position : la science est en effet de moins en moins considérée en termes de « victoires » de la vérité sur l'erreur mais plutôt en terme de construction. L'histoire des sciences illustre bien les parcours sinueux qui ont conduit à des théories qui semblent aujourd'hui évidentes. En effet les lois et modèles enseignés aujourd'hui sont le résultat de modèles qui se sont succédés apportant chacun une part de vérité mais aussi des erreurs.

Tout d'abord, la représentation partagée par le sens commun à propos de l'acte d'apprendre, est celle d'une acquisition « naturelle » des connaissances. Dans cette représentation, on considère que si toutes les conditions sont réunies tant chez le professeur que chez l'élève et en matériel pédagogique, l'élève est en droit d'acquérir (sans problèmes) les connaissances d'une leçon à l'autre. On parle d'ailleurs de progression ce qui sous entend que cette acquisition des connaissances est progressive. Joshua (1985), dans ses termes a parlé de « mythe naturaliste » pour signifier qu'on puisse établir un parallèle entre l'activité du chercheur et le mode d'acquisition des connaissances par l'élève. Pour cet auteur, il n'y a pas de véritable similitude entre méthode scientifique et méthode pédagogique. Ainsi, dans cette représentation qu'elle se fait de l'apprentissage, l'école valorise les attitudes que l'on peut qualifier de « scolaires ».

Face à une telle représentation partagée par l'ensemble des acteurs du système éducatif, en particulier l'élève, l'erreur jouit d'un statut très négatif qu'il faut sanctionner par la note en

premier lieu. Pour l'élève c'est une source de frustration. Les enseignants quand à eux la redoutent car elle est le reflet d'une certaine inefficacité. D'autre part, les erreurs des élèves sont perçues comme des « chemins de travers » que ceux-ci ont empruntés et dans lesquels il ne faut surtout pas s'aventurer. C'est en quelque sorte ce qu'écrit Bachelard (1938) dans les premières pages de « La formation de l'esprit scientifique » : « Les professeurs de sciences, plus encore que les autres si c'est possible, ne comprennent pas que les élèves ne comprennent pas »

Ainsi, face à ce statut très négatif de l'erreur, les enseignants adoptent soit la sanction, soit la révision de leur « progression » pour éviter de la rencontrer. Si dans le premier cas, l'erreur est considérée comme une faute commise par l'élève, dans le second cas, c'est le concepteur du programme qui est jugé responsable. Des modèles sont sous-jacents à ces deux cas. Pour le premier, c'est par excellence dans le modèle « transmissif » que l'erreur est considérée comme une faute. Aujourd'hui ce mode d'enseignement n'est plus préconisé dans les programmes d'enseignement. Pour le deuxième cas, c'est le *modèle comportementaliste* où l'erreur n'a pas le même statut : elle est l'occasion de dire que « l'élève n'est pas encore capable de ». Dans cette approche développée par Skinner (1971) et Watson (1972)³⁶, on considère qu'il est toujours possible de faire apprendre quelque chose à l'enfant (tout comme à l'animal) mais en opérant par étapes élémentaires.

2. Un autre statut pour l'erreur dans les modèles constructivistes

Les modèles constructivistes³⁷ sont largement préconisés dans les programmes d'enseignement notamment pour les disciplines scientifiques et particulièrement ici pour la physique. Dans ces modèles, on confère à l'erreur un statut plutôt positif dans la mesure où elle est utilisée pour construire le savoir scientifique à son propre détriment : en effet, l'objectif est ici aussi, d'éradiquer l'erreur. Mais au lieu de l'ignorer, on considère qu'il faut d'abord qu'elle soit exprimée pour mieux l'éradiquer.

3. L'erreur en tant d'indicateur de processus

Dans ces modèles, l'erreur n'a plus la dimension de faute et elle n'est pas non plus un problème d'écriture du programme. Cela a pour conséquence de libérer l'élève de toute crainte et stress. Il peut dès lors s'exprimer avec assurance car il sait qu'il sera pris en

³⁶ Voir les théories de l'apprentissage développées plus bas.

³⁷ Ce terme est développé dans les chapitres suivants.

considération. Dans cette approche, l'enseignant a besoin de connaître les erreurs de ses élèves car celles-ci sont les symptômes d'obstacles auxquels la pensée de l'élève fait front. Dans la mesure où l'apprentissage est vécu en termes de processus, l'erreur constitue des lors une étape de ce processus d'apprentissage. L'expression des différentes erreurs lors de l'apprentissage d'un concept scientifique indique ainsi les progrès qu'il est nécessaire d'accomplir pour parvenir au savoir. Selon Astolfi (2001), « l'erreur a un statut d'indicateur et d'analyseur des processus intellectuels ». En conséquence, il faut « plutôt décortiquer la logique de l'erreur » et en tirer parti pour améliorer les apprentissages ».

Pour ce faire, l'erreur ne sera plus considérée comme ce que Piaget appelle le « n'importe quisme ». Il faut aller chercher le sens qu'il y a derrière les réponses à priori bizarres que proposent les élèves. Il y a des opérations intellectuelles dans l'élaboration de ces réponses. Il s'agit donc de mener une investigation pour tenter de comprendre pourquoi l'élève propose une telle réponse. Vergnaud (1987), (cité par Astolfi 2001, p.18) en fournit une illustration par une recherche menée auprès d'élèves du primaire auxquels il demande de placer une série de dates de naissance sur une droite orientée. Il montre en effet que certains élèves à travers leurs réponses à priori très bizarres ont tenté maladroitement de traiter certains aspects des données en oubliant d'autres. Alors que d'autres élèves ont rangé les dates sans chercher à prendre en compte les écarts entre elles, les réponses qui semblent en premier lieu les plus bizarres sont finalement ceux qui sont les plus évoluées car elles démontrent de la part des élèves une volonté de tenir compte des aspects plus complexes du problème. Selon Vergnaud (1987), cité par Astolfi (2001), ces réponses traduisent le chemin à parcourir afin de maîtriser l'ensemble complexe des concepts en jeu dans cet exercice qui consistait à « ponctualiser une date » sur une droite, « il s'agit d'opérations de pensée complexes, dont on ne peut être surpris qu'elles échappent encore à nombre d'enfants jusqu'à 13 ans et plus Astolfi (2001, p.18) ».

Ainsi cet exemple montre bien que dans l'approche constructiviste, l'erreur a un statut d'indicateur des tâches intellectuelles que réalisent les élèves ainsi que les obstacles qu'ils rencontrent.

Sanner (1983), cité par Astolfi (2001, p.20) considère que « si la notion d'obstacle épistémologique est opératoire en pédagogie, cela signifie qu'il ne suffit pas de reconnaître le droit à l'erreur, mais qu'il faut s'engager sur la voie d'une véritable connaissance de l'erreur ». Selon Astolfi (2001, p.20), « les obstacles consistent en ce que nous agissons et réfléchissons avec les moyens dont nous disposons déjà, quand l'apprentissage consiste à s'en construire de mieux, adaptés à la situation ». Pour illustrer son propos, il propose « la parabole du réverbère » d'Abraham Kaplan : « Un ivrogne a perdu sa clé et la cherche, de

nuît, sous un réverbère. Un passant complaisant lui demande s'il est certain de l'avoir perdue là, « non, répond avec force l'ivrogne, mais c'est ici le seul endroit où il fait clair. » ». Ainsi, de façon analogue, Astolfi (2001) considère que les obstacles sont les produits de nos façons de penser et d'agir là où nous trouvons qu'il fait le plus clair. En ce sens, il retrouve l'étymologie latine du mot erreur qui veut dire « errer ça et là ». A juste titre il se demande « comment ne pas « errer » quand l'on ne connaît pas déjà le chemin ? Si quelqu'un nous le désigne, nous pouvons bien sûr éviter grâce à lui l'errance temporaire, mais nous savons bien que la première fois que nous serons seul, nous n'éviterons pas d'avoir à nous approprier, ce qui faisait jusque-là l'objet du guidage.

Selon Astolfi (2001, p.26), « dans la perspective constructiviste, l'erreur peut cacher un progrès en cours d'obtention. Elle peut être en effet le témoignage d'un effort de l'élève pour adapter ses représentations d'un phénomène à une situation didactique nouvelle. Cette tentative d'adaptation peut alors se solder par une contradiction dissonante, un compromis intégrateur ou par régression apparente qui s'apparente ainsi à l'erreur. Remarquons que le silence peut être aussi une modalité de l'erreur ». Dans le même sens Meirieu et Develay, (1996), considèrent que toute activité intellectuelle authentique est la capacité à rapprocher deux contextes. Il n'y a pas d'apprentissage s'il n'y a pas de tentatives pour tester dans un cadre plus large les règles, lois ou outils que l'élève sait déjà utiliser dans un domaine plus restreint. Ainsi, l'élève ne progresse que s'il est en mesure d'opérer ce transfert, c'est-à-dire, s'il est capable d'opérer un travail de changement de cadre. Pour Astolfi (2001), bien des erreurs commises en situation didactique doivent être pensées comme des moments créatifs de la part des élèves, simplement décalés d'une norme qui n'est pas encore intégrée. Ainsi en empêchant les élèves de prendre des risques en leur proposant des activités répétitives et qui ne génèrent pas d'imprévus, Astolfi (2001) considère que c'est une manière de mettre les élèves à l'abri du progrès en les empêchant de participer à un moment de création.

Il faudrait donc faire l'éloge de l'imperfection, car tout savoir comporte selon Astolfi (2001) une « zone trouble ».

Le tableau suivant proposé par Astlofi (2001) résume ses propos:

	La faute	La Bogue	L'obstacle
Statut de l'erreur	L'erreur déniée (« raté », « perle », « n'importe-quisme »)		L'erreur positivée (postulat du sens)
Origine de l'erreur	Responsabilité de l'élève qui aurait dû la parer	Défaut repéré dans la planification	Difficulté objective pour s'approprier le contenu enseigné
Mode de traitement	Evaluation a posteriori pour la sanctionner	Traitement a priori pour la prévenir	Travail in situ pour la traiter
Modèle pédagogique de référence	Modèle transmissif	Modèle béhavioriste	Modèle constructiviste

4. Erreur et épistémologie

4.1. L'erreur dans l'approche de Bachelard et celle de Piaget.

Il s'agit ici d'évoquer les processus qui conduisent à l'erreur en s'appuyant sur les concepts de « schème » et d'« obstacle » développés respectivement par Piaget (1961) et Bachelard (1938).

De même que le statut scolaire de l'erreur a évolué, sa place dans l'épistémologie c'est à dire le fonctionnement scientifique des disciplines et l'activité des chercheurs n'est plus la même. En effet, l'empirisme et le positivisme³⁸ ont pendant fort longtemps conditionné l'activité scientifique.

Si pour l'empirisme, c'est la primauté accordée aux faits, impliquant pour le chercheur, une attitude de soumission passive au réel, pour le positivisme, on considère que la vérité scientifique s'obtient en utilisant une « méthode » dont les étapes sont clairement définies. Dans cette approche, l'erreur n'est pas prise en compte, puisque la méthode est censée protéger de l'erreur.

4.2. Dans le cas de l'empirisme

Aujourd'hui, la soumission aux faits n'est plus de rigueur. Les données empiriques constituent des éléments de la découverte scientifique sans être le point de départ systématique de toute recherche.

³⁸ Voir développement de ces termes dans les chapitres suivants.

Jacob (1981), cité par Astolfi (2001, p.30) précise : « La démarche scientifique ne consiste pas simplement à observer, accumuler des données expérimentales, pour en déduire une théorie. On peut parfaitement examiner un objet pendant des années sans en tirer la moindre observation d'intérêt scientifique. Pour apporter une observation de quelque valeur, il faut déjà au départ avoir une certaine idée de ce qu'il y a à observer. Il faut avoir décidé ce qui est possible, grâce à une certaine idée de ce que peut bien être la réalité, grâce à l'invention d'un monde possible ». Ainsi le fait peut donc être tout aussi un « produit » construit par la recherche qu'une « donnée » initiale qui s'impose à la recherche.

Le positivisme est caractérisé par la méthode expérimentale pour laquelle Giordan (1998) propose le terme OHERIC. Chaque lettre de cet acronyme renvoie à une étape de la représentation de la méthode expérimentale. O (observation), H (hypothèse), E (expérience), R (résultats), I (Interprétation), C (Conclusion). Dans cette approche, on constate encore le primat de l'observation (Astolfi, Giordan et al., 1978).

Du fait de la linéarité qu'il suppose, le schéma OHERIC n'est pas en cohérence avec les pratiques de la recherche comme le souligne Astolfi (2001) : le travail oscille sans cesse entre différents ensembles dont l'un d'hypothèses, un autre d'expériences et enfin un constitué de résultats. Cela signifie dès lors que le travail de recherche est incontestablement soumis à l'erreur (Popper, 1973).

Ainsi, il n'existe pas de méthode permettant d'éviter l'erreur. Il en est de même au niveau scolaire. Pour Astolfi(2001), le savoir exposé à l'élève ne lui permet pas d'éviter l'erreur dans la mesure où celui-ci n'a pas suivi le chemin qui a permis d'atteindre ce savoir et qui pourrait lui procurer du sens. On atteint ici un point faible des méthodes transmissives.

Khun (1972) propose la notion de changement de paradigme entre l'élève-novice et l'enseignant expert de sa discipline. Le terme « paradigme » en épistémologie signifie le cadre de pensée qui définit « la norme » d'une recherche légitime, dans un champ donné, à une époque donnée. C'est ce que partagent implicitement les chercheurs d'une époque ou encore ce sur quoi ils s'appuient pour développer leurs recherches. Ce cadre fait l'objet de « crises » pouvant remettre en cause une ou des théories sur lesquelles repose le paradigme. Citons en exemple, le passage du paradigme géocentrique de Ptolémée au paradigme héliocentrique de Copernic (Khun, 1972). Néanmoins comme le suggère Astolfi (2001), le changement de paradigme ne signifie pas pour autant la victoire de la vérité sur l'erreur dans la mesure où chaque paradigme véhicule des vérités scientifiques mais aussi des erreurs.

Astolfi(2001) considère que la difficulté des professeurs pour comprendre les erreurs des élèves provient de la différence des cadres de référence.

5. L'erreur chez Bachelard et Piaget

Pour Bachelard (1938), cité par Astolfi (2001), les erreurs des élèves sont les indices d'obstacles que ceux-ci rencontrent au cours de l'apprentissage. Piaget (1961) cité par Astolfi (2001) considère qu'il existe des étapes dans la capacité du sujet à comprendre et interpréter la réalité extérieure. Il propose la notion de « schème ». Les « schèmes » sont les instruments de connaissance qu'il répartit à différents niveaux du développement psycho-cognitif du sujet par exemple les schèmes sensori-moteurs de la petite enfance ou encore les schèmes opératoires dont dispose le sujet au stade de la pensée formelle. Les schèmes sont les moyens à l'aide desquels le sujet peut assimiler les situations qu'il rencontre. Selon Rabardel (1995), les schèmes répondent à « une organisation active de l'expérience qui intègre le passé », à « une structure qui a une histoire et se transforme au fur et à mesure qu'elle s'adapte à des situations et des données plus variées ». Selon Astolfi (1997, p.47) « les schèmes ne doivent pas être compris comme des « états » de connaissances présents en mémoire et directement reproductibles, mais plutôt comme des outils non conscients, susceptibles d'être mobilisés, réactualisés et mis en œuvre face aux situations nouvelles. Un schème est à l'état de virtualité chez le sujet, « c'est l'action en situation qui décidera de l'individualisation du schème » ». Il considère que l'on s'éloigne des conceptions mentalistes des représentations, qui seraient des « réserves » d'acquisitions disponibles à tout moment.

Nous reproduisons ici ce tableau proposé par Astolfi (1997). Il met en regard les approches de Piaget et Bachelard.

Jean PIAGET	Gaston BACHELARD
Schèmes	Pensée commune
Représentations	Obstacles
Déséquilibre	Rupture
Epistémologie génétique (structurale)	Epistémologie historique (régionale)
Mot clé : « Développer »	Mot clé : « Rectifier »

VI- Mon parcours par rapport à l'hypothèse dans l'enseignement scientifique

1. Retour sur l'hypothèse dans mon parcours d'apprenant (élève et étudiant)

Il est important pour ce travail de revenir sur mon propre rapport à l'hypothèse en tant qu'apprenant. Quelle a été ma perception de l'hypothèse dans mon parcours d'élève puis étudiant avant d'embrasser la carrière d'enseignant ? Cette question est à mon sens ici importante pour deux aspects : tout d'abord, les élèves qui envisagent plus tard d'exercer une profession en particulier celle de professeur, ont pour habitude de se donner un modèle et en particulier de reproduire ou de garder à leur tour (volontairement ou involontairement) des manières de faire ou d'être de son modèle. Personnellement, j'ai été très imprégné en tant qu'élève dans le secondaire par les pratiques que mettaient en œuvre mes professeurs de physique-chimie qui sont devenus des modèles. D'ailleurs mon choix de m'orienter professionnellement vers ce métier est apparu à cette époque. La deuxième raison pour laquelle je trouve judicieux de revenir sur ma perception de l'hypothèse en tant qu'apprenant, c'est que cela me permet de comprendre le rapport actuel des apprenants vis-à-vis de l'hypothèse et éventuellement de faire une comparaison.

Dans tout mon parcours d'élève et étudiant, le terme « hypothèse » a été employé dans plusieurs disciplines (Français, SVT, mathématiques, Histoire, voire en langue). Ce terme n'était pas attribué singulièrement à une discipline, d'autre part, il n'a fait l'objet d'aucun chapitre de cours ou d'activité. Mes professeurs l'employaient à mon sens de manière indifférente sans que l'« hypothèse » ne soit vue comme une étape de l'apprentissage. Ainsi, « émettre des hypothèses » n'était pas systématique. Du côté des professeurs, ceux-ci n'ont pas semblé utiliser l'« hypothèse » comme un « outil » dans l'acte pédagogique. De même, du côté des élèves, si oralement on devait quelques fois donner notre point de vue, cela n'était pas une « institution ». D'ailleurs, les élèves, devaient taire leurs points de vue pour recevoir l'enseignement du professeur. C'était la conséquence du mode d'enseignement de l'époque où le rôle de l'enseignant était de transmettre le savoir à l'élève. L'échange se faisait principalement dans un sens, celui du professeur vers l'élève. De manière générale, les élèves avaient « peur » d'exprimer leurs hypothèses sur les situations afin de ne pas commettre d'erreur. En effet l'erreur était considérée comme une frustration par l'élève et était très négativement perçue par le professeur. Le terme hypothèse a jalonné mon parcours d'apprenant sans pour cela en garder une définition précise, ni percevoir son rôle dans l'enseignement.

2. L'hypothèse dans le « premier temps » de mon métier d'enseignant.

Pour ce retour sur mon vécu d'enseignant, je propose de le dessiner en deux temps. Je considère que la frontière entre ces deux temps étant l'instant où j'ai senti le besoin de m'interroger sur mon métier d'enseignant, sur ma mission et surtout sur mes libertés d'action. Tout d'abord, le premier temps qui correspond à une répétition des habitudes des « anciens » sans questionnements, ni réflexions sur ces pratiques. Dans cette approche, le rapport avec la classe était directif : un cours bien construit correspondait à un apport conséquent de connaissances et d'informations aux élèves. Dans un tel schéma, la participation des élèves était moindre. « Faire émettre des hypothèses » ne présentait pas d'intérêt pour l'enseignant encore moins la prise en considération de celles-ci. Ainsi, aucune perception pédagogique de l'« hypothèse » n'a été enseignée aux élèves.

3. L'hypothèse dans le « deuxième temps » de mon métier d'enseignant.

Le deuxième temps s'engage à partir d'une réflexion sur les missions, les objectifs du métier. L'inscription en formation continue en sciences de l'éducation en est l'une des conséquences. L'apport de différents auteurs tels que Bachelard, Robardet, Sallaberry, Stengers,) a provoqué une certaine « révolution » dans l'approche du métier : désormais l'élève a une large place dans la construction du cours et cela passe par une sollicitation de leurs hypothèses, et la volonté de les prendre en compte. La classe devient dans ce nouveau schéma un espace d'échange propice à la construction du cours. Si la prise en compte de l'hypothèse des élèves est reconnue nécessaire, il reste cependant à mieux la connaître en tant qu'outil pédagogique pour mieux l'exploiter. La mise en place des nouvelles réformes des programmes, et l'inscription plus marquée de l'« hypothèse » dans les pratiques pédagogiques, montre l'intérêt de connaître davantage en matière de théories des apprentissages.

4. Conséquence dans l'évolution de mes pratiques pédagogiques.

Depuis bientôt une dizaine d'années, la formulation des hypothèses par les apprenants, est intégrée dans les pratiques pédagogiques avec en parallèle une autre considération de l'« erreur » comme outil didactique sous l'éclairage proposé par Astolfi. Les élèves ont ainsi une plus grande liberté de parole et d'action. Une place non négligeable est consacrée aux apports spontanés des élèves. Dans certaines activités, les élèves sont amenés à mettre leur hypothèses par écrit ce qui signifie qu'ils doivent mieux s'approprier la notion d'«

hypothèse ». Le rôle de l'hypothèse ainsi que son intérêt tant pour l'élève que pour l'enseignant sont systématiquement rappelés pour encourager son appropriation.

Conclusion

Ce chapitre montre l'orientation désormais prise par les instances nationales et internationales en charge de l'éducation en réponse à la crise que traverse l'enseignement des sciences en France et de manière générale dans le monde. Les pratiques classiques reposant principalement sur une transmission plutôt unidirectionnelle du savoir sont maintenant largement remises en cause. A ces pratiques classiques, on suggère de substituer des méthodes qui engagent les apprenants. C'est le cas de la méthode par investigation qui propose de faire apprendre en partant des pratiques quotidiennes de l'élève. Nous savons maintenant que cette méthode est plébiscitée à l'échelle mondiale et qu'elle semble plus efficace pour faire apprendre un concept scientifique. L'une des étapes dans l'architecture de cette démarche par investigation est celle de la formulation d'hypothèse par l'élève. Nous supposons que l'une des raisons de l'efficacité de cette méthode se situe au niveau de cette étape. C'est la raison pour laquelle nous cherchons à enrichir notre outillage théorique autour de cette notion d' « hypothèse ». Pour l'instant, les liens avec les représentations initiales des apprenants ainsi qu'avec l' « erreur » sont évoqués. Un bref développement sur le parcours du chercheur en rapport avec l'hypothèse permet d'amorcer les pistes de réflexions. Par exemple l'une des pistes que nous explorons maintenant concerne les théories de l'apprentissage — plus particulièrement l'apprentissage des concepts scientifiques.

Chapitre II

LES THEORIES DE L'APPRENTISSAGE : QUELLE DIDACTIQUE POUR ENSEIGNER LES SCIENCES PHYSIQUES?

Introduction

Comment apprend-on ? C'est une question importante pour la didactique des sciences. Encore aujourd'hui, la psychologie cognitive, n'est pas en mesure d'en donner une réponse définitive. Elle est capable d'apporter quelques réponses partielles en ce qui concerne les apprentissages scientifiques. Cependant, aucun « consensus net n'apparaît parmi les psychologues ... » Johsua et Dupin, (1993, p.71). La question de l'apprentissage et des méthodes d'apprentissage restent d'actualité pour la didactique et l'enseignement des sciences. C'est d'ailleurs une question qui doit intéresser tout pédagogue selon Sallaberry (2004, p.69).

Avant d'évoquer les grandes théories d'apprentissage repérées par Sallaberry (2004, p.69) dans le courant du 20^e siècle, et ce qui les caractérise, nous proposons de nous arrêter sur la définition des termes apprendre et apprentissage. Peut-on disposer d'une définition de ces termes ? L'apport de quelques auteurs nous est ici profitable. Fort de ces éléments, nous tentons ensuite de repérer quelle didactique est possible pour l'enseignement des sciences physiques dans le secondaire.

I- Apprendre et apprentissage : éléments de définition.

Les textes officiels recommandent aujourd'hui de placer l'enfant au cœur de l'apprentissage. Pour le dictionnaire Le Robert, « apprendre » c'est acquérir un savoir ou un savoir faire. Or, l'apprentissage est le résultat du triangle didactique, il demande entre autre de connaître le fonctionnement de l'apprenant. Ainsi pour mieux comprendre l'évolution et les orientations pédagogiques mises en œuvre dans l'apprentissage en science, il est intéressant de rappeler ici les définitions que proposent certains auteurs pour « apprendre » et « apprentissage ». En effet, l'approche psychologique avec les théories innéiste et empiriste est insuffisante. Les apports de Piaget sont importants mais aussi limités.

1. Apprendre et apprentissage selon quelques auteurs

1.1. Apprendre selon Giordan.

Pour Giordan (1998, p.11) définir le mot « apprendre » présente une certaine complexité : « parler de l'apprendre reste malgré tout peu évident... ». Il considère que « apprendre » regroupe plusieurs actions, c'est un ensemble de plusieurs actions qui se complètent. C'est une activité d'élaboration de sens. Il évoque l'importance de l'intention, mais soulève également l'importance de « l'agir et le faire » dans la dynamique de

l'apprendre. Il considère que l'apprenant ne s'approprie un savoir que s'il produit un surcroît de sens pour lui. Dans ce cas, pour apprendre, il faut tout d'abord se questionner. Selon lui, il n'y a aucun apprentissage si l'enfant ne se contente que d'observations car les sens ne donnent accès qu'à l'environnement immédiat. L'enfant peut voir sans s'interroger. Par exemple il peut regarder la pluie sans jamais s'interroger sur les causes de la pluie. Ce n'est que lorsque l'apprenant dépasse le stade du constat qu'il commence à apprendre, car tout savoir est une réponse à une question. Ensuite il faut se confronter à la réalité et aux autres. Selon Giordan (1998, p.118), « c'est en expérimentant (un geste), en testant (une hypothèse), en soupesant (une idée), que l'on apprend. ». Cela signifie donc que l'apprenant ne doit pas être passif quand il apprend. Il ne peut se contenter de regarder l'enseignant faire ou l'écouter. Par ailleurs, il est nécessaire pour lui de confronter ses idées à d'autres idées en travaillant au sein d'un binôme ou d'un groupe. En effet, la dynamique du binôme ou du groupe entraîne des modifications des idées ou des façons d'appréhender l'environnement plus efficacement. Apprendre passe aussi par l'expression et l'argumentation. Le rôle du langage dans le développement cognitif du jeune enfant est une chose reconnue. Les interactions précoces entre les parents et l'enfant, à travers des échanges verbaux et non verbaux, jouent un rôle important dans le développement de la pensée, de même que les discussions entre enfants. Selon Giordan (1998, p.121), « formuler à haute voix ses idées permet de les « voir » autrement. Les écrire augmente leur cohérence et leur organisation ». L'expression orale ou écrite permet de conduire au débat et à la prise en compte des avis contraires pour élaborer une autre explication ensemble, pour résoudre un problème, pour prendre du recul par rapport à une conception initiale et reformuler ses idées. Argumenter demande d'établir des relations entre les causes, les conséquences, les concessions et les restrictions. Apprendre passe par l'argumentation car les objections provenant des élèves font partie intégrante du processus d'apprentissage. Le fait que l'élève objecte est un comportement normal quand le savoir va à l'encontre de sa pensée et cela prouve qu'il accorde un intérêt au débat. Cette phase de déstabilisation le conduit à proposer ses arguments et à se rendre compte ensuite qu'il doit revoir sa conception. Enfin Giordan (1998) considère que « apprendre » c'est mettre en réseau, c'est aussi changer le niveau d'organisation des informations. Les arguments sont pour lui les poutres maîtresses qui consolident l'apprendre, ils doivent être pour cela mis en relation le plus souvent grâce à la formulation d'hypothèses. Néanmoins, Giordan (1998, p.124) considère que toutes ces facettes ne suffisent pas à permettre l'apprendre, « d'autres obstacles sont à prendre en considération... ». En plus d'être une activité d'élaboration de sens, apprendre est « un processus de...déconstruction. ». Il fait

référence ici aux conceptions initiales des apprenants qui doivent être déconstruites ou remplacées par le savoir scientifique construit.

1.2. Apprentissage selon Weil-Barais.

La définition proposée par Weil-Barais (2004, p.17) pour le terme apprentissage renvoie à des aspects très différents : d'une part, celui des comportements et des entités structurales et fonctionnelles qui les sous-tendent, d'autre part celui des conditions et des processus qui conditionnent les modifications des comportements. Les comportements de l'apprenant, présentés le plus souvent comme les plus objectifs, permettent de dire si celui-ci a appris. Pour une compétence telle que « savoir lire », Weil-Barais (2004, p.18) évoquent le problème de la spécification de l'activité et montrent que « les comportements doivent être nécessairement rapportés au contexte de l'activité, c'est-à-dire aux informations et aux tâches auxquelles le sujet est confronté, ainsi qu'à l'environnement social dans lequel celles-ci se déroulent. » En effet, un changement du contexte dans lequel un apprenant doit faire la preuve de son apprentissage, peut le perturber considérablement. On peut par ailleurs vérifier l'apprentissage chez l'apprenant en évaluant ses performances, lesquelles renvoient au niveau comportemental. Dans cette approche, l'apprentissage peut être également appréhendé en tant que processus du changement allant dans le sens d'une augmentation d'efficacité. Dans ce cas, ce sont les conditions environnementales, psychologiques et sociales qui la déterminent. Ainsi, la spécification des conditions d'apprentissage définit les « formes d'apprentissage » qui sont très nombreuses... La dénomination des formes d'apprentissage met l'accent soit sur les supports et les outils (apprentissage par instruction, par le texte, par ordinateur, actuellement *e-learning*...), soit sur les activités qui sont sollicitées chez les sujets (par cœur, par l'action, par la résolution de problèmes...), sur les modalités sociales (apprentissage autonome, apprentissage coopératif, collaboratif, par tutorat...), soit encore sur les mécanismes et processus psychologiques impliqués (apprentissage par imitation, vicariant, par conditionnement, par analogie, par induction...) ou leur caractère conscient (apprentissage explicite ou implicite). » Ces processus de changement et de transformation des comportements de l'apprenant pour le conduire à la maîtrise d'un savoir, savoir faire requièrent un temps long et sont donc difficiles à décrire pour Weil-Barais (2004).

1.3. L'acte d' « apprendre » selon Berbaum

Selon Berbaum (1991, p. 13), les courants de pensée et de recherche dans les domaines de l'enseignement et de l'apprentissage, longtemps sinueux et divergents, semblent converger vers le sujet « apprenant ». L'attention est portée sur la complexité de son fonctionnement en tant qu'acquéreur des connaissances et de pratiques efficaces. D'ailleurs, la loi d'orientation de juillet 1989 place l'apprenant au centre du dispositif éducatif, et le service public de l'éducation est conçu et organisé en *fonction* des apprenants. Le sujet apprenant n'est plus considéré comme une « boîte noire ». Berbaum (1991) s'est intéressé lui aussi à la problématique de l'apprentissage. A l'instar de Giordan (1998) et Weil-Barais (2004), il considère « l'acte d'apprendre » comme un processus. Selon lui, pour mieux apprendre, il faut d'abord avoir une meilleure connaissance de sa manière habituelle d'apprendre, c'est-à-dire les étapes par lesquelles nous passons pour apprendre. Il considère que la connaissance de son mode de fonctionnement peut permettre d'envisager des manières nouvelles d'expérimenter. Autrement dit, pour cette approche de l'apprentissage, chaque apprenant a sa manière d'apprendre. Le formateur doit savoir ce qu'est « apprendre » pour aider l'apprenant à mieux apprendre, l'aider à prendre conscience de sa démarche. Berbaum (1991, p.21- 67) propose une description de « apprendre », en utilisant un modèle, c'est-à-dire une représentation. Il s'appuie pour cela sur les résultats de la psychologie de l'apprentissage, plus particulièrement il utilise les données qui relèvent aussi bien du domaine des attitudes que des comportements. Ses résultats sont en grande partie issus de travaux théoriques de psychologie, de physiologie ou de sociologie à partir de l'observation de situations expérimentales. Au cours de ces situations sont proposés à l'apprenant, un contenu à mémoriser, un problème à résoudre, un savoir à exprimer, puis à observer quelle est la démarche adoptée. L'observation d'un nombre conséquent de sujets permet ensuite de retenir ce qui peut être considéré comme des invariants, c'est à dire des faits constants. L'auteur rapporte cependant qu'il est difficiles de retrouver dans les situations réelles d'apprentissage (classe, stages...), les conditions réalisées dans une situation expérimentale. On peut déjà opposer le caractère plutôt isolé du problème posé dans une situation expérimentale au problème proposé dans une situation de classe. En effet dans ce dernier cas, l'élève vit la situation par rapport à une expérience passée, une attente définie, qui donne du sens à la situation qu'il vit. Berbaum (1991) propose donc de tenir compte de toutes ces dimensions pour l'étude d'un sujet particulier. A la place de la complexité évoquée par Giordan plus haut, Berbaum (1991, p.21), fait remarquer qu'« apprendre est peut-être l'activité la plus banale, celle que nous pratiquons le plus couramment ». La découverte et la familiarisation avec un lieu au départ inconnu, est un

exemple proposé par l'auteur pour illustrer une situation d'apprentissage. Le retour dans le même lieu s'effectuera sans hésitation, preuve que l'on a appris quelque chose. Par analogie, il en est de même lorsque l'apprenant rencontre un problème plus théorique à résoudre. L'apprenant parvient à la solution après des essais, en s'informant comme précédemment.

Selon Berbaum (1991, p.21), « apprendre » c'est le fait d'acquérir cette familiarité avec une situation qui fait qu'il n'y a plus d'hésitation lorsqu'on s'y trouve confronté, qui fait que nous pouvons même prévoir ce qui va se passer lorsque nous agissons d'une certaine manière. D'autre part Berbaum, (1991, p.49) considère que « apprendre » c'est construire une représentation par la création de liens entre les données recueillies et les données acquises antérieurement et améliorer progressivement cette représentation en vue d'une action adéquate. Apprendre c'est ajuster un comportement à une situation.

2. Apprentissage pour les sciences cognitives

Nous regardons maintenant l'apprentissage au niveau des sciences cognitives. Pour cela, nous reprenons ici l'essentiel des développements que propose Houdé (1998) concernant l'apprentissage en psychologie, en neuroscience et en intelligence artificielle.

2.1. En psychologie

L'apprentissage est une modification de la capacité à réaliser une tâche sous l'effet d'une interaction avec l'environnement. Ce processus doit être distingué des changements comportementaux qui surviennent à la suite de la maturation c'est-à-dire, à une évolution interne de l'organisme correspondant à un programme de développement caractéristique de l'espèce. Le concept d'apprentissage intervient aussi bien au niveau des animaux vivants unicellulaires de part la plasticité comportementale qu'au niveau des systèmes artificiels sophistiqués avec le connexionnisme et le réseau neuronal. Le concept d'apprentissage est aussi invoqué dans l'étude du développement et du fonctionnement cognitif chez l'Homme.

On distingue en général deux grandes classes d'apprentissages selon le niveau d'intégration de l'activité psychologique : les apprentissages élémentaires contrôlés par les stimuli de l'environnement (empreinte, habituation, conditionnement classique, conditionnement opérant ou instrumental), et les apprentissages complexes mettant en jeu des représentations symboliques. Les premiers sont liés aux caractéristiques physiques des stimuli et sont soumis aux facteurs de contiguïté, de répétition, d'intensité ou de validité prédictive. Les seconds dépendent de la signification que le sujet attribue aux stimuli. Ainsi, ils font intervenir des

représentations symboliques et pour aboutir à des modifications stables de certaines représentations de la mémoire. On retrouve ici l'opposition théorique entre le behaviorisme et le cognitivisme. A côté de cette dichotomie classique, une autre distinction oppose l'approche symbolique et l'approche connexionniste en fonction des processus d'acquisition de connaissances. L'approche symbolique appartient à la seconde classe d'apprentissages précisée précédemment. L'approche connexionniste se distingue de l'approche symbolique par le fait qu'elle n'utilise pas le concept de symbole. Si le concept de représentation, c'est à dire la signification attribuée aux stimuli demeure, il est redéfini en termes de patterns numérisés d'activation (activation subsymbolique de processeurs élémentaires ou neurones formels). Les algorithmes font intervenir ces patterns et aboutissent à des modifications stables de patterns d'activation stockés en mémoire. Concernant les apprentissages élémentaires relatifs au contrôle par les stimuli de l'environnement, les deux principaux mécanismes étudiés chez l'Animal et chez l'Homme sont le conditionnement classique et le conditionnement opérant ou instrumental. Concernant les apprentissages complexes utilisant les représentations symboliques, l'analyse porte davantage sur le sujet apprenant, ses connaissances antérieures, les activités cognitives de traitement de l'information qu'il déploie, que sur les caractéristiques de l'environnement. On peut citer comme exemple l'étude de l'apprentissage par l'action qui regroupe toutes les formes d'acquisition de connaissances attribuables à l'action, source d'informations nouvelles. Ainsi, le conditionnement opérant est un exemple d'apprentissage par l'action ; Cependant, selon la conception behavioriste, la modification qu'il entraîne est strictement limitée au comportement. L'approche cognitive de l'apprentissage par l'action en situation de résolution de problèmes, où l'élève doit apprendre des règles artificielles (règles du jeu, critères de classification...) ou naturelles (lois physiques...) met l'accent, au-delà du comportement, sur les stratégies mentales de planification de l'action et sur les opérations de traitement des informations recueillies. Ainsi, lorsqu'un élève élabore son activité à partir d'une hypothèse, c'est à l'hypothèse elle-même qu'il pourra imputer sa réussite ou son échec. De même, cette approche, centrée sur l'organisation et la réorganisation des représentations en mémoire est appliquée à l'apprentissage par le texte ou par l'image. L'intérêt porté aux activités mentales lors de la situation d'apprentissage conduit à mettre l'accent sur divers mécanismes cognitifs : l'analogie, la formulation et le test d'hypothèses, l'induction, la généralisation d'une connaissance, l'assimilation à un cas connu... Ces mécanismes et donc l'apprentissage sont donc contraints par les capacités de mémoire de travail et d'attention sélective. Outre les

formes individuelles d'apprentissage, on distingue les apprentissages sociocognitifs par observation et imitation de modèles ou par co-construction.

A contre-courant de l'approche cognitive de l'apprentissage en termes de représentations symboliques, existe une approche connexionniste. Dans ce cadre, l'apprentissage est décrit comme un ajustement subsymbolique de pondérations associées aux arcs d'un réseau (connexions entre processeurs élémentaires ou neurones formels) en vue de « capturer les régularités contenues dans une suites d'exemples d'associations entré-sortie externes. Ce mode d'apprentissage est implicite et inaccessible à l'introspection et à la verbalisation. Les réseaux de neurones formels sont un outil de modélisation des relations entre la maturation et l'apprentissage, les caractéristiques des réseaux qui définissent leur architecture de base correspondant à la maturation, alors que les changements, résultant de l'interaction entre un réseau d'architecture donnée et son environnement, constituent l'apprentissage.

2.2. En Neurosciences

En neurosciences cognitives, on distingue en général deux types d'apprentissage, selon la nature implicite ou explicite de la mémoire impliquée qui renvoient à des structures cérébrales différentes.

L'apprentissage d'une habileté est caractérisé par une modification adaptative du comportement au cours d'épreuves répétées et se manifeste dans des situations telles que l'apprentissage du dessin en miroir. Ce type d'apprentissage est considéré comme appartenant à la mémoire dite « implicite », car il se manifeste à travers le comportement (augmentation de la performance d'une séance d'entraînement à l'autre) et peut se réaliser en l'absence de tout souvenir explicite des épisodes d'apprentissage de la part du sujet. Un tel apprentissage peut s'observer chez un patient amnésique qui n'a aucun souvenir des épisodes d'apprentissages qu'il a vécu. Des comparaisons avec des malades atteints de la maladie de Parkinson montrent que ce type d'apprentissage implique probablement les noyaux gris centraux.

Un autre type d'apprentissage intervient dans des situations de mémorisation intentionnelle, telle que l'apprentissage d'une liste de mots de courses à faire, ou de poème. Ce type d'apprentissage est considéré comme faisant partie de la mémoire explicite car il peut s'exprimer par le langage et l'apprenant peut faire explicitement référence aux caractéristiques spatiales et temporelles des épisodes d'apprentissage. Ce type d'apprentissage semble dépendre des structures cérébrales de la partie médio-temporale telle que

l'hippocampe ou le diencephale. Ces structures ne constituent pas cependant des lieux de stockage de l'information.

2.3. Intelligence artificielle

Pour qu'une machine soit considérée intelligente, il faut qu'elle paraisse perspicace dans la plupart des situations auxquelles elle se trouve confrontée. L'étude des mécanismes par lesquels une machine est susceptible de tirer parti de son expérience, c'est-à-dire d'apprendre est au cœur de l'Intelligence Artificielle. Cette étude est destinée à construire des machines capables de s'adapter et d'agir efficacement mais aussi de simuler certains aspects de l'apprentissage humain ou animal pour en faciliter notre compréhension. On distingue cependant les machines conçues pour aider les hommes à apprendre qui ne rentrent pas dans le cadre de l'intelligence artificielle mais pour lesquelles on attribue le terme d'« enseignement assisté par ordinateur ». En dehors de l'objectif commun qui consiste à acquérir des connaissances, les fonctions et les mécanismes d'apprentissage sont variés. On peut considérer les quatre grandes fonctions :

- l'apprentissage qui utilise la mémorisation de souvenirs et qui organise la mémoire grâce à laquelle les souvenirs seront évoqués au moment opportun.

- L'apprentissage qui relève de l'acquisition de concepts.

- l'apprentissage qui porte sur la constitution de savoir faire. Par exemple, dans la mesure où une tâche exécutée plusieurs fois s'accomplit plus rapidement et mieux, il devrait en être de même pour une machine.

- une machine pourrait être comme un homme capable d'inventer de nouvelles théories. Cette Opération reste cependant la plus difficile à mettre en œuvre.

La tentative de simulation de ces quatre grandes fonctions repose sur des mécanismes fondamentaux que l'on peut réaliser sur ordinateur. L'opération commune à tous ces mécanismes est la généralisation qui fait passer d'exemples, c'est-à-dire de points dans un espace de représentation à une fonction qui opère une partition sur cet espace de représentation.

L'apprentissage symbolique porte sur des exemples décrits soit avec des logiques propositionnelles étendues, soit avec la logique des prédicats du premier ordre. Dans la première éventualité, l'apprentissage procède par construction d'arbres de décision ou

d'ensemble de règles de production en faisant appel à des procédures semblables à celles utilisées en analyse des données. Le principe général sur lequel reposent ces techniques tient du fait qu'il conserve les traits communs en évacuant les traits spécifiques.

II- Théories et modèles des apprentissages : les six paradigmes du 20^e siècle

Plusieurs auteurs tels que Johsua et Dupin (2003), Weil-Barais (2004), Sallaberry (2004) évoquent les modèles de l'apprentissage. Par exemple, Johsua et Dupin (2003, p. 74) s'intéressent à quelques théories influentes qui concernent l'apprentissage en sciences. D'après Weil-Barais (2004, p.21), ces théories continuent d'alimenter les épistémologies implicites des élèves et des enseignants malgré leurs limites ou les critiques dont elles souffrent. De son côté, Sallaberry (2004, p.69), présente les six grandes modélisations des processus d'apprentissages repérables au cours du vingtième siècle. On se propose de les évoquer ici tout en cherchant à repérer dans chacune la place et le rôle attribuée à l'hypothèse. Selon Sallaberry (2004, p. 70), les modes de compréhension de l'apprentissage sont liés à des conceptions diverses de la cognition. La question « qu'est ce qu'apprendre ? » est très liée à la question « qu'est ce que connaître ? ». Laquelle renvoie sur une autre question, « qu'est-ce que penser »? Comme le propose Sallaberry (2004), on rappelle ici ce qui fonde chaque paradigme. Une théorie suffisamment élaborée dans sa formalisation est repérable en tant que « logique » de modélisation³⁹, c'est-à-dire en tant que paradigme. Selon Sallaberry (2004), au cours du 20^e siècle, on peut repérer, une succession de paradigmes différents qui s'opposent, se recadrent ou tout simplement s'inscrivent dans des logiques de modélisation différentes.

1. Le paradigme « associationniste ».

Le behaviorisme, ou comportementalisme, a historiquement marqué la naissance de la psychologie. Il constitue la première tentative systématique de donner une base expérimentale à l'étude des comportements. Tout comme le positivisme s'en tient aux faits, le behaviorisme s'intéresse à ce qui est observable, qui sont de deux ordres : les caractéristiques de la situation dans laquelle on place le sujet et le comportement du sujet dans cette situation. En d'autres termes, le « stimulus » et la « réponse ». Apprendre revient dans cette approche à donner la réponse adéquate à un stimulus donné. Concernant les apprentissages élémentaires relatifs au

³⁹ Ce terme exprime à la fois le sens de *paradeigma* (modèle) et la conception du paradigme que propose Khun (1962), pour caractériser un mouvement scientifique « établi », institutionnalisé. Par exemple en mécanique on parle du paradigme de la mécanique classique, du paradigme de la mécanique relativiste, du paradigme de la mécanique quantique.

contrôle par stimulus de l'environnement, les deux principaux mécanismes étudiés chez l'Animal et chez l'Homme sont le conditionnement classique et le conditionnement opérant ou instrumental. Le premier type de conditionnement est dû à Pavlov, il consiste à présenter de façon répétée un couple de deux stimulus, dont l'un est initialement neutre en ce qu'il ne provoque pas de réaction spécifique (le stimulus conditionnel SC), alors que l'autre (le stimulus inconditionnel SI) déclenche une réaction caractéristique dite « réaction inconditionnelle » (RI). Après un nombre variable de couplages, le premier stimulus déclenche la même réaction que le second, ou une réaction similaire, dite « réaction conditionnelle » (RC). C'est en effet à Skinner(1954), l'un des tenants du behaviorisme américain, spécialiste du conditionnement opérant, que l'on doit d'avoir formulé de la façon la plus nette les principes de base et de les avoir étayés d'arguments expérimentaux solides (Richelle, 1968, p.117). Le conditionnement opérant, conçu donc par Skinner se caractérise par la présentation d'un stimulus, agréable ou désagréable, consécutif à une action spécifique du sujet. Cette action est appelée la « réponse instrumentale » dans la mesure où c'est elle qui permet d'obtenir le stimulus consécutif. La répétition des couplages entre la réponse instrumentale et le stimulus consécutif, dans un dispositif construit pour cela appelé « boîte de Skinner » entraîne une augmentation de la probabilité d'apparition de la réponse si le stimulus consécutif, encore appelé feedback est agréable (renforceur) et une diminution s'il est désagréable (punisseur). Qu'il s'agisse du conditionnement classique ou du conditionnement opérant, les facteurs fondamentaux d'apprentissage sont la contiguïté (entre le SC et le SI pour le premier, entre la réponse instrumentale et le stimulus consécutif pour le second), la répétition des couplages (entre deux stimuli ou entre une réponse et un stimulus) et l'intensité (du SI ou du stimulus consécutif renforceur ou punisseur). Un autre facteur important est la valeur prédictive, encore appelée « informationnelle ». Dans le cas du conditionnement classique, il s'agit de la valeur prédictive de SC par rapport à SI (facteur qui ne se confond pas avec la répétition du couplage des deux stimuli). Pour Johsua et Dupin (2003, p.73), cette approche de l'apprentissage, consiste à donner la réponse adéquate à une situation ou un stimulus. Le mécanisme de l'apprentissage est une association répétée entre un stimulus et une réponse. C'est la raison pour laquelle le nom d'associationnisme lui est aussi donné. Le renforcement est la méthode mise en œuvre pour parvenir à l'apprentissage. Dans cette conception de l'apprentissage, on fait l'hypothèse sur un fonctionnement passif de la pensée. Selon Piaget, tous les savoirs nouveaux viennent se superposer les uns aux autres sans jamais s'enchevêtrer : la connaissance est donc principalement de l'ordre de la quantité. Sur le plan pédagogique, pour Sallaberry (2004, p.72) « l'application directe de cette théorie au sujet

humain a produit l'enseignement programmé, qui préside encore à la conception de la plupart des logiciels d'apprentissage ». Selon Watson (1925) cité par Johsua (2003, p.73) on peut enseigner n'importe quoi, à n'importe qui, mais sous une certaine forme : « Donnez-moi une douzaine d'enfants en bonne santé et sans malformation, et mon environnement particulier pour les y élever, et je puis m'engager à prendre n'importe lequel au hasard et à l'éduquer pour qu'il devienne n'importe quelle espèce de spécialiste que je pourrais choisir : docteur, homme de loi, artiste, directeur commercial, et même mendiant, voleur, etc ». Cet apprentissage, conçu ainsi est essentiellement un processus associatif⁴⁰. Il faut pour cela que la connaissance soit suffisamment « petite » pour être confondue avec une réponse adaptée à un stimulus. Ainsi, dans le behaviorisme, les connaissances doivent être décomposées en ses éléments constitutifs afin que l'apprentissage soit un processus associatif du type S-R (Stimulus-Réponse). Pour Watson (1925), cité par Johsua (2003, p.74) : « ...quand on analyse complètement une habitude complexe, on trouve que chaque unité d'habitude est un réflexe conditionné... ».

En s'intéressant à l'étude du comportement humain, en particulier dans les apprentissages scientifiques, cette théorie montre ses limites malgré son utilisation dans l'enseignement programmé. Pour Johsua (2003), « le programme de réduction des apprentissages complexes à des unités d' « habitudes » trouve ses limites, et le behaviorisme au sens strict garde peu de partisans. Mais son influence indirecte demeure grande ». Pour ce qui concerne la place de l' « hypothèse » dans cette théorie, elle est inexistante dans la mesure où l'apprenant est considéré inactif sur le plan de la pensée. D'ailleurs, les représentations initiales ne sont pas évoquées.

L'influence behavioriste se retrouve dans la théorie de Gagner (1970) de l'apprentissage hiérarchique. Hull, cité par Sallaberry (2004, p.72) complexifie le schéma S-R évoqué plus haut, en considérant que les conduites –réponses à une situation S constituent une famille hiérarchisée : « le sujet choisit d'abord la réponse la plus habituelle, puis, en cas d'échec, propose la réponse suivante dans la hiérarchie ». Pour Johsua (2003, p.74), en matière de hiérarchie des capacités, on trouve celle de la résolution de problèmes, c'est-à-dire « les situations où ne sont pas disponibles des automatismes pour s'y confronter, et où l'élaboration d'une stratégie de résolution apparaît nécessaire ». Cette stratégie de résolution requière l'utilisation de principes ou règles reposant eux-mêmes sur des concepts. Ces concepts viennent « de la capacité de « discrimination multiple » (classes de relations S-R),

⁴⁰ Connexion S-R (Stimulus-réponse)

d'associations verbales, de chaînes de stimuli et de réponses ». Ainsi, il considère que « chaque niveau hiérarchique est présenté comme un pré-requis absolu pour la maîtrise du suivant. La régression se termine d'ailleurs classiquement aux unités de réflexes conditionnés, obtenus sur le mode S-R. Le transfert de capacités est spécifique à chaque domaine, par exemple à chaque discipline scientifique, et n'a lieu que d'une manière verticale, et univoque. « La base » conditionne le « sommet » ». Ainsi, selon Gagner (1970), tout apprentissage complexe doit débiter par une analyse des capacités à atteindre, décrites en termes de comportements observables. Selon Johsua (2003, p.75), cette approche a introduit l'idée d'un « enseignement scientifiquement programmé » et a influencé de nombreux pédagogues des sciences pour son prolongement rigoureux du behaviorisme dans le cas des situations de type problème évoqué plus haut.

Pour Johsua (2003, p.76), « Gagner emprunte deux caractéristiques du behaviorisme : la réduction *in fine* d'opérations éminemment complexes à des réflexes, et la possibilité de décrire l'apprentissage en termes de « capacités » observables, et ce à différents niveaux indépendants les uns des autres ». Cette approche de l'apprentissage ne mentionne pas non plus l'utilisation de l'« hypothèse » dans le mécanisme d'apprentissage proposé : l'esprit humain est considéré comme une boîte noire.

Différents auteurs critiquent à leur manière les thèses de Gagner sur l'« enseignement programmé » et son échec (Gutierrez, 1989, p.147-157). On a par exemple un reproche portant sur la confusion que fait Gagner sur la structure « logique » d'un domaine de savoir avec le processus réel d'apprentissage (West et Fensham, 1974, p.1-13). Pour (Hewson 1981, p.383-396), un autre sur le fait qu'il propose un processus en « saut qualitatif » entre les différents niveaux. Enfin de son côté, Resnick (1982) revient sur la notion même d'apprentissage hiérarchique, pour lequel il évoque l'absence de « retour » possible entre les niveaux hiérarchiques, aucune réélaboration, aucune « restructuration ».

2. La théorie de la forme — le paradigme « gestaltiste »

Pour traduire leur rejet de toute hypothèse d'association, qui s'inscrit dans la durée portée par la théorie associationniste, les tenants de la théorie de la forme, ou gestalt-théorie évoque le cas de situations problèmes ou la solution a un caractère soudain. L'exemple du grand singe placé dans une cage, au « plafond » de laquelle est accroché un régime de bananes et qui finit par utiliser après des rebonds incessants des « accessoires » (caisse et bâton) placés dans la cage dès le début, pour décrocher le régime illustre le caractère soudain

de la solution. Ainsi, pour ce qui concerne le principe de causalité, dans l'approche gestaltiste, on considère qu'il faut que « l'idée de cause » existe à priori chez le sujet pour qu'il soit en mesure d'établir un lien de causalité entre deux événements. Les psychologues de cette école de la Forme considèrent que « le problème est une structure, la solution en est une autre. Résoudre le problème consiste à passer d'une structure à l'autre par une restructuration, une réorganisation qui concerne essentiellement le champ perceptif » Reuchlin (1977, p.214). Les données de l'environnement ne s'imposent pas au sujet sous forme d'éléments, mais lui apparaissent sous forme de structures, organisées dans des formes qui ne sont pas réductibles à la somme des éléments. Lorsqu'il y a restructuration (du champ de perception) celle-ci est brusque.

3. La théorie (et le paradigme) opératoire

L'influence de Piaget est importante pour les psychologies cognitives. Il est l'auteur du constructivisme psychologique⁴¹ et propose un modèle de l'esprit humain. Dans l'approche piagétienne, contrairement au courant cognitiviste anglo-saxon, l'esprit humain est conçu comme une structure qui évolue au cours du développement de l'individu sous l'influence de mécanismes à fondement biologique. Pour Piaget (1961), la structure évolue vers des états d'équilibre caractéristiques de stades de développement. Dans cette approche, c'est l'enfant qui contribue activement à la construction de sa personne et de son univers, cependant ce développement cognitif n'est pas linéaire, mais s'effectue par des étapes relativement stables. Pour Sallaberry (2004, p. 74) cette théorie proposée par Piaget provient de la critique de celui-ci envers la théorie associationniste d'être une genèse (il y a construction de la connaissance) sans structure (du sujet), et de la critique de la théorie de la forme de mettre en avant des structures (les formes), mais sans genèse (les formes sont là). Sallaberry (2004, p.74) considère que Piaget a travaillé à partir de ces deux théories, « en proposant que le sujet interagit avec l'environnement à l'aide de structures qui se complexifient et se perfectionnent au fur et à mesure de ces interactions ». On doit à Piaget le développement et la généralisation du concept de structure (Piaget, 1968). Avec la notion de schème, la théorie opératoire développée par Piaget accorde une grande importance aux opérations que le sujet fait subir aux objets, d'où le nom de théorie opératoire donnée à cette approche. Sallaberry (2004, p.74) propose de considérer en guise de définition le schème comme une série d'actions permettant d'atteindre un objectif. Vergnaud (1995, p.66), propose une définition structurale, en la considérant comme « l'organisation invariante de la conduite pour une classe

⁴¹Qui est une conception cognitive

de situations donnée ». Ainsi, il y a opération subie par un objet lorsque le sujet fait rentrer un objet dans l'un de ces schèmes d'action, c'est-à-dire dans un processus d'assimilation de l'objet. Dans la théorie de Piaget (1968), les structures de pensée du sujet se complexifient pour l'amener à passer d'une intelligence « concrète » (sensori-motrice) où le sujet pense en agissant sur les objets, à une intelligence abstraite (fondée sur les représentations). A ce stade, le sujet n'a plus besoin d'agir concrètement sur les objets pour penser. Par exemple, il peut penser les déplacements sans les réaliser, pour en tirer les conclusions. Pour Sallaberry (2004, p.75), « le sujet peut « agir en pensée ». Il se représente les objets et ses actions sur ces objets et peut agir sur ses représentations. Ensuite le sujet passe à une intelligence formelle, fondée sur les représentations et les opérations. L'approche constructiviste de Piaget (1968) s'explique par le fait que le sujet construit son savoir en perfectionnant ses structures de pensée au niveau théorique comme au niveau épistémologique. Selon Weil-Barais (2004, p.25), « le constructivisme fournit un modèle d'élève actif et autonome, capable de s'auto-diriger dans les activités que lui offre le milieu ».

Un des grands volets des travaux piagétien concerne les rapports entre structures logico-mathématiques et connaissances nouvelles. On distingue tout d'abord le rapport de type *assimilation* pour lequel une connaissance peut être insérée dans le système cognitif si sa structure est compatible avec celle du système cognitif. « ...le système trie et sélectionne ce qui est conforme à sa structure ou, ce qui revient au même, il décode dans son propre langage et intériorise sous cette forme le système de relations qui lui est présenté » (Halbwachs, 1983). Pour un rapport de l'ordre de *l'accommodation*, « dans le système de connaissances qui est accepté — ou transcodé — par le système cognitif, s'introduisent des relations nouvelles qui généralisent ou élargissent les structures propres au système cognitif » (Halbwachs, 1983). *L'équilibration* permet de régler les rapports entre la structure cognitive du sujet et les sollicitations extérieures.

La théorie piagétienne présente d'après certains auteurs des limites en particulier d'ordre didactique. Par exemple (Johsua et Dupin 2003) la théorie piagétienne donne peu de place aux effets d'un enseignement, de type scolaire et les écrits proprement pédagogiques de Piaget sont peu nombreux et se limitent en fait à la prescription de donner aux jeunes enfants un environnement matériel riche, et une série d' « interdits », comme de ne pas chercher à enseigner une capacité qui appartiendrait à un stade supérieur à un enfant trop jeune. Le raisonnement « toute chose égales par ailleurs » est un exemple une capacité qui ne pourrait être abordé avant le « stade formel ».

Selon Vergnaud (1981 a), outre le désintérêt pour l'acquisition des connaissances scolaires, Piaget s'est intéressé davantage aux structures pouvant caractériser un stade donné de développement qu'à l'évolution adaptative des connaissances dans une situation. Il lui reproche d'avoir distingué la connaissance mathématique de la connaissance de la réalité physique et d'avoir privilégié les opérations et les structures logiques et contribué de fait à minimiser les contenus de connaissance de physique ou mathématique. Pour Johsua et Dupin (2003, p.98), « même si le cadre piagétien fournit un bon paradigme d'interprétation, son manque de sensibilité aux différences de situations comme aux différences de contenus en ferait un outil inadéquat pour penser une didactique des sciences ».

4. Le paradigme constructiviste-interactionniste

Un reproche fait à la théorie de Piaget concerne le fait qu'elle ne mentionne pas d'interaction du sujet avec d'autres personnes au cours du développement de ses structures. Tout se passe comme s'il s'agissait d'un « développement isolé ».

Ainsi, des auteurs comme Wallon, Vygotsky, Bruner adoptent des positions convergentes sur l'importance de l'implication des autres notamment des adultes, dans le développement de l'enfant⁴². Des auteurs considèrent que c'est le cadre interactionniste qui s'impose de manière générale aujourd'hui dans la construction mentale par l'appréhension de l'environnement ; c'est le cas de Resnick (1980) : « Finalement, les conceptions actuelles sur la nature de l'apprentissage et du raisonnement sont interactionnistes. On suppose que l'apprentissage résulte de constructions mentales de l'apprenant. Ces constructions répondent aux informations et stimuli de l'environnement, mais ils n'en sont pas des miroirs ou des copies. Cela signifie que l'instruction doit être conçue non pour mettre des connaissances dans la tête des élèves, mais pour mettre des élèves dans les situations qui leur permettent de construire des connaissances structurées. »

D'autres auteurs comme Doise et Mugny (1978), vont retenir le « conflit socio-cognitif »⁴³, en gardant la théorie opératoire mais en prenant en compte l'importance de l'interaction sociale. Pour Doise, Deschamps et Mugny, (1978, p.255), « ...c'est au travers de conflits de centration

⁴² Ces trois auteurs peuvent être considérés comme des « théoriciens de la médiation ».

⁴³ « Nous ferons l'hypothèse.... que c'est au travers de conflits de centration que s'effectue cette élaboration cognitive. L'idée d'un conflit socio-cognitif comme processus par lequel s'actualiserait le développement cognitif relève d'une conception à la fois interactionniste et constructiviste : c'est en effet à partir d'expériences cumulatives et progressives que les sujets élaborent des instruments cognitifs nouveaux, aux travers d'interactions lors desquelles le sujet est essentiellement actif...Le progrès cognitif, qui a été décrit comme un processus de décentration, serait surtout suscité par la nécessité de coordonner des centrations opposées dans une action commune. » (Doise, Deschamps, Mugny, 1978,p.255)

que s'effectue cette élaboration cognitive. L'idée d'un conflit socio-cognitif comme processus par lequel s'actualiserait le développement cognitif relève d'une conception à la fois interactionniste et constructiviste : c'est en effet à partir d'expériences cumulatives et progressives que les sujets élaborent des instruments cognitifs nouveaux, au travers d'interactions lors desquelles le sujet est essentiellement actif... ». Selon Sallaberry (2004, p.76), la position de Vygotsky (1934-1937) tout en étant inscrite dans l'« interactionnisme social » est une approche « plus radicale » dans la mesure où pour Vygotsky (1934-1937, p.191) « la vraie direction du développement ne va pas de l'individuel au social, mais du social à l'individuel ». En effet « chaque fonction psychique supérieure apparaît deux fois au cours du développement de l'enfant : d'abord comme activité collective, sociale et donc comme fonction interpsychique, puis la deuxième fois comme activité individuelle, comme propriété intérieure de la pensée de l'enfant, comme fonction intrapsychique » Vygotsky, (1985, p.111). Ainsi dans cette approche, la pensée « collective » précède la pensée « individuelle », car dans une situation d'apprentissage, un concept existe déjà au niveau collectif lorsqu'il est proposé à la construction par un sujet. Le concept de « zone proximale de développement » qu'il construit, permet de distinguer le développement « déjà réalisé » et celui qui devient possible dès lors que l'adulte aide l'enfant. Cela correspond à ce que l'enfant est capable de réaliser avec l'aide de l'adulte. Ainsi pour Vygotsky (1985), le développement procède d'un mouvement qui va de l'interpsychique (interactions avec les adultes et avec les pairs) à l'intrapsychique (intériorisation de procédés appris au cours des interactions sociales). Pour Sallaberry (2004, p.77), l'activité est « non seulement « individuelle-cognitive » mais aussi « sociale-interactive » ». Dans la conception vygotskienne, les processus d'apprentissage et de développement sont liés par des « rapports dynamiques d'interdépendance » (Vygotsky, 1985 p. 156). Le bon enseignement, selon Vygotsky (1985), est celui qui précède le développement, c'est-à-dire celui qui sollicite l'enfant au-delà de ses possibilités actuelles, dans la limite raisonnable de ses capacités. On constate que cette approche prend en compte la participation active de l'apprenant dans le processus de construction du savoir. Néanmoins, on constate que cette construction se fait dans le sens collectif vers l'individuel.

De leur côté, Perret-Clermont (1979) tout comme Mugny (éd., 1985) adopte une position moins linéaire : « La causalité que nous attribuons à l'interaction sociale n'est pas unidirectionnelle ; elle est circulaire et progresse en spirale : par l'interaction, l'individu maîtrise certaines coordinations lui permettant alors de participer à des interactions sociales plus élaborées qui, à leur tour, deviennent source de développement cognitif » (Doise et

Mugny, 1981). Ce sont ces auteurs qui ont développé la psychologie sociale génétique, en cherchant à montrer l'origine sociale des grandes intégrations cognitives caractéristiques de l'approche structurale de Piaget. L'approche sociale modifie la conception de Piaget en insistant sur les aspects sociaux des conflits. Ainsi, le conflit socio-cognitif est un des paradigmes majeurs de cette théorie qui a une implication importante en pédagogie des sciences. « ...La dynamique du développement résulte principalement d'un conflit de communication sociale...l'occurrence de conflits de communication est une condition nécessaire à la décentration intellectuelle » (Doise et Mugny, 1981). Pour ces auteurs, des situations d'interaction sociale où des enfants doivent coordonner leurs actions ou leurs points de vue conduisent ainsi à des progrès cognitifs (Doise, 1973), (Doise, Mugny et Perret-Clermont, 1975). Ainsi, c'est le conflit qui est productif et non la seule interaction. En fait, « c'est la prise de conscience par l'enfant de réponses autres que la sienne... Autrui, lorsqu'il s'inscrit dans une relation conflictuelle, crée un conflit qui rend explicite la différence... Sans ce problème social, l'enfant aurait peu de chances de ressentir un conflit cognitif » (Doise et Mugny, 1981). S'il est possible d'observer des progrès sans qu'aucun des sujets ne maîtrise totalement les opérations nécessaires pour la tâche, Il faut cependant dans d'autres cas des conditions pour que le progrès ai lieu : « C'est lorsque les sujets ne maîtrisent pas encore les coordinations cognitives en jeu dans l'effectuation de la tâche qu'on peut constater cette avance. Par contre la supériorité du groupe n'est plus retrouvée lorsque les coordinations impliquées sont acquises par chacun » (Perret-Clermont, 1981). Pour les situations de classe par exemple, il faut certaines conditions générales pour que le conflit soit pertinent : des points de vue différents doivent se rencontrer, s'assurer qu'il n'y a pas acquiescement d'un des protagonistes du groupe par complaisance ou soumission. L'« hypothèse » occupe une place importante dans cette approche, puisque l'apprenant participe à la construction du savoir en exposant et en défendant ses idées au sein du groupe.

Certains auteurs ont formulé des critiques vis-à-vis de cette approche :

On estime tout d'abord que la spécificité des contenus et des situations devrait être prise en compte pour ce qui concerne les implications didactiques. D'autres critiques sont formulées pour mettre en cause l'unicité du mécanisme du conflit socio-cognitif dans les interactions sociales. Certains auteurs proposent différents types de collaboration dans des situations de « co-résolution » de problèmes : « collaboration acquiesçante », « co-construction », « confrontations avec désaccords non argumentés sans coordinations subséquentes », « conflit socio-cognitif proprement dit » (Gilly, Fraisse et Roux, 1988). On note des effets bénéfiques dans toutes ces formes de coopération (Blaye, 1988). D'un point de vue générale, « le

bénéfice des interactions paraît lié non au conflit socio-cognitif au sens strict, mais à deux grandes fonctions des interventions de l'autre : la déstabilisation et le contrôle » (Gilly, 1988), ce qui conduit à une nécessaire prise en compte des relations spécifiques entretenues par les sujets avec chaque type de tâche selon Johsua et Dupin (2003, p.110).

De son côté, le marquage social pourrait être attribué non à un conflit de réponses, mais à l'activation d'un fonctionnement cognitif plus puissant, et c'est ce choix de procédures qui serait le moteur du progrès (Gilly, Fraisse et Roux, 1988). Selon Gilly (1988) : « Les mécanismes impliqués dans les genèses sont complexes. Ils peuvent à certains moments des constructions et selon la nature de celles-ci être essentiellement constitués par des processus d'imitation ou de conditionnement social ; à d'autres moments, c'est la fonction de contrôle d'un pair ou la fonction régulatrice du guidage d'un aîné qui pourra être déterminante si les progrès visés supposent une meilleure gestion de l'autonomisation des conduites de résolution. Si, pour certains progrès, des ruptures et réorganisations sont nécessaires, c'est la fonction de déstabilisation, voire de contradiction socio-conflictuelle, qui, à d'autres moments, pourra être centrale. Mais en tout état de cause, même quand l'un de ces mécanismes interactifs est plus essentiel que les autres, il n'agit pratiquement jamais seul. Les choses se compliquent encore puisque la signification sociale des tâches et des contextes situationnels intervient à son tour ».

5. Paradigme cognitiviste fort

Le paradigme cognitiviste fort constitue l'un des deux grands courants des sciences cognitives. Selon Sallaberry (2004, p.78), c'est un paradigme nouveau qui trouve ses origines dans le mouvement cybernétique et qui a comme hypothèse fondatrice : « Connaitre, c'est effectuer, sur des représentations, des manipulations réglées » (Dupuy, 1994, p.22). Elle est portée par Newell et Simon (1972) ainsi que de nombreux psychologues tels que Richard (1990). Ces auteurs considèrent qu'il est possible de modéliser le fonctionnement du cerveau et de la pensée en s'appuyant sur la capacité d'effectuer des fonctions logiques (« et », « ou ... ») en utilisant des montages avec des diodes. Dans l'approche cognitiviste, contrairement au behaviorisme l'esprit humain n'est plus considéré comme une « boîte noire ». Cette approche étudie l'esprit humain pour en proposer des modèles de fonctionnement. Pour le cognitivisme d'origine anglo-saxonne l'esprit humain est conçu comme un système dont le fonctionnement peut être comparé à celui d'un ordinateur qui traite l'information

Les caractéristiques du cognitivisme « traitement de l'information » résident dans le fait qu'il revalorise la mémoire à long terme contrairement au constructivisme piagétien ; il a renouvelé les approches dans un grand nombre de domaines comme par exemple la lecture, la compréhension, et l'attention. Il a en outre aidé à la conception d'instruments de remédiation cognitive ou encore de logiciels éducatifs.

6. Le paradigme connexionniste

Comme il a été évoqué précédemment, il existe un second courant des sciences cognitives. Ce courant met l'accent sur les connexions entre neurones (naturels ou artificiels) d'où l'appellation connexionnisme. Dans cette approche, la règle d'apprentissage qui fut la plus explorée est la « règle de Hebb » (Smolensky, 1992). Selon cette règle, l'apprentissage correspond à des modifications du cerveau liées au degré d'activité corrélée entre les neurones. Ainsi, si deux neurones essaient de s'activer en même temps, leur lien est renforcé, autrement il est diminué. Selon Varela (1989), « la configuration des liens du système devient inséparable de l'histoire de ses transformations et du type de tâche qui lui est impartie. Le nom connexionnisme (appelé souvent néo-connexionnisme, par opposition au paléo-connexionnisme des années de la cybernétique) vient du fait que l'action a véritablement lieu au niveau de la connexion des neurones. ». Cette approche a bénéficié d'un intérêt grandissant à cause de l'introduction de certaines méthodes efficaces pour observer les modifications de ces réseaux. Comme le souligne Sallaberry (2004, p.80), « dans cette logique de modélisation, on peut observer, à partir d'un certain niveau de complexité d'un réseau, des propriétés émergentes ». Dans cette interprétation, Sallaberry considère que « la cognition est l'émergence d'états globaux dans un réseau de composants simples. La conscience, le langage, la pensée, sont alors des propriétés émergentes du fonctionnement de notre système nerveux. »

Aujourd'hui, les théories connexionnistes proposent des modèles qui expliquent de manière satisfaisante un certain nombre de facultés cognitives intéressantes, comme la reconnaissance rapide, la mémoire associative et la généralisation catégorielle. Cette approche soulève beaucoup d'enthousiasme aujourd'hui pour plusieurs raisons : selon Varela (1989, p.67), « l'intelligence artificielle et les neurosciences ont obtenu peu de résultats rendant compte de ce type de comportement cognitif. Ensuite les modèles connexionnistes sont beaucoup plus proches des systèmes biologiques, ce qui permet l'intégration relative des recherches effectuées en intelligence artificielle et en neurosciences. Ces modèles sont suffisamment

généraux pour être appliqués presque tels quels à divers domaines comme la vision ou la reconnaissance de la parole. ». Il y a d'autres exemples d'état neuronaux émergents correspondant à des tâches ne demandant aucun apprentissage comme le mouvement des yeux. La majorité des tâches cognitive que l'on cherche à comprendre implique des transformations liées à l'expérience. Ceci explique l'intérêt pour les règles d'apprentissage comme celle de Hebb. De telles règles d'apprentissage donnent un réseau neuronal qui en plus de configuration émergentes, permet de synthétiser de nouvelles configurations selon l'expérience.

Deux classes de méthodes d'apprentissage sont principalement étudiées aujourd'hui. La première, illustrée par la règle de Hebb et que les mécanismes cérébraux ont inspirée, est l'apprentissage par corrélation : on présente au système une suite d'exemples qui le conditionneront pour les prochaines occurrences. La seconde méthode est l'apprentissage par imitation, c'est-à-dire, en utilisant un modèle qui sert de « professeur » actif. Dans ce cas de figure, l'apprentissage ressemble à l'imitation d'un maître par un élève. Un exemple récent est NetTalk, c'est un convertisseur graphème-phonème qui travaille à partir de quelques pages de texte anglais présentées dans sa phase d'apprentissage. NetTalk peut ensuite « lire à haute voix » un nouveau texte avec une élocution anglaise intelligible.

III- Quelle didactique pour enseigner les sciences physiques : utilisation des situations problèmes

Mise en évidence du problème

Comme il a été évoqué dans le chapitre précédent, les élèves éprouvent de grandes difficultés dès lors qu'on leur demande de mettre en pratique la démarche scientifique. Les résultats des enquêtes et des rapports évoqués dans le chapitre précédent montrent que les élèves n'aiment pas la physique telle qu'elle leur est enseignée. L'utilisation quasi-systématique de la démarche inductiviste⁴⁴ pour enseigner les sciences en est très largement responsable de cette situation.

1. Utilisation des six paradigmes du XXe siècle

En résumant outrancièrement les six paradigmes, on peut les caractériser ainsi :

-Le paradigme associationniste pour le behaviorisme dont le fondement est *penser c'est associer (des objets)*

⁴⁴ Terme utilisé par Robardet, cf.infra.

-Le paradigme structuraliste pour la théorie de la forme. Dans cette approche, *penser c'est reconnaître une forme.*

-Le paradigme structuraliste et constructiviste de la théorie opératoire pour lequel : *penser c'est agir sur les objets.*

-Le paradigme constructiviste interactionniste pour les tenants de la « cognition sociale », pour lequel, *penser c'est agir sur les objets, mais dans un contexte relationnel et social.*

-Le paradigme de traitement de l'information (ou du calcul des représentations), pour le cognitivisme : ici, *penser c'est calculer des représentations.*

-Le paradigme de l'émergence, pour le connexionnisme, pour lequel : *penser c'est faire émerger de formes.*

Le pédagogue peut trouver dans chacune de ces modélisations des idées utiles pour mettre en place ses situations d'apprentissage.

Il s'agit maintenant d'évoquer d'autres apports, ceux de la didactique et ceux, plus récents que les six formalisations précédentes, d'auteurs importants comme Varela ou Changeux.

2. Critique du modèle didactique classique inductiviste

C'est la démarche inductiviste qui était jusque très récemment largement utilisée dans l'enseignement classique des sciences physiques. Cette démarche consiste à analyser une expérience prototypique en classe à partir de laquelle, on met en évidence les concepts et les lois. Le passage du fait à la loi fait intervenir, la rigueur, l'observation et la mesure. C'est une démarche qui présente beaucoup d'intérêt pour l'enseignant mais qui n'apporte pas satisfaction au niveau du fonctionnement cognitif des élèves.

Tout d'abord, cette démarche vise avant tout l'« enseignement du modèle » et non la « modélisation ». Ainsi, les élèves sont spectateurs d'un raisonnement linéaire, sans tâtonnement, qui se construit sans son implication cognitive. Ils peuvent être amenés à manipuler (c'est le cas lors des séances de TP classiques) sans pour autant être auteur de la révélation de la loi ni de l'élaboration du concept. En effet, l'inductivisme évacue le doute : tout doit être parfait, les expériences doivent donner les résultats attendus. Dans le cas contraire, une expérience ratée laisse en générale chez les élèves une impression négative des compétences de l'enseignant. Ainsi, la conceptualisation est rapide, l'apprentissage est programmé et les élèves doivent suivre la progression de l'enseignant. Dans une certaine

mesure, l'expérience de classe cherche le plus que possible à coller au modèle. Pour cela, elle est simplifiée, épurée ce qui l'éloigne des phénomènes de la vie courante.

Un autre inconvénient de la démarche inductiviste vient du fait qu'elle ne prend pas suffisamment en compte le fonctionnement cognitif des enfants. La méthode inductiviste a pour objectif la transmission des représentations du maître, tout en ignorant celles des élèves. « Toute la recherche en didactique de cette dernière décennie montre à quel point les représentations naïves des élèves résistent à un tel enseignement expérimental » (Joshua et Dupin 1985). L'exemple du principe de l'inertie a été étudié par Viennot (BUP n°716 sept.89). Les résultats des recherches montrent que dans le meilleur des cas, l'élève accepte le modèle et apprend à le manipuler cependant que d'autre part, et dans le même temps, il conserve intactes ses préconceptions construites sur des situations réelles qu'il considère comme non analysables par la Physique. « Ainsi ce qui disparaît dans ce fonctionnement, c'est le rôle de l'expérimentation permettant à l'élève de créer un espace de sens et de construire un savoir nouveau comme solution à une classe de problèmes... » (Joshua et Dupin 1985). D'un autre côté, selon Bachelard (1938) : « Et quoi qu'on dise, dans la vie scientifique, les problèmes ne se posent pas d'eux-mêmes. C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir de connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit » (Bachelard 1938). Dans ce cas, un enseignement utilisant la démarche inductiviste, ne peut être motivante pour les élèves car ne s'appuie pas sur la construction de la connaissance chez eux. Ils finissent par considérer la démarche scientifique comme du « bricolage ou tout simplement une malhonnêteté intellectuelle » (Boyer et Tiberghien, 1989). On peut lire par exemple : « tous ont en commun de ne pas contester radicalement l'existence d'un enseignement obligatoire de sciences physiques. C'est sa mise en œuvre qui est en cause : la connaissance y est hégémonique, et dissociée de l'action. L'accumulation de savoirs apparaît comme une fin en soi propre au système éducatif, alors que le désir de connaissance semble lié au souhait d'action ou de réflexion... ».

Il nous apparaît tout aussi important de retenir les extraits suivants :

« On note donc que les sciences physiques ne provoquent pas un fort intérêt par elles mêmes, contrairement à d'autres disciplines. Elles ne retiennent qu'une frange de scientifiques ». Les témoignages suivants proposés par des élèves en donnent quelques éléments d'explication :

-« C'est très scolaire, on ne peut pas s'en servir en dehors du milieu scolaire » ;

-« On est obligé de suivre le programme, c'est pour avoir le niveau le plus élevé » ;

-« Les questions doivent se rapporter au cours seulement... C'est dommage de se restreindre de poser des questions quand on a de l'intérêt pour quelque chose...Après on ne cherche plus à savoir ».

3. Recherche d'une démarche constructiviste du savoir scientifique

On reprend ici les résultats proposés par Robardet (1990). Cet auteur et son équipe ont élaboré une démarche didactique plus proche de la démarche scientifique. Dans la démarche proposée, l'expérience n'est plus première, elle ne vise plus la « mise en évidence des lois ». Elle intervient, au contraire à postériori, pour confirmer ou infirmer une hypothèse. Le raisonnement n'est plus inductif mais hypothético-déductif. Trois critères importants caractérisent cette démarche :

Tout d'abord, la nécessité de prendre en compte les représentations initiales des élèves. En effet, avant l'apprentissage, les élèves possèdent déjà une représentation mentale, souvent erronée, de la chose qu'ils doivent étudier. Selon Robardet (1990), «La réception d'un message, l'analyse d'un fait ne peut être effectuée par l'élève qu'à travers son propre système de représentations. C'est ce système et lui seul qui lui permet de décoder l'information qu'il reçoit. C'est en fonction de l'évolution de celui-ci qu'il construira, révisera ou affinera son savoir ». La construction du savoir suppose donc la prise en compte des représentations initiales des élèves.

Le deuxième critère concerne la révision du rôle de l'expérience. En effet, selon Robardet (1990), « l'apprentissage, c'est-à-dire l'évolution des représentations de l'élève vers un système objectivement et scientifiquement acceptable, ne pourra être réalisé que progressivement sous le contrôle de l'expérience ». Ainsi, l'expérience prototypique est remplacée par un contrôle expérimental au moyen duquel les élèves pourront vérifier eux-mêmes, a postériori, la validité de ses représentations. Les concepts, les lois ne découleront plus d'une expérience première, ils seront assimilés par les élèves à la lumière de l'évolution de leurs représentations.

Le troisième critère consiste à bien distinguer le modèle et les faits. En effet, l'approche inductiviste repose sur un enseignement des théories effectué au plus près de l'observation des faits. Le principal inconvénient de cette démarche est que les élèves ne font pas la différence entre les faits et le modèle c'est-à-dire l'environnement théorique qu'ils n'ont pas élaboré.

L'une des conséquences largement répandues chez les élèves, c'est qu'ils limitent le raisonnement scientifique à l'application des formules pour effectuer des calculs.

Le choix d'une démarche qui vise à faire les élèves construire leur savoir scientifique doit selon Robardet (1990) « veiller à bien différencier le modèle et la réalité des faits. Il sera prudent, à cette fin, de procéder à l'observation et à l'analyse de situations expérimentales profondément ancrées dans la réalité quotidienne et non simplifiées ». Dans cette perspective, Robardet (1990) propose de ne plus proposer les manipulations classiques telles que : « l'étude du point matériel, les glissements sans frottements, les lentilles parfaitement convergentes, ... ». C'est, selon Robardet, aux élèves de sentir la nécessité de simplifier la situation qu'ils étudient. Ainsi faire les élèves réfléchir et débattre sur les situations tirées de la vie courantes, sans simplifier par avance doit être privilégié. L'introduction des modèles doit se faire quand les élèves comprennent la nécessité et ressentent le besoin.

4. La situation-problème : un instrument didactique adapté.

En s'appuyant sur les résultats de ses travaux, Robardet(1990) propose d'« élaborer un cadre didactique visant à substituer à la démarche inductiviste une procédure hypothético-déductive ». L'instrument de cette procédure est la situation – problème que Rousseau (1983) décrit par : Il s'agit « ...non pas de communiquer les informations qu'on veut enseigner, mais de trouver une situation dans laquelle elles sont les seules à être satisfaisantes ou optimales- parmi celles auxquelles elles s'opposent-pour obtenir un résultat dans lequel l'élève s'est investi ».

Pour Meirieu (1988), c'est une tâche que l'on propose aux élèves et qu'ils ne peuvent mener à bien que s'ils surmontent un obstacle qui constitue le véritable objectif d'acquisition du formateur. Grâce à l'existence d'un système de contraintes les élèves ne peuvent mener à bien le projet sans affronter l'obstacle, en même temps, ils ne peuvent surmonter l'obstacle que grâce à un système de ressources.

Selon Bachelard (1938), les obstacles à la construction de la connaissance constituent une difficulté majeure en Sciences Physiques. Il considère en outre que le dépassement de ces obstacles est indispensable à la formation de l'esprit scientifique.

Pour résumer, nous reprenons ici les caractéristiques d'une situation-problème en sciences physiques que propose Robardet (1990) à partir des résultats de ses recherches :

-L'objectif pédagogique visé par une situation-problème est toujours le franchissement d'un obstacle par l'élève. Ce n'est donc qu'après avoir parfaitement identifié cet obstacle que le maître peut entreprendre la recherche de la situation-problème la plus adaptée.

-L'étude doit être construite autour d'une situation concrète et non épurée, expérimentale ou théorique, qui doit permettre à l'élève de formuler des hypothèses- des conjectures, d'anticiper l'observation ou la réponse à la question.

-L'élève, éventuellement placé en présence du dispositif expérimental, doit être conduit à formuler ses conjectures préalablement à la mise en œuvre de l'expérience. Il sera ainsi contraint d'explicitier ses représentations.

-La situation-problème doit revêtir un caractère énigmatique pour l'élève et doit donc s'accompagner d'un besoin de résoudre : il doit y avoir problème pour l'élève.

-L'élève ne doit pas avoir, au départ, les instruments de la résolution. En ce sens, la situation – problème se distingue de la plupart des problèmes habituellement proposés aux élèves. C'est le besoin de résoudre qui doit conduire l'élève à élaborer ou à s'approprier les instruments de la résolution.

-La formulation de conjectures vise à révéler à l'élève l'écart qui existe entre ses représentations et les faits. Elle suscite, par conséquent le conflit cognitif et socio-cognitif entre les élèves qu'il conviendra de gérer dans le cadre d'un débat scientifique, l'objectif étant de faire évoluer favorablement les représentations.

5. L'apport de Varela

Varela propose de nouvelles perspectives pour la modélisation de la cognition. Au départ, son approche de la cognition est connexionniste (état d'excitation plus ou moins grand de la connexion, propriétés distribuées, émergence d'un état global du système...). Il tente d'établir une modélisation intermédiaire (une "voie moyenne") entre le paradigme cognitiviste fort et le paradigme connexionniste. « Comment l'émergence sub-symbolique et la computation symbolique peuvent-elles être reliées ? La réponse la plus évidente à cette question est que les deux approches sont complémentaires, l'une ascendante et l'autre descendante, ou qu'elles pourraient être conjuguées dans un mode mixte, ou encore utilisées à des niveaux ou des stades différents... De notre point de vue, la relation la plus intéressante entre l'émergence sub-symbolique et la computation symbolique est une relation d'*inclusion*,

où les symboles nous apparaissent comme une description de plus haut niveau d'un système distribué sous-jacent. »⁴⁵ Varela (1989b, p.80)

En résumé : « *Question 1 : Qu'est-ce que la cognition ? Réponse : L'action productive : l'historique du couplage structurel qui énonce (fait émerger) un monde.* » Varela (1989b, p.112)

6. L'apport de la théorie des représentations

Comme le souligne Sallaberry (2004) il faut « examiner à quelles conditions une théorie des représentations peut recadrer les différentes propositions, ou encore permettre des avancées, en termes de modélisation des apprentissages et de possibilité d'utilisation, par les chercheurs en didactique comme par les enseignants ». Pour lui, deux problèmes surgissent aussitôt : « celui de la définition et celui de la compatibilité avec l'articulation individuel-collectif ». Pour ce qui concerne la définition, si le terme de « conception » est utilisé par certains auteurs en lieu et place de « représentation » comme c'est le cas pour Giordan, d'autres auteurs emploient les deux termes ouvertement, c'est le cas de Sallaberry, pour qui le terme de conception convient pour désigner des « élaborations qui, bien que largement imagées (aspect R1), font appel à des éléments rationnels (aspect R2) »⁴⁶. Cela convient selon lui dans la mesure où les élèves construisent des représentations de ce type dans les disciplines enseignées.

Pour ce qui concerne l'articulation du niveau logique individuel et du niveau logique collectif, Sallaberry considère que cette conception de la représentation convient. Il propose un « paradigme représentationnel ⁴⁷ », apportant une modélisation de la cognition. Selon Sallaberry (2004, p.88) : « la cognition revient à construire des représentations ». Pour cela, il considère que les représentations peuvent ne pas être toutes « calculables » c'est-à-dire de type R2, c'est à dire à bords nets. Elles peuvent être de type R1, représentations à bords flous (représentations-images) ou encore de type R2 à bords flous, c'est-à-dire des représentations en cours d'affinement des bords : « le sujet qui les construit est en train de les travailler, d'élaborer sa pensée pour l'affiner... ». Il propose un « paradigme connexionniste avec

⁴⁵ Varela fait aussi remarquer : « La compétence du système pourrait être décrite comme un processus d'inférence fondé sur des règles symboliques, mais la performance appartient à un niveau différent et s'accomplit sans aucune référence à un interprète symbolique. » (1989b, p.83). Varela fait ici référence à l'hypothèse, développée par Smolensky (1992), d'un fonctionnement connexionniste au niveau sub-symbolique, coordonné à un fonctionnement symbolique à un niveau supérieur (du psychisme).

⁴⁶ Voir plus loin pour plus de détails sur la catégorisation des représentations

⁴⁷ Nous résumons ainsi l'expression « paradigme connexionniste avec représentations ». Cf. infra

représentations “, en faisant l’hypothèse que « l’émergence d’un état global du système nerveux correspond à l’émergence d’une représentation » (Sallaberry, 2004, p.89).

7. L’apport de Changeux

L’apport de Changeux (2002) est l’un des plus récents, il propose de « mettre en relation l’organisation anatomique et les états d’activité de notre cerveau avec les fonctions cognitives que sont l’acquisition de connaissance et l’évaluation de la vérité » (Changeux, 2002, p.13). Pour ce qui concerne l’apprentissage et la cognition, Changeux s’écarte de l’empirisme, du constructivisme et de l’innéisme. Son intérêt pour la neuroscience lui permet d’aborder les questions sur le neurone ou sur les connections : « des connaissances seraient stockées sous la forme d’un réseau réunissant des neurones distribués dans plusieurs aires distinctes du cerveau » Changeux (2002, p.82). Selon Sallaberry (2004, p.90), « la conception proposée, pour l’apprentissage et la cognition, repose sur l’élaboration puis la sélection, par le sujet humain, de pré-représentations, au cours de jeux cognitifs entre le sujet et le monde extérieur ». En effet pour Changeux (2002, p.91), « le jeune enfant dès sa naissance est constamment en train d’explorer le monde extérieur... On peut estimer que cette activité exploratoire s’accompagne, voire s’organise autour de la production, dans son cerveau, « d’hypothèses spontanées » que j’ai appelé des « pré-représentations » ; elle implique aussi leur mise à l’épreuve par essais et erreurs au travers de ce qu’on peut appeler des « jeux cognitifs » (p.91) Changeux considère que « l’acquisition de connaissances est indirecte et résulte de la sélection de pré-représentations... » ; Selon Sallaberry (2004, p.91), l’évaluation de la validité de la pré-représentation (de son adéquation vis-à-vis de l’environnement), ou test de l’adéquation pourrait reposer sur deux « mécanismes plausibles » : la sélection par la récompense (les signaux reçus de l’environnement mobilisent des voies neuronales liées à la récompense) et la sélection par résonance (correspondance entre l’activité perceptive et la pré-représentation). (pp.97-98). Cette phase de sélection est donc liée à l’environnement d’une part, et d’autre part au système nerveux. Selon Changeux (2002), c’est l’hypothèse de « l’espace de travail neuronal » : « les neurones de l’espace de travail situés dans le cortex pré-frontal mettent à l’épreuve les hypothèses ou les pré-représentations internes qui fournissent un contexte pour la réactivation par l’hippocampe de souvenirs... dans des domaines directement ou indirectement liées à la perception sensorielle ou à l’action motrice. Quand les souvenirs adéquats sont retrouvés et que la sanction de l’évaluation interne est positive (récompense), ils sont alors intégrés aux représentations de l’espace de travail via l’hippocampe. » Changeux (p.161). Ce propos de Changeux, peut donc être une explication à

l'ancrage solide des représentations naïves (ou initiales) des apprenants, que l'on cherche à déconstruire selon Giordan cité plus haut pour construire le savoir. Il peut être aussi une explication de la fragilité des connaissances acquises par les apprenants par le biais de pratiques didactiques de type transmission du savoir du maître à l'élève sans la participation active de ce dernier. Cela laisse donc supposer que l'étape de formulation d'hypothèse par l'apprenant, dans laquelle celui-ci s'implique activement par la pensée est déterminante pour que l'apprentissage soit efficace. Notons par ailleurs que Changeux (2002) interroge aussi la liaison entre la connaissance et la vie sociale — à l'instar de Vygotsky (1985), rejoignant aussi la volonté de Sallaberry (2004) de ne pas oublier l'articulation individuel-collectif. En s'appuyant sur des exemples précis, Changeux (2002) propose son modèle de l'interaction sociale. Ainsi, pour ce qui est du passage du babillage du bébé humain au babillage culturel en imitant les voyelles produites par les parents, il considère que l'enfant établit des connexions « entre un corpus de significations cérébrales mises en place par les jeux cognitifs et le répertoire de structures sonores utilisées dans le groupe social au sein duquel il se développe » (Changeux, 2002, p.218).

Conclusion

La multiplicité des différents paradigmes montre que l'apprentissage n'est pas un processus facilement modélisable, alors que paradoxalement l'acte d'apprendre est une activité courante et banale. Chaque paradigme apporte des considérations pertinentes sur l'apprentissage, mais ne peut s'imposer unilatéralement à la didactique de l'enseignement d'une discipline en particulier à la didactique des sciences physiques. L'approche fondée sur la représentation, complétée par l'apport de Changeux (2002), semble être en cohérence avec les orientations didactiques préconisées pour l'enseignement des sciences physiques. Rappelons que face au constat du désamour pour la science, l'apprentissage par la méthode d'investigation est une réponse unanimement préconisée (Voir chapitre premier) .

Si l'on se place dans le cadre de la théorie de la représentation et en tenant compte de l'apport de Changeux (2002), il importe maintenant d'interroger le rôle de la représentation dans la construction du savoir scientifique.

Chapitre III

LE CONCEPT DE REPRÉSENTATION DANS L'APPRENTISSAGE ET CATÉGORISATION DES REPRÉSENTATIONS.

Introduction

Ce chapitre se propose de rassembler les connaissances acquises par la recherche sur les représentations. Aujourd'hui, c'est une certitude, le savoir scientifique « passe mal » (Giordan, 2006), peut être parce qu'il est mal intégré ou rapidement oublié ou encore parce qu'il est peu mobilisable dans la pratique quotidienne de l'élève. Rappelons ici les différents travaux (Porchet 2002, Convert 2003, Charvet 2004) qui montrent que la situation est même paradoxale, puisque la société baigne de plus en plus dans la science alors qu'en même temps, les individus semblent être de plus en plus en décalage voire dépossédés du savoir scientifique. Alors que les programmes scientifiques sont largement traités dans l'enseignement quel que soit le niveau, le savoir acquis est extrêmement limité. Les causes d'interprétation de ce décalage sont certes multiples, l'une des pistes de recherche concerne le sujet qui apprend. On rappelle ici que de nombreuses recherches en didactiques des sciences montrent que les apprenants possèdent, avant d'aborder tout enseignement, des idées sur les questions étudiées appelées représentations (Anderson, 1986) ; (Driver, 1985) ; (Giordan, 1986) ; (Tiberghien, 1987) ; (Sallaberry, 2004). Ces représentations ont une certaine stabilité et l'apprentissage d'une connaissance, d'une démarche, en dépendent. Ces mêmes travaux suggèrent que pour construire un savoir scientifique, l'apprenant doit transformer ses représentations.

Astolfi (1998) par exemple, considèrent qu'à tous les niveaux, les apprentissages ne viennent pas remplir un espace vide dû à l'ignorance, mais que ceux-ci sont en concurrence avec ce que les élèves savent ou croient déjà savoir. Balpe (1991) et Astolfi (1998) considèrent que la non-prise en compte de ces représentations peut faire obstacle aux apprentissages. Giordan et de Vecchi (2002), se demandent au contraire si le fait de considérer ces représentations ne pose pas plus de problèmes que de les ignorer. Il est donc important dans un premier temps de définir ce qu'est une représentation avant de comprendre son implication dans les processus d'apprentissage. On évoquera pour ce faire les écrits de quelques chercheurs parmi lesquels, Sallaberry (2004, p.29) dont on retiendra la proposition de « concept de représentation » qu'il élabore ainsi que la « catégorisation des représentations » qu'il propose.

I- Approche de la notion de représentation

1. Les représentations, terminologie.

Pour ce qui est de la terminologie du mot représentation, elle est diverse. Selon Johsua et Dupin (2003), la terminologie concernant les conceptions ou représentations des élèves varie beaucoup selon les auteurs : on trouve dans la littérature les expressions de raisonnements naturels, raisonnements implicites, modèles implicites, cadres de référence alternatifs, préconceptions, schèmes cognitifs, etc. Nous évoquons ici dans un premier temps, les représentations dites initiales puis nous élargirons la notion de représentation avec le concept proposé par Sallaberry (2004).

2. Cas des représentations naïves.

2.1. Les représentations naïves

Il y a encore quelques années, les idées « fausses » des apprenants étaient considérées comme relevant de la bêtise. Aujourd'hui, elles sont considérées autrement. Viennot (1985), cité par Goffard (2005), tente, par exemple de les répertorier car elles ne correspondent pas à des « mots en l'air », mais possèdent une signification et peuvent être la manifestation d'un mécanisme intellectuel profond. On les appelle les « conceptions » ou représentations initiales. On utilise parfois l'expression « représentations préalables » qu'il faut écarter dans la mesure où ce qui caractérise les représentations, c'est leur capacité à resurgir malgré les efforts didactiques (Astolfi, 1998). En effet, il n'est pas question de croire qu'il serait possible de les éradiquer par un travail initial qui restaurerait la « page blanche », où l'enseignant viendrait inscrire sans ambiguïté les concepts scientifiques. L'expression anglaise, « *misconception*⁴⁸ » qui est parfois utilisée retient pour sa part leur aspect de fausseté vis-à-vis du savoir légitimé, or ce qui assure leur pérennité, c'est plutôt leur valeur explicative et fonctionnelle pour l'élève qui les véhicule. C'est par contre le terme de « conceptions alternatives » qui s'est imposé dans la littérature internationale. Il signifie en effet que les représentations correspondent à une alternative conceptuelle chez les élèves par rapport aux objectifs d'enseignement, occupant mentalement la même « valeur » qu'eux. Le mot « représentation » est très utilisé en psychologie génétique et cognitive ou en sociologie. Dans la littérature, le mot « représentation » est souvent employé mais est aussi ouvertement remplacé par celui de « conception » qui met l'accent sur le fait qu'il s'agit d'un ensemble d'images, de modèles présents chez l'apprenant, avant même qu'une activité quelconque

⁴⁸ Conception fausse

d'apprentissage ne débute. Comme le souligne Sallaberry (2004, p.87), « sur le front de la définition ...on repère tout d'abord la multiplicité des apports, due à l'utilisation de la notion de représentation par beaucoup de disciplines. Certains auteurs⁴⁹, face à ce paysage riche, ont même renoncé à utiliser le terme de représentation, préférant employer celui de conception....Cela dit, nous trouvons que le terme de conception convient tout à fait pour désigner des élaborations qui, bien que largement imaginées font appel à des éléments rationnels ce qui est le plus souvent le cas pour les représentations que les élèves construisent vis-à-vis des disciplines enseignées. ».

Quelle est la nature de ces représentations ou conceptions alternatives ? Les points de vue de Giordan (et al., 2002) et Astolfi (1998) apportent un précieux éclairage. Tout d'abord, la conception correspond à une structure sous-jacente. C'est un modèle explicatif organisé, simple et cohérent. Les apprenants possèdent un certain nombre de conceptions, et c'est avec elles qu'ils tentent d'interpréter les phénomènes et le monde qui les entourent. Une conception est personnelle et elle peut évoluer. Chacun possède un ensemble de représentations qu'il utilise pour expliquer son environnement. Concernant l'évolution des représentations, elle correspond à une construction progressive du savoir. C'est une transformation lente et complexe qui se réalise par un phénomène d'« appropriation », à travers les situations vécues. Certaines représentations peuvent ainsi faire obstacle en limitant ou en empêchant l'acquisition du savoir, se sont les « conceptions-obstacles » qu'il faut prendre en compte dans la démarche pédagogique (Astolfi,1998). Enfin une conception dépend du contexte socio-culturel dans lequel elle est émise. En effet, les termes utilisés dans le langage ainsi que les images pour désigner un objet ou un phénomène varient en fonction du milieu social et culturel (Giordan, 2002). Ils contribuent à la construction de représentations fausses chez les enfants lesquelles sont en désaccord avec ce que véhiculent les mots scientifiques employés à l'école. Ainsi, le langage est porteur de représentations sous-jacentes qui peuvent être très fortes et qui font que les conceptions sont très variées suivant le milieu et la situation vécue.

Nous retiendrons qu'une conception est multidimensionnelle, elle correspond à une structure de pensée sous-jacente, à un modèle explicatif simple, logique et organisé, dont les origines sont diverses, et qui peut être utilisé dans une situation donnée pour poser ou résoudre un problème. Ces représentations ont un grand pouvoir de persistance, en effet on les retrouve à

⁴⁹ Giordan, par exemple

tous les niveaux de l'apprentissage⁵⁰. Cela constitue un aspect délicat de leur approche pédagogique. Chacun possède une somme de représentations. Celles-ci constituent le substrat de la connaissance et, « apprendre » c'est peut-être faire évoluer ses propres représentations en relation avec les grands concepts scientifiques. Cela demande donc de les faire émerger afin de les prendre en considération.

2.2. Emergence des représentations initiales et interprétation.

Pour les faire émerger, il n'y a pas une méthode pédagogique spécifique mais plutôt une somme d'outils qui sont à notre disposition d'après Giordan (2002). Il faut être attentif, car les conceptions enfantines peuvent émerger de manière spontanée quand l'apprenant souhaite, par exemple, donner une explication lors d'un entretien collectif. Ainsi, l'enseignant ou le formateur doit, créer des situations spécifiques pour laisser les apprenants s'exprimer. Il peut demander de dessiner la façon dont ils se représentent un phénomène naturel, le fonctionnement d'un appareil. Il peut demander de faire classer, comparer différents objets ou différents phénomènes. Il peut organiser un questionnaire semi-directif écrit après la projection d'un document⁵¹, après une sortie, une activité ou après un entretien général sur une situation de vie. Les questionnaires écrits sont très employés. Ils sont placés à différents moments de la démarche pédagogique : avant d'entamer le sujet, pendant la progression, en fin d'étude et aussi quelques temps après. A côté des renseignements qu'apportent les productions écrites, le langage oral joue aussi un grand rôle. Il est important de faire parler les apprenants, en leurs posant des questions en petits ou grands groupes, afin qu'ils expriment leurs idées. Dans le choix des questions, il est préférable d'utiliser des situations familières, afin de relier la construction des connaissances des élèves à leurs pratiques quotidiennes. Les dessins ou schémas constituent un autre moyen pour faire émerger les représentations. Pour certains élèves cela peut être moins contraignant qu'une rédaction. En Physique, les situations qui interrogent sont nombreuses, elles font souvent partie de l'expérience quotidienne de l'apprenant. Pour l'émergence de ses représentations, l'important ici n'est pas la manipulation en elle-même, mais les remarques, les contradictions qu'elle soulève.

Pour ce qui concerne l'analyse des données recueillies, il n'est pas toujours aisé d'accéder à la véritable signification des informations données par les apprenants, car le plus souvent, les réponses ne représentent que le reflet des structures sous-jacentes que sont leurs représentations (Giordan & Martinand, 2002). En effet les apprenants ne peuvent

⁵⁰ Maternelle, primaire, secondaire, supérieur, âge adulte

⁵¹ Diapositives, films

généralement pas dire « ce qu'ils savent » ou « comment ils savent », ils n'utilisent que les mots qui sont à leur portée pour expliquer un phénomène. L'enseignant doit toujours prendre des précautions et recouper les différents outils qui ont permis de faire émerger les représentations de l'apprenant. Celui-ci se prend très souvent lui-même comme modèle d'explication. Cet égocentrisme constitue un obstacle à une mise en doute de sa pensée et à l'écoute réelle d'autrui. De plus, les représentations initiales sont souvent teintées d'animisme⁵², de finalisme⁵³ chez l'enfant et d'artificialisme⁵⁴. Une autre difficulté vient de l'utilisation par l'apprenant d'une codification qui n'est pas celle utilisée par celui qui interprète les informations recueillies. Ainsi, s'il existe de nombreuses techniques qui permettent de connaître les représentations des élèves, leur interprétation n'est pas toujours facile, ni immédiate afin de les prendre en considération dans l'acte pédagogique.

II- Autre approche de la notion de représentation

Nous reprenons pour l'essentiel ce que propose Sallaberry (2004, p. 30).

1. Acte et représentation

Sallaberry (2004) propose à partir d'exemples simples d'approcher une caractéristique de la représentation. Il considère l'acte et la représentation de l'acte : « l'acte réel constitue une action concrète et sa représentation est une action abstraite-une action en pensée, qui accompagne le plus souvent l'action concrète (je me « vois » agir, tout en agissant). » Sallaberry (2004, p. 30). Cela renvoie ainsi à la différence de perception pour les élèves entre le fait d'agir⁵⁵ réellement sur les objets et l'observation d'une expérimentation réalisée par le professeur ou tout simplement l'observation d'une représentation d'une action par le biais d'un croquis, schéma, ou autre support. Cette réflexion doit être rapprochée de celle rapportée par de nombreux auteurs sur la relation entre les activités expérimentales et la construction du savoir scientifique. En effet, le sens commun dit souvent que l'on ne peut concevoir l'enseignement des sciences physiques sans activités pratiques. C'est le cas de Harlen (2004, p.89) « ([...] quand pensée et action sont étroitement liées : l'enfant comprend en manipulant lui-même ». S'agit-il d'une mode, d'une conviction ? La question pourrait être posée autrement : les sciences physiques peuvent-elles être enseignées efficacement sans aucune expérimentation ? Devant les difficultés rencontrées dans l'enseignement, l'« agir et le

⁵² Conception qu'une volonté anime chaque chose

⁵³ chacun des événements a une raison d'exister qui peut toujours s'expliquer par sa finalité

⁵⁴ l'enfant croit que tout ce qui l'entoure a été construit par l'Homme

⁵⁵ Lors des manipulations expérimentales en sciences, par exemple

faire » sont en général, promus. Giordan (1998) affirme que Montaigne et Rousseau « s'étaient déjà faits les chantres de l'action des mains ». Kant, au 18^e siècle érige l'action des mains comme l'une des « bases de l'entendement humain ». Dans le même sens, le philosophe et psychologue américain John Dewey propose en 1912 une formule qui résume ce principe : « Learning by doing ». Freinet (1954)⁵⁶ pour sa part fait du « tâtonnement expérimental » un des trois principes clés de sa pédagogie. Aujourd'hui, Charpak⁵⁷ (2005), prix Nobel de physique, propose comme solution à tous les problèmes d'éducation dans les sciences de faire mettre « la main à la pâte » aux enfants. Beaucoup pensent comme Giuseppin (1996) « qu'un enseignement des sciences physiques qui n'aurait aucun support expérimental ne réussirait qu'à une élite apte à conceptualiser dans l'abstraction ». Ce dernier point intéresse tout particulièrement ce travail, où il est question d'interroger la fonction structurante de l'étape de formulation d'hypothèse dans la construction du savoir scientifique. Si l'on prend en compte les propos de Giuseppin (1996), tout en cherchant à rester en accord avec la démarche pédagogique par investigation préconisée sur le plan didactique⁵⁸, on pourrait suggérer que l'expérimentation soit considérée comme un support efficace pour l'émission d'hypothèse. En effet dans le canevas de la méthode par investigation, pour ce qui concerne les sciences physiques, l'expérimentation peut se situer en début de la démarche et joue alors le rôle de situation déclenchante, et/ ou constitue l'étape de vérification des hypothèses formulées par les apprenants. Ainsi, l'expérimentation n'a plus la même fonction, ni la même importance que dans les activités expérimentales classiques où l'élève manipulait pour voir ou simplement vérifier les lois physiques... Dans cette démarche, lors de la situation déclenchante l'expérimentation peut être à la base de la formulation d'hypothèse par les élèves. D'autre part, après la formulation d'hypothèses par ceux-ci, l'expérimentation constitue un moyen pour valider, invalider, reformuler ou proposer de nouvelles hypothèses. Si l'on regarde ce qui se passe en amont de la formulation d'hypothèse par l'élève on peut interroger l'efficacité de l'expérimentation dirigée par l'élève par rapport à une expérimentation qui lui serait présentée par autrui sur la construction de ses hypothèses. Autrement dit mettre en comparaison l'« action » et l'« observation » dans la formulation d'hypothèses par l'apprenant. Pour rester dans l'interrogation de la fonction structurante de l'hypothèse dans la conceptualisation scientifique, il peut être judicieux de transposer les propos de Giuseppin (1996) à l'hypothèse : l'apprentissage est-il plus efficace lorsque

⁵⁶ Cité par Giordan (1998)

⁵⁷ Prix Nobel de physique

⁵⁸ Voir chapitre 1

l'apprenant est lui même l'auteur de l'hypothèse que l'on teste dans la démarche par investigation? La recherche expérimentale, si elle apparaît comme un outil qui permet d'atteindre des acquisitions notionnelles et méthodologiques, elle est aussi indispensable à la formation d'un esprit scientifique logique et créatif. Pour comprendre et agir, l'élève ne peut d'abord faire appel qu'à ses propres représentations initiales, or pour qu'il s'approprie un savoir, une déconstruction de ses conceptions s'impose. Plusieurs pédagogues et philosophes s'y sont attelés, dont Bachelard (1938) cité par Giordan (1998), selon lequel il importe de « rectifier » les connaissances frelatées « en surmontant ce qui, dans l'esprit même fait obstacle », de « penser contre le cerveau », le « déjà là » Giordan (1998, p.127). A la question : « concrètement, comment y parvenir ? », Bachelard (1938) propose une argumentation expérimentale. Lorsque l'on considère le concept de poids, la définition savante que donne la science n'a rien à voir avec l'expérience quotidienne du poids. Il en est de même pour le concept de travail en mécanique. Selon Giordan (1998), le recours à l'expérimentation pour déconstruire une représentation a certes un impact positif sur la déconstruction mais, cela peut ne pas suffire. En effet, dans certains cas, face aux résultats de l'expérience, l'apprenant peut prendre conscience de la présence d'un vice caché dans son raisonnement et pimente alors ce dernier d'une hypothèse supplémentaire, pour ne pas avoir à l'abandonner. Dans d'autres cas, l'apprenant peut s'appliquer à ne pas entendre l'objection. Pour apprendre, une dissonance doit viser le « noyau dur » de la représentation initiale, elle doit créer une tension telle qu'elle rompt le fragile équilibre atteint par le cerveau de l'apprenant. Dans cette perspective, l'une des trois configurations de l'expérimentation, appelée « expérimentation-outil » par Coquidé (1998) constitue un dispositif pédagogique au service de l'établissement de notions et de la construction de concepts. Il peut s'agir d'expériences illustratives, permettant d'emporter la conviction des élèves, de provoquer leur adhésion, de leur permettre de se représenter à partir d'une étude de cas le savoir en jeu. Toutes ces caractéristiques font de l'expérimentation un levier pour la réussite des élèves, parce qu'elle les prend au niveau optimal pour le développement de l'abstraction grâce à l'articulation dans les deux sens entre le concret et l'abstrait, le manipulateur et la formalisation.

Edelman(1992), cité par Sallaberry (2004, p.31) propose de discerner les groupes neuronaux et les cartes neuronales. Dans le premier cas, la propagation de l'information serait due à la proximité des neurones. Les cartes neuronales correspondent à une fonctionnalité. Lorsqu'un sujet agit, il met en jeu à la fois des groupes neuronaux et des cartes neuronales, l'ensemble constituant la cartographie globale. Pour Edelman(1992), lorsqu'un sujet décide de se

représenter une action, il utilise pratiquement la même cartographie que celle mise en jeu lors de l'action, excepté les neurones effecteurs. Ainsi dans le cas de la représentation du geste, Edelman (1992) considère que le support neuronal de la représentation du geste est pratiquement le même que celui mis en jeu pour réaliser le geste.

Sallaberry (2004) considère de son côté que l'on ne peut réduire la représentation à son support neuronal tout en admettant pour le cas du geste, la proximité du geste et de sa représentation (« image du geste ou encore remémoration du geste »). Néanmoins, il souligne ce qui distingue l'action de sa représentation, à savoir la frontière entre le concret et l'abstrait. Sallaberry (2004) propose entre autre de s'appuyer sur le fait que le niveau d'abstraction peut être plus élevé pour développer une théorie des représentations. Il montre par ailleurs sur un fondement mythique que « la représentation s'inscrit dans l'absence ». Il oppose ainsi la « présence » de la civilisation antique de la culture de « l'absence » actuelle.

2. Complexité de la notion de représentation

Nous reprendrons pour l'essentiel ce que propose Sallaberry (2004, p.33). Il faut considérer quatre « axes » de complexité pour la notion de représentation : la triade processus-produit-processeur.

La représentation fonctionne à la fois comme processus, comme produit et comme processeur. « Processus au sens où chaque sujet élabore et modifie sans cesse ses représentations de la réalité environnante ». Nous pouvons par exemple illustrer cet aspect par le processus de transformation des conceptions naïves en savoir scientifique construit ou encore par le processus de déconstruction-reconstruction des représentations chez les apprenants. « Produit au sens où, à un instant donné, les contours d'une représentation peuvent être tracés à partir de sa description ». Par exemples ce sont les différentes représentations des concepts ou phénomènes scientifiques des apprenants. Enfin « l'aspect processeur » se manifeste lorsque, la représentation intervient en tant que « guide », c'est-à-dire que la représentation est le schéma qui déclenche et oriente les processus.

-La dynamique sujet-objet

Selon Sallaberry (2004, p.33), « une représentation est toujours à la fois représentation d'un objet par un sujet, mais aussi représentation du sujet. Ce dernier, en effet, en communiquant, donc en décrivant comment il se représente le monde, les choses, les gens, se dévoile. ». En effet les représentations du sujet sont en rapport avec le niveau de connaissances et l'histoire de l'apprenant. Ces représentations dépendent de l'évolution de

son système cognitif au plan psychogénétique. Une conception est personnelle et elle peut évoluer. Chacun possède un ensemble de représentations qu'il utilise pour expliquer son environnement. Une représentation dépend du cadre socio-culturel dans lequel elle est émise. En effet, les termes utilisés dans le langage ainsi que les images pour désigner un objet ou un phénomène varient en fonction du milieu social et culturel (Giordan, 2002). Le langage est porteur de représentations sous-jacentes qui peuvent être très fortes et qui font que les conceptions sont très variées suivant le milieu et la situation vécue.

-La triade signifiant-signifié-référent

Une représentation véhicule du sens. Ainsi, pour Sallaberry (2004, p.33) « son fonctionnement peut alors être décrit à partir de la triade *signifiant-signifié-référent*. Elle est construite à partir des conceptions de Pierce (1932, tr.fr.1958, ed 1978). Les sémioticiens⁵⁹ proposent de concevoir ainsi : le signifiant (Sa) constitue l'aspect de saisie perceptive. Le signifié (sé) est l'aspect production de sens ». Selon Sallaberry (2004, p.34), «...si le Sa est un élément du code (de la langue si c'est le code utilisé), le Sé *appartient* en quelque sorte au sujet (qui parle, qui construit des représentations). Le référent est l'objet que désigne le mot, que *décrit* la représentation ».

-La dynamique intérieur-extérieur (ou dynamique individuel-collectif)

Selon Sallaberry (2004, p.34), « la représentation est toujours engagée dans une dynamique *intérieur/extérieur*, puisque d'une part, elle a un aspect personnel et intime et que d'autre part, elle circule entre les sujets, donc à l'*extérieur* d'eux ». Ainsi, la représentation est ce qui permet d'articuler l'individuel et le collectif.

3. Proposition de concept

Des auteurs tels que Lefebvre (1980) donnent à la représentation un statut « transitionnel ». En effet, pour cette approche, la représentation occupe « les intervalles, les interstices (entre perçu et conçu, sujet et objet, présence et absence, intérieur et extérieur, passé et avenir...) ». Sallaberry (2004, p.36) retient la dynamique intérieur/ extérieur comme la principale difficulté pour proposer un concept dans la mesure où celui-ci devra fonctionner tant sur le plan collectif que sur le plan individuel. L'auteur propose pour ce faire d'utiliser le concept d'interaction pour son caractère général. Le concept d'interaction intervient tant dans

⁵⁹ cf. par exemple Cuny (1982).

le domaine de l'échange social, que dans le domaine intrapsychique pour lequel des « zones » de la psyché que Sallaberry (2004, p.35) appelle « instances » établissent des interactions. Ainsi, l'interaction entre instances se réalise par l'échange de représentations. Il propose un concept pour la représentation qu'il énonce sous forme d'hypothèse (H_R) : « Une représentation est ce qu'échangent deux instances qui interagissent ; leur interaction se réalise par la construction, la modification, la circulation des représentations. » Si sur le plan collectif, l'interaction s'opère par l'échange des représentations entre les instances qui peuvent être des sujets, des groupes, des organisations, au niveau intrapsychique l'hypothèse préconise l'interaction entre « zones » à l'intérieur de la psyché. Sallaberry (2004) propose de considérer que ce concept peut fonctionner dans la dynamique intérieur/extérieur qu'il propose de modéliser.

4. L'articulation individuel-collectif

Pour Sallaberry (2004, p.36), « Les objets culturels au sens large, tels les représentations ou les institutions, s'inscrivent dans des situations de confrontation de l'individuel et du collectif. » Chaque sujet construit ses propres représentations, en même temps le sujet aspire constamment à la reconnaissance des autres. Ainsi celui-ci va en permanence « défendre » ou « négocier » ses représentations afin de prouver son appartenance au groupe ou à la collectivité. Selon Sallaberry (2004), « l'intégration, le *sentiment* d'appartenance, se *jouent* ainsi sur une partition à la fois personnelle et collective- un tel fonctionnement caractérise les représentations ». Cet aspect est à mettre en regard avec la démarche de conceptualisation par investigation en sciences physiques. En effet, dans cette démarche, face à la situation déclenchante, les sujets doivent manifester leurs représentations initiales sur le phénomène étudié. Cette étape a pour fonction de générer dans le groupe un conflit sociocognitif où chacun tente à coup d'argumentations de défendre sa représentation. Le conflit cognitif qui s'établit au niveau individuel doit permettre à l'apprenant de formuler des hypothèses qui expliquent le phénomène étudié. La gestion didactique des représentations des élèves et des obstacles qui les sous-tendent, a souvent nécessité l'utilisation du conflit sociocognitif. Le concept de conflit sociocognitif s'appuie sur celui de conflit cognitif, que Piaget définit comme le fait qu'un même sujet puisse disposer de systèmes explicatifs différents selon les domaines et les situations. Le conflit cognitif peut demeurer inconscient, tant que les schémas explicatifs restent cloisonnés, ou apparaître au sujet comme tel, ce qui produit, selon les cas, des avancées ou des régressions. Les travaux de Piaget ont pris ensuite une dimension plus sociale, pour aboutir au concept de conflit sociocognitif, selon Astolfi

(1998, p.58). Les successeurs de Piaget se sont intéressés aux relations entre le conflit cognitif, d'ordre intra-individuel, et le conflit sociocognitif, qui lui est d'ordre interindividuel. Ils démontrent que des sujets qui doivent résoudre un problème, manifestent un progrès intellectuel significatif, quand bien même aucun d'entre eux ne dispose pas de la « bonne réponse ». Cela nécessite néanmoins qu'ils se trouvent ensemble, en situation de conflit quand aux réponses contrastées qu'ils proposent, mais en situation de coopération quant à la nécessité de s'ajuster pour construire une réponse commune. Le moteur du progrès ne peut résider que dans le processus d'interaction puisque aucun des sujets n'est plus avancé que les autres et donc ne peut être imité. Pour Astolfi (1998), la raison du progrès serait liée au fait que les divers points de vue en opposition sont portés par des sujets coprésents et interagissant. Contrairement à un individu seul qui examine mentalement diverses facettes d'un problème, la probabilité de prendre en compte simultanément tous les aspects d'un problème augmente lorsque les sujets interagissent. En d'autres termes, l'existence d'un conflit sociocognitif au sein d'un groupe stimule les chances de conflits cognitifs pour chacun ou certains membres du groupe. Par ailleurs, le conflit sociocognitif, interindividuel doit se rejouer sur le plan intra-individuel pour qu'un processus intellectuel de résolution soit déclenché. Néanmoins, Astolfi (1998, p.59) considère que le conflit sociocognitif présente des limites qui sont de trois types. Tout d'abord, les situations d'interaction ne se contrôlent pas de manière aussi précise qu'en laboratoire. Le simple débat proposé aux élèves est insuffisant pour provoquer de véritables conflits, car les élèves se positionnent sur les idées scolairement établies. Les situations expérimentales, par contre, sont organisées pour provoquer des interactions dont les sujets ne peuvent sortir que par une résolution cognitive et non relationnelle, c'est-à-dire sans accepter les idées d'autrui par conformité ou par affection. La deuxième limite concerne le fait que les résultats des recherches en psychologie portant sur les étapes du développement intellectuel global, c'est-à-dire sur les changements de « stade » ne sont pas forcément transposables lorsqu'il s'agit d'un apprentissage notionnel dans une discipline. Car, l'élève de la situation didactique n'est pas superposable au sujet de la situation psychologique. La troisième limite concerne le processus de renoncement. Il n'existe pas en effet en didactique d'argument absolu qui contraigne les élèves à un changement de représentation. Les propos de Sallaberry (2004), laissent envisager que la prise en compte des représentations des apprenants dans l'action pédagogique paraît incontournable pour tout apprentissage. Autrement, cela voudrait dire que l'apprentissage ne fonctionne que dans un seul sens, extérieur-intérieur. Chauvel (1990, p.8) par exemple, affirme : « Dans son approche du réel, l'enfant se trouve dans un état d'esprit similaire à celui des premiers chercheurs de l'

Antiquité, état d'esprit où prédomine l'imaginaire, l'affectivité, où l'intuition joue un rôle essentiel, et où l'explication n'a pas besoin d'être unique. C'est à partir de leurs confrontations successives qu'il réélabore ses propres représentations ». En effet au cours de leur vie, les individus construisent des représentations du monde qui les environne. La connaissance de celles-ci est essentielle pour l'enseignement car ces représentations mentales sont souvent très éloignées des savoirs construits. Ces représentations peuvent ainsi constituer des obstacles à l'apprentissage, d'autant plus qu'elles ont un caractère implicite. Les apprentissages ne viennent pas remplir un espace vide dû à l'ignorance, mais sont en concurrence avec ce que les élèves savent ou croient déjà savoir, c'est-à-dire leurs représentations initiales.

En ce qui concerne l'institution, pour Sallaberry (2004, p.36), « si le moment où une règle s'énonce en tant que la même pour tous se situe au niveau logique collectif, le moment où le sujet est confronté à la règle, et à ce qu'il va devoir faire pour y répondre, correspond au niveau logique individuel ». Il émet donc l'hypothèse « que de telles situations, où deux niveaux logiques sont en contact, caractérisent des objets que l'on peut qualifier de culturels ». Selon Sallaberry(2004), « le sujet ne peut développer une pensée qu'en référence à des cadres de pensée universels... «D'un autre côté, « ...les cadres de pensée évoluent sous la pression des pensées particulières. Les règles et les normes évoluent, de par les pratiques particulières qui interagissent avec elles ». Ainsi, si l'on considère l'exemple d'une règle, Sallaberry (2004, p.37) considère que l'institution fonctionne en trois « moments ».

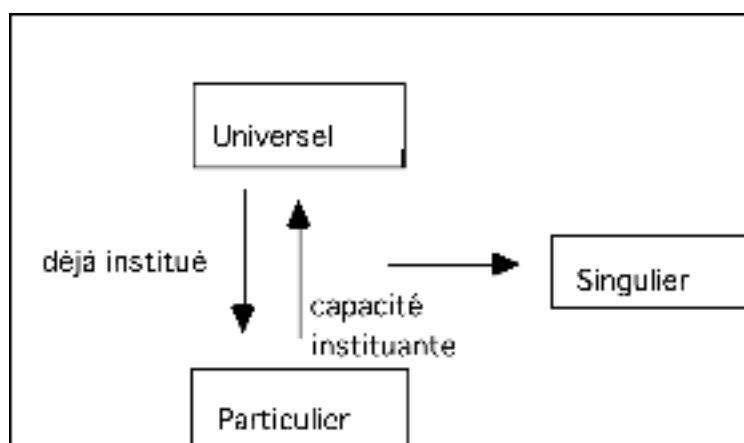
Le moment de «l'Universel (ou de l'Universalité) est celui où une règle s'énonce en tant que la même pour tous.

Le moment du Particulier (ou de la Particularité) est celui où je dois appliquer la règle.

Le moment du Singulier est produit par l'interaction des deux premiers moments.

Le troisième moment est celui de la Singularité et résulte de l'interaction entre les deux premiers moments. En effet la façon qu'une règle a d'être appliquée modifie la règle, ou a la possibilité de la modifier ».

Sallaberry (2004, p.37) schématise le fonctionnement de l'institution par :



Dans le processus d'interaction entre l'Universel et le Particulier, la flèche allant de l'Universel vers le Particulier matérialise le déjà institué, c'est-à-dire ce qui me caractérise en tant qu'être « social », appartenant à une culture déjà établie. La flèche allant du Particulier à l'Universel représente la capacité de l'individu à instituer, négocier une règle, ou encore enclencher une modification. Selon Sallaberry (2004, p.38), « cette interaction du déjà institué et de la (ou des) capacité(s) instituante(s) caractérise une société humaine. Pour ce qui concerne le moment de la Singularité, il apparaît avec l'apport d'un institué nouveau qui dès lors qu'il existe interagit avec les capacités institutantes. Cela assure ainsi la dynamique du modèle et selon Sallaberry, « la fluidité de ses productions ».

5. Elaboration d'une représentation

Le concept de représentation proposé par Sallaberry (2004, p.39), peut être utilisé pour l'élaboration d'une représentation collective et celle d'une représentation individuelle. Sallaberry (2004, p.39) propose d'appliquer le schéma de fonctionnement présenté précédemment dans le cas de l'élaboration d'une représentation collective.

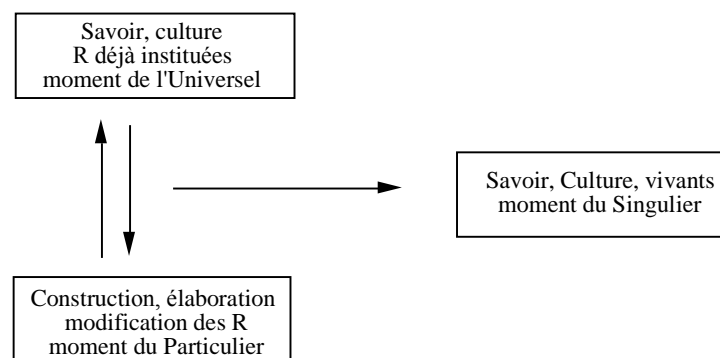
« -Le moment de l'Universel est celui où une représentation collective semble être la même pour tous : chacun s'y réfère.

-Le moment du Particulier est celui où je pense la représentation collective. Il est clair que je l'interprète, que je la « vois » « à ma manière ». »

-Le moment du Singulier est produit par l'interaction des deux premiers moments. Il « refabrique », remodèle la représentation collective, à partir des interprétations individuelles. C'est le moment de l'émergence d'une représentation collective éventuellement nouvelle ».

Considérons le cas de l'élaboration d'un concept scientifique dans une classe, Sallaberry (2004, p.40) considère que la « rationalité servira de valeur commune aux échanges et sera très présente tout au long du processus. »

Pour ce qui est de l'élaboration d'une représentation individuelle, Sallaberry (2004, p. 40) considère que le fonctionnement du modèle en trois moments suit le schéma suivant :



« Le sujet peut élaborer des représentations entièrement nouvelles, mais ces dernières sont influencées dans *leur élaboration même* par les représentations déjà instituées. » Les représentations sont donc en « re-élaboration incessante ». Dans le cadre de ce travail de recherche, l'élaboration d'une représentation individuelle peut être mise en regard de l'étape de formulation d'hypothèses, lors d'une démarche par investigation ; l'apprenant doit en effet effectuer un aller retour entre la « représentation provisoire » en construction c'est-à-dire l'hypothèse et les représentations déjà instituées.

Dans les deux cas de figure, Sallaberry (2004, p.41) souligne que le troisième moment est celui de « l'émergence d'une forme ». En effet, la représentation qui émerge « est produite par l'organisation de la pensée et en même temps organise cette pensée ». Cette forme est collective dans le cas du schéma 1 et individuelle pour le schéma 2.

Comme on l'a souligné plus haut, lorsque la représentation en construction concerne le savoir, la rationalité constitue un repère constant, tout au long du processus. Mais selon Sallaberry (2004, p.41) elle n'intervient pas seule. En effet d'autres auteurs cités par Sallaberry (2004) mettent en évidence d'autres « critères » ou d'autres « logiques » qui interviennent dans la construction collective du savoir, c'est le cas de Khun (1972). Sur le plan individuel, les autres critères qui peuvent influencer le processus peuvent être des points de vue affectifs, concurrentiels, conflictuels. Sallaberry (2004) propose néanmoins de prioriser le critère de rationalité ce qui a pour conséquence de considérer que « la représentation qui émerge doit

manifester un minimum de cohérence avec les autres représentations, puisque le processus d'élaboration les a prises en compte ». Si l'on se réfère principalement sur le critère de rationalité, la nouvelle représentation doit être en cohérence avec les autres représentations du sujet organisées à un instant donné dans un ensemble que l'auteur appelle *système des représentations*. En effet, le processus d'élaboration de la représentation présenté plus haut montre comment le système des représentations est pris en compte dans ce processus. Une fois émergée, la nouvelle représentation peut alors venir s'insérer dans le système des représentations, elle peut être capable, grâce à son importance de restructurer le système des représentations en y apportant de profonds changements. Enfin, la nouvelle représentation peut s'insérer avec difficulté dans le système. Cette situation demande alors une phase de recherche de cohérence entre le système et la représentation avant son insertion complète dans le système. La notion de *système des représentations* peut être appliquée à une discipline. Dans le cas d'une discipline scientifique telle que les sciences physiques, il serait l'ensemble organisé des représentations à un instant donné à propos d'une ou plusieurs collections d'objets (qui appartiennent au champ de la discipline.). Vergnaud(1995) parle de son côté de *champ conceptuel* pour évoquer le champ défini par l'une de ces collections.

III- Conséquence en termes de modélisation pour l'éducation.

1. La prise en compte des représentations initiales

Dans son apprentissage, l'apprenant doit construire ses représentations. La plupart du temps ce sont des représentations déjà élaborées par d'autres, or il doit à son tour se les construire pour lui-même. « L'enjeu de l'enseignement est qu'il les construise en se conformant à la démarche scientifique, c'est-à-dire en s'opposant aux représentations initiales, que ce soient les siennes ou celles qu'on lui propose » Sallaberry (2004, p.43). Ici le problème de la prise en compte des représentations initiales dans l'apprentissage est soulevé. « C'est ce travail du « contre » qui est celui du moment de la Particularité ». De fait, l'apprenant doit pouvoir s'opposer aux notions scientifiques comme à ses anciennes représentations pour pouvoir construire ; mais il s'oppose tout en tenant compte, c'est ce que modélise le schéma II. D'autres auteurs évoquent dans leurs propos l'évolution des représentations lors de l'apprentissage. Par exemple, si pour certains, les conceptions initiales ne peuvent être intéressantes que pour les chercheurs, d'autres au contraire, considèrent qu'elles doivent jouer un rôle essentiel dans la pédagogie en tant qu'outil permettant d'améliorer son enseignement. Qu'en est-il exactement ? Selon Giordan et Martinand (2002), ceux qui soutiennent que les représentations sont pédagogiquement inutilisables, considèrent que l'enseignant doit être

vigilant sur ce qu'il faut retenir des propos tenus par un enfant. En effet, l'un des objectifs essentiels de l'enfant, lorsqu'il s'exprime en classe, est de trouver la « bonne réponse », pour faire plaisir à l'enseignant ou pour s'affirmer face à ses camarades. Certains vont construire un pseudo-schéma hypothétique au moment où on leur demande, ce qui conduit à des classes dans lesquelles les représentations qui émergent sont très pauvres et particulièrement stéréotypées. Par ailleurs, certaines représentations s'avèrent ne pas avoir un grand intérêt dans la construction du savoir. Il est donc nécessaire de choisir celles qui sont significatives parce qu'en relation avec certains obstacles importants.

Le risque que les représentations fausses « parasitent » les autres élèves, est aussi une raison évoquée pour ignorer des représentations enfantines. En effet, d'une part, le fait de faire exprimer une conception fautive au sein d'une classe pourrait lui donner une importance et amènerait un « ancrage » de cette représentation tout en incitant d'autres élèves à l'adopter. D'autre part, dans un débat, ce sont souvent les arguments les plus simples, les plus directement accessibles, qui sont retenus et non ceux qui sont les plus pertinents. Ainsi, certains pensent qu'une conception « bien défendue » par un enfant risque de « parasiter » les autres élèves et de la consolider plutôt que de la faire évoluer. Les résultats des recherches menées par Giordan et Martinand (2002) montrent que chaque fois que l'enseignant se contente de faire émerger les représentations sans véritablement les confronter et qu'on ne tient pas compte du cadre de référence dans lequel la conception se situe, il est possible qu'elle persiste et même se renforce.

En outre, lorsqu'on prend en compte les représentations, elles évoluent le plus souvent, mais de manière progressive par paliers successifs. Ils montrent, en effet, qu'un test réalisé immédiatement après un travail peut être décevant quant aux résultats dans l'acquisition d'une connaissance ; mais que le même test proposé un peu plus tard, sans que le sujet soit abordé entre temps, donne des réponses très différentes. L'intégration de la connaissance semble se faire dans le temps. En d'autres termes, il semble que la prise en compte des représentations soit possible car ces dernières sont peu nombreuses contrairement à leurs manifestations qui sont diverses. La « perte de temps » liée à leur prise en compte n'est que très relative. S'il reste vrai que certaines représentations peuvent résister chez un même sujet, ou s'imposer à d'autres enfants, le retard que cela occasionnerait serait relatif au gain dans la construction du savoir à long terme.

2. Représentations initiales et construction du savoir scientifique

Laisser émerger les représentations, les faire se confronter, en essayant de critiquer et de remettre en cause celles qui sont fausses par des comparaisons, des analyses, à travers des documents, des expériences, des activités de recherche, permettent de constater que l'on peut aboutir à une véritable construction du savoir (Bonan, 1998). A travers leurs travaux, Giordan et Martinand (2002) considèrent que prendre en compte les représentations initiales est possible et beaucoup plus efficace que les ignorer. Ainsi, cette prise en compte des représentations initiales peut permettre à l'enseignant d'organiser des activités destinées à créer un « conflit socio-cognitif » qui favorisent l'évolution de la pensée de l'enfant de façon dialectique comme l'écrivait Bachelard (1938), de mieux choisir les activités et rechercher des contre-exemples qui feront évoluer ces conceptions initiales, de mieux connaître le véritable niveau conceptuel des apprenants. Ceci traduit une certaine complexité et une lenteur du processus d'appropriation du savoir qui passe par des chemins détournés et complexes. D'autres auteurs se sont intéressés au processus d'apprentissage en considérant le positionnement et l'évolution des représentations initiales vers le savoir scientifique construit. Par exemple, Le statut social des connaissances naïves et des savoirs scientifiques est différent d'après Schiele (1984), (cité par Tiberghien, 1987 p.355). « En effet la création de nouveaux éléments du savoir scientifique se fait explicitement avec des validations expérimentales, théoriques et sociales par les pairs ; il n'existe rien de tel pour le savoir commun ». Les connaissances dites naïves d'un enfant sont antérieures aux connaissances scientifiques qu'il va acquérir à l'école. Ces types de connaissances vont ensuite coexister. La dynamique entre connaissances naïves et savoir scientifique interroge depuis longtemps. La confrontation entre deux grands psychologues du siècle dernier, Piaget et Vygotsky en est la preuve. Si tous les deux distinguent les conceptions spontanées des concepts scientifiques, leurs interprétations divergent sur le développement respectif des concepts scientifiques et des conceptions naïves (Vygotsky, 1985). Alors que Piaget (1964) voit leur développement plutôt en termes d'opposition, de conflit, Vygotsky (1985) considère que leur développement s'effectue dans des conditions internes et externes différentes. Dans la mouvance piagétienne, la distinction est posée en termes hiérarchiques : les connaissances naïves se développent vers les savoirs scientifiques. Pour Piaget, il s'agit du développement de la pensée logique. Dans cette perspective, les connaissances naïves sont essentielles en tant que connaissances préalables et sont ensuite marginalisées. En effet, Piaget est considéré comme le père des courants constructivistes qui ont dominé les

recherches sur l'apprentissage des sciences depuis les années 1970. « Au cœur de cette vision constructiviste est l'idée que les conceptions tenues par chaque individu « guide » sa compréhension. Un aspect clé de cette perspective est que l'apprentissage n'est pas considéré comme un transfert de connaissances mais que l'apprenant construit activement, ou même crée, ses connaissances sur la base de celles qu'il a déjà » (Duit & Treagust, 1998, p.8).

Dans cette approche constructiviste, le courant du « changement conceptuel » a débuté dans les années 1980 en psychologie (Carey, 1985) et en didactique (Posner, Strike, Hewson et Gertzog, 1982). Pour ce courant qui s'est inspiré d'une analyse épistémologique des savoirs, les connaissances scientifiques ne sont pas structurées comme les connaissances naïves.

Ce point de vue se retrouve chez Kuhn (1972) sur la théorie des révolutions scientifiques et reprend l'idée d'incommensurabilité entre les théories naïves et les théories scientifiques (Carey, 1985). L'analyse épistémologique de Koyré (1990) (épistémologue français) conduit à des conclusions identiques. Cet auteur suggère que les « théories naïves » et les théories scientifiques conduisent à « voir » le monde matériel différemment. C'est le cas par exemple du principe d'inertie énoncé par Newton qui peut être incompatible avec certaines théories sur le monde comme celle d'Aristote. Ce risque d'incompatibilité entre la vue sur le monde de la vie quotidienne et l'interprétation donnée par la physique a des conséquences sur la compréhension des difficultés d'apprentissage de certains concepts de physique. Il devient nécessaire d'explicitier non seulement quel point de vue sur le monde les théories naïves des élèves mettent en jeu mais aussi celui de la physique enseignée. Si les deux points de vue diffèrent, on peut faire l'hypothèse d'une difficulté particulière dans l'apprentissage. Ce constat rejoint d'une certaine manière la problématique de certains anthropologues qui conduit à étudier en quoi certaines cultures peuvent permettre l'apprentissage plus facile des sciences (Cobern, 2000).

Dans la lignée de Vygotsky (1985) par contre, il existe une dialectique entre connaissances naïves et scientifiques. Il ne s'agit donc pas d'éradiquer les connaissances naïves mais les deux vont se développer et interagir. En effet, les travaux de recherche de ces trente dernières années menés en psychologie et en didactique des sciences ont mis en évidence des invariants dans les connaissances naïves des enfants sur le monde matériel qui montrent combien certains de ces invariants sont résistants à l'enseignement.

C'est ainsi qu'une partie importante des élèves ne parvient pas à interpréter, en termes pertinents certaines situations simples en physique, par exemple, le lancer d'une balle. A ce jour, différents travaux se penchent sur la question de l'évolution des connaissances des apprenants. Pour ce qui concerne le changement conceptuel chez les psychologues, les

résultats des trois principaux axes de recherche montrent que des questions sur l'apprentissage des sciences sont encore objets de débats. En effet, les recherches se concentrent sur la cohérence de l'apprenant, le rythme continu ou discontinu de son évolution et la coexistence des connaissances naïves et scientifiques. Ainsi, les travaux des psychologues Vosniadou et Brewer (1992), constituent un courant important du changement conceptuel. Ils proposent des structures théoriques de deux ordres pour interpréter le fonctionnement cognitif de l'enfant. Un cadre théorique naïf, constitué de principes assez généraux sur le comportement des objets, et des théories spécifiques dans les domaines étudiés de la Physique. Pour ces chercheurs, face à des situations réelles, l'enfant élabore, à partir de sa théorie, un modèle mental qui est une représentation analogique de la situation ou fait appel à des modèles mentaux qu'il a déjà construits. « Le mot *théorie*, lorsqu'il s'applique à l'enfant, est utilisé pour qualifier une structure relationnelle et explicative et non une théorie scientifique explicite et formée » (Vosniadou et Brewer, 1992, p.47). Pour ce qui est de l'acquisition de nouvelles connaissances, très différentes des connaissances initiales, et qui conduisent l'apprenant à « voir » le monde différemment, l'évolution se fait par des micro changements progressifs. Pour l'approche dite « spécifique par domaine », le changement conceptuel se fait plutôt par sauts d'après Hirschfeld et Gelman (1994). Le courant du changement conceptuel permet d'interpréter l'incohérence de surface, particulièrement manifeste à certains moments du développement des enfants. Pendant certaines phases, l'enfant répond de façon cohérente aux questions qu'on peut lui poser sur le champ phénoménologique ou conceptuel en jeu. Il existe par contre d'autres phases de transition au cours desquelles l'apprenant utilise des modèles mixtes : il peut alors produire des réponses incohérentes entre elles à un ensemble de questions, parce qu'il utilise à la fois des critères appartenant à plusieurs modèles. Dans d'autres cas, l'enfant parvient à constituer un « modèle synthétique », qui se distingue de la simple addition de différents modèles venant pour l'un de la culture quotidienne et de l'enseignement pour l'autre. Vosniadou (1994) donne comme raison importante de l'incohérence de surface observée chez les enfants leur manque de « conscience métaconceptuelle ». Le chercheur insiste sur la cohérence de l'élève apprenant qui conduit à une résistance au changement qu'apporterait l'enseignement dans le cadre théorique initial de l'élève. Ainsi, la coexistence de différents types de connaissances, naïves et scientifiques, peut être compatible avec l'approche théorique de Vosniadou (1994).

Les chercheurs Chi, Slotta et de Leeuw (1994) proposent une autre approche du changement conceptuel. Celui-ci est lié à la catégorisation des concepts. Pour Chi, « la signification d'un concept est déterminée par la catégorie à laquelle il est attribué » (Chi et *al.*, 1994, p.27). Par

exemple, il considère que lorsque le concept de baleine passe de la catégorie « poisson » à la catégorie « mammifère », il y a un changement fondamental du concept de baleine pour l'apprenant. Il propose trois catégories ontologiquement distinctes : la matière, les processus et états mentaux. Ainsi, Chi (1994) considère qu'un changement conceptuel est nécessaire quand le concept d'un apprenant relève d'une catégorie différente de celle à laquelle appartient le concept scientifique à apprendre. De nombreux concepts scientifiques qui sont eux-mêmes définis par des relations entre concepts, par exemple l'accélération, la force, l'énergie appartiennent à une sous catégorie appelée « interaction sous contraintes » de la catégorie « processus ». Or, dans les connaissances naïves, ces concepts correspondent souvent à un évènement, par exemple l'accélération c'est « aller de plus en plus vite », ou à un objet, la force est la propriété d'un objet (« la force d'un homme »). Ainsi, l'ontologie de ces concepts est différente dans le cas des connaissances naïves et scientifiques, ce qui conduit à des points de vue différents sur le monde, en particulier quand il s'agit d'affecter une cause aux évènements observés. Quand bien même cette approche a été peu répandue en didactique, elle montre cependant que l'acquisition d'un nouveau concept scientifique demande une modification profonde du sens du concept initial et de ses relations avec les autres concepts. Pour interpréter l'évolution des connaissances des élèves en mécanique, Dykstra (1992) montre que les élèves passent d'une causalité entre force et vitesse, en début d'enseignement, à une relation qui lie les deux concepts par : « quand l'accélération d'un objet n'est pas nulle, alors une force existe et inversement ». Dans cette évolution, la force passe de la catégorie de base « matière », c'est-à-dire la propriété d'un objet à celle de « processus ». Chi (1994) considère que c'est un changement conceptuel fondamental. Néanmoins, dans cette théorie, il n'est pas envisagé la possibilité de coexistence de plusieurs types de connaissances appartenant à des catégories ontologiquement différentes.

En revanche, selon l'approche du changement conceptuel proposée par Posner, Strike, Hewson et Gertzog (1982) qui reste une référence dans le domaine de la didactique de la Physique, les deux conceptions peuvent coexister. En effet, elle met l'accent sur la possibilité de compétition entre différentes conceptions. Elle stipule quatre conditions pour qu'il y ait accommodation (au sens de Piaget) : Il faut que la conception initiale n'apparaisse pas satisfaisante à l'apprenant, que la nouvelle conception soit intelligible, plausible et qu'elle lui paraisse fructueuse.

Des travaux ultérieurs ont montré que les conceptions initiales qui sont présentées de manière dichotomique (positif ou négatif), sont plus complexes en réalité qu'une simple dichotomie. Hewson et Lemberger (2000) ont étudié cette complexité. Ils associent à une conception un

statut dont l'importance varie dans la mesure où l'intelligibilité, la plausibilité, l'aspect fructueux de cette conception augmentent ou diminuent. Il ne s'agit donc pas d'échanger l'ancienne conception par une nouvelle, mais de changer leurs statuts respectifs.

3. Les conditions d'évolution des conceptions initiales en savoirs scientifiques

Des recherches centrées sur les interactions sociales ont mis l'accent sur les conditions de l'évolution plutôt que sur l'évolution elle-même. Les recherches prennent en compte le rôle de l'enseignant et des interactions entre élèves ; elles se situent majoritairement dans la lignée de Vygotsky (1985). Les travaux de Lemke (1990) et de Mortimer et Scott (2000) sont illustratifs de cette tendance. Ils considèrent qu'apprendre la Science implique apprendre à « parler science », « communiquer dans le langage de la Science et agir comme un membre de la communauté qui pratique ce langage ».

Pour d'autres, il y a non seulement coexistence des conceptions mais un incessant va et vient entre les conceptions initiales et le savoir en construction. En effet, de récents résultats de recherches en didactique qui se proposent d'étudier le comportement des élèves à des échelles de temps, beaucoup plus fines que les autres travaux montrent que lorsque les élèves observent des événements nouveaux pour eux, dans des expériences qu'ils réalisent eux-mêmes, cela demande une nouvelle construction mentale. Cette construction ne peut se faire immédiatement, elle demande une élaboration nécessitant des allers-retours et de nombreuses manipulations, c'est-à-dire du temps. Ce type de résultats nécessite des analyses utilisant plusieurs échelles de temps, de l'ordre de la seconde, pour comprendre les manipulations et les verbalisations associées, et de l'ordre de l'heure, la semaine ou le mois, pour comprendre l'évolution des significations des nouvelles expériences et des nouveaux concepts construits par les élèves (cf. von Aufschnaiter et von Aufschnaiter, 2001). Dans cette approche, le rôle des gestes vis-à-vis des objets matériels et des montages expérimentaux devient essentiel pour comprendre les productions des élèves (Roth, McRobbie, Lucas et Boutonné, 1997).

Pour résumer, les résultats des recherches actuelles montrent qu'en Physique, l'essentiel des aspects difficiles à apprendre des concepts et de leurs relations est identifié. Cependant, on ne connaît pas vraiment les processus cognitifs qui rendent compte précisément des aspects faciles ou difficiles à apprendre, aussi bien en situation d'enseignement que sur le long terme. En effet, il faut relier la quasi-instantanéité du fonctionnement cognitif en situation d'enseignement à l'évolution à long terme des connaissances des élèves.

Ces différentes recherches montrent toutefois une position assez largement partagée par les psychologues et les didacticiens quant à la coexistence mais aussi la succession de connaissances naïves et scientifiques chez un apprenant.

Pour ce qui concerne l'articulation entre savoirs disciplinaires et savoirs quotidiens, la mise en œuvre de savoirs scientifiques hors du contexte de l'enseignement est peu étudiée directement mais apparaît dans diverses publications dans le champ de l'éducation scientifique. Les chercheurs partagent l'idée que les élèves rencontrent des difficultés à transférer des connaissances scientifiques scolaires dans le monde quotidien. Les interprétations par contre divergent. Selon une interprétation fréquente, les savoirs quotidiens et les savoirs scientifiques relèveraient de deux cultures de pensée (Hawkins et Pea, 1987). La difficulté à mettre en œuvre les connaissances scientifiques dans un contexte quotidien tiendrait à ce que l'école se concentre sur des concepts abstraits décontextualisés et qui sont, de ce fait, supposés être directement transférables (Brown, Collins et Duguit, 1989).

Néanmoins, différentes recherches suggèrent que le transfert d'un contexte à l'autre est possible, que l'enseignement peut avoir pour objectif de donner du sens au savoir à acquérir en construisant des ponts entre pratiques (Evans, 1999) et que des concepts quotidiens peuvent servir d'ancrage à la conceptualisation scientifique (Brown, 1992). Dans le même sens, Warren, Ballenger, Ogonowski, Rosebery et Hudicourt-Barnes (2001) considèrent que les connaissances naïves sont des potentialités à exploiter et proposent de considérer les pratiques d'apprenants de diverses communautés comme une ressource dans l'apprentissage et l'enseignement en sciences.

IV- Catégorisation des représentations.

1. Une catégorie empirique des représentations.

Selon Sallaberry (2004), « il est relativement facile de repérer deux catégories de représentations » pour ce qui concerne l'enseignement expérimental. Sallaberry (2004) propose de nommer « représentations images », les représentations qui renvoient à des choses vues ou visibles. Par exemple, une observation visuelle d'un élève au cours d'une activité expérimentale telle : « il y a un précipité » est une représentation image. Sallaberry attribue le code R1 aux représentations images. Pour les énoncés présentant « un aspect de début d'hypothèse », Sallaberry (2004) considère que ceux-ci renvoient à ce qu'il nomme des « représentations à prétention interprétante » qu'il code R2. L'auteur considère que les R2 peuvent être nommées représentations rationnelles car « l'idée d'une hypothèse induit à elle seule un fonctionnement du type discours scientifique ».

2. Dynamique R1, dynamique R2 : comment distinguer R1 et R2?

Le premier argument théorique que propose Sallaberry (2004) concerne « la question des bords, c'est-à-dire la limite entre une représentation et une autre ». Selon lui en effet, « les R2 de part leur aspect hypothèse (ou leur aspect comparaison), s'inscrivent dans un souci de justification et de précision qui est celui du discours scientifique. Cela va nécessiter en permanence un *affinement des bords* ». L'auteur traduit ici le souci permanent de la rigueur et de l'objectivité qu'exige le travail scientifique. Ainsi, une représentation de type R2 doit répondre à ces exigences. Pour ce faire, les sciences se sont données par exemple comme l'indique l'auteur « des espaces de langage formel ». En effet, si la polysémie du langage courant convient parfaitement à l'énoncé des R1, qui sont des représentations à « bords flous », c'est-à-dire qui ne nécessitent pas d'exigence de précision, il n'en est pas de même dans le cas des R2. Néanmoins d'après l'auteur, il reste tout de même possible tout en étant à l'extérieur d'un langage formel, « de mener un travail de précision des énoncés ». Il souligne par ailleurs qu'« il est même des cas où l'on peut parvenir à des énoncés suffisamment précis pour permettre une démonstration- dont le domaine de prédilection est pourtant constitué par les langages formels. » Sallaberry (2004) appelle ce travail de précision sur les énoncés un *affinement des bords* des représentations de type R2. Cette réflexion concerne tout particulièrement cette étude. En effet, dans sa démarche de construction du savoir scientifique par investigation, l'apprenant est appelé à formuler des hypothèses. Suivant la notion abordée, celui-ci peut ne pas maîtriser le langage formel approprié pour énoncer ses hypothèses qui sont de types R2. S'il est donc important d'interroger le processus d'affinement des bords mise en place par l'apprenant, il est par ailleurs intéressant de chercher à savoir si dans le cadre d'une situation d'apprentissage où l'apprenant dispose déjà du langage formel approprié, quel choix fait-il du langage formel acquis ou du langage courant pour énoncer ses hypothèses. Dans le cas où se dégage une tendance pour un langage donné, il convient alors d'interroger les raisons de ce choix. Cela permet d'aborder alors une question plus large qui consiste à savoir est ce que lors de l'apprentissage d'un savoir scientifique, le langage formel acquis progressivement par l'apprenant à pour objectif de remplacer le langage courant ? En effet comment consolider l'apprentissage scientifique si l'apprenant ne perçoit pas l'importance d'utiliser fréquemment et hors contexte d'apprentissage en science le langage formel acquis ? Les représentations de type R1, ont un fonctionnement qui se caractérise par l'imprécision. Elles ne nécessitent donc pas un langage formel pour leur énoncé. Dans les situations d'apprentissage et plus encore pour notre étude, à l'occasion d'un

enseignement par investigation, c'est l'échange des représentations (R1 et R2) qui fait évoluer l'apprenant dans la construction de son savoir. L'enseignement des sciences physiques demande aux apprenants d'exprimer leurs représentations types R1. C'est le cas lorsque les élèves sont en situation d'observation d'un fait expérimental, lorsqu'ils notent les résultats d'une expérience ou qu'ils évoquent des faits de leur quotidien en lien avec le sujet étudié. Les apprenants sont en général très à l'aise et spontanés dans cette étape de construction du savoir. Ils sont appelés ensuite à produire des représentations type R2. C'est le cas lorsque les apprenants font des interprétations, proposent des explications ou des hypothèses face à des faits expérimentaux par exemple. Donc selon Sallaberry (2004, P.46), « les R1 sont caractérisées par des bords flous, et leur dynamique (le fonctionnement des R1 entre elles) est fondée sur cet aspect- c'est une dynamique à bords flous. Les R2 n'ont pas nécessairement des bords nets, mais entrent dans une dynamique d'affinement des bords. En fait, la catégorie des R2 prend en charge l'énorme investissement de la rationalité qui est le propre de la culture occidentale ». Pour ce qui concerne l'élaboration de représentations de type R2, contrairement aux R1, les apprenants sont à priori moins spontanés et pas toujours à l'aise. Cette étape semble présenter plus de difficultés aux apprenants que celle de la formulation des R1. Peut-être sont-ils conscients de l'impérieuse nécessité de tendre vers des bords nets pour les R2 et qu'ils rencontrent des difficultés dans ce processus d'affinement des bords. Il semble donc possible de hiérarchiser les représentations en matière d'abstraction.

3. Relation entre niveaux d'abstraction et niveaux d'apprentissage.

D'une manière générale et de manière empirique, il est possible de repérer plusieurs niveaux d'abstraction pour les représentations.

Piaget, cité par Sallaberry (2004, p.46) distingue trois niveaux d'abstraction. De son côté, Bateson (1977) propose de même de distinguer des niveaux d'apprentissage ce qui va dans le sens de la catégorisation R1/R2 proposée par Sallaberry (2004). Sallaberry (2004) fait état de ces niveaux d'abstraction que nous reprenons pour l'essentiel ici.

3.1. Les trois abstractions et les niveaux d'apprentissage

Selon Sallaberry (2004, p.47), Bateson(1977) propose de concevoir les processus d'apprentissage suivant des niveaux logiques. Le premier niveau que Bateson propose d'appeler « apprentissage 1 » est selon Sallaberry le lieu d'utilisation de représentation R1/R2 « de base » dans le cas d'un apprentissage scolaire. L'apprentissage 2 fait intervenir une

décentration, un recadrage, c'est-à-dire un changement de niveau logique. A ce niveau les élèves utilisent des R2 plus élaborées car selon Sallaberry (2004, p. 47), « il ne s'agit plus de seulement d'amorcer une explication ou une relation de causalité, mais de concevoir des types de raisonnements, ainsi que des classes de problèmes pour lesquels ces raisonnements sont efficaces. L'élève opère un « recadrage » s'il conçoit que la solution qu'il possédait correspond à une classe de problème et que, découvrant un nouveau type de problème, il imagine qu'il va lui falloir trouver une autre type de solution.

L'apprentissage 3 correspond à un recadrage par rapport au processus de l'apprentissage 2. Par exemple c'est lorsque l'élève fait le lien avec des situations analogues qu'il a vécu.

Les niveaux d'abstraction pour (le courant de) Piaget (1979) sont analogues :

- l'abstraction empirique qui porte sur les objets physiques extérieurs au sujet. Dans la catégorisation de Sallaberry « 2004 » cela correspond à la production de R1, car selon Sallaberry (2004, p.48), « les R1 sont plus proches des objets que les R2.

- l'abstraction réfléchissante est tirée des opérations mentales et des actions. Selon Sallaberry (2004) elle fait intervenir des R2 et des coordinations R1-R2 le cas échéant.

- l'abstraction réfléchie correspond à une sorte d'abstraction de l'abstraction réfléchissante. Elle correspond majoritaire à l'émission de R2 et de coordination R1-R2 selon Sallaberry (2004).

3.2. Les représentations composites

Sallaberry (1996, puis 2004 p. 48) code R3 les représentations qui combinent les propriétés des R1 et celles des R2. Ces représentations sont capables de coordonner dynamique R1 et dynamique R2. Il qualifie ces représentations de composites. Par exemple, les documents graphiques, dessinés tels que les plans, les cartes, sont des représentations composites. En effet l'utilisation de ces documents demande d'effectuer un travail de la pensée pour « conjoindre les images (des lieux dans le cas d'un plan) — mémorisées ou construites — et la vue de dessus qui fonde la carte. Ce travail de la pensée constitue selon Sallaberry (2004, p.48) « non seulement une coordination de R1 et de R2, mais un travail dans lequel se coordonnent la dynamique R1 et la dynamique R2 ». Il considère que « l'utilisation coordonnée de la dynamique R1 et de la dynamique R2 doit amener la pensée à une efficacité maximum, par alliance d'une certaine fluidité facilitant les avancées et d'une certaine rigueur permettant de formaliser ces avancées ». Il propose par exemple le cas du chercheur qui fait

fonctionner cette double dynamique (qu'il considère contradictoire) pour « avancer » dans ses conceptions.

Sallaberry propose de considérer les niveaux de représentation qui semblent pouvoir être repérés dans un ordre qu'il s'autorise à qualifier de génétique en référence au sens piagétien dans la mesure où chaque niveau se construit à partir du ou des précédents. Suivant cet ordre on a :

- Les représentations inconscientes
- Les R1
- Les R2
- Les R3 (coordinations actives R1-R2)

3.3. L'argument du recadrage

Sallaberry (2004, p.50) pose la question du mode de passage d'un niveau de représentation à l'autre. Ce passage opère-t-il par recadrage ?

Pour le passage du niveau R2 — pensée rationnelle, liée à la dynamique d'affinement des bords — à une pensée capable d'allier les deux dynamiques, Sallaberry considère qu'il y a recadrage. Pour le passage des représentations inconscientes aux R1, c'est aussi le cas. En effet il considère que « le changement permis par l'utilisation du langage constitue manifestement un recadrage : c'est l'entrée décisive d'un sujet dans une culture ». Pour ce qui concerne maintenant la transition des R1 aux R2, Sallaberry (2004) considère que le cas est plus délicat. Néanmoins, il considère que ce passage est un recadrage car « il implique une attention et une exigence nouvelles du sujet vis-à-vis des représentations qu'il a construites ».

Conclusion

Notre outillage théorique étant maintenant enrichi du concept de représentation et de la tentative de catégorisation que propose Sallaberry (2004), nous sommes en mesure d'aborder le statut de l'hypothèse dans la démarche expérimentale. Les conséquences des représentations en termes de modélisation pour l'éducation étant vues, nous cherchons maintenant à questionner l'hypothèse dans la démarche expérimentale : d'abord comment la définit-on ? Quel est son positionnement et son rôle en matière de pédagogie ?

Chapitre IV

STATUT DE L'HYPOTHESE DANS LA DEMARCHE EXPERIMENTALE

Introduction

Il n'existe pas une démarche expérimentale standard ; Nous dénombrons une variété de démarche possible. En effet, entre une approche expérimentale en chimie, une autre en microbiologie, une autre encore en physique nucléaire, Nous pouvons trouver de nombreuses différences. Cependant il existe un point commun à toutes les démarches de type « expérimental » : c'est la présence en permanence de trois moments importants qu'il est difficile de séparer :

- Une question
- une hypothèse
- une expérimentation/argumentation

Nous disposons là d'un critère pour caractériser toutes démarches de « type expérimental ». Ces trois temps forts fonctionnent en général comme un tout, de manière systémique à cause des interactions multiples et des feed-backs. Depuis quelques années, avec le plan de rénovation de l'enseignement des sciences, il est question d'enseigner par résolution de problèmes. Dans la démarche par investigation qui est une démarche expérimentale largement préconisée dans l'enseignement scientifique, la formulation d'hypothèse constitue une étape importante où l'élève s'engage personnellement.

Cependant des questions demeurent concernant par exemple la nature de l'hypothèse autrement dit sa définition, son statut et son intérêt dans cette démarche, les critères de formulation d'une hypothèse, sa perception par les apprenants....

Nous proposons dans ce chapitre de rassembler quelques éléments de connaissances autour du concept d'hypothèse pour mieux comprendre sa fonction dans la démarche expérimentale.

I- Hypothèse : définition(s) et caractéristiques

1. Des confusions et des approximations

Le terme d'hypothèse est employé de manière abusive dans le langage courant. En générale, il serait utilisé comme un synonyme de supposition. Cependant si en mathématiques on accorde au mot hypothèse une signification particulière, en sciences expérimentales, il convient de le définir autrement. En effet, en mathématiques, il est synonyme de donnée(s). C'est une ou des conditions que l'on pose arbitrairement au départ et qui définissent le cadre du problème que l'on se propose de résoudre. Elle se présente dans ce cas généralement comme une affirmation. Contrairement au mathématicien qui fixe lui-même les éléments de départ du problème, pour les sciences expérimentales, le problème à résoudre est imposé de l'extérieur. Il s'agit de comprendre et de décoder le réel en établissant des relations et en déterminant les mécanismes des phénomènes. Selon De Vecchi (2006, p.113) pour de nombreux enseignants, l'hypothèse serait « une réponse possible à un problème » ; « un modèle explicatif potentiel intégré à une démarche » ; « une solution provisoire à un problème » ; « une idée à vérifier » Popper (1973).

2. Des définitions pour « hypothèse » en didactique des sciences.

De Vecchi, 2006 (p.113) considère « qu'il ne suffit pas d'émettre une supposition pour que celle-ci acquière le statut d'hypothèse ; il faut qu'elle se rapporte à un problème et qu'il y ait une intention de la tester. Il conçoit l'hypothèse comme « une solution provisoire, une anticipation sur la connaissance, établie à partir de ce qui est connu ou de la représentation que l'on s'en fait, en liaison avec un problème à résoudre, et qui doit être testée ».

De son côté, Robardet (1997, p.91) considère qu'une hypothèse n'est pas un simple pronostic. La formulation d'une hypothèse requiert de la part de celui qui en est l'auteur des connaissances préalables lui permettant de construire une argumentation. Or, chez le scientifique, les hypothèses sont généralement fondées sur des connaissances scientifiques préalablement établies ou le résultat d'une expérience déjà réalisée. Chez l'apprenant qui formule une hypothèse, le système explicatif de départ peut être constitué par une simple conception plus ou moins naïve et éventuellement fausse sur le fonctionnement du dispositif qui lui est proposé De Vecchi,(2006, p. 118).

Pour Franeau (1988), l'élaboration des hypothèses rentre dans une dynamique inductive après une première étape d'observation et d'expérimentation. Dans son approche, l'hypothèse permet de généraliser les lois expérimentales particulières en tentant de dégager des relations

plus générales, il parle d' « hypothèse généralisante ». L'hypothèse qu'il considère comme un « postulat de la théorie » articule le passage des lois particulières à la théorie : elle en constitue le point de départ. Le critère de validité d'une théorie se trouvant dans la conformité avec les faits.

Pour Gangloff (2008, p.59), l'hypothèse est une réponse que l'on apporte à une question que l'on se pose préalablement sur la cause de certains phénomènes. Ici, l'hypothèse est une « affirmation de causalité » : c'est une affirmation indiquant que tel fait a une influence sur tel autre. Il propose deux types d'hypothèses : les hypothèses déduites et les hypothèses induites. Dans le premier cas on part de connaissances déjà acquises, c'est-à-dire de la théorie, et on essaie d'appliquer cette théorie hors de son champ d'origine pour en déduire de nouvelles relations causales⁶⁰. Dans le second cas, on part d'observation directe, puis en prenant de la distance, on élabore une hypothèse explicative. Dans les deux cas, l'élaboration d'hypothèse doit tenir compte de l'état actuel du savoir. Dans son approche Gangloff (2008) propose deux moments dans la construction d'une hypothèse, ce qui conduit à construire deux niveaux d'hypothèse. Un premier niveau d'hypothèse où l'on reste à un niveau très général. On ne peut vérifier l'exactitude de l'hypothèse à ce niveau, car trop abstraite et trop générale. Le deuxième temps consiste à opérationnaliser l'hypothèse générale du niveau précédent c'est-à-dire à la transformer en une hypothèse dite opérationnelle, c'est à dire une hypothèse qui pourra être testée. Ainsi, le passage d'une hypothèse générale à une hypothèse opérationnelle doit renvoyer à la « vérifiabilité », critère d'une bonne hypothèse.

Thouin (1996) propose de considérer l'hypothèse comme une loi énoncée de façon provisoire, qui doit être soumise à l'expérience. L'hypothèse corroborée peut se transformer en loi ou en théorie.

Dans sa définition de la démarche expérimentale, Giordan (1998), considère l'hypothèse comme une organisation des connaissances, un système explicatif ou une représentation. Selon cet auteur, dans une démarche expérimentale, le chercheur ou même le simple individu est confronté à un problème, un décalage entre le réel, tel qu'il le perçoit et l'idée qu'il s'en fait. Pour répondre à son interrogation, il va avancer des supputations, autrement appelées des hypothèses dès lors que le scientifique décide de les éprouver. Pour Giordan (1998), l'hypothèse est d'abord une conjecture dans la mesure où elle est reconnue comme une explication possible du phénomène observé ou de la situation. C'est une supposition qui doit être confirmée par des observations ou par expérimentation. «La formulation d'une hypothèse

⁶⁰ Par exemple : la réédition d'une étude antérieure sur une population nouvelle.

est donc le moment le plus créatif de toute la démarche scientifique. Elle consiste en effet à inventer ou à fabriquer une explication plausible. Il s'agit même d'un moment irrationnel où il faut dépasser les évidences habituelles pour fabriquer une idée originale ou pour mettre en relation des paramètres divergents ou inattendus » Giordan (1998, p. 50).

Selon Sallaberry (2004, p.44), « il est relativement facile de repérer deux catégories de représentations » pour ce qui concerne l'enseignement expérimental. Dans son approche, Sallaberry propose de nommer « représentations images », les représentations qui renvoient à des choses vues ou visibles, pour lesquelles il attribue le code R1. Pour les énoncés présentant « un aspect de début d'hypothèse », Sallaberry (2004, p.44) considère que ceux-ci renvoient à ce qu'il nomme des « représentations à prétention interprétante » qu'il code R2. Pour lui, les R2 peuvent être nommées représentations rationnelles car « l'idée d'une hypothèse induit à elle seule un fonctionnement du type discours scientifique ».

On peut noter une certaine homogénéité de représentation du concept d'hypothèse par ces différents auteurs notamment en ce qui concerne le caractère provisoire et la vérifiabilité. Il y a néanmoins des éléments qui particularisent chacune des définitions évoquées. On peut donc s'attendre à ce que les apprenants proposent des formulations variées pour l'hypothèse.

3. Formulation d'une hypothèse

D'après les définitions données précédemment, on constate qu'une hypothèse doit montrer une intention de la tester. Pour ce qui concerne la formulation à adopter pour construire une hypothèse, « cela reste encore un débat » selon De Vecchi (2006, p. 115). Lorsque l'on pose la question de la formulation des hypothèses à des enseignants ou à des formateurs de disciplines scientifiques, on obtient des réponses très contradictoires telles que :

- Une hypothèse doit contenir l'idée de supposition avec « peut-être que » ou « on suppose que »....
- Ce doit être une affirmation que l'on pose et qui devra être testée.
- Elle doit comporter une interrogation, une phrase interrogative comme « N'y a-t-il pas la possibilité de ... » « Ne pourrait-on pas expliquer cela ainsi... » ou « ne pourrait-on pas réaliser ... » pour montrer qu'il y a un problème sous-jacent.
- « C'est ce que dit l'élève qui doit être considéré comme étant l'hypothèse ».

De Vecchi (2006, p.113) considère qu'une formulation qui utilise des expressions de la forme « Si.... Alors » ne sont pas forcément des hypothèses comme on le perçoit en général. Pour

lui cette formule contient l'idée que « si cette hypothèse est vraie, alors nous obtiendrons tel résultat ». Le « alors » correspond à la conséquence vérifiable qu'il faut vérifier. C'est la raison pour laquelle il propose de parler de « conséquence à vérifier » ou encore de « conséquence à éprouver ». Pour revenir à la définition de l'hypothèse, certains considèrent que la conséquence à vérifier fait partie de l'hypothèse alors que d'autres lui donnent un statut de « prolongation d'hypothèse ». De Vecchi (2006) propose de son côté d'accepter l'idée « que contenir la conséquence à vérifier est intéressant, important même au plan pédagogique, puisque cela représente un repère rigoureux donc une « aide » pour les élèves.

Selon De Vecchi (2006, P.115), il faudrait plutôt privilégier le sens plus que la forme dans la formulation d'une hypothèse chez les jeunes élèves. Cependant dans le but d'uniformiser les approches des différentes disciplines, on s'oriente de plus en plus vers une considération de l'hypothèse comme une affirmation correspondant à « un possible » à tester. Pour les élèves de l'école primaire et maternelle on considère qu'il faut privilégier une formulation d'hypothèse sous la forme de « peut-être que » dans la mesure où une telle formulation donne plus de sens à ces élèves que le terme hypothèse lui-même. Cependant, il considère que « la formulation d'hypothèse » est importante et doit être apprise aux élèves pour que ceux-ci retiennent ce qu'est une hypothèse.

Selon De Vecchi (1996, p.130), les élèves ont naturellement tendance à « affirmer » que « émettre des hypothèses ». Donc l'objectif du maître devrait consister à faire changer cet état d'esprit afin que les élèves ne fonctionnent plus systématiquement sur des certitudes mais qu'ils apprennent à douter, c'est-à-dire à émettre des hypothèses. Il faut passer d'un état d'esprit basé sur la certitude avec l'expression « c'est ainsi » à un état d'esprit basé sur le doute avec l'utilisation de « peut-être que c'est ainsi, il faudrait le vérifier ». Pour De Vecchi (1996, p. 131), les élèves pensent qu'on leur demande de deviner une solution quand il faut émettre une hypothèse alors que c'est un travail d'anticipation, c'est inventer « ce qui pourrait être », ou encore se pencher sur ce qui est caché. Or inventer suppose que l'élève possède déjà un ensemble de connaissances sur lesquelles il va s'appuyer. Pour émettre des suppositions cohérentes, il ne s'agit pas de connaître la réponse au problème posé mais de tenir compte d'un ensemble de connaissances qui donnent sens au problème. De Vecchi (1996, p. 131) considère ainsi qu'il n'est pas pertinent de demander aux élèves d'émettre des hypothèses à n'importe quel moment, quand celles-ci n'émergent pas naturellement au cours de l'activité. Car cela peut se révéler être un exercice qui n'a pas de sens pour eux et être donc peu efficace. D'autre part, De Vecchi (1996) considère que parfois, c'est l'enseignant qui agit pour induire plus ou moins fortement l'émission d'hypothèses par les élèves dans la mesure

où celles-ci ne s'appuient pas assez sur leurs questionnements et sur leurs connaissances. Dans de telles situations, les élèves sont nettement moins engagés et l'exercice perd en efficacité. Il s'agit ainsi pour chaque situation où l'élève doit émettre une hypothèse de gérer l'adéquation entre le problème à résoudre et la capacité de l'élève à pouvoir formuler une hypothèse à partir de ces connaissances. De Vecchi (1996) considère par ailleurs que toutes les hypothèses émises doivent être acceptées afin de créer un état d'esprit favorable à l'émission d'hypothèses d'une part et d'autre part, habituer l'élève à ne pas systématiquement rechercher la bonne réponse attendue par le maître.

Pour Franeau (1988), une hypothèse peut se présenter soit sous forme d'une relation, soit sous forme d'un modèle.

De son côté, Gangloff (2008) considère que l'hypothèse doit être formulée en termes réfutables afin de répondre par « c'est vrai » ou « c'est faux » après expérimentation. Il faudrait, pour rendre une hypothèse réfutable, la concevoir de telle sorte que les résultats d'expérience donnent lieu à des analyses en termes de vrai ou de faux, c'est-à-dire en termes de réfutabilité permettant ainsi de formuler des conclusions non susceptibles d'être réfutées. Dans son approche, la formulation d'une hypothèse est la mise en rapport de la (ou des) variable(s) indépendante(s) avec la ou (les) variable(s) dépendante(s). La connaissance des variables utilisées dans une recherche permet automatiquement d'en déduire l'hypothèse ; inversement, la connaissance d'une hypothèse rend immédiate l'identification des variables employées. Considérons l'exemple suivant :

« Le temps d'identification des mots avec signification est plus rapide que celui des mots sans signification ». Il s'agit d'une hypothèse opérationnelle portant sur l'identification des mots, selon que ces mots ont ou non une signification. Selon Gangloff (2008), c'est une affirmation en termes de causalité ; Certains mots seraient plus rapidement identifiés⁶¹ que d'autres, et la cause en serait une différence de signification. Cela veut dire que l'on suppose une différence de résultats, c'est-à-dire une différence de rapidité d'identification, différence de rapidité provenant de la différence de signification des mots. La « différence de signification des mots » est pour l'auteur la variable indépendante. De même, la différence de rapidité d'identification renvoie selon lui à la variable dépendante.

Une variable indépendante est une variable dont on suppose qu'elle est la cause des effets que l'on veut étudier. C'est l'élément dont on suppose qu'il est susceptible de faire varier le phénomène que l'on veut étudier ; c'est le facteur de variation de ce phénomène. Toute

⁶¹ C'est-à-dire qu'on pourrait les nommer plus rapidement que d'autres.

variable indépendante se présente au moins sous deux formes, a au moins deux modalités, et à ces modalités correspondent, les situations expérimentales aussi bien en nombre qu'en nature. Si les mêmes sujets sont successivement soumis aux différentes conditions expérimentales, la variable indépendante (V.I) est dite facteur de variation intra-sujet et le plan expérimental sera un plan à mesures répétées. Si les sujets ne passent qu'une seule situation expérimentale, c'est-à-dire s'il y a au moins deux groupes de sujets, chaque groupe n'étant confronté qu'à une seule situation, une seule modalité de la variable indépendante, on dit que la V.I. est un facteur de variation inter-sujets. Dans ce cas, le plan expérimental est un plan à mesures indépendantes. Cette distinction est importante dans la mesure où elle a des conséquences sur les variables parasites à contrôler et sur les analyses statistiques que l'on peut effectuer sur les résultats obtenus.

Une variable dépendante est la variable sur laquelle on veut étudier les effets des variations de la variable indépendante (V.I.). La variable dépendante peut être de différentes natures. Il peut s'agir d'une performance, d'un comportement, d'une opinion, d'une réponse physiologique etc. Pour Gangloff (2008), une bonne variable dépendante (V.D.), doit si possible être facile à observer, se prêter à des mesures, et doit également se caractériser par une bonne finesse discriminative (on parle aussi de sensibilité). Cela signifie que la V.D doit être susceptible de fournir des résultats variés.

Enfin, pour que le chercheur puisse mettre sans risque d'erreur ses résultats en rapport avec sa V.I., il doit tenir compte des variables parasites. C'est la condition nécessaire pour qu'il puisse légitimement considérer que les variations obtenues au niveau de la V.D. proviennent des variations de la V.I. Selon Gangloff (2008), on distingue deux grands types de variables parasites : les variables parasites liées aux situations, et les variables parasites liées aux caractéristiques des sujets. Les variables liées aux situations sont liées à l'environnement et à la tâche, tandis que les variables parasites liées aux caractéristiques des sujets comprennent par exemple tout ce qui concerne l'âge, le genre, le niveau socioculturel et économique, les aptitudes physiques et mentales, etc.....

4. Statut « expérimental » et « scientifique » de l'hypothèse.

C'est la conséquence à éprouver, prolongation de l'hypothèse, qui permet d'envisager le résultat supposé et ses conséquences observables où mesurables. Ainsi, « si mon hypothèse est vraie, je dois obtenir tel résultat ». La conséquence dictée par l'hypothèse est donc une « projection des résultats, une anticipation, les conséquences du phénomène ». Elle implique

d'avoir analysé puis isolé le paramètre observable ou mesurable. De Vecchi (2006) fait remarquer que le terme « conséquence à vérifier » n'est pas rigoureusement correct, et qu'il est préférable d'utiliser « conséquence à tester » ou « conséquence à éprouver » dans la mesure où le premier terme sous-entend que l'hypothèse avancée est juste et qu'il s'agit de la confirmer. Cela semble s'expliquer par le fait qu'en classe, les enseignants utilisent essentiellement des hypothèses exactes.

Une hypothèse doit donc prévoir une grandeur mesurable, un effet à observer pour le critère étudié. Sa formulation doit ouvrir sur une action bien précise, qui doit conduire à la confirmation ou à l'infirmer de l'idée. Donc l'hypothèse doit conduire à définir voire cerner un champ d'investigation car elle doit avoir défini et isolé un facteur lié au problème étudié. Pour cette raison, De Vecchi (2006, p. 114) considère l'hypothèse comme le « pivot » de la recherche expérimentale. Néanmoins, l'expérimentation ne peut s'opérer que sur des hypothèses opératoires. La prévision issue de l'hypothèse, débouche sur l'action et rend celle-ci indispensable. Donc une hypothèse n'acquiert le statut d'hypothèse expérimentale, que lorsqu'elle devient opérationnelle, c'est-à-dire qu'elle débouche sur une mise à l'épreuve.

La pédagogie propose de son côté qu'une hypothèse acquiert le statut « scientifique », lorsqu'elle est « immédiatement vérifiable », soit directement, soit dans ses conséquences. Or selon De Vecchi (2006), toutes les hypothèses ne sont pas directement vérifiables, car il les classe en deux sortes :

- les « hypothèses expérimentales » que l'on peut tester de manière immédiate.
- les hypothèses en attente d'une mise à l'épreuve qu'il appelle les « hypothèses explicatives » : parmi lesquelles, les hypothèses que l'on ne peut pas encore tester en raison d'une technologie non appropriée ou pas encore suffisamment développée.

Néanmoins, De Vecchi (2006) considère que les hypothèses explicatives possèdent elles aussi le statut de « scientifique » dans la mesure où leur mise à l'épreuve est tributaire du développement technologique, d'autre part parce que l'hypothèse ne débouche pas forcément sur l'expérience : l'observation, les calculs, les recoupements de faits peuvent être d'autres moyens pour les éprouver. Ainsi, une hypothèse est « scientifique » si elle se prête à la confrontation avec les faits.

Pour ce qui concerne la réponse à une hypothèse, elle ne constitue pas un savoir scientifique. Pour acquérir ce statut, elle doit correspondre à une connaissance d'ordre général. Donc l'hypothèse a un intérêt scientifique lorsqu'elle permet de déboucher sur une notion, un concept, une théorie...

II- L'hypothèse: un prolongement du réel par l'imaginaire vers le savoir.

Dans son approche évoquée plus haut, De Vecchi (2006, p. 113) considère qu'une hypothèse fait appel à l'imaginaire, à l'intuition ; il la considère donc comme une invention qui s'appuie sur les connaissances antérieures qui peuvent être des conceptions vraies ou erronées.

1. Savoir formuler une hypothèse : un état d'esprit nécessaire

Tout d'abord la démarche scientifique et avec elle, l'émission d'hypothèse sont mises en œuvre dans tous les domaines qui utilisent des activités de recherche, y compris les activités quotidiennes. Cela implique de faire les élèves apprendre à formuler une hypothèse dans le but d'acquérir un état d'esprit pour qu'ils soient capables d'appréhender correctement le monde dans lequel ils vivent. Les élèves doivent être sensibilisés au fait que la construction du savoir scientifiques permette aussi l'apprentissage de compétences⁶² qu'ils utiliseront dans leur vie quotidienne.

Ainsi pour De Vecchi (2006), la démarche scientifique et avec elle l'émission d'hypothèse ne doit pas être considérées comme purement disciplinaires mais comme un état d'esprit, des outils universels qui permettent de mieux appréhender les problèmes, quelle que soit leur nature.

2. L'hypothèse est une invention

D'un autre côté, l'hypothèse peut être considérée comme une invention dans la mesure où la solution à un problème peut être déduite mais peut aussi être inventée. En effet, si découvrir c'est apercevoir ce qui existait déjà, ou encore mettre à jour ce qui était ignoré ou caché⁶³, inventer, c'est élaborer une construction intellectuelle. C'est une activité surtout cérébrale. Par exemple, on peut inventer un modèle théorique pour expliquer un phénomène que l'on a découvert. Créer par contre c'est fabriquer matériellement quelque chose qui n'existait pas encore. Cependant pour créer il faut associer l'invention et la réalisation. Ainsi, lorsqu'un élève élabore une hypothèse, ce n'est pas seulement une découverte, une mise au jour de quelque chose de caché, mais une production intellectuelle, une invention de quelque chose qui n'existait pas. Selon De Vecchi, (1996, p. 111), la construction du savoir par

⁶² Ici, émettre une hypothèse

⁶³ C'est le cas des activités de recherche scientifique qui commencent souvent par découvrir.

l'apprenant est une création car « l'apprenant élabore lui-même un ou des rapports nouveaux aboutissant à un produit qui lui était étranger ». Sur le même registre, « comprendre, c'est inventer » a dit Piaget(1961). En effet, comprendre ce n'est pas prendre connaissance d'une explication, c'est concevoir un nouveau modèle explicatif dans sa tête, à partir des matériaux que peut fournir le maître par exemple, c'est créer une nouvelle structure cognitive à partir de ce que l'on entend, de ce que l'on nous donne, de ce que l'on découvre. Lorsque l'on considère la démarche expérimentale en sciences, elle demande à l'apprenant d'élaborer une problématique, d'émettre des hypothèses puis de tester la pertinence pour accéder à une compréhension qui aboutit à l'élaboration de modèles explicatifs abstraits. Pour De Vecchi(1996) cela implique qu'il y ait invention et création. Cette activité de création se retrouve de même en Français ou en Mathématique : les Mathématiques doivent permettre des ouvertures sur des possibles dans lesquels l'élève pourra émettre des hypothèses, faire des anticipations, c'est-à-dire créer. Plus généralement lorsque l'on dit : « ça me fait penser à... », « ça m'a fait prendre conscience que... » ou « j'en déduis que... », on est en situation d'invention, de création. De Vecchi (1996) associe l'émission d'hypothèse à un prolongement du réel par l'imaginaire. Cela contribue à placer l'hypothèse sous l'angle de l'invention puisque « imaginer » c'est aussi « inventer ». Néanmoins, des exemples célèbres tels que la conception de l'idée de la gravitation par Newton, le théorème de Thales, ou encore la découverte de l'immunité cellulaire par Metchnikov⁶⁴ montrent qu'une hypothèse n'est pas fortuite, il y a un écart entre voir⁶⁵ et concevoir une abstraction⁶⁶. Pour De Vecchi (1996, p. 117), « inventer une hypothèse est directement lié à l'état de maturité de la personne ». Cela vient renforcer l'intérêt de développer cette compétence chez les élèves afin que ceux-ci soient capables d'imaginaire. Contrairement au sens commun qui associe généralement une découverte au hasard, De Vecchi considère que l'émission d'hypothèse ne peut se faire sans préalables théoriques ou conceptions initiales : car, « aucun chercheur, aucun « savant » n'ont émis d'hypothèses sans préalables théoriques, sans idées préconçues. Et cette hypothèse s'inscrit, toujours, dans une conception globale de fonctionnement du monde. Même si ont existé dans l'histoire des expériences pour voir, elles ont cependant été élaborées dans un contexte philosophique et théorique donné⁶⁷. Les hypothèses doivent s'appuyer sur les observations et sur les connaissances préalables déjà acquises. Selon De Vecchi (1996,

⁶⁴ Prix Nobel de médecine en 1908.

⁶⁵ Qui est à la portée de tous.

⁶⁶ Qui nécessite certaines conditions.

⁶⁷ Sabine Laschkar, « Quelle formation scientifique pour nos élèves ? Et pour nous-mêmes... », Dialogue n°45, non daté.

p. 118) « elles ne peuvent pas être contradictoires par rapport aux savoirs connus, sauf pour les remettre à l'épreuve », « elles ne sont donc jamais gratuites ».

Une autre caractéristique des hypothèses réside dans leur pouvoir explicatif : en respectant une certaine logique, elles se proposent d'expliquer les phénomènes observés alors qu'elles peuvent être erronées.

Dans l'approche de Giordan (1998, p.50), « il ne s'agit pas de n'importe quel imaginaire » dans la mesure où en sciences, toute imagination n'est pas possible. L'hypothèse en sciences est soumise à de nombreuses contraintes dont sa cohérence, son adaptation avec les savoirs de son époque, son pouvoir explicatif, son pouvoir prédictif, ses applications. Elle doit être soumise à l'épreuve de l'expérience⁶⁸ pour tester les explications, les prévisions qu'elle propose.

3. L'imaginaire et la construction du savoir

L'imaginaire n'a pas toujours été bien perçu en matière de savoir. Au XVIII et XIX siècle il y a eu une volonté d'épurer la Science de tout ce qui n'était pas rationnel. Cette conception est d'ailleurs encore d'actualité. On a retrouvé aussi cette conception dans l'enseignement où Science et imaginaire étaient abordés de manière distincte. En effet jusqu'alors on considérait que l'imaginaire empêcherait la construction du réel. Aujourd'hui une nouvelle approche implique de considérer une nécessaire complémentarité entre le réel et l'imaginaire. En effet l'apprenant possède dès l'enfance des connaissances scientifiques sur les phénomènes ou situations qu'il rencontre. Cependant dès lors que ces connaissances deviennent insuffisantes ou n'existent pas, l'imaginaire et l'affectivité prennent le relais pour combler le désir d'explication. Les adultes en situation d'apprentissage ont le même comportement vis-à-vis des situations ou des sujets inconnus. Selon De Vecchi (1996, p. 116), « le contenu notionnel peut être mis, consciemment ou non, en relation avec l'imaginaire. En effet, pour comprendre le réel, l'apprenant fait appel à tout ce qu'il est en tant que personne et non aux seules structures soit cognitive, soit affective, soit sociale qu'il possède ». Aujourd'hui dans l'approche par investigation en science, un des aspects de ce type d'enseignement consiste à aborder les deux dimensions de l'imaginaire et du réel de manière associée. Chacun produit du sens avec tout ce qu'il est. Par exemple, le chercheur imagine des hypothèses, des modèles explicatifs lorsqu'il est face à une situation inconnue. Pour François Jacob (1987) cité par de Vecchi (1996, p. 116), « Contrairement à ce que j'avais longtemps

⁶⁸ Du latin *experiri* : éprouver.

cru, la démarche de la science expérimentale ne consiste pas à expliquer l'inconnu par le connu, comme dans certaines démonstrations mathématiques. Elle vise, au contraire, à rendre compte de ce que l'on observe par les propriétés de ce que l'on imagine. A expliquer le visible par l'invisible. [La démarche scientifique] commençait par l'invention d'un monde possible, ou d'un fragment de monde possible, pour le confronter, par l'expérimentation, au monde extérieur. Et c'était ce dialogue sans fin entre l'imagination et l'expérience qui permettait de se former une représentation toujours plus fine de ce que l'on appelle la réalité »⁶⁹. Ainsi, l'imaginaire est le relais obligé, inévitable quand le réel tombe en panne, s'essouffle. « Le chercheur aime les chemins imaginaires et sa liberté augmente avec l'ampleur de l'ignorance »⁷⁰. Bachelard (1938) de son côté considère que l'imaginaire est premier : l'on ne peut créer que ce que l'on a d'abord rêvé. Dans la même idée, pour De Vecchi (1996), « aider un élève » ce n'est pas lui donner la solution ou lui expliquer c'est « rallumer parfois son imaginaire pour qu'il réactive ses représentations qui l'aideront à trouver ses propres solutions ».

4. Réel, imaginaire et savoir

Pour De Vecchi (1996, p. 117), il est important tant chez l'enfant que l'adulte, de bien faire ressentir la différence entre ce qui est de l'ordre du réel et ce qui appartient à l'imaginaire. Pour comprendre, l'apprenant va imaginer en s'appuyant sur ses conceptions. Son imaginaire vient s'associer à son expérience pour interpréter le réel. C'est cette association, qui l'amène à émettre des hypothèses qu'il éprouve dans une approche de plus en plus rigoureuse jusqu'à devenir « scientifique ».

Devant des situations pour lesquelles il n'a pas de réponses toutes faites, l'imaginaire apporte des explications permettant à l'apprenant d'attendre d'être mieux armé pour utiliser des éléments du réel. C'est probablement une des raisons pour lesquelles, pour rassurer l'enfant, on propose de faire appel à la fiction et aux contes⁷¹.

Pour Laborit⁷², l'imaginaire contribue à créer une troisième voie qui permet d'échapper aux choix impossibles. Pour situer le savoir il convient de se rendre compte qu'au final ce sont deux instances qui s'imposent à l'apprenant : le réel qui renvoie aux faits, aux objets, aux êtres et l'imaginaire qui renvoie aux images qu'il produit indépendamment de ce qu'elles

⁶⁹ La statue intérieure, François Jacob, Odile Jacob, seuil, 1987.

⁷⁰ J. Testart, L'œuf transparent, Editions Champs-Flammarion, 1988.

⁷¹ Par exemple un conte pour lui expliquer comment tient la Terre dans l'espace en attendant une explication plus scientifique.

⁷² H. Laborit, La nouvelle grille. Pour décoder le message humain, Robert Laffont, 1974 ;

peuvent signifier. C'est avec ces deux registres que l'apprenant va investiguer le monde. Pour ce faire, il construit des symboles (écriture, modèles explicatifs, règles mathématiques, lois en sciences...).

III- L'hypothèse dans la démarche expérimentale : interférence question, hypothèse, expérience.

1. Critique du modèle didactique classique inductiviste

L'enseignement classique des sciences physiques utilise de manière privilégiée la démarche inductiviste. D'une manière générale, jusqu'à récemment l'enseignement des sciences physiques reposait sur l'analyse d'une expérience à partir de laquelle on mettait en évidence les concepts et les lois grâce à l'observation et aux mesures effectuées au cours de l'expérience. Si dans cette démarche, l'expérience est première, la démarche en elle-même présente des incohérences par rapport aux connaissances sur le fonctionnement cognitif de l'apprenant :

En effet elle construit le savoir de manière linéaire, sans tâtonnements, en dehors de l'élève qui est considéré comme un spectateur. Dans cette approche, le doute est évacué, l'apprentissage est programmé, la conceptualisation est rapide et l'élève assiste à la révélation de la loi ou à l'élaboration du concept. On donne à l'élève « *le sentiment inébranlable qu'il est là dans le domaine des faits* » (Liard (1904), cité par Robardet in BUP n°720).

D'autre part, « L'expérience de classe est conçue pour coller au modèle : elle est artificielle, déconnectée de la vie » Robardet (in BUP N° 720, p. 18). En effet, elle est volontairement simplifiée, épurée pour coller au plus près du modèle tout en étant très éloignée des phénomènes de la vie courante.

Une autre critique vient de ce que l'approche inductiviste ne prend pas suffisamment en compte le fonctionnement cognitif de l'élève. L'approche inductiviste vise à transmettre les représentations du maître car elle ne considère pas les représentations des élèves. Or, « toute la recherche en didactique de ces dernières décennies montre à quel point les représentations naïves des élèves résistent à un tel enseignement expérimental » Johsua (1985). Les exemples de l'enseignement du principe d'inertie ou des lois de l'électrocinétique⁷³ l'illustrent bien. Finalement, l'élève accepte le modèle et apprend à le manipuler tout en gardant ses conceptions initiales qu'il a construit sur les situations réelles. « ...ainsi ce qui disparaît dans ce fonctionnement, c'est le rôle de l'expérimentation permettant à l'élève de créer un espace

⁷³ Closet ou Viennot (BUP n°716 Sept. 89)

de sens et de construire un savoir nouveau comme solution à une classe de problèmes... » (Johsua et Dupin 1985). « Et quoi qu'on dise, dans la vie scientifique, les problèmes ne se posent pas d'eux-mêmes. C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique. Rien ne va de soi; Rien n'est donné. Tout est construit » (Bachelard 1938). La démarche inductiviste ne serait donc pas motivante ni constructrice de connaissances chez les élèves selon Robardet in (BUP n° 720, p. 19).

2. Caractéristiques d'une démarche constructrice du savoir scientifique selon Robardet

La démarche didactique proposée par Robardet (in BUP n°720) se veut plus proche de la démarche scientifique. L'expérience n'est plus première mais intervient à posteriori, pour éprouver une hypothèse et le raisonnement ne relève plus de l'inductif mais de l'hypothético-déductif. Cette démarche repose sur trois critères qui sont :

-La nécessité de prendre en compte les représentations initiales de l'apprenant. Car l'élève ne peut analyser un fait ou recevoir un message qu'à travers son propre système de représentations. En effet c'est à partir de l'évolution de son système de représentations que l'élève va construire, réviser ou affiner son savoir.

-La révision du rôle de l'expérience. Celle-ci n'a plus un rôle prototypique mais contrôle l'évolution des représentations de l'élève vers un système objectivement et scientifiquement acceptable.

-La distinction du modèle et des faits. En effet l'approche inductiviste ne permet pas à l'apprenant de construire les modèles. L'apprenant ne distingue pas le modèle du fait. Robardet (in BUP n°720) préconise d'utiliser des situations expérimentales prises dans la vie courante, non simplifiées par avance pour faire construire le modèle par l'élève. L'élève sentira lui-même le besoin de simplifier les situations qu'on lui propose pour appliquer les modèles qu'il aura au préalable construit.

3. Enseigner à partir de situation problèmes

3.1. Les situations-problèmes : un outil didactique adapté dans la démarche expérimentale

Qu'est ce qu'une situation-problème ?

La situation-problème a été décrite en 1983 par Brousseau (1981) : il s'agit « ...non pas de communiquer les informations qu'on veut enseigner, mais de trouver une situation dans laquelle elles sont les seules à être satisfaisantes ou optimales- parmi celles auxquelles elles s'opposent-pour obtenir un résultat dans lequel l'élève s'est investi ».

Merieu (1988), définit la situation –problème ainsi : « Il est proposé aux sujets de poursuivre une tâche. Cette tâche ne peut être menée à bien que si l'on surmonte un obstacle qui constitue le véritable objectif d'acquisition du formateur. Grâce à l'existence d'un système de contraintes le sujet ne peut mener à bien le projet sans affronter l'obstacle. Grâce à l'existence d'un système de ressources, le sujet peut surmonter l'obstacle ».

Bachelard (1938), montre que la construction de la connaissance en sciences-physiques rencontre des difficultés dues aux obstacles et qu'il est indispensable de les dépasser pour la construction de l'esprit scientifique.

Robardet (in BUP n°720) propose les attributs suivants pour une situation-problème en sciences-physiques :

- L'objectif pédagogique d'une situation-problème est d'aider l'élève à franchir un obstacle. Donc la recherche de la situation-problème par le maître ne doit se faire que lorsque l'obstacle est identifié.

- L'étude doit être construite à partir de situation concrète expérimentale ou théorique mais non simplifiée, afin de permettre à l'apprenant de formuler des hypothèses-des conjectures, d'anticiper l'observation ou la réponse à la question posée.

- L'élève, éventuellement placé en présence du dispositif expérimental, doit être conduit à formuler ses conjectures préalablement à la mise en œuvre de l'expérience. Il sera ainsi contraint d'explicit ses représentations.

- La situation-problème doit revêtir un caractère énigmatique pour l'élève et doit donc s'accompagner d'un besoin de résoudre : il doit y avoir problème pour l'élève.

- L'élève ne doit pas avoir, au départ, les instruments de la résolution. La situation-problème se distingue de la plupart des problèmes habituellement proposés aux élèves. C'est le besoin de résoudre qui doit conduire l'élève à élaborer ou à s'approprier les instruments de la résolution.

- La formulation de conjectures vise à révéler à l'élève l'écart qui existe entre ses représentations et les faits. Elle suscite, par conséquent, le conflit cognitif et socio-cognitif entre les élèves qu'il conviendra de gérer dans le cadre d'un débat scientifique, l'objectif étant de faire évoluer favorablement les représentations.

Pour De Vecchi (1996), une situation –problème est une situation qui concerne les élèves. Elle est porteuse de sens pour celui qui apprend. Pour cela on le place devant une difficulté, un obstacle qu'il vit comme une contradiction et qui remet en cause ce qu'il croit savoir. Il doit se sentir placé dans une impasse. C'est l'idée du conflit cognitif. La situation-problème est un problème qui prend naissance à partir d'un manque qui va être générateur de questionnement chez l'apprenant. C'est lui qui doit se poser des questions et les formuler clairement. Une situation –problème passe donc par l'émergence de conceptions d'élèves qui se contredisent ou qui sont en contradiction avec une certaine réalité. Elle ne doit pas aboutir à une réponse ponctuelle mais doit ouvrir sur la construction d'une idée générale⁷⁴.

3.2. Mise en œuvre des situations-problèmes dans les pratiques

Aujourd'hui les problèmes sont davantage mis en avant pour permettre l'apprentissage. Les situations- problèmes sont de plus en plus utilisées et s'appuient sur les vraies questions des élèves. Néanmoins, si les situations sont souvent intéressantes, elles ne sont pas suffisamment interrogées par les élèves. Les problèmes ne sont qu'effleurés très vite, pour être rapidement orientés par les enseignants. D'autres remarques concernent la difficulté de trouver des faits qui peuvent faire l'objet de situations –problèmes. Si l'on peut avancer la question de l'habitude pour expliquer cette difficulté, il faut aussi évoquer la manière de présenter la situation. De Vecchi (1996, p. 135), suggère d'être « provocateur ». Il propose quelques types d'entrées possibles :

- « -des paradoxes, des contradictions apparentes, des opinions différentes, permettant une vraie confrontation ;
- des faits qui étonnent ou qui impliquent fortement les élèves et qui débouchent sur une explication ;
- une formule qui gêne, qui interpelle ;
- une difficulté que l'on rencontre dans un projet de classe (ou individuel) ;
- l'utilisation d'un modèle explicatif erroné dans une situation pratique que l'on propose ;
- tout ce qui peut avoir du sens et qui se présente comme un problème à résoudre. »

Il suggère donc de prendre tout ce qui peut générer un conflit socio-cognitif.

⁷⁴ Par exemple : notion, concept, règle, loi, théorie.

4. Interférence question, hypothèse et expérience : place de l'hypothèse dans la méthode scientifique

Un apprenant peut être « actif » avec ses mains sans pour cela être « acteur » avec sa tête encore moins « auteur » de son action. C'est le cas lorsqu'il réalise une expérience qu'il n'a pas conçu⁷⁵. Dans ce cas de figure, il perçoit en général l'activité comme étant artificielle et sans intérêt pour lui puisqu'il n'a pas toute liberté d'initiative.

Il faut chercher la raison dans le fait que « toute l'initiative expérimentale est dans l'idée, car c'est elle qui provoque l'expérience. La raison ou le raisonnement ne servent qu'à déduire des conséquences de cette idée et à les soumettre à l'expérience »⁷⁶. Notons d'autre part, qu'un tel type d'activité prive l'élève de l'apprentissage de la prise de responsabilité puisqu'on l'incite à l'« obéissance ». Or, dans le schéma « question-hypothèse-expérience », l'élève apprend à imaginer avec sa tête, à concevoir seul, il est à l'initiative et apprend le sens de la responsabilité. En effet, c'est de la question issue de la situation-problème que vont émerger les hypothèses des élèves fruits de leur imagination. Les expériences elles, vont découler des hypothèses formulées. Cependant, cette brève présentation laisse croire à une progression linéaire des étapes, il n'en est rien.

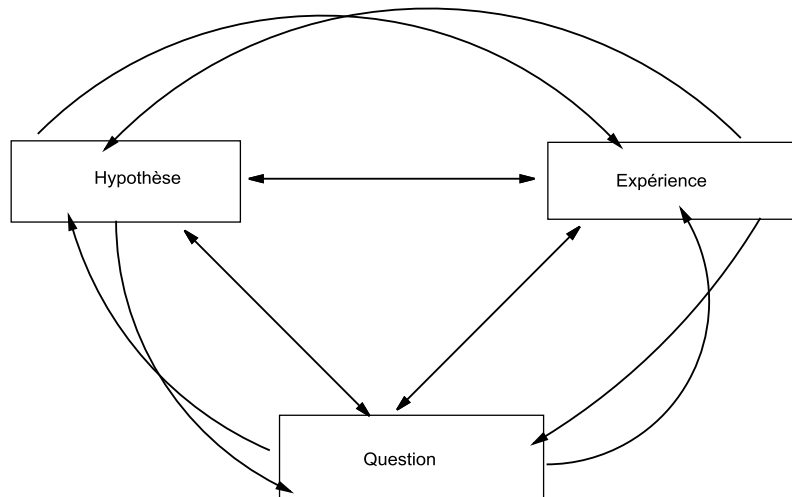
En effet, les expériences ne vérifient jamais complètement une hypothèse selon Giordan (1999) : « Une expérience ne peut que réfuter une hypothèse si le résultat contredit ce qui était prévu. L'hypothèse tient, tant que l'expérience corrobore l'hypothèse voire plus précisément les conséquences de l'hypothèse ».

Selon Giordan (1999, p. 52), « dans la vie du laboratoire, tout est encore plus complexe. Une expérience ne réfute jamais totalement une hypothèse : la plupart du temps, l'hypothèse résiste. Elle se transforme le plus souvent en s'adaptant aux circonstances. Plusieurs expériences convergentes deviennent indispensables pour conduire à l'abandon de l'hypothèse ». D'autre part, dans cette approche, question, hypothèse et expérience ne sont pas successives, ni uniques. Une situation implique plusieurs problèmes qui entraînent une série de questions. Par ailleurs, face à un même problème, on peut émettre plusieurs hypothèses. Ce qui signifie que dans l'approche QHE⁷⁷ il faut considérer que ces trois paramètres interagissent en permanence l'un sur les deux autres directement ou indirectement par feed-back selon le schéma suivant que propose Giordan (1999, p. 52) :

⁷⁵ C'est le cas des travaux pratiques (T.P.) du secondaire et du supérieur.

⁷⁶ Claude Bernard, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* (1^{re} éd. 1865), Flammarion, 1984

⁷⁷ Question, hypothèse, expérience.



Dans ce schéma, on considère qu'au départ la question peut ne pas être précise. Elle peut être implicite. La formulation d'hypothèse va dans un premier temps permettre de l'affiner. De même, les résultats des premières expérimentations permettent à leur tour de revoir ou d'affiner les hypothèses. L'expérimentation est donc liée aux hypothèses qui lui procurent son cadre de questionnement et d'interprétation. Ainsi, la démarche expérimentale suit une progression non linéaire qui doit être envisagée comme un processus dans le temps, où question, hypothèse et expérience interfèrent mutuellement. Le savoir se précise dès lors, progressivement grâce à l'évolution des hypothèses et aux nouvelles expériences qu'elles suscitent. La démarche peut conduire à de fausses pistes mais néanmoins elle rebondit grâce à l'interaction entre question, hypothèse et expérience.

Rappelons que la méthode scientifique consiste essentiellement à trouver une réponse aux questions scientifiques grâce à des expériences soigneusement planifiées et exécutées. Pour tirer profit de cette méthode, il faut d'abord définir l'objectif à atteindre, c'est –à-dire qu'il faut au préalable formuler la question à laquelle il faut répondre. Ainsi, après avoir défini l'objectif, il faut récolter des informations ou des données à propos du problème posé. Les données sont de deux types : des données qualitatives qui consistent en des observations de nature descriptive que Sallaberry (2004) nomme les R1 et des données quantitatives qui consistent en des nombres issus d'opérations de mesure. Ces différentes données vont ensuite permettre de formuler une hypothèse. Une hypothèse est une proposition qui est avancée comme étant l'explication –ou la prédiction –possible d'une observation ou d'un phénomène. La réalisation d'expériences permet ensuite de tester la validité de l'hypothèse. Un modèle peut ensuite se dégager sous la forme d'une relation constante entre des phénomènes se

réalisant dans les mêmes conditions. On parle alors de loi naturelle ou scientifique que l'on cherchera ensuite à inscrire dans une théorie. Précisons qu'une théorie est un concept unificateur qui donne une explication harmonieuse de la loi issue des observations expérimentales. La théorie sera à son tour mise à l'épreuve. Elle peut dès lors être modifiée voire même rejetée. Il faut néanmoins ajouter qu'aucune expérience ne pourra jamais prouver qu'une théorie est correcte. En effet qu'en bien même les expériences corroborent une théorie, il reste possible d'en trouver d'autres qui démontrent une imperfection de celle-ci. C'est ainsi que l'on conçoit des expériences qui visent à réfuter une hypothèse ou une théorie plutôt que celles qui les corroborent.

IV- Le rôle pédagogique de l'hypothèse

1. L'hypothèse et ses critères de recevabilité

De Vecchi (2006, p. 119) considère que d'un point de vue pédagogique, il semble important de demander « aux élèves de justifier leurs hypothèses avant de les retenir » dans le but d'évacuer les propositions farfelues qui pourraient être proposées. Autrement dit, il aborde ici la nécessité de disposer de critères de recevabilité d'une hypothèse. Ces critères n'ont pas pour objectif de rejeter les hypothèses qui ne seraient pas justes ni celles qui paraissent un peu décalées car elles peuvent s'avérer être très riches pour la progression de la connaissance. Par exemple, comme le montre Popper (1973)⁷⁸ l'activité scientifique la plus importante doit consister à tenter de mettre à l'épreuve les hypothèses dans « l'espoir de les réfuter », et que c'est cela qui correspondrait à de véritables découvertes. C'est ainsi que Popper ne retient d'une hypothèse que sa capacité à être remise en cause. Plus largement, son approche place le progrès scientifique dans une dynamique qui consiste à chercher en permanence à réfuter toutes les hypothèses dans un domaine de connaissances donné. D'autre part, le savoir scientifique ne serait que provisoire. De Vecchi (2006, p. 128) propose un postulat fondamental : « la vérité ne s'exprime pas par des énoncés immuables mais par des approximations successives qui se poursuivent indéfiniment. ». Ainsi tant qu'une hypothèse n'est pas invalidée, elle garde le statut de solution possible.

2. Intérêt pédagogique de faire formuler des hypothèses

De Vecchi (2006, p. 130) considère que les élèves sont capable d'émettre et de tester des hypothèses à tout âge. Il propose de construire le concept d'hypothèse dès l'école

⁷⁸ Karl Popper, La logique de la découverte scientifique, op. cit.

maternelle car c'est « l'affirmation » que privilégie l'apprenant⁷⁹ quand il cherche à formuler une hypothèse. Pour se faire, il propose d'aider les élèves à transformer leurs affirmations en hypothèses en utilisant des expressions telles que « Peut être que » et à imaginer des prolongements aux hypothèses. Il propose de s'appuyer sur l'histoire des concepts scientifiques pour amener les élèves à discuter et éprouver les hypothèses émises par les scientifiques. On peut chercher à comparer les propositions des élèves avec l'expérimentation qui a permis de l'éprouver. Ce type d'activité est innovant par rapport à ce que proposent généralement les manuels scolaires. En effet, dans la plupart des cas, on présente à l'élève une description du montage, des résultats et de la conclusion au lieu de l'impliquer en le faisant rentrer dans l'état d'esprit de la démarche scientifique mise en œuvre par le chercheur. A cette occasion, il est souhaitable de présenter la ou les hypothèses qui sont à l'origine du travail en se gardant de ne s'intéresser qu'à une des hypothèses possibles. Par exemple, les hypothèses fausses peuvent aider à « mieux cerner le concept » car c'est dans le « non-valide » que l'on commence à trouver les limites du valide⁸⁰. De Vecchi (2006) propose par ailleurs de retenir l'éclairage historique dans le but de montrer aux élèves comment les concepts ont été construits. Cela faciliterait leur appropriation dans la mesure où les conceptions initiales des élèves sont les mêmes que celles qui ont prévalu antérieurement.

Un autre intérêt de faire formuler des hypothèses se trouve dans la nécessité de changer le principe de l'affirmation péremptoire des idées tel que les élèves le perçoivent quotidiennement⁸¹ en leur faisant constater que les « vérités » établies ne sont pas définitives mais relatives du moment. Cela participe dès lors à la construction de l'esprit critique de l'apprenant et à son aptitude à recevoir le savoir avec retenue.

3. Le stade hypothético-déductif et l'appropriation de la démarche expérimentale

Le stade hypothético-déductif a été défini par Piaget. L'enfant atteint ce stade lorsqu'il accède à la pensée formelle, c'est-à-dire autour de l'âge de 10-12 ans environ. Dans la définition de Piaget, l'enfant atteint le stade de la pensée formelle lorsque, sans passer par le concret, il est capable de :

- Distinguer les variables liées à un phénomène ;
- Concevoir mentalement un plan expérimental rigoureux

⁷⁹Adulte ou enfant

⁸⁰ Voir Gérard De Vecchi, Nicole Carmona-Magnaldi, Faire construire des savoirs, Op. cit.

⁸¹ Dans les médias, journaux, publications.

- Anticiper les résultats attendus pour pouvoir les comparer ultérieurement aux résultats réels ;
- Raisonnement sur les interprétations liées à l'ensemble des résultats qui pourraient être obtenus.

Selon De Vecchi (2006, p. 136), il s'agit donc « d'un raisonnement sur des possibles » qui demande indiscutablement une certaine maturité intellectuelle. Si l'on considère le travail du chercheur, celui-ci pense ses expérimentations avant de les réaliser car c'est son imaginaire qui élabore les expériences. Au niveau des élèves, ceux-ci sont capables d'expérimenter et de raisonner sur le réel dès la maternelle. De Vecchi (2006) propose de les placer le plus tôt possible en situation de « tester mentalement leurs hypothèses ». Il suggère de demander aux élèves de présenter leur protocole avant de le réaliser et en discutant, d'anticiper mentalement sur les résultats possibles. L'intérêt d'une telle pratique réside dans la possibilité d'un gain de temps en demandant aux élèves de présenter leur protocole expérimental, envisager les résultats possibles et les conséquences possibles et de ne réaliser après analyse critique que les montages qui seraient pertinents.

4. Attitude pédagogique face aux hypothèses

L'importance en pédagogie de travailler à partir des hypothèses élaborées par les élèves est indiscutable. Par exemple, De Vecchi (2006, p. 137) considère que les hypothèses représentent « le substrat de la démarche, le pivot autour duquel tout le raisonnement va s'élaborer ». Dans la démarche expérimentale, elles ont une importance aussi grande que l'expérimentation puisque l'essentiel c'est l'idée, or l'idée se sont les hypothèses des élèves. Les différentes raisons évoquées précédemment montrent que « faire émettre des hypothèses » dans l'acte pédagogique en science peut être encore très difficile malgré l'intérêt porté officiellement pour un apprentissage par investigation tant dans le primaire que dans le secondaire et dans le supérieur.

Dans le but d'accompagner les enseignants dans l'utilisation et l'exploitation pédagogique de l'« émission d'hypothèses en science », De Vecchi (2006, p. 137), propose quelques pratiques pédagogiques simples qui peuvent être mises en œuvres et tester. Nous reprenons ici les grandes lignes:

Il invite les enseignants à :

- Donner très tôt une place essentielle aux hypothèses chez les apprenants, pas seulement en sciences expérimentales, mais dans toutes les disciplines.
- Placer les élèves dans des situations appropriées pour qu'ils émettent plusieurs hypothèses (pas seulement la bonne).

- Amener les élèves à passer de leurs affirmations gratuites à des expressions utilisant « peut-être que » pour arriver progressivement à des formulations d'hypothèses sous la forme d'affirmations qui seraient des solutions provisoires en attente d'être testées.
- Toujours annoncer les hypothèses des savants ou des chercheurs avant de présenter leurs travaux.
- Parler d'hypothèse à tester, à éprouver plutôt que à vérifier.
- Tenir compte des hypothèses « fausses » car elles peuvent présenter un intérêt et donner du sens aux résultats finals tout en s'assurant qu'elles sont recevables.
- Faire raisonner mentalement les élèves dès qu'ils sont aptes sur des hypothèses possibles en évitant le support concret.
- Enseigner en adaptant le niveau de formulation chez les élèves du secondaire dans un souci de clarté et d'adéquation avec leur niveau.
- Enseigner des connaissances rigoureuses mais en changeant l'idée du vrai « définitif » par un vrai « relatif ».

Conclusion

Il suffit de parcourir quelques auteurs pour repérer des divergences dans leur tentative de définition de l'hypothèse. Certes, toutes les propositions évoquées ici mentionnent que l'hypothèse peut être perçue comme « une supposition, une réponse provisoire pour expliquer un fait ou pour anticiper les résultats d'un phénomène », cependant nous observons que chaque auteur apporte une particularité dans sa représentation de l'hypothèse. Cela sous-entend que l'hypothèse est certes collectivement partagée mais ne donne pas encore lieu à des représentations identiques. Ce même constat se retrouve au niveau des apprenants et nous supposons que la diversité des propositions pour sa formulation en est une conséquence. Nous constatons ainsi que si d'un côté les auteurs soulignent la nécessité de fonder l'apprentissage sur l'hypothèse, de l'autre, il nous semble que l'hypothèse a besoin d'être mieux connue. Maintenant que la nécessité d'utiliser l'hypothèse dans la démarche expérimentale se précise, et que nous possédons quelques éléments sur les interrogations qu'elle suscite, nous pensons être mieux outillés pour tenter de comprendre le rôle de l'hypothèse dans l'apprentissage d'un concept en science. Nous finalisons maintenant notre corpus en y apportant quelques éléments de réflexion sur l'épistémologie et ses interactions avec l'enseignement scientifique. Il nous semble utile d'apporter au préalable l'éclairage historique proposé par Robardet et Guillaud (1997). Nous proposons ensuite une réflexion sur notre position vis-à-vis de nos objets de recherche, puis à une réflexion sur les méthodes que nous utilisons.

Chapitre V

POINT DE VUE EPISTEMOLOGIQUE ET REFLEXION SUR LA METHODE

Introduction

Robardet (1997, p.92,93) considère que « l'enseignement d'une discipline n'est jamais neutre : il induit chez l'élève une représentation de celle-ci et de la méthodologie qu'elle utilise...il existe un décalage important entre le fonctionnement de la Science tel que l'indiquent les travaux les plus récents en épistémologie⁸², et la façon dont elle est le plus souvent enseignée . Nous voulons voir dans ce décalage l'une des raisons des difficultés que rencontrent les élèves en sciences physiques⁸³». Cette position, bien sûr, nous intéresse et nous lui consacrons le premier paragraphe de ce chapitre. Nous venons ensuite à une réflexion sur notre position vis-à-vis de nos objets de recherche, puis à une réflexion sur la ou les méthodes que nous utilisons.

⁸² D'après Robardet (1997, p.10) : « L'épistémologie est la science qui se donne pour objet d'étude le savoir à travers ses modes de connaissance. Elle s'intéresse aussi bien aux évolutions du savoir à travers le temps qu'à celles des critères de validation le concernant. »

⁸³ Se reporter par exemple aux résultats des enquêtes et rapports évoqués dans le chapitre I.

I- Epistémologie et enseignement scientifique : quelle interaction ?

Eléments de réflexion sur la démarche scientifique, sur la méthode expérimentale.

Dans l'objectif de connaître la fonction structurelle occupée par l'hypothèse dans la démarche scientifique pour enseigner les sciences physiques dans le secondaire, il importe de posséder quelques repères épistémologiques, notamment, l'évolution des méthodes scientifiques au cours du temps.

Selon Chalmers (1987), les questions qui interrogent la définition de la science, l'objectivité des activités scientifiques, ou encore l'élaboration du savoir scientifique demandent d'évoquer les positions relatives accordées aux faits d'observation et aux théories. A partir de celles-ci, il est possible selon lui de dégager deux options contradictoires. Pour la première option, les théories résultent de l'observation et de l'expérience première ; par conséquent la démarche scientifique est d'abord centrée sur la recherche et l'établissement de faits. Tout débute par l'observation et les théories scientifiques proviennent de façon rigoureuse des faits livrés par l'observation et l'expérience. Selon une deuxième position, le fait ne s'impose pas comme une donnée naturelle et immédiate mais résulte d'un découpage du réel en fonction d'une problématique. Cette deuxième option s'appuie sur le primat du théorique sur l'expérimental, ce qui signifie que la construction de l'expérience et sa conduite se font à partir d'un questionnement et à l'intérieur d'un cadre théorique initial. Ainsi, l'activité scientifique consiste-t-elle à découvrir la structure intime des choses, ou à élaborer les lois qui permettent aux hommes de les appréhender avec plus d'efficacité ? Ce sont là, deux démarches qui ont chacune leurs adeptes. Robardet et Guillaud (1997, p.15) proposent par exemple « de savoir dans quelle mesure la réalité qu'étudie la science s'identifie ou non à l'idée que s'en est construite ontologiquement⁸⁴ l'individu ? ». Robardet et Guillaud (1997, p.16), ajoutent : « réalistes et idéalistes se sont longtemps opposés sur ces questions qui concernent en premier lieu celles et ceux qui ont en charge de faire comprendre aux enfants et adolescents la nature et le sens de la démarche scientifique contemporaine ». Ainsi nous cherchons grâce à l'éclairage de l'histoire des sciences à évoquer la question des conditions dans lesquelles s'élabore le savoir scientifique. Nous abordons les répercussions de cette question d'ordre épistémologique sur l'enseignement des sciences physiques. Par ailleurs,

⁸⁴ Selon Robardet (1997, p.10), l'ontologie se donne comme objet de réflexion la nature des choses en elles-mêmes. Cette réflexion philosophique concerne ici le rapport de la personne aux objets de la réalité et aux concepts et langages habituellement utilisés à leur propos. »

nous cherchons à mettre en évidence les conséquences des choix épistémologiques sur l'enseignement des sciences physiques en nous appuyant sur des exemples d'applications.

1. Aperçu historique de la démarche scientifique

Comment peut-on définir « la démarche scientifique » ? Existe-t-il une méthodologie de l'élaboration des connaissances scientifiques ? Si tel est le cas, en quoi consiste-t-elle et quelle est son évolution en fonction du temps ? Nous nous appuyons sur l'aperçu synthétique que proposent Robardet et Guillaud (1997) pour cette perspective diachronique.

1.1. L'Antiquité

L'origine de la pensée scientifique remonte habituellement à l'époque de la Grèce antique aux environs du V^e siècle avant notre ère. A cette époque, la physique relevait de la philosophie. L'histoire des sciences retient de son côté, Platon et Aristote comme les deux philosophes les plus marquants. Pour Platon⁸⁵, il faut distinguer le monde visible du monde réel et l'étude du monde des Idées, préféré à celle de la réalité sensible⁸⁶. Le mythe de la caverne représente le point de vue de Platon qui pensait que la réalité perçue par l'homme n'était qu'un pâle reflet du monde réel et que seul le monde des Idées était susceptible d'intéresser l'homme. Pour Platon, le concept premier est celui d'idée, la réalité est seconde et ne sert qu'à rendre compte des idées. La philosophie platonicienne est ainsi qualifiée d'« idéaliste ».

Contrairement au primat platonicien des idées sur le monde de la réalité, Aristote⁸⁷, propose de partir des objets sensibles et de s'élever peu à peu grâce au classement et à la généralisation vers les concepts, c'est-à-dire d'appuyer fortement le raisonnement sur l'intuition et l'expérience. Contrairement à Platon, Aristote ne considérerait pas pour autant que la nature devait obéir à des lois mathématiques; Ses activités sont essentiellement qualitatives et il ne fait pas de mesures. Pour son raisonnement, il fait essentiellement appel à la logique et non pas au calcul. S'appuyant, au départ, sur l'étude de la réalité des objets, le point de vue aristotélicien est d'inspiration « réaliste ».

⁸⁵ On rappelle que Platon a vécu de -428 à -348 avant notre ère.

⁸⁶Platon imagine, en effet, que l'homme occupe vis-à-vis de la réalité une position identique à celle de personnages vivant dans une caverne dont le fond est éclairé par un feu extérieur. Ces derniers ne peuvent percevoir le monde situé hors de la caverne qu'à travers les ombres qui se projettent à l'intérieur et qu'ils prennent pour la réalité.

⁸⁷ On rappelle que Aristote est élève de Platon et il a vécu de -384 à -322 avant notre ère.

1.2. Le Moyen âge

Au départ, l'Eglise médiévale s'est plus accommodée de la pensée de Platon, car davantage fondée sur la rigueur morale et le renoncement à percer les mystères divins, que de celle d'Aristote. En effet la philosophie platonicienne est de type déiste tandis que celle d'Aristote semble plus matérialiste car plus influencée par la volonté d'explication du monde. A partir du XII^e siècle cependant, les théologiens de l'enseignement scolastique s'intéressèrent à la pensée d'Aristote grâce en particulier à l'œuvre de Thomas d'Aquin⁸⁸. Les penseurs scolastiques, préférant exercer leur esprit à l'état pur, firent preuve d'une grande subtilité dans leurs commentaires et négligèrent le plus souvent d'interroger la nature par l'intermédiaire d'expériences. Les dogmatiques de l'Eglise s'efforceront sans parvenir à l'arrêter, de freiner le développement des connaissances et des méthodes expérimentales. A partir du XIII^e siècle, les méthodes scolastiques sont progressivement abandonnées au profit d'une certaine ouverture qui annonce la Renaissance. Les théories d'Aristote sont progressivement remplacées par d'autres qui s'accrochent davantage des constats expérimentaux. De nouvelles idées voient le jour comme par exemple le développement des travaux de Copernic sur l'héliocentrisme puis des travaux de Galilée en mécanique.

1.3. Le XVI^e siècle et l'empirisme

Selon Robardet (1997, p. 21), c'est Bacon⁸⁹ qui propose dans ses écrits les principes méthodologiques de l'empirisme. Contrairement à la méthode scolastique aristotélicienne qui utilisait l'observation et l'expérience davantage comme prétextes à des développements théoriques qu'à des fins de preuves, « Bacon propose de fonder la démarche scientifique sur l'observation attentive et méthodologique des lois de la Nature. L'empirisme accorde la primauté à la démarche expérimentale fondée sur l'observation du monde. Sa méthodologie se propose de rassembler et enregistrer des événements à partir desquels seront induites les lois qui régissent le fonctionnement de la Nature. Cette position épistémologique considère que le scientifique n'a accès à la réalité que par l'intermédiaire de l'observation et de l'expérience ». Pour Robardet (1997, p.22) : « cette démarche est donc essentiellement inductive⁹⁰ ». Avec Bacon, la démarche scientifique va progresser en se démarquant de la méthode scolastique. Cependant la théorie empiriste n'a pas produit les effets attendus et la science

⁸⁸ Thomas d'Aquin a vécu de 1124 à 1274.

⁸⁹ Bacon a vécu entre 1561 et 1626.

⁹⁰ Robardet appelle démarche inductive, une démarche qui part des faits solidement établis par l'observation expérimentale, pour ensuite progressivement organiser les théories selon le double processus de l'induction et de la généralisation.

moderne ne reconnaît pas à Bacon un grand mérite scientifique. En témoignent les propos suivant de Claude Bernard cités par Robardet (1997, p. 22) au sujet de Bacon : «Bacon a senti la stérilité de la scolastique ; il a bien senti toute l'importance de l'expérience pour l'avenir des sciences. Cependant Bacon n'était point un savant et il n'a point compris le mécanisme de la méthode expérimentale ». De son côté, au sujet de l'empirisme, Bachelard (1949), parle de « pragmatisme, de poussière de recettes, de cet amas de faits et de choses qui, encombrant le réalisme, lui donne l'illusion de la richesse ». Dans le même ordre d'idée, pour Kuhn (1970) qui reconnaît que cette manière d'accumuler les données est à l'origine de nombreuses sciences importantes, « quiconque étudie par exemple les écrits encyclopédiques de Pline ou les histoires naturelles baconiennes du XVIIe siècle constatera qu'elle aboutit à un fatras ». De fait, l'empirisme, qui postule l'expérimentation comme point de départ de la connaissance, n'évacue pas hors du discours scientifique la possibilité de spéculations métaphysiques ultérieures. En effet, le recours à l'induction et à la généralisation dans le raisonnement est de nature à laisser une place aux spéculations concernant les causes fondamentales des phénomènes. Au XIXe siècle, selon Robardet (1997), c'est Auguste Comte qui va tenter de revenir aux principes fondamentaux de l'empirisme originel, en constituant autour de lui un courant philosophique qui va largement influencer la science de l'époque : le positivisme.

1.4. Le XIXe siècle et le positivisme

Nous continuons de nous appuyer sur les notes de Robardet (1997, p.23). Abandonner à la métaphysique la recherche de la nature intime des choses, pour ne se préoccuper que des relations invariables qu'entretiennent les événements observables entre eux sont les fondements du positivisme. « Les principales affirmations du positivisme se résument par la nécessité de s'en tenir uniquement aux faits tels qu'ils sont énoncés » Robardet (1997, p.23). Pour les positivistes, « toute proposition qui n'est strictement réductible à la simple énonciation d'un fait, ou particulier ou général, ne peut offrir aucun sens réel et intelligible » (Comte, 1975) cité par Robardet (1997, p.23). Selon cet auteur, pour le positivisme, la réalité des faits est la seule Réalité à pendre en considération. Ils ne considèrent comme intelligible que ce qui est expérimentalement vérifiable. Les faits sont pour eux à la base de toute théorie. Donc une proposition qui n'est pas fondée sur des faits doit être considérée comme dénuée d'intérêt et de signification. C'est ainsi que Auguste Comte, fondateur du positivisme (cité par Robardet 1997, p.23), a toujours dénoncé « la vanité des spéculations des hommes sur la nature, l'origine ou la destination des objets physiques ». Il définit la science positive ainsi : « S'il est vrai qu'une science ne devient positive qu'en se fondant exclusivement sur des faits

observés et dont l'exactitude est généralement reconnue, il est également incontestable qu'une branche quelconque de nos connaissances ne devient science qu'à l'époque où, au moyen d'une hypothèse, on a lié tous les faits qui lui servent de base. »

Robardet (1997) discerne les cinq actes de la pensée dans la méthode scientifique pour ce courant philosophique: observer, supposer, vérifier, interpréter, conclure, ce qui lui fait dire qu'on attribue peut être à tort, à Claude Bernard les étapes de la démarche expérimentale dans la science positive. Ainsi, pour Robardet, dans l'approche positiviste, le savant doit considérer comme vides de sens les questions auxquelles il ne peut apporter de réponse par l'expérience. Comme l'écrit Comte (1975), cité par Robardet, « le caractère fondamental de la philosophie positive est de regarder tous les phénomènes comme assujettis à des lois invariables, dont la découverte précise et la réduction au moindre nombre possible sont le but de tous nos efforts, en considérant comme absolument inaccessible et vide de sens pour nous la recherche de ce qu'on appelle les causes, soit premières, soit finales. » Ainsi, pour la philosophie positive, la « valeur d'une théorie réside d'abord dans sa cohérence interne et dans sa capacité à décrire ce qui est mesurable. La question de l'existence d'une réalité extérieure à ce qui est observable (et mesurable) est une question dépourvue de signification ». Comte (1975) attribue les débuts des principes de la philosophie positive à Descartes, auquel il associe Bacon et Galilée. Robardet (1997) fait remarquer que dans les écrits de Newton, on retrouve des traces de la philosophie positive. En effet à propos du mouvement des planètes et de la force centripète correspondante, Newton considère que la force n'est pas la cause du mouvement, elle en est seulement une forme ou une expression, elle peut donc être mesurée en observant le mouvement : « la question non positiviste de la cause du mouvement, donc de la force, est rejetée hors de la science, dans le domaine des hypothèses dont il convient de s'abstenir rigoureusement. » Dans ses écrits dans les *principia*, rappelés par Robardet (1997) concernant l'attraction universelle Newton précise : « Cette façon de considérer la force centripète est purement mathématique et je ne prétends pas en donner la cause physique. »

Soulignons comme le fait Robardet (1997) que pour la forme la plus sophistiquée du positivisme, le néo-positivisme ou « positivisme logique » formulée à Vienne dans les premières années du XXe siècle, un énoncé n'a de sens que s'il découle logiquement des faits. Notons enfin que ce courant philosophique s'est développé avec succès à au moment même où le monde scientifique accueillait la théorie de la relativité et de la physique quantique!

1.5. Empirisme et positivisme : deux formes de l'inductivisme⁹¹.

L'empirisme et le positivisme sont des positions épistémologiques ayant toutes deux comme fondement le primat de l'observation. Lequel fournit une base à partir de laquelle il est possible de produire la connaissance scientifique par le double processus de l'induction et de la généralisation. Ces positions épistémologiques sont ainsi parfois qualifiées d'inductivistes (Chalmers, 1987). Les principes fondamentaux de l'inductivisme peuvent être précisés selon Robardet (1997, p.25):

« -L'observation fournit une base sûre et objective à partir de laquelle peuvent être extraits des énoncés singuliers constituant les faits.

-L'observation est première et indépendante de la théorie.

-Le raisonnement par induction et généralisation est légitime pour valider les énoncés généraux que sont les lois à partir des énoncés singuliers constituant les faits. »

Pour l'inductivisme défini par Robardet (1997), les théories scientifiques s'élaborent par induction à partir des données d'observation. Mais la démarche scientifique ne se limite pas à cela. En effet, avec les lois et les théories, la Science a aussi pour fonction de prévoir, de prédire, d'expliquer les événements. Pour ce faire, elle utilise les éléments théoriques dont elle dispose de manière déductive. Evoquons maintenant les courants épistémologiques contemporains qui formulent les mêmes critiques au sujet de la conception inductiviste de la démarche scientifique, ainsi que les principaux arguments avancés contre les positions inductivistes.

2. Critique des positions inductivistes

D'après Albert Einstein(1952), cité par Robardet (1997, p. 27) « il n'y a pas de méthode inductive qui puisse conduire aux concepts fondamentaux de la physique ... faute de comprendre ce fait, bien des chercheurs du XIXe siècle ont été victimes d'une erreur philosophique fondamentale. ». Le caractère subjectif de l'observation, le rejet de l'hypothèse par les inductivistes, la place des faits par rapport aux théories scientifiques, le problème de la légitimité de l'induction et le problème de la validation sont les principaux arguments avancés contre l'inductivisme!

⁹¹ Se référer à la définition proposée par Robardet donnée plus haut en note de bas de page.

2.1. La non objectivité de l'observation et des faits

Pour les inductivistes, la science commence par l'observation, laquelle fournit au chercheur les faits, sur lesquels repose l'énoncé de la loi. Or, pour observer, les hommes utilisent leurs yeux. De ce fait, l'objectivité de l'observation découlerait de l'objectivité de l'image rétinienne. Aujourd'hui, il est prouvé que nos sens peuvent nous tromper : de nombreuses études physiologiques, neurologiques et psychologiques ont montré les écarts importants pouvant exister entre ce que voient différentes personnes observant la même situation. Divers cas d'illusions d'optique très connus illustrent bien les résultats précédents. Ainsi, la perception visuelle, loin de se limiter à la seule information provenant de l'image rétinienne, suppose de plus, un traitement effectué par le cerveau dans lequel la mémoire, la culture, jouent un rôle très important selon Robardet (1997, p.29). D'après les récentes découvertes sur la vision, on ne peut observer une situation qu'au moyen du cadre théorique et culturel dont on dispose, c'est-à-dire de la représentation mentale préalable que l'on a de la chose à observer. Tout ceci ne permet pas d'accepter le principe de l'observation première et objective. D'après Robardet (1997), nous n'observons qu'en fonction de ce que nous nous attendons à voir.

Dans une critique de l'observation objective, Fourez (1996) cité par Robardet (1997, p.30), fait remarquer que « l'action d'observer suppose une description et que cette description ne peut se faire qu'au moyen de notions qui se réfèrent toujours, par la médiation d'un langage, à une représentation théorique généralement implicite. S'informer, ce n'est pas recevoir une entité extérieure qui serait l'information, c'est interpréter le monde reçu dans un univers commun de langage. ». Pour Varela (1989), « l'observation suppose une reconstruction de la réalité et que cette reconstruction ne peut être qu'un phénomène social ». Il refuse l'idée que « le cerveau recevrait une information qu'il traiterait ensuite seul ». Pour ces auteurs, l'objectivité n'a de sens que socialement instituée, « les scientifiques ne sont pas des individus qui observent le monde en partant de rien. Ce sont les participants d'un univers culturel et linguistique dans lequel ils insèrent leurs projets individuels et collectifs. ». L'importance du caractère social de l'objectivité scientifique conduit Fourez (1996) à proposer une interprétation du sentiment de réalité qu'il caractérise comme « un sentiment subjectif et affectif qui fait que nous avons confiance dans le monde tel que nous le voyons ».

2.2. L'hypothèse repose sur une théorie préexistante

Pour Bachelard (1949), l'observation scientifique est généralement menée dans un cadre théorique ou dans une représentation préexistante. Selon lui, une idée d'expérimentation

n'a de sens que dans un contexte rationnel contrairement à ce que propose l'inductivisme qu'il critique vivement. En effet, l'inductivisme fonde la théorie sur le principe d'une observation première. Ceci ne permet pas une observation pertinente, car l'inductivisme ne prend pas en compte la mise en relation entre les faits d'observation et le savoir initial, il ne connaît pas l'hypothèse. Ainsi, selon Bachelard(1949) cité par Robardet (1997, p.32), « pour être traduite dans son exacte dynamique, une idée visant l'expérience doit être exprimée- ou ré exprimée- dans son appartenance rationnelle. C'est grâce à cette réaffirmation nourrie de conviction rationaliste que l'idée peut devenir un centre de relations. Si on laisse une idée expérimentale à son unique expression réaliste, l'idée s'isole, elle devient simple résultat (...) Le positivisme pur ne peut guère justifier la puissance de déduction en œuvre dans le développement des théories modernes ; il ne peut rendre compte des valeurs de cohérence de la physique contemporaine». Selon Robardet (1997, p.32), « les énoncés d'observation présupposent généralement l'existence d'un cadre théorique et que c'est la connaissance de ce cadre qui guide et donne tout son sens à l'observation. Il en est de même des hypothèses qui en découlent et qui sont à la base des raisonnements qui guideront le chercheur dans l'élaboration et la conduite de l'expérience. »

2.3. Place des faits par rapport aux théories scientifiques.

Les épistémologues contemporains eux aussi critiquent l'inductivisme, même le positivisme, forme évoluée de l'inductivisme, en remettant en question le primat des faits sur lesquels reposeraient, selon les inductivistes, les théories. Pour Feyerabend⁹² (1979), « jamais aucune théorie n'est en accord avec tous les faits auxquels elle s'applique, et pourtant, ce n'est pas toujours la théorie qui est en défaut ». Toujours selon Feyerabend (1979), « la théorie propose telle prédiction chiffrée, et la valeur obtenue diffère plus de la prédiction que ne l'autorise la marge d'erreur. C'est d'habitude la précision des instruments que l'on incrimine ici. Les discordances numériques abondent dans la science. Elles creusent un « océan d'anomalies » autour de chaque théorie particulière. Ainsi la conception copernicienne, à l'époque de Galilée, était incompatible avec des faits si simples et probants que Galilée a pu la qualifier de « sûrement fausse ». (...) ».

⁹² Nous reprendrons plus loin les idées de Feyerabend.

2.4. Le problème de la légitimité de l'induction

Peut-on légitimement valider les lois, énoncés généraux à partir d'un raisonnement par induction et généralisation effectué à partir des énoncés singuliers constituant les faits ?

Robardet (1997, p.32) rapporte que dès le XVIII^e siècle, Hume⁹³ s'intéresse à cette question en démontrant de manière convaincante le caractère illégitime de l'induction. Il considère que quelque soit le nombre des observations effectuées, celles-ci n'impliquent jamais, en droit, que l'énoncé général qui découle soit logiquement recevable et donc vrai. Selon les logiciens, tout le problème de l'induction vient de cette illégitimité⁹⁴. Ce type de raisonnement peut s'appliquer à différents phénomènes physiques tels que la radioactivité. En effet, si l'on considère un corps ayant une demi-vie très longue de l'ordre de plusieurs milliers d'années, il peut ne subir aucune désintégration sur quelques années. L'application du raisonnement inductif à cette observation, « il ne s'est pas produit de désintégration sur un grand nombre d'atomes durant quelques années peut conduire à énoncer que le nucléide est stable ». Cet énoncé étant faux par hypothèse. Ainsi, selon Robardet (1997), Hume montre que l'induction ne permet pas de valider logiquement les lois à partir des faits d'observation. D'autres auteurs utilisent d'autres arguments par exemple au niveau de la validation expérimentale pour réfuter l'inductivisme.

2.5. Le problème de la validation.

Les épistémologues contemporains, évoquent aussi le problème de la validation pour l'inductivisme. En d'autres termes, ils interrogent l'inductivisme sur le statut de la preuve expérimentale en physique, ou encore sur le ou les critère(s) choisi(s) par le scientifique pour établir une loi. C'est le cas de Popper, Kuhn et Feyerabend.

2.5.1. Le falsificationnisme de Popper

Selon Popper(1985), l'activité scientifique ne commence ni par l'observation ni par l'expérimentation, elle débute avec la formulation d'hypothèses que l'auteur définit comme des propositions librement énoncées par le chercheur qui s'efforce de résoudre un problème donnée au moyen des théories existantes. Ces propos rappellent ceux de Bachelard(1938). Cependant, Popper (1985) cité par Robardet (1997, p. 34) va plus loin en affirmant que, « les hypothèses étant posées, elles doivent être soumises à l'expérience qui seule permettra d'éliminer certaines d'entre elles ». Ainsi, dans son approche, Popper (1985) nous propose de retenir une hypothèse tant qu'elle n'est pas réfutée. Dès lors toute théorie garde toujours un

⁹³ Hume David est un philosophe historien anglais (1711-1776).

⁹⁴Par exemple, il n'y pas d'argument logique pour affirmer que le soleil va se lever demain à partir du simple fait de l'avoir vu se lever chaque matin jusqu'à ce jour

caractère hypothétique et révisable. D'après Popper(1985), cité par Robardet (1997, p. 35) « les théories scientifiques, si elles ne sont pas falsifiées, restent toujours des hypothèses ou des conjectures... Pour intéresser la science⁹⁵, une hypothèse doit être falsifiable, c'est-à-dire qu'elle doit être de nature à être éventuellement réfutée par l'expérience ». D'autre part, Popper(1985) considère que « les hypothèses les plus falsifiables doivent être préférées à celles qui le sont moins ... Le progrès scientifique consiste en un cheminement vers des théories qui nous en disent de plus en plus – des théories de plus en plus riches de contenu. Mais plus une théorie en dit, plus elle exclut ou interdit, et plus nombreuses sont les occasions de la falsifier...L'attitude scientifique est l'attitude critique, elle ne recherche pas des vérifications, mais des expériences cruciales. Ces expériences pourront réfuter la théorie soumise à examen, mais ne pourront jamais l'établir. Une théorie ne peut donc être validée par vérification mais plutôt par le constat de l'absence de réfutation concernant une hypothèse ». Pour Popper(1973), cité aussi par Robardet (1997, p. 35), « les théories sont donc par nature hypothétiques car elles résultent du maintien d'hypothèses hautement réfutables ayant résisté aux nombreuses tentatives de falsifications expérimentales ».

Cependant, lorsque l'on interroge l'histoire des sciences, celle-ci ne s'accorde pas toujours avec le critère de validation développé par Popper (1973) : il existe en effet des hypothèses qui restent maintenues quand bien même en désaccord avec l'observation ou l'expérience. Les observations astronomiques de Vénus à l'époque de Copernic qui concluaient toutes à l'observation d'une planète de diamètre apparent et de luminosité constants en est un exemple. Or cette conclusion aurait dû conduire à l'abandon de la théorie héliocentrique⁹⁶ de Copernic pour l'ancienne théorie géocentrique de Ptolémée avec laquelle elle s'accommodait parfaitement. Or, la théorie de Copernic fut conservée malgré ces contradictions. L'invention du télescope et les observations de Galilée un siècle plus tard permirent de constater que les observations à l'œil nu étaient fausses. En effet, les connaissances actuelles sur la vision permettent de comprendre cette anomalie de l'observation : aujourd'hui, on sait que l'œil ne parvient pas à distinguer des variations du diamètre apparent d'un objet lorsqu'il se traduit par une image rétinienne de très petite dimension. Cet exemple et d'autres suggèrent de relativiser le critère de falsification de Popper(1973). C'est le cas de Kuhn(1970) qui propose de considérer également d'autres critères essentiellement d'ordre sociologiques.

⁹⁵ Pour Popper c'est le critère essentiel de démarcation entre les sciences empiriques et les autres disciplines (y compris les mathématiques).

⁹⁶ L'héliocentrisme est une théorie qui place le Soleil au centre du Monde. Le géocentrisme au contraire (en vigueur depuis l'Antiquité et formulée par Ptolémée) place la Terre au centre du Monde et pose que les corps célestes (y compris le Soleil) tournent autour de la Terre.

2.5.2. Aspects sociologiques développés par Kuhn : le relativisme.

Selon Kuhn (1970) cité par Robardet (1997, p.36), « on ne peut jamais tenir un fait ou une théorie pour acquis ». Kuhn (1970) considère par ailleurs que l'observation n'a de sens qu'à travers une théorie préexistante et que c'est la théorie qui donne son sens aux faits et non l'inverse. Sur ces différents points, Kuhn est en accord avec Popper. Par contre, Kuhn(1970) se distingue de ce dernier lorsqu'il accorde une très grande importance aux caractéristiques sociologiques de la science, de ses méthodes d'élaboration et du progrès scientifique. Kuhn(1970) considère que les communautés scientifiques sont constituées autour de *paradigmes*⁹⁷. On peut citer comme exemple, l'hypothèse héliocentrique qui fut formulée pour la première fois en Grèce au III^e siècle avant notre ère par Aristarque de Samos. L'hypothèse héliocentrique ne connut aucun succès quand bien même elle resta connue même du grand public. Ce n'est qu'à l'époque de Copernic au quinzième siècle qu'elle put s'imposer, car les communautés savantes étaient en mesure d'abandonner le point de vue anthropocentrique. Jusque-là, toute hypothèse qui contredisait le paradigme géocentrique était vouée à l'échec.

Ainsi, à partir d'une analyse de l'histoire des sciences, Kuhn(1970) montre comment la science a progressé sur fond de crises, de débats entre communautés et de révolutions. Il montre comment les nouvelles théories ont gagné très péniblement leur place sur les anciennes, malgré les faits sur lesquels les premières théories étaient censées reposer.

Les travaux de Kuhn(1970) imposent une révision du concept d'objectivité en matière de vérité scientifique. En effet, on souligne plus haut l'importance des facteurs sociaux à propos de l'observation, de sorte que s'il n'y a pas d'expérience cruciale permettant de fournir la preuve objective pour établir une vérité scientifique, il devient légitime de s'interroger sur la validité et sur l'objectivité du savoir scientifique. Selon Kuhn(1970), les communautés scientifiques ont joué un rôle important dans le processus de validation du savoir. Ainsi, il invite à interroger le concept positiviste d'objectivité scientifique, car selon lui, « ce n'est pas seulement à l'expérience que revient la charge de la preuve en sachant que le résultat énoncé doit être accepté par la communauté scientifique du moment » Kuhn (1970). Il considère donc que le processus d'objectivation a un fort caractère social. De nombreux courants de

⁹⁷ Un paradigme est un cadre conceptuel, un système de pensée, communément admis à une époque donnée, auquel on se réfère de manière quasi automatique et systématique et qui conditionne finalement la recevabilité d'une hypothèse.

l'épistémologie contemporaine proposent de substituer au concept d'objectivité⁹⁸ celui de d'intersubjectivité.

2.5.3. La théorie « anarchiste » de la connaissance de Feyerabend

La position de Feyerabend (1979) est autrement singulière : si dans une étude de la méthode scientifique il s'oppose vivement aux principes du positivisme et donc de l'inductivisme, il ne rejoint cependant pas les positions de Popper ou de Kuhn. En effet il se refuse à considérer la science encadrée par quelques règles méthodologiques simples. Pour lui, « l'idée que la science peut, et doit être, organisée selon des règles fixes et universelles est à la fois utopique et pernicieuse. Elle est utopique, car elle implique une conception trop simple des aptitudes de l'homme et des circonstances qui encouragent, ou causent, leur développement. Et elle est pernicieuse en ce que la tentative d'imposer de telles règles ne peut manquer de n'augmenter nos qualifications professionnelles qu'au détriment de notre humanité » Feyerabend (1979). Il considère donc qu'il serait vain de chercher dans l'histoire les traces d'une quelconque méthodologie dans la construction de la science.

Les épistémologues contemporains critiquent activement l'inductivisme. Par exemple, grâce à l'analyse épistémologique de l'histoire des sciences, ils montrent les faiblesses du positivisme⁹⁹. La tentative de Popper pour rationaliser la démarche scientifique peut être discutée. Il s'agit maintenant de regarder ce qui se passe dans l'enseignement des sciences physiques.

3. L'inductivisme dans l'enseignement des sciences physiques¹⁰⁰.

3.1. Retour sur l'histoire de l'enseignement des sciences physiques.

C'est en 1902 que débute l'enseignement des sciences physiques au lycée en France. C'est pour l'époque un enseignement nécessaire et spécifique qui diffère de l'enseignement des mathématiques par la méthodologie « expérimentale » fondée sur l'« observation méticuleuse » et sur le rapport à la réalité. D'après Faivre-Dupaigne (1909), « on souhaite obliger l'esprit à observer d'abord les faits qui l'entourent, et à développer peu à peu ses capacités d'analyse en imprimant en lui la véritable méthode expérimentale, la méthode inductive ». En effet l'écart entre la science qui se construit, très imprégnée par le positivisme et la science qui est enseignée, dogmatique, dominée par les traditions scolastiques devient insupportable pour les universitaires de l'époque qui portent cette réforme. Cette dernière vise

⁹⁸ Compris comme le contraire de la subjectivité.

⁹⁹ On rappelle que le positivisme est la forme la plus évoluée de l'inductivisme.

¹⁰⁰ Nous reprenons ici l'essentiel des écrits de Robardet (1997) sur ce sujet

ainsi à introduire dès l'enseignement secondaire des éléments de culture scientifique expérimentale grâce à l'introduction d'exercices pratiques contrairement à la méthode des scolastiques qui n'utilisait aucune expérimentation effectuée devant ou par les élèves. Il faut noter que cette volonté d'introduire l'inductivisme dans l'enseignement, rencontra beaucoup de résistances de sorte qu'en 1937, au Congrès international de l'enseignement expérimental, une intervention fût celle-ci : « l'enseignement dogmatique n'est pas encore mort et il faudra, pour le tuer, non seulement des instructions formelles, mais aussi une organisation pratique sans laquelle les meilleurs conseils ne seront que des notes vides de sens. », cité par Robardet (1997, p.42) pour signifier que les choses n'avaient pas beaucoup changées. Ainsi sur le terrain de l'enseignement, l'expérience était utilisée comme introduction préliminaire à un long exposé magistral. Les « exercices pratiques » étaient utilisés pour permettre aux élèves de vérifier expérimentalement une loi à la suite d'un cours. L'enseignement étant resté dogmatique, pour rompre avec le conservatisme, une réforme est prononcée après l'intermède de la guerre pour systématiser le recours à la méthode « expérimentale ». Les enfants doivent manipuler eux-mêmes pour qu'ils apprennent plus facilement et plus naturellement. Jusqu'au début des années 1970, on assiste à une systématisation des options inductivistes qui s'expriment au niveau des prescriptions. Cependant à la même époque, la physique enseignée est très éloignée de celle pratiquée dans les laboratoires. Le savoir enseigné est jugé désuet et les programmes vétustes. Une nouvelle réforme est entreprise pour introduire de nouveaux contenus, plus « modernes », mais aussi à la mise en pratique de la méthode inductiviste. Une initiation aux sciences physiques et à la « démarche expérimentale » est introduite au collège qui a pour objectif de mettre en œuvre un enseignement principalement orienté vers l'étude des phénomènes. Pour le lycée, l'objectif consiste à enseigner des savoirs fortement structurés par des lois et des modèles très formalisés. La conséquence est le développement d'une pratique pédagogique inductiviste. En effet, les lois sont induites à partir des observations premières et des mesures effectuées.

3.2. Place de l'épistémologie dans l'enseignement scientifique actuel dans le secondaire.

Si le recours à l'inductivisme est toujours très fréquent dans l'enseignement secondaire aujourd'hui, ce n'est plus le cas chez les savants et les chercheurs. Tant en France qu'à l'étranger, des études confirment l'utilisation encore très importante des approches inductivistes dans l'enseignement. Robardet (1995b), rapporte qu'une recherche effectuée récemment auprès d'un échantillon de 207 personnes, constitué de professeurs de physique et

de chimie, professeurs stagiaires, ou étudiants se destinant à l'enseignement des sciences physiques, montre qu'environ trois quarts d'entre eux se référaient, consciemment ou non, à des repères inductivistes, tant en ce qui concerne la démarche de la science, que pour ce qui est de son enseignement.

Dans le secondaire, l'application de la méthode dite « expérimentale » consiste à suivre les étapes suivantes : observation, mesures puis mise en évidence de la loi. Ainsi l'approche empiriste est très utilisée dans le cours de physique qui consiste en des activités centrées sur la découverte de lois que l'on suppose induite naturellement à partir des faits de l'expérience, des faits de l'observation et des mesures effectuées. Ce déroulement du cours de sciences en classe est rappelé par Stengers (1991, p. 133-134) ; « Aujourd'hui encore, lorsqu'il s'agit d'initier un élève à la physique, ou de vulgariser une théorie dans le public, une stratégie est de rigueur : exposer les « faits » (observations, résultats expérimentaux) qui légitiment cette théorie, et la présenter comme une déduction autorisée par ces faits. L'idée implicite, tant dans l'enseignement que dans la vulgarisation, est que, pour être de bon sens, la théorie présentée doit s'imposer comme la seule réponse possible aux faits en question.(...) Ce discours sur la rationalité scientifique, s'il domine encore implicitement les modes de transmission du savoir, est aujourd'hui discrédité tant par un grand nombre des acteurs qu'il est censé décrire- et notamment les physiciens les plus renommés- que par les historiens des sciences ». Ainsi, en procédant par la méthode inductive, l'enseignant est amené à commencer par la mise en évidence de la loi la plus générale qui pourra être plus tard appliquée dans les cas particuliers. L'utilisation de cette méthode est aisée pour sa simplicité, sa rapidité. Elle permet d'éviter les situations de doutes, d'hésitations, les critiques, les questionnements sur le sujet. En évitant tout débat, toute critique, cette méthode laisse entendre que le savoir est absolu, définitivement acquis et que sa construction est facile et linéaire. Ce point de vue est celui que développe Bachelard (1938) dans sa critique de la connaissance générale comme obstacle à la connaissance scientifique. Lequel considère d'autre part que la formulation de lois générales de manière trop rapide pose problème à l'enseignement. Pour Bachelard (1938): « L'on peut en effet voir que de telles lois générales bloquent actuellement la pensée. Elles répondent en bloc, ou mieux, elles répondent sans qu'on questionne. (...) Alors tout est clair, tout est identifié. Mais, à notre avis, plus court est le procédé d'identification, plus pauvre est la pensée expérimentale. »

En parcourant les manuels scolaires utilisés pour enseigner les sciences physiques, nous trouvons toujours¹⁰¹ des activités qui vérifient assez rapidement ces différents propos.

3.3. Exemples d'activités expérimentales proposées dans le secondaire.

Exemple d'activité expérimentale 1 :

« Réfraction et décomposition de la lumière »¹⁰²

Cette activité est proposée en classe de terminale scientifique. L'objectif étant de chercher à interpréter certaines propriétés de la lumière selon le modèle ondulatoire préalablement établis.

Après avoir inventorié le matériel utilisé, une première manipulation conduit à l'observation de l'effet d'un changement de milieu sur une onde mécanique périodique.

Dans la deuxième manipulation, l'objectif consiste à observer l'effet d'un changement de milieu sur la lumière et trouver des analogies avec les ondes mécaniques périodiques.

On demande aux élèves d'exécuter les différentes étapes suivantes :

- Placer un filtre coloré devant la lanterne munie d'une fente.
- Faire arriver un faisceau étroit de lumière sur la face plane de l'hémicylindre de Plexiglas, incliné par rapport à cette surface.
- Observer le trajet du faisceau. Réaliser un schéma.

Le commentaire est le suivant : tout d'abord en remarque il est précisé que « La nature ondulatoire de la lumière est confirmée par des analogies avec les ondes mécaniques, comme le montre l'activité. Cependant, la lumière se propageant dans le vide, elle n'est pas une onde mécanique. La lumière fait partie d'un ensemble d'ondes regroupées sous le nom d'ondes électromagnétiques. » Ensuite il est noté dans le cours en guise d'exploitation des résultats de l'activité : « les résultats des expériences de l'activité vérifient la propriété suivante : la couleur d'une radiation lumineuse-comme la fréquence qui la caractérise- ne dépend pas du milieu de propagation et n'est pas modifiée par le changement de milieu transparent. »

L'activité expérimentale se poursuit par une troisième manipulation où il est demandé aux élèves d'effectuer les actions suivantes :

- Reprendre le dispositif précédent sans le filtre ; Faire arriver le faisceau avec une forte inclinaison sur la face plane de l'hémi cylindre. Observer.
- Remplacer l'hémi cylindre par un prisme. Observer à nouveau.

¹⁰¹ Car les récentes réformes ne rejettent pas complètement la méthode inductiviste.

¹⁰² Manuel de physique Term S, Nathan, 2006, p.63-64

Il est demandé aux élèves de dire quel phénomène nouveau se manifeste dans cette expérience. Dans le cours, il est noté en guise d'exploitation : « finalement, dans le modèle ondulatoire de la lumière, la décomposition de la lumière par un prisme s'interprète de la façon suivante. Les milieux transparents sont généralement dispersifs : la célérité v d'une radiation dépend de sa fréquence ν . Il en est donc de même pour l'indice de réfraction du milieu, $n=c/v$. Chaque radiation subit donc une déviation différente.

En encadré il est écrit : « La décomposition de la lumière par un prisme est un phénomène de dispersion des ondes. »

La démarche utilisée dans cette activité illustre bien la méthode inductiviste que l'on retrouve dans bien d'autres activités proposées aux élèves dans le secondaire. En effet, le dispositif expérimental, les manipulations proposées, sont choisis dans un but précis : faire vérifier les propriétés de la lumière en tant que onde.

Exemple d'activité expérimentale 2

Exemple d'activité expérimentale sur la loi d'Ohm en classe de seconde.

L'enseignant distribue aux élèves regroupés par binômes une feuille sur laquelle est précisé le schéma du circuit électrique à réaliser ainsi que les mesures à effectuer au cours de l'expérience : mesure de la tension aux bornes du conducteur ohmique à l'aide d'un voltmètre et mesure de l'intensité qui traverse le circuit à l'aide d'un milliampèremètre. Les valeurs de tension à affichées étant déjà répertoriées dans un tableau de mesures à compléter. Dans le déroulement de la séance, l'enseignant demande aux élèves de lire le sujet du TP, puis de réaliser le montage. Après avoir vérifié les montages, l'enseignant autorise les élèves à mettre le générateur sous tension et à effectuer les mesures. Les élèves tracent la courbe représentant l'évolution de la tension U en volt en fonction de l'intensité I en ampère. L'enseignant demande ensuite aux élèves d'exploiter la courbe afin de déterminer la relation entre la tension et l'intensité aux bornes du conducteur ohmique. Les élèves parviennent avec le soutien appuyé de l'enseignant à écrire la relation $U=RI$. L'enseignant va finalement instituer la loi d'Ohm en précisant les unités.

C'est en général ce type d'activité¹⁰³ que l'on retrouve encore dans des activités expérimentales proposées par les enseignants dans le secondaire.

L'observation de cet exemple invite à s'interroger sur l'activité des élèves, sur leurs réflexions, leurs interrogations, leurs libertés ou initiatives personnelles durant la séance. A

¹⁰³ Les nouveaux programmes dans les différents niveaux préconisent de mettre en œuvre des activités par investigation.

l'évidence, la classe a été guidée du début à la fin de l'activité par l'enseignant. Les élèves se contentant d'exécuter les consignes. Il est donc important de s'interroger sur l'implication réelle des élèves dans l'élaboration du savoir en jeu. Tout semble être organisé pour que la loi découle naturellement et rapidement de l'exploitation des mesures, sans aucun débat, sans aucun questionnement de la part des élèves. Cela pourrait très probablement expliquer la distance qu'il y a entre le savoir et l'exploitation qu'en font les élèves. Dans le cas évoqué ici, les élèves se limitent généralement à exploiter de manière automatique la relation $U=RI$ et assez souvent pour n'importe quel dipôle.

Ces deux exemples illustrent quelques conséquences de l'inductivisme dans l'enseignement de la physique chimie. Dans d'autres activités proposées dans l'enseignement de physique chimie on retrouve les caractères généraux de la démarche inductiviste.

3.4. Caractères généraux de la démarche inductiviste dans l'enseignement de physique chimie.¹⁰⁴

Dans l'enseignement inductiviste, l'élève n'est pas placé en situation de construction de son savoir mais reçoit le savoir par transmission. Dans cette approche, l'observation est première avec peu ou pas de questionnement préalable, pratiquement pas de problème à résoudre, les conceptions des élèves ne sont pas prises en compte. L'expérience est à la fois « monnatrice » du phénomène, fondatrice des faits, parfaitement adaptée à la loi visée, économique de temps, parfois unique pour plusieurs lois. Le matériel est choisi par l'enseignant et le déroulement du protocole est organisé de telle façon que le modèle affleure, que les grandeurs pertinentes soient déjà désignées, que la loi émerge presque naturellement du ou des phénomènes(...).L'observation expérimentale étant première, les conceptions des élèves ne sont pas prises en compte.

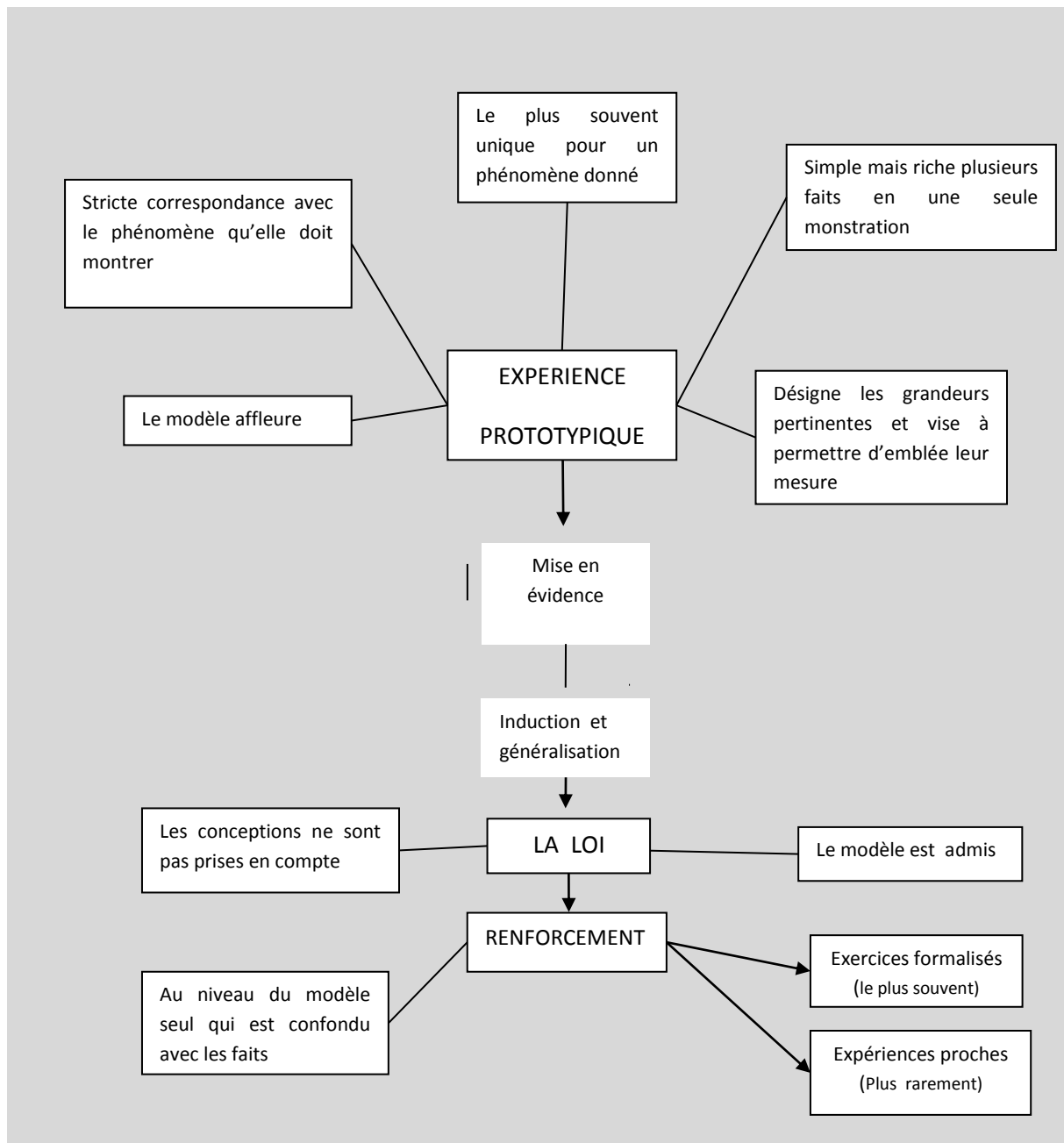
Selon Robardet (1997, p.51) « tout est organisé afin que les grandeurs pertinentes puis la loi apparaissent le plus rapidement possible... Dans l'enseignement inductiviste, le modèle d'apprentissage privilégié est celui de la transmission et non pas celui de la construction». Toujours selon Robardet, « des études sérieuses ont parfaitement montré qu'une conséquence de ce choix didactique est qu'on entretient alors dans l'esprit de l'élève une confusion entre la réalité et la loi. Au fil du temps, les lois prendront la place des faits et des phénomènes auxquels elles se substitueront. L'élève et l'enseignant lui-même, centreront leurs efforts dans la recherche des habiletés liées à l'utilisation des lois plutôt que dans des activités d'étude, pratique d'une démarche scientifique. »

¹⁰⁴ Nous reprenons l'essentiel développé par Robardet (1997)

Selon Robardet (1997, p.51), la réalisation d'une expérience pourrait susciter chez les élèves des questions qui sont la plus part du temps évacuées de la leçon inductiviste. Il considère en outre que, « l'usage abusif de cette méthode en classe, au détriment d'une démarche expérimentale plus conforme à celle de la physique contemporaine ne sera pas sans conséquence à plus ou moins long terme. Il y a un risque que les élèves ne comprennent pas le sens des activités que leur propose l'enseignant et qu'ils ne sachent pas en fin de compte ce qu'on attend d'eux ». L'une des conséquences est que « la physique apparaisse à l'élève comme une suite de définitions, de règles et de formules qu'il doit apprendre et savoir appliquer docilement dans des exercices plus ou moins répétitifs ». D'après l'auteur, « un tel enseignement de la physique présente tous les risques d'engendrer des pertes de sens » comme semble le montrer un certain nombre d'enquêtes parues récemment, Boyer et Tiberghien (1989).

Ces propos présentent les principales critiques formulées par les épistémologues contemporains à l'égard de l'inductivisme. L'enseignement traditionnel utilise de manière préférentielle¹⁰⁵ cette approche inductiviste. Le schéma proposé ci-dessous récapitule la démarche inductiviste dans l'enseignement des sciences physiques. Il convient maintenant de s'interroger sur le maintien de cette position épistémologique dans l'enseignement scientifique sachant qu'elle est rejetée par tous les épistémologues de notre époque en tant que modèle de construction du savoir scientifique. Pourquoi faut-il recourir à d'autres approches ?

¹⁰⁵ Aujourd'hui les enseignants diversifient leurs pratiques pédagogiques depuis les réformes.



LA DEMARCHE INDUCTIVISTE DANS L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES PHYSIQUES
(Robardet, 1997, p.53)

4. Autres approches épistémologiques pour l'enseignement des sciences physiques

4.1. Quelles options épistémologiques et didactiques ?

L'enseignement des sciences physiques est fortement marqué par l'approche inductiviste. Différents arguments tels que le gain de temps, l'économie de moyens pour que les élèves apprennent des lois et des formules, expliquent le choix de cette approche dans l'enseignement. Pour Robardet (1997, p.79), il faut relativiser l'efficacité d'un enseignement centré sur l'acquisition de connaissances et sur les habiletés à les utiliser. Il considère en effet que ces connaissances sont généralement vite oubliées « surtout lorsque les activités de conceptualisation visant à leur donner du sens se trouvent réduites, comme c'est le cas dans l'approche inductiviste ».

Pour ce qui concerne la représentation de la science engendrée par les pratiques inductivistes chez les élèves et les étudiants, selon Désautels (1987) : «Ce qui est donné aux élèves dans le cours de biologie, de chimie ou de physique, ne saurait se réduire à une masse de connaissances objectives et impersonnelles qu'ils accumuleraient en mémoire pour les faire servir le moment venu. Il leur est d'abord et avant tout communiqué une certaine image de ce qu'est et de ce que prétend être la science au moment où ces élèves, garçons et filles, prennent connaissance des résultats acquis dans ces disciplines. Ainsi, les professeurs de sciences, qu'ils le veuillent ou non, qu'ils s'en rendent compte ou non, servent non seulement à transmettre tout un bagage théorique, mais également à légitimer et à valoriser l'activité scientifique elle-même. Ils se trouvent à transmettre une conception de la science au moment même où ils pourraient croire qu'ils ne transmettent que des connaissances acceptées ». Pour Désautels (1987), « la systématisation des pratiques empirico-réaliste aurait comme effet essentiel de donner de la science une image scientiste¹⁰⁶ ». L'enseignement conduirait alors à la propagation d'une idéologie opposée à celle des scientifiques de notre époque. Ainsi, il s'agit de savoir quelle vision de la science l'enseignement doit transmettre aux élèves et aux étudiants. Selon Robardet (1997, p. 81), « si tous les épistémologues s'accordent sur la critique de l'inductivisme, ils sont loin d'être unanimes dans la proposition d'un modèle de l'activité scientifique ». Certains comme Feyerabend (1979), pensent qu'il n'y a pas de méthode à privilégier. Pour Robardet (1997, p.81), « cette position épistémologique ne semble

¹⁰⁶ On rappelle que le scientisme entretient l'idée du caractère absolu de la vérité scientifique qui ne saurait être soumise à la critique. Désautel qui combat activement le scientisme, le définit comme une sorte de crédo articulant divers articles d'une foi aveugle en l'activité et en la vérité scientifique. Pour lui, il en résulte une sur légitimation et une survalorisation de l'activité scientifique

pas tenable dans la mesure où elle soutient qu'il n'y a pas de méthode à privilégier d'une part, d'autre part, elle ne semble pas déboucher sur une didactique des sciences. Cette position ne peut donc proposer des critères de choix des activités de classe ».

Par contre pour Robardet (1997), l'approche rationaliste et réaliste défendue par Poincaré, Bachelard, Popper, Halbwachs ainsi que d'autres épistémologues sont celles à privilégier en classe. Il considère par ailleurs que la systématisation des pratiques inductivistes interroge le processus d'enseignement/apprentissage sur le fonctionnement de l'élève en classe. Des travaux de Robardet (1995b) portant sur les représentations sociales des enseignants concernant les sciences physiques, leur enseignement et l'apprentissage des élèves en sciences, montrent qu'il existe chez eux une représentation qualifiée de « naturaliste ». Cette représentation est caractérisée par une confiance importante envers les méthodes d'enseignement scientifique de type inductiviste et par des pratiques pédagogiques de la classe relevant d'un modèle d'enseignement/apprentissage de type transmissif. Or d'après Robardet (1997, p.82), « ce modèle qui maintient l'élève dans un rôle passif, est reconnu par la psychologie cognitive pour sa faible efficacité vis-à-vis du processus d'apprentissage ». Ainsi l'élève est maintenu dans une attitude de passivité ce qui ne favoriserait pas une activité intellectuelle nécessaire à un bon apprentissage. Selon Popper (1990), « Le fait est que notre pédagogie consiste à submerger les enfants de réponses à des questions qu'ils n'ont pas posées alors qu'on écoute pas les questions qu'ils posent... La pédagogie ordinaire est un ensemble de réponses sans question et de questions sans réponse. Notre pédagogie réside essentiellement en cela. Mais il se trouve que tous les organismes, non pas seulement l'homme mais tous les organismes, posent constamment des questions au monde et s'efforcent constamment de résoudre des problèmes ». Pour conclure, Robardet (1997, p. 82) considère que « la pratique habituelle inductiviste de l'enseignement scientifique secondaire ne peut se justifier pour des raisons à la fois épistémologiques et cognitives. » En conséquence, il propose de substituer cette approche inductiviste par d'autres approches plus variées et plus satisfaisantes.

4.2. Quelle méthode à encourager? (une méthode qui permet de distinguer le phénomène (empirique) et le concept (théorique)).

Contrairement à la démarche inductiviste qui semble conduire à confondre le phénomène et le concept théorique du fait de la procédure de mise en évidence simultanée que cette approche utilise, Robardet (1997) considère que la méthode doit faire apparaître une séparation claire entre les deux champs empirique et théorique. Pour cela Robardet (1997,

p. 83) propose que « soit réalisée une immersion importante dans le phénomène qui sera interrogé, au niveau de ses manifestations les plus immédiates, par l'expérience et la mesure ». Une méthode simple et qui lui semble efficace consisterait à systématiser l'*anticipation* des effets attendus sur le constat expérimental : « que va-t-il se passer si je fais ceci ou bien cela ? ». Toujours selon Robardet (1997), « Des écarts importants entre ces anticipations et le constat expérimental ne manqueront pas d'apparaître et de poser problème. Le phénomène répond ainsi à une interrogation, l'observation n'est plus première, mais fortement guidée par la représentation cognitive qui a été mobilisée par l'élève pour formuler son pronostic. C'est à ce moment-là seulement, après que l'étude approfondie du phénomène a débouché sur un questionnement de l'élève, que devrait être réalisée, en vertu d'un principe de nécessité, l'introduction des concepts théoriques. Ceux-ci interviendraient alors en tant que systèmes explicatifs construits en vue de prédire, le plus correctement possible, les événements. »

Comme Bachelard ou Popper, Robardet (1997) considère que cette approche est opposée à la démarche habituelle qui consiste à répondre par avance à des questions qui n'ont pas été posées. Selon lui, cette nouvelle démarche invite l'élève à l'activité intellectuelle car elle problématise le savoir.

4.3. Rétablir le sens du problème dans l'enseignement scientifique.

Pour Bachelard (1938), il faut reconsidérer problèmes et expériences en leurs redonnant leurs sens dans la démarche scientifique: « L'esprit scientifique nous interdit d'avoir une opinion sur des questions que nous ne comprenons pas, sur des questions que nous ne savons pas formuler clairement. Avant tout, il faut savoir poser des problèmes. Et quoi qu'on dise, dans la vie scientifique, les problèmes ne se posent pas d'eux-mêmes. C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique. Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit. ». Dans le cadre d'un enseignement rénové¹⁰⁷, Robardet (1997) considère qu'il serait nécessaire de transposer le plus souvent possible cette démarche à l'enseignement de la physique. Dès lors, une situation-problème, une question proposée aux élèves, l'évocation ou la présentation d'un phénomène deviendrait l'étape première de la démarche

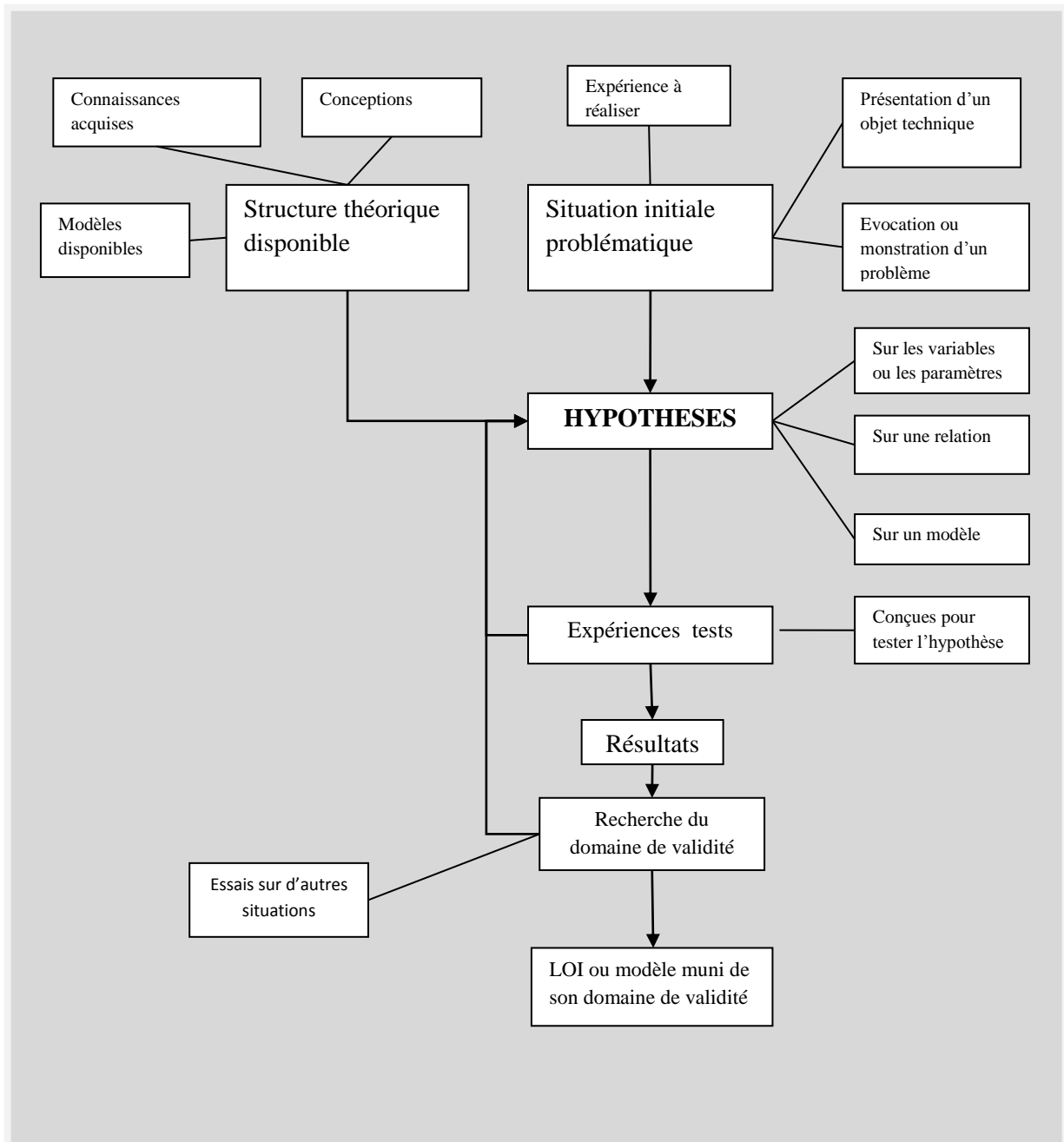
¹⁰⁷ Dans cet esprit, la démarche d'investigation est largement préconisée pour l'enseignement des sciences physiques depuis quelques années.

en classe. Les élèves seront ensuite amenés à formuler des hypothèses certainement¹⁰⁸ à partir de leurs connaissances et de leurs conceptions¹⁰⁹. Dans une troisième étape, l'expérience viendrait éprouver les hypothèses. L'expérience pourra être qualifiée d'expérience –test dans la mesure où elle permettra de connaître les hypothèses à retenir parmi toutes les hypothèses plausibles. L'étape de formulation d'hypothèses pouvant être renouvelée autant de fois que nécessaire en fonction des résultats de l'expérience et des nouvelles expériences-tests. Ensuite interviendra l'élaboration d'une réponse acceptable pour le problème initial en cherchant à définir le domaine de validité de celle-ci. C'est généralement selon Robardet (1997, p. 84) à l'issue de ce travail que les concepts pourront être définis de manière opératoire et que les résultats pourront être institués sous la forme d'une loi. Cette nouvelle démarche est selon lui qualifiée parfois d'« hypothético-déductive » car il considère qu'elle utilise la pensée inductive dans les étapes permettant de parvenir à la formulation d'hypothèse alors que le reste du raisonnement est purement déductif. Un schéma de la démarche « hypothético-déductive » en sciences physiques proposé par Robardet (1997, p.85) est repris ci-dessous.

¹⁰⁸ C'est l'une des hypothèses de ce travail de recherche cf. chapitre VII.

¹⁰⁹ C'est l'une des hypothèses de ce travail de recherche (comment se construit l'hypothèse ?)

**LA DEMARCHE HYPOTHETICO-DEDUCTIVE EN SCIENCES PHYSIQUES (Robardet
(1997, p.85)**



4.4. Diversification des démarches pédagogiques dans l'enseignement scientifique.

Actuellement, Les démarches pédagogiques préconisées par les institutions mettent l'accent sur l' « investigation ». La diversification des activités pédagogiques s'explique à partir des prescriptions institutionnelles, de l'épistémologie des sciences et sur la base des théories de l'apprentissage. Ainsi, l'apprentissage ne se fait pas par un seul type d'approche. Les différents types d'activités mettent l'accent sur un aspect ou sur un autre. Les enjeux de l'enseignement scientifique sont multiples : par exemple, développer la rationalité et la culture scientifique, préparer le futur citoyen en lui donnant les éléments pour appréhender le monde qui l'environne, faire comprendre ce que sont les sciences (leur objet et leurs méthodes), faire acquérir des démarches, des techniques pour contribuer à leur appropriation. Pour se construire, la science convoque le référent c'est-à-dire le monde des phénomènes, de la matière, des êtres vivants, ainsi que les phénomènes et les objets « construits ». Il mobilise des ressources (théories, concepts), des modèles, des outils d'exploration (du monde ou des modèles). Enfin elle met en œuvre des modes de validation du discours scientifique et sa communication. Pour ce qui concerne les activités mises en œuvre par les scientifiques, elles sont diverses. Le modèle de démarche « OHERIC » (Observation-Hypothèse-Expérimentation-Résultats-Interprétation-Conclusion) n'utilise pas la modélisation et ne permet pas de repérer l'espace et les contraintes de la construction des problèmes auxquels on se propose de chercher des solutions, il ne convoque que le référent et les outils d'exploration. Par ailleurs, selon Larcher et Peterfalvi (2006, p.825) « Les scientifiques font des observations et échaudent des théories, modélisent et utilisent des simulations, expérimentent, mesurent, interprètent dans leur cadre théorique ; ils utilisent pour cela des ressources langagières et graphiques, des raisonnements logiques, statistiques, des outils mathématiques. Certains travaillent uniquement dans le registre théorique, ou dans le registre des modèles ; ils soumettent leurs énoncés à des tests de cohérence interne, de consensus sur la base d'argumentations, et de validité par rapport au référent même si ce sont d'autres scientifiques qui se chargent des expérimentations et apportent les questionnements nés de leurs observations; les sciences se construisent avec l'ensemble de leurs apports. »

Selon Larcher et Peterfalvi (2006, p.827), « le terme *investigation*, pour désigner une activité scolaire, met l'accent sur le questionnement. Il permet d'envisager des activités documentaires ou d'enquête pour travailler sur des thèmes où aucune expérimentation n'est accessible, que ce soit pour des raisons matérielles, des raisons inhérentes à la temporalité des phénomènes ou des raisons éthiques (relation au vivant). Ce qui est important alors ce n'est

pas ce qui peut être observé ou ce qui peut être mesuré, mais ce qui peut être questionné compte tenu des ressources disponibles pour l'élève et ce qui peut être envisagé pour avancer, progresser. Le registre des ressources est fondamental pour proposer des activités d'investigation qui ne soient pas de l'ordre de l'activisme. L'investigation a comme but d'enrichir les ressources dont disposera l'élève ultérieurement : concepts, moyens de valider, démarche, raisonnement.... La validation des réponses et de leur mode de construction, les modalités de langage pour les énoncer en cernant la portée, sont des exigences à maintenir pour garantir la « scientificité » du travail. »

Du point de vue de l'apprentissage, le processus est aussi varié. En effet pour Larcher et Peterfalvi (2006, p.828) « deux approches peuvent être distinguées :

-Une approche du simple au compliqué, par capitalisation de pré-acquis et développement de maîtrise dans une « zone proximale de développement » c'est-à-dire ce que l'on sait faire avec aide, puis seul par extension de maîtrise. Elle se déplace, s'étend, se rétracte parfois, au cours des apprentissages, tout au long de la vie. Cette première approche s'inscrit dans une perspective de formation de l'esprit, avec des objectifs de démarches et de savoir-faire. C'est un registre de « maîtrise » dans un champ bien cerné qu'on élargit progressivement. C'est l'approche en général privilégiée par les programmes scolaires.

-Une approche s'opérant par une entrée qui se heurte directement à la complexité et qui opère par approximations successives. Cette approche tolère explicitement des zones d'ombre ou de flou et des éclairages ponctuels, elle procède par tri et « structuration » de connaissances qui ont au départ des statuts très diversifiés et non questionnés. C'est le cas de l'approche individuelle dans des pratiques de lecture de presse scientifique par exemple, où on ne comprend pas forcément tout, mais où l'intérêt maintenu permet de sortir de sa lecture plus savant qu'on y est entré, même si on ne maîtrise aucune des connaissances, démarches ou techniques dont il a été question dans l'article. Cette seconde approche préconisée pour les TPE (travaux personnels encadrés), ne vise pas la maîtrise, mais une culture nécessaire à tout citoyen avec le risque de ne pas disposer des moyens de lecture critique. C'est aussi l'approche des premières explorations du monde à l'école ou au collège; Le champ des explorations est plus vaste que les seules parties où des éléments seront maîtrisés en quelques séances. »

Selon Peterfalvi et Larcher (2006), ces deux approches participent sans doute à la construction des connaissances.

Du point de vue des démarches pédagogiques, certaines ont été repérées par un nom, par exemple démarche « expérimentale », démarche par « résolution de problème » ou par « situation problème » et se caractérisent en contraste par rapport à d'autres pratiques.

Tout d'abord la démarche « basée sur l'expérimentation » met l'accent sur le contraste entre expérience faite par l'enseignant et l'expérience faite par l'élève, elle valorise les travaux pratiques, le recours aux mesurages et donc l'acquisition de techniques. Elle ne valorise pas la construction du problème. La démarche « basée sur l'investigation » oppose plutôt questionnement par l'élève d'une part et résultats énoncés par l'enseignant ou ensemble de consignes pour conduire à ces résultats d'autre part. Elle ouvre vers d'autres activités que la seule expérimentation(...) Le terme « investigation » a le mérite de recouvrir des activités diverses, par exemple : recherche documentaire, modélisation, expérimentation, simulation, discussions critiques. « Cette démarche pédagogique basée sur l'investigation par les élèves se démarque d'une pédagogie « magistrale », qui laisse peu de place à l'activité collective des élèves. L'activité cognitive des élèves, activité incontournable pour une appropriation individuelle, y est davantage « visible », sollicitée explicitement. Cette démarche est compatible avec, ou repose implicitement sur, une théorie de l'apprentissage qui postule que chacun construit ses connaissances (il ne s'agit pas d'un transfert d'objet), que l'on apprend par discussion avec d'autres (pour expliciter et confronter ses idées), mais aussi que l'on apprend avec ce que l'on sait déjà (le registre des ressources). C'est compte tenu de ces ressources, mais aussi compte tenu d'idées préalables qui font obstacle, qu'il peut ou non y avoir « problème » et résolution possible pour les élèves.

Selon Larcher et Peterfalvi (2006, p.829), « cette démarche donnant une place à l'investigation » n'est pas exclusive. Elle peut s'articuler à une démarche pédagogique « par résolution de problème », qui se démarque de petits exercices d'application, mais suppose que les « problèmes » sont faciles à appréhender, ou à une « démarche donnant une place à l'expérimentation par les élèves » qui n'indique pas les préalables de cette expérimentation. Par ailleurs, ces mêmes auteurs considèrent « qu'une démarche qui laisse l'expérience ou la mise en évidence d'un phénomène à la charge de l'enseignant en début de cours par exemple et donne peu de temps au questionnement des élèves a aussi sa place en classe de sciences ». En effet, selon Larcher « montrer de quoi on parle quand on aligne des symboles sur un tableau, présenter ce à quoi on va se « référer » en proposant une explication, une loi, une théorie, restent les éléments souhaitables autant que possible, même dans une démarche « magistrale », si on garde cette relation à un référent comme caractéristique fondamentale des sciences *expérimentales* »

« L'approche hypothético-déductive est pour l'instant peu¹¹⁰ utilisée dans le secondaire » (Robardet (1997, p86). Lors d'une séance mettant en œuvre une telle approche, les élèves sont amenés à émettre des hypothèses sur les causes d'un phénomène physique ou chimique. Ils cherchent ensuite à les éprouver en réalisant des expériences significatives. Selon Robardet (1997, p.91) il faudrait faire appel à une approche de type hypothético-déductive, car « placé devant une situation donnée et compte tenu de l'existence d'un questionnement, l'élève est conduit à formuler des hypothèses. Une expérience est alors réalisée dans le but de choisir, parmi les hypothèses, celle qui sera éventuellement validée. Le résultat de l'expérience conduit alors à formuler de nouvelles hypothèses et donc élaborer de nouvelles expériences. Cette procédure conduit finalement à la validation d'une loi ». Selon Robardet (1997), « ce qui fait l'intérêt de la science, c'est précisément la formulation de lois suffisamment générales pour être utilisables dans un ensemble de situations physiques différentes ». Ainsi, pour illustrer leur propos, Robardet (1997) considèrent que « connaître la loi du haut-parleur ne présente pas un grand intérêt pour la physique. Avoir élaboré une loi qui rend compte des phénomènes associés à la mise en présence d'un aimant et d'un courant est beaucoup plus intéressant ». Bachelard (1934) dit de même: « la nécessité de l'expérience étant saisie par la théorie avant d'être découverte par l'observation, la tâche du physicien est d'épurer assez le phénomène pour retrouver le noumène organique. (...) Le temps des hypothèses décousues et mobiles est passé comme est passé le temps des expériences isolées et curieuses. Désormais, l'hypothèse est synthèse. »

Robardet (1997, p.92) considère donc que « le recours à une démarche de résolution de problème est beaucoup plus en accord avec l'épistémologie contemporaine d'une science construite. Alors que la démarche inductiviste, de type transmissif, s'accompagne fréquemment chez les enseignants d'options épistémologiques, généralement implicites et plus ou moins inconscientes, fortement imprégnées de réalisme naïf, ici les élèves sont conduits à faire preuve d'imagination pour concevoir, inventer, une solution au problème posé qui soit scientifiquement acceptable. La résolution de problème implique le respect de la logique de l'élève qui doit proposer, élaborer, une solution en fonction de ce qu'il croit savoir, de ce qu'il pense avoir compris à un moment donné ». Cette démarche correspond donc pour Robardet davantage à la mise en œuvre d'un modèle d'apprentissage de type constructiviste en classe. Robardet (1997, P.93) considère « qu'il existe un décalage important entre le fonctionnement de la science tel que l'indiquent les travaux les plus récents en épistémologie,

¹¹⁰ Cette affirmation devient de moins en moins évidente car la méthode d'investigation est largement préconisée dans les programmes d'enseignement.

et la façon dont elle est le plus souvent enseignée ». Pour cet auteur, « ce décalage est l'une des raisons des difficultés rencontrées par les élèves en sciences physiques ».

Robardet propose donc de remplacer un enseignement des sciences très imprégné de réalisme naïf et d'inductivisme par une démarche qui repose sur l'hypothèse et la résolution de problèmes. Il propose de remplacer l'expérience inductiviste proposée par l'enseignant par « une expérience construite, discutée en partie par l'élève, dans le but de consolider ou d'invalides des hypothèses ». Ainsi, selon Robardet (1997), « les éléments théoriques ne devraient plus apparaître dans l'enseignement comme des objets de découverte mis en évidence par l'expérience, mais bien comme des constructions opératoires rationnelles et rigoureuses, véritables outils fonctionnels que le scientifique se donne pour effectuer son travail de lecture et de prévision du fonctionnement de la réalité sensible ».

A partir de l'éclairage épistémologique développé dans ce chapitre, il s'agit maintenant de préciser le cadre épistémologique dans lequel nous inscrivons ce travail de recherche. Pour faciliter ce positionnement, la mise en regard de l'approche positiviste et constructiviste proposée dans l'apport de Le Moigne (1995) est largement rappelée ici.

II- La position épistémologique du chercheur

1. L'apport de Le Moigne

Physicien, nourri aux habitudes des sciences dites dures, nous nous retrouvons à étudier de l'humain. Cette situation questionne notre position vis-à-vis des "objets" que nous observons. Car si ces objets appartiennent, pour certains, à la classe des appareils électriques et des appareils de mesure, ils font partie, pour d'autres, d'un monde que l'on peut qualifier de sensible, d'humain, voire d'abstrait lorsqu'il s'agit de représentations. C'est là que le travail de Le Moigne (1995) va nous être utile. Il compare l'épistémologie positiviste et l'épistémologie qu'il qualifie de constructiviste, en énonçant pour chacune deux principes et deux hypothèses. Une telle présentation est résumée par Sallaberry (2004, p.156) sous forme de tableau :

Gnoséologie	Gnoséologie
- Hypothèse ontologique	- Hypothèse phénoménologique
- Hypothèse déterministe	- Hypothèse téléologique
Méthodologie	Méthodologie
- Principe de modélisation analytique	- Principe de modélisation systémique
- Principe de raison suffisante	- Principe d'action intelligente

Sallaberry (2004, p.156) commente ainsi le tableau :

« La colonne de gauche correspond à la position positiviste, celle de droite à la position constructiviste. L'épistémologie constructiviste met en regard du *principe de modélisation analytique* (le compliqué peut être décomposé en éléments plus simples) le *principe de modélisation systémique* (ce qui est complexe se modélise). Elle généralise le *principe de raison suffisante* ("n'autorisant qu'un mode très spécifique de raisonnement formel portant sur des énoncés décrivant la connaissance, celui de la logique déductive"¹¹¹) par celui *d'action intelligente* ("pour caractériser la capacité d'un système cognitif explorant et construisant les représentations symboliques des connaissances qu'il traite"¹¹²). L'aspect méthodologique doit être nécessairement complété par un aspect judicieusement qualifié de gnoséologique¹¹³. A *l'hypothèse ontologique* (qui pose l'existence de l'objet) répond alors *l'hypothèse phénoménologique ou interactionniste* (qui considère que l'observateur est en interaction avec l'objet). A *l'hypothèse déterministe* (une cause entraîne un effet) répond *l'hypothèse téléologique* ("quelque chose" est perçu comme poursuivant un but). Ainsi, l'hypothèse téléologique "rétablit la présence" des causes finales — convoquées de fait par toute considération sur la fonction ou la fonctionnalité — alors que l'hypothèse déterministe ne retenait que les causes antécédentes. Ainsi, l'hypothèse d'une interaction sujet-objet permet de prendre en compte l'ensemble des situations, y compris celles où l'on peut raisonnablement

¹¹¹ Le Moigne, 1995, p.31.

¹¹² Le Moigne, 1995, p.83.

¹¹³ Le mot grec ancien *gnosis* (γνῶσις) signifie (premier sens) connaissance, notion (Bailly).

négliger cette interaction (pour permettre certains calculs et leurs résultats, sans propager cette "négligence" au niveau épistémologique) »¹¹⁴.

Cet éclairage épistémologique proposé par Le Moigne est intéressant ici, car il nous permet d'afficher notre positionnement épistémologique dans ce travail de recherche. En effet, ce positionnement n'est pas unique, mais varie en fonction des étapes dans le déroulement de la démarche de recherche.

Si nous considérons l'étape d'élaboration des situations expérimentales proposées aux élèves, nous pouvons retenir l'hypothèse ontologique. En effet, prenons le cas des montages avec condensateur présentés dans le chapitre VIII. Ces derniers utilisent du matériel de mesure classique d'électricité (ampèremètre, voltmètre). En nous plaçant dans l'hypothèse ontologique, nous admettons que ces dispositifs expérimentaux existent. D'autre part, l'introduction de ces appareils de mesure dans les circuits réalisés par les élèves est sans nul doute source d'interactions et de perturbations des mesures effectuées par ceux-ci, mais nous pouvons considérer que ces perturbations sont négligeables par rapport aux mesures effectuées.

Lorsque l'on se penche maintenant sur les représentations que les élèves élaborent à partir de ces différentes situations expérimentales, c'est le cadre de l'hypothèse phénoménologique proposée par Le Moigne (1995) que nous retenons. En effet, dans un premier temps, nous faisons l'hypothèse que les élèves expriment bien leur représentation pour les différentes situations d'évolution de la pensée qu'on leur propose. Penser que ce qu'un élève exprime (oralement ou par écrit) décrit sa représentation (de la situation, des phénomènes qu'il observe...) constitue une inférence.

Ainsi, nous posons l'hypothèse que ces représentations permettent de suivre le parcours de pensées des élèves. Dans un deuxième temps, nous considérons que ces parcours de pensée sont propres à chaque élève et qu'ils sont propres à l'échantillon d'élèves sur lequel nous effectuons le relevé de corpus. En nous plaçant dans l'hypothèse

¹¹⁴ Sallaberry précise (2004, p.156) : « Car c'est bien à un recadrage que nous convie Jean-Louis Le Moigne, et non simplement à une mise en regard de deux positions. De même que la mécanique classique reste pertinente à la marge de la mécanique relativiste — pour la classe des événements qui se produisent à vitesse très faible (ce qui permet de concevoir la mécanique relativiste comme incluant la mécanique classique), de même l'épistémologie constructiviste, en tant qu'interactionniste, est susceptible de généraliser l'épistémologie positiviste. Il est alors possible de comprendre la relative fiabilité des résultats de la science positive comme correspondant à une classe de phénomènes compliqués et à une classe de situations pour lesquelles l'interaction "sujet-objet" n'a pas trop d'influence sur le savoir produit. Dès que cette interaction ne peut plus être négligée, dès qu'un phénomène est complexe, la position constructiviste reste seule pertinente. »

phénoménologique, nous considérons par exemple qu'avec un autre échantillon, les représentations qui émergent pourraient être différentes.

2. La physique quantique et les inégalités de Heisenberg

La position qui vient d'être énoncée met-elle le physicien en contradiction ? Non, car la physique quantique conçoit toute tentative de mesure comme une interaction. Prenons l'exemple fameux des inégalités de Heisenberg : on ne peut donner des valeurs bien déterminées, pour une particule, simultanément à sa position et à sa vitesse. Bien entendu, une interprétation positiviste rêverait d'un futur où l'homme parviendrait à diminuer les incertitudes d'une mesure ; mais il s'agit d'une interprétation idéologique¹¹⁵. L'interprétation correcte, du point de vue de la physique quantique, est que toute mesure constitue une interaction et ne peut donc être "parfaite"¹¹⁶.

Quel est le critère qui indique que l'on doit abandonner la physique classique et adopter la physique quantique ? Levy-Leblond et Balibar (1984, rééd. 1997) établissent comme "critère quantique" le fait que l'action (d'un système) soit de l'ordre de $h/2\pi$ (p.10). Pour revenir aux situations humaines, il n'y a pas besoin de critère pour estimer que toute tentative de mesure, toute enquête installe une interaction !

III- Méthode et réflexion sur la méthode

Les méthodes de recueil des données sont développées plus en détail dans les chapitres 6, 7 et 8 en fonction des échantillons concernées et des objectifs recherchés. D'une manière générale, il s'agit ici de recueillir des états de pensée. Néanmoins suivants les échantillons, le recueil et l'exploitation des données présentent des variantes. Nous regroupons volontairement la présentation de la méthode et la réflexion sur cette méthode pour les niveaux école et collège que nous distinguons de la méthode menée pour l'échantillon au niveau lycée. Pour le premier cas (école-collège) il s'agit de recueil d'état de pensée alors que pour l'échantillon lycée on est en quête de processus d'évolution de la pensée.

¹¹⁵ Prigogine et Stengers (1979) insistent sur cet aspect (p.231) : "Niels Bohr avait plaidé pour l'abandon total du réalisme au sens classique. Il soulignait que la constante de Planck définit comme non décomposable l'interaction entre un système quantique et un instrument de mesure."

¹¹⁶ "C'est donc le phénomène quantique résultat de l'opération de mesure qui peut se voir attribuer les grandeurs dont nous mesurons les valeurs numériques." (ibid.)

1. Expérimentations aux niveaux école et collège

1.1. Recueil de données

Pour les échantillons école et collège, il s'agit de recueillir des états de pensée que nous qualifions de « statiques ». La méthode utilisée est globalement, la même pour ces deux échantillons. Il s'agit de proposer aux sujets des questionnaires et des situations nous permettant de connaître leur état de pensée à un instant donné. A partir de certains éléments développés par des didacticiens des Sciences (voir chapitre VI), sur le recueil des conceptions des apprenants, le choix de la méthode s'est porté sur le questionnaire. Parmi la diversité des questionnaires utilisables, c'est le questionnaire à questions ouvertes qui semble le plus approprié. En effet, grâce aux questions ouvertes proposées nous faisons l'hypothèse qu'il est plus facile de recueillir l'état de pensée des élèves dans la mesure où ceux-ci peuvent par exemple proposer des réponses sous forme de phrases ou de dessins. Tous les sujets peuvent ainsi s'exprimer et faire émerger leur hypothèse le plus fidèlement.

Par ailleurs, dans un article publié dans les actes de la première biennale du réseau marocain de didactique des sciences (LIRDHIST, Université Claude Bernard- Lyon 1, colloque de Fès, 22-24 Novembre 2000) il est noté que le point le plus important pour la méthodologie des recherches sur les conceptions est la notion de « conception conjoncturelles ». Sachant qu'à chaque situation de questionnement posée par le chercheur en Didactique, la personne interrogée n'exprime qu'une facette de ses conceptions appelées conceptions conjoncturelles, les chercheurs préconisent de choisir différentes situations de questionnement par rapport à la problématique de recherche afin qu'elles soient les plus différentes possibles par rapport à cette problématique. Cette considération est prise en compte dans l'élaboration des questionnaires proposés en école et collège.

1.2. Exploitation des données

L'exploitation des données recueillies varie avec l'échantillon et les objectifs recherchés. En effet, avec l'échantillon école, il est possible de faire une étude statistique compte tenu de sa taille et des objectifs recherchés. D'autre part il s'agit pour l'échantillon école d'étudier l'effet comparé de l'« expérimentation » sur les états de pensées des élèves par rapport à la « simple écoute » du professeur.

Pour l'échantillon collège, il s'agit de même de connaître l'état de pensée des élèves pour différentes situations. Une étude qualitative et quantitative est tout aussi envisagée au regard de la taille de l'échantillon.

1.3. Réflexion sur la méthode

Le regard du chercheur sur la méthode est double dans la mesure où, au niveau des atouts elle semble efficace pour atteindre les états de pensée. En effet l'exploitation des réponses données par les élèves permet d'éprouver les hypothèses de recherche initiales et d'aboutir à des conclusions intéressantes. D'un autre côté, cette méthode a des limites dans la mesure où elle permet au mieux d'atteindre des états de la pensée que l'on peut qualifier de « statiques ». Elle ne permet pas d'atteindre un processus de pensée. Cette limite constatée pour cette méthode est la raison de l'élaboration d'une nouvelle méthode de recueil de donnée qui est mise en œuvre sur l'échantillon lycée. Nous précisons toutefois, que la méthode proposée au niveau école et collège apporte de nombreux éléments pour l'élaboration et la mise en œuvre de celle utilisée au niveau lycée.

2. Expérimentation au niveau lycée

Il s'agit de suivre le processus d'évolution de la pensée entre la représentation initiale de l'élève et le savoir scientifique acquis par celui-ci. Si dans la forme, la méthode utilisée précédemment demeure, elle est élaborée dans le but de faire évoluer la pensée de l'élève entre deux états successifs que nous choisissons d'appeler « palier de pensée ». Des considérations développées dans les chapitres précédents montrent que le passage de la connaissance naïve au savoir construit requiert un certain temps. D'autre part, le développement sur « l'erreur comme outil pédagogique » dans le chapitre I suggère la possibilité d'amener chaque sujet au savoir construit à son rythme en considérant des paliers de pensée

2.1. Recueil de données

Le recueil des données s'effectue ici par « palier ». Entre chaque palier de pensée, l'élève est amené à exprimer sa représentation face à une situation. La différence par rapport aux échantillons école et collège, se trouve dans le fait que la situation entre chaque palier de pensée est conçue et proposée dans le but d'observer une évolution de la pensée de l'élève. La méthode de recueil des données est la même, c'est-à-dire que l'élève indique littéralement sa pensée.

2.2. Exploitation des données

Ici l'exploitation des données ne donne pas lieu à une étude statistique dans la mesure où nous avons retenu de nous placer dans le cadre de l'hypothèse phénoménologique proposée par Le Moigne. C'est l'aspect qualitatif qui est donc privilégié. Néanmoins, il nous semble important de dénombrer les états de pensée identiques au niveau de chaque palier afin de suivre la progression des représentations des élèves ainsi que la progression de l'échantillon vers l'acquisition du savoir scientifique. Pour cela, au niveau de chaque palier, une tentative d'« inventaire » des états de pensée est effectuée et proposée sous forme de tableau. Cette présentation nous semble plus synthétique et plus lisible.

2.3. Réflexion sur la méthode

Cette méthode apparaît pertinente puisqu'elle permet alors de mieux cerner certains aspects de l'évolution de l'hypothèse que formule un élève dans une situation. Nous pensons disposer d'éléments qui permettent de repérer un parcours de pensée et peut être de le caractériser, ce qui était l'objectif.

Conclusion

Les considérations développées dans ce chapitre ainsi que les critiques de nombreux auteurs concernant l'approche inductiviste en sciences et dans l'enseignement des sciences montrent que cette approche n'est plus retenue sur le plan épistémologique alors que sur le plan didactique elle est encore bien ancrée dans les activités d'apprentissage en sciences physiques.

Les nombreux arguments rappelés ici qui traduisent l'opposition aux pratiques inductivistes dans l'enseignement mais en même temps, l'encouragement des auteurs pour développer activement une pratique constructiviste caractérisée par une participation active de l'apprenant dans la construction de son savoir permettent de donner un cadre épistémologique à ce travail. Nous précisons toutefois que l'apport de Le Moigne (1995) est aussi d'un grand intérêt pour ce positionnement épistémologique. Ainsi, si l'on retient l'hypothèse ontologique dans la mise en œuvre matérielle de l'expérimentation, pour le recueil et l'exploitation des représentations formulées par les sujets des différents échantillons, nous privilégions l'hypothèse phénoménologique développée par Le Moigne (1995). En prenant en compte ces différents éclairages, un outil de recueil des représentations des élèves est élaboré. Il devient possible de recueillir les représentations des élèves pour interroger dans un premier temps l'effet comparé d'un support expérimental et d'un support discursif sur la formulation d'hypothèses. Dans un deuxième temps, ce sont les paramètres qui semblent les plus importants pour l'élaboration des hypothèses qui sont interrogés. Enfin, à cause des limites de cet outil et dans la perspective d'une étude d'un processus de cheminement de la pensée des élèves, de leur conception initiale au savoir scientifique construit, une autre méthode de recueil et d'exploitation des représentations des élèves est proposée. C'est l'hypothèse phénoménologique proposée par Le Moigne qui est retenue comme cadre épistémologique pour le recueil et l'exploitation des représentations des élèves.

DEUXIÈME PARTIE

RECUEIL ET EXPLOITATION

DES DONNEES

Chapitre VI

IMPACT DE L'EXPERIMENTATION SUR LA TRANSFORMATION DES HYPOTHESES INITIALES EN SAVOIR SCIENTIFIQUE: ETUDE COMPAREE

I- Méthode

1. Population

L'étude est menée dans le primaire sur une population de deux cent vingt neuf enfants. Le choix du primaire repose sur plusieurs points parmi lesquels :

- La possibilité de disposer d'un échantillon assez important sur lequel il est possible de faire des tests de significativité.
- Disposer d'un échantillon sur lequel le nombre de paramètres pouvant influencer est moindre comparativement à un échantillon qui serait tiré du secondaire ou du supérieur. Ainsi, il a été plus facile d'attribuer les effets mesurés principalement au paramètre étudié ici c'est-à-dire le mode d'évolution des hypothèses initiales des élèves vers le savoir scientifique construit.
- Saisir l'opportunité pour impliquer des écoles à un travail de recherche scientifique.
- Permettre parallèlement au travail de recherche, de « former » et d'encourager des enseignants du primaire à la pratique d'activités expérimentales et de la démarche par investigation en école. Cette collaboration peut être considérée comme un exemple de ce qui peut être fait dans l'esprit du plan de rénovation de l'enseignement des sciences et techniques (PREST) à l'école.
- La disponibilité des enseignants avec leur classe pour effectuer un travail sur une période assez longue.

Les élèves sont issus de deux écoles primaires différentes, l'Ecole Elémentaire Pierre Zobda Quitman A située au bourg du Lamentin et l'Ecole Elémentaire Anne Marc située au bourg du François, dans le département de la Martinique.

Ce choix de mener conjointement l'étude dans une école de centre ville et dans une école communale a pour but de constituer une population d'élèves provenant de cadre de vie divers (campagne et centre ville). Tous les élèves sont originaires de la Martinique ou nés pour certains en métropole. Ils ne sont pas redoublants. Ils ont suivis régulièrement leur scolarité et ne présentent pas de troubles spécifiques de lecture et d'écriture, selon l'avis de leurs enseignants. Cette information est importante pour organiser le recueil des données dans la mesure où les élèves doivent lire les questions et répondre par écrit.

La population d'élèves regroupe des enfants de parents appartenant à toutes les catégories socioprofessionnelles. Cette population d'élèves se divise en deux échantillons de niveau

homogène selon les enseignants, l'un, d'élèves de classe Ce2 et l'autre d'élèves de classe Cm2. Le niveau des élèves dans les groupes est homogène car les directrices confirment qu'aucune classe de niveau n'est réalisée dans leur établissement d'une part, et, d'autre part, la consultation des notes obtenues par les élèves en classe, en français notamment le montre bien.

L'âge moyen des élèves du groupe Ce2 est de 9ans et 3 mois, pour le groupe Cm2 il est de 11 ans et 4 mois. Dans chaque échantillon, 2 groupes (expérimental et contrôle) de niveau homogène sont constitués. La composition des échantillons est précisée dans le tableau 1 suivant :

Tableau 1 : Composition des groupes expérimentaux et contrôles pour les deux niveaux étudiés.

POPULATION : 229 Elèves			
Echantillon Cm2 : 105 élèves		Echantillon Ce2 : 124 élèves	
Groupe expérimental 66 élèves	Groupe contrôle 39 élèves	Groupe expérimental 68 élèves	Groupe contrôle 56 élèves
Dont 32 garçons Soit 48,5%	Dont 18 garçons Soit 46,2%	Dont 33 garçons Soit 48,5%	Dont 30 garçons Soit 53,5%
Dont 34 filles Soit 51,5%	Dont 21filles Soit 53,8%	Dont 35 filles Soit 51,5%	Dont 26 filles Soit 46,5%

La composition en fille et garçon sont sensiblement la même (environ 50% pour chacun) pour tous les groupes, ce qui traduit une assez bonne homogénéité des échantillons en ce qui concerne le paramètre « sexe ».

Dans la mesure où, les résultats obtenus pour les deux échantillons sont comparés entre un pré-test et des post-tests à court et moyen terme, il est nécessaire de disposer de groupes témoins pour chaque niveau afin de vérifier si l'évolution des « hypothèses formulées » n'est pas due aux seuls pré-tests. En effet, l'objectif consiste à évaluer l'évolution des « hypothèses formulées » par les apprenants face à des situations problèmes, en cherchant à identifier parmi certains des paramètres des échantillons testés, ceux qui ont une influence sur la transformation des conceptions initiales (ou encore hypothèse de départ dans les pré-tests). Il est alors essentiel de travailler sur des échantillons comparables. Ainsi, pour constituer des groupes de niveau sensiblement homogène, les enseignants et moi avons utilisé les résultats scolaires obtenus en français (lecture, écriture) par les élèves en classe. « Savoir lire » et « savoir écrire » sont en effet les compétences mobilisées chez les élèves pour cette étude.

2. Recueil des données

2.1. Méthode de recueil des données.

L'éclairage des travaux pionniers de didacticiens des Sciences sur le recueil des conceptions des apprenants est très important pour le choix d'une méthode appropriée pour cette étude. Ainsi, la méthode retenue est le questionnaire. Parmi la diversité des questionnaires utilisables, c'est le questionnaire à questions ouvertes qui s'impose. En effet les questions ouvertes proposées demandent de répondre par écrit. Pour certaines réponses par des phrases, pour d'autres, par des dessins afin de permettre à tous les sujets de s'exprimer et de faire émerger leur hypothèse le plus fidèlement.

Par ailleurs, dans un article publié dans les actes de la première biennale du réseau marocain de didactique des sciences (LIRDHIST, Université Claude Bernard- Lyon 1, colloque de Fès, 22-24 Novembre 2000) il est noté que le point le plus important pour la méthodologie des recherches sur les conceptions est la notion de « conception conjoncturelles ». Sachant qu'à chaque situation de questionnement posée par le chercheur en Didactique, la personne interrogée n'exprime qu'une facette de ses conceptions appelées conceptions conjoncturelles, les chercheurs préconisent de choisir différentes situations de questionnement par rapport à la problématique de recherche afin qu'elles soient les plus différentes possibles par rapport à cette problématique.

Ces considérations sont prises en compte dans le mode de recueil des données pour cet échantillon :

L'étude a consisté à mesurer l'impact de l'expérimentation sur l'émission et l'évolution des hypothèses formulées par les apprenants, comparativement à l'impact qu'exerce l'écoute d'une leçon exposée oralement par l'enseignant à partir de situations problèmes.

En s'appuyant sur un thème, trois situations problèmes différentes (un pré-test et deux post-tests) sont proposées aux élèves. Cette démarche est répétée deux fois, pour chaque niveau, dans le cadre de deux autres thèmes. Pour chaque thème, le recueil des données est mené en trois étapes :

- Une première étape correspondant au pré-test, est suivie de l'entraînement (par expérimentation pour le groupe expérimental ou leçon orale pour le groupe contrôle).
- Une deuxième étape est le post-test 1 immédiatement après les phases d'entraînement.
- La troisième étape de recueil de données s'est faite deux semaines plus tard, c'est le post-test 2.

Pour cela, on mesure les effets immédiats (juste après la séance d'enseignement), et effets à moyen terme (deux semaines après la situation didactique). Bien que les effets à long terme sont plus importants, d'après les auteurs de l'article cité précédemment, l'étude à court et moyen terme est retenue ici. En effet, dans la mesure où le nombre de paramètres pouvant influencer les « hypothèses » des apprenants augmente avec le temps, il devient difficile d'évaluer ce qui revient précisément à cet enseignement. Néanmoins, plusieurs précautions d'ordre méthodologiques sont indispensables.

Il faut disposer, des hypothèses initiales des apprenants, avant l'enseignement expérimental dont les effets sont testés. Dans l'élaboration des pré-tests, il faut éviter que ceux-ci ne puissent être capables de provoquer à eux seuls les changements conceptuels attendus de l'enseignement. En effet, un impact du pré-test sur les performances observées en post-test est possible lorsque les situations et question posées sont proches. Le pré-test devient alors une situation d'apprentissage quand les questions du post-test reprennent celles du pré-test. Ainsi, les situations choisies pour la rédaction des tests sont assez éloignées pour éviter qu'il y ait un impact trop important du pré-test sur les résultats au post-test. L'utilisation d'un groupe

témoin qui n'a pas suivi l'enseignement expérimental testé est une autre précaution nécessaire, afin de comparer les résultats aux post-tests. D'un autre côté les pré-tests sont conçus pour ne pas influencer la façon dont les enfants vivent ensuite la situation didactique. C'est la raison pour laquelle les apprenants doivent apporter une explication dans leurs réponses en post-tests pour mesurer leur évolution à la suite de l'enseignement suivi.

2.2. Le matériel

L'élaboration des sujets pour l'échantillon « primaire », nécessite de se référer au libellé du programme officiel et des Instructions Officielles du Ministère de l'Education nationale afin de choisir des thèmes qui correspondent au niveau des élèves comme l'évoquent Balpe (1991) et Piaget. Ensuite, la consultation de plusieurs manuels scolaires, permet de les comparer entre eux, et au regard du programme officiel de voir comment les thèmes sont abordés. Par ailleurs, les auteurs d'ouvrages de didactique des sciences tels que Balpe (1991), Giordan (1997), Chauvel (1990) qui proposent des exemples d'activités en classe donnent un bon éclairage pour l'élaboration des sujets. Enfin, la collaboration avec les enseignants constitue une étape incontournable afin d'utiliser l'écriture la plus adaptée aux élèves. Les thèmes retenus pour la rédaction des sujets des tests sont indiqués dans le tableau 2 suivant:

Tableau 2 : Thèmes retenus pour les sujets des tests.

Niveau	Thème 1	Thème 2
Ce2	Transformation de l'eau liquide en eau vapeur	La matérialité de l'air
Cm2	Etat et changement d'état de l'eau	Mouvement apparent du soleil et déplacement des ombres

Ces thèmes sont choisis par rapport à leur fréquence dans la vie quotidienne (Stréri, 2000). D'après Giordan (2002), une conception dépend du contexte socioculturel dans lequel

elle est émise. De même, Giordan (2002) considère que les termes utilisés dans le langage ainsi que les images pour désigner un objet ou un phénomène varient aussi avec le milieu social et culturel. Ainsi, les élèves ont donc déjà élaboré leur schéma explicatif pour les phénomènes physiques qui les impliquent (Schiele, 1984). Selon Tiberghien (1987 p.355) « Les connaissances dites naïves d'un enfant sont antérieures aux connaissances scientifiques qu'il va acquérir à l'école, puis vont coexister avec elles ».

Sachant que les thèmes abordés sont très présents dans leur contexte socioculturel, l'analyse des productions des élèves doit faire ressortir des constantes qui trouvent leur origine dans ce contexte local. Pour ce faire, il est nécessaire de chercher, parallèlement, comment les adultes se représentent certains phénomènes étudiés pour mieux interpréter les réponses des élèves. Dans cette perspective, des adultes sélectionnés aléatoirement dans la population martiniquaise expliquent, par exemple, oralement la formation des gouttelettes d'eau sur une bouteille lorsque celle-ci sort d'une enceinte froide. Pour chaque thème, on propose aux élèves trois sujets, chacun ayant une finalité déterminée. Les pré-tests ont pour objectif d'amener les élèves à émettre des hypothèses « initiales » à partir de leurs conceptions initiales de la situation. Ils permettent ainsi de mesurer l'écart entre la représentation initiale et la connaissance scientifique en jeu.

Les post-tests donnés immédiatement dans la suite de l'activité pédagogique servent à mesurer comparativement l'évolution des hypothèses initiales des élèves avec expérimentation ou avec exposé verbal de l'enseignant. Enfin les post-tests proposés deux semaines après l'activité pédagogique visent aussi à mesurer la transformation des conceptions initiales mais à plus long terme et à chercher à déterminer la nature de leur transformation. D'après Astolfi (1998), c'est une transformation lente et complexe ; selon Giordan et Martinand (2002), c'est une évolution par palier qui demande du temps ; enfin pour Osborne et Freyberg (1982) des idées non scientifiques sont plus difficiles à corriger lorsqu'elles sont acquises depuis longtemps.

Les thèmes « transformation de l'eau liquide en eau vapeur » et « Etat et changement d'état de l'eau », respectivement aux programmes de Ce2 et Cm2 sont choisis pour vérifier la ténacité des conceptions initiales Astolfi (1998), dans la mesure où les connaissances acquises en Ce2 grâce au thème « transformation de l'eau liquide en eau vapeur » rentrent dans le cadre du thème « état et changement d'état de l'eau » en CM2. Les questions sont courtes et font suite à un petit texte accompagné parfois d'une image ou d'un dessin. Les réponses sont attendues en deux temps. Une première question amène les élèves à donner leur avis soit en écrivant la réponse ou en dessinant tandis qu'une deuxième question les invite à donner une explication

par exemple « un lien de cause à effet ». Cette procédure permet ainsi de vérifier la cohérence des réponses données par les élèves et de les amener à émettre des hypothèses. D'une part, c'est une manière de vérifier une caractéristique propre d'une conception initiale, à savoir sa cohérence pour expliquer le phénomène (Delacôte & Tiberghien, 1984 ; Driver & Anderson, 1986 ; Giordan & Astolfi, 1998) : « l'enfant se construit un modèle explicatif simple et logique pour s'expliquer les phénomènes de son quotidien ». D'autre part, elle permet de s'assurer dans le cas des réponses données en post-test que la transformation des conceptions s'opère bien, qu'elle ne soit pas une assimilation passive comme l'évoque Astolfi (1998). En effet, cet auteur considère que la résistance des représentations au changement conceptuel peut prendre différentes formes. Les élèves peuvent tout d'abord nier le caractère surprenant de la situation qui leur est proposée. Ils peuvent ne pas percevoir comme tels les « faits surprenants » qui leur sont proposés. Ils peuvent donner trop vite la « bonne hypothèse » sans réel travail de l'obstacle. Quant aux élèves faibles, peu sûrs d'eux et qui sont placés devant une contradiction entre leurs prévisions et les résultats obtenus, ils peuvent ne pas percevoir le conflit et se laisser convaincre sans véritablement construire le savoir : ils préfèrent l'apprentissage par cœur. Par ailleurs l'utilisation d'expressions telles que « à ton avis » dans la formulation des questions a pour objectif de mettre les élèves en confiance et de leur signifier que c'est leur réponse qui est attendue. Cela permet ainsi de ne pas fausser l'émergence de leur conception et d'effectuer une mesure plus correcte de la transformation des conceptions. La fiche réponse est intégrée au sujet, c'est-à-dire qu'après chaque question un espace est réservé à la réponse de l'élève. Les fiches réponses sont ensuite codées pour le suivi de chaque élève lors de l'analyse statistique des données.

2.3. Procédure de passation des tests.

L'expérimentation dans l'échantillon primaire se déroule en fin d'année durant les mois de mai et juin, car les professeurs ont plus de disponibilité. Trois séances de tests par école permettent de recueillir les données. Les deux premières séances se déroulent le même jour au cours d'une matinée : l'une avant la récréation et l'autre après celle-ci. Les passations s'effectuent par classe entière. C'est l'enseignant qui est chargé de faire passer les tests aux élèves afin de maintenir une situation la plus naturelle et la plus habituelle possible dans la classe. Néanmoins, la présence du chercheur est importante afin de suivre notamment le déroulement des situations didactiques d'enseignement. Ne disposant pas du matériel

nécessaire et des autorisations indispensables pour réaliser des enregistrements vidéo, des observations directes sont effectuées et les remarques pouvant enrichir l'analyse sont notées.

-Une première séance est consacrée à un thème pour chaque niveau. Pour le niveau Ce2, le thème est « la transformation de l'eau liquide en eau vapeur » et « Etat et changement d'état de l'eau » pour le niveau Cm2. Elle dure une heure et trente minutes. Cette première séance se déroule ainsi :

- Un pré-test d'une durée de quinze minutes à l'écrit est proposé aux élèves de tous les groupes (contrôle et expérimental). Pour chaque niveau (Cm2 et Ce2), le pré test proposé est le même pour les groupes contrôle et expérimental. Chaque élève rédige sa réponse seul, sans communiquer avec ses voisins. Les enseignants veillent à éviter toute communication entre les élèves pendant ce pré-test.
- Après la récupération des fiches réponses, une situation didactique d'entraînement de trente minutes est proposée à chaque groupe. Suivant le groupe, contrôle ou expérimental, l'entraînement didactique consiste respectivement en une leçon orale ou en la réalisation d'une expérimentation.
 - Pour les groupes contrôles (Ce2 et Cm2) les enseignants dispensent un enseignement sous forme de discours sur le thème. Pendant cette phase d'apprentissage, un échange oral encadré par l'enseignant s'établit entre les élèves. L'objectif consiste à faire construire le savoir scientifique étudié grâce à un jeu de questions- réponses au sein d'un débat dans la classe. L'enseignant conclut la séance d'entraînement en faisant noter le savoir scientifique à retenir sur leur cahier de leçons. Aucun schéma ni expérience relatifs au phénomène étudié ne sont présentés aux élèves au cours de cette activité d'enseignement.
 - De leur côté, les élèves des groupes expérimentaux (Ce2 et Cm2) reçoivent un entraînement didactique avec comme support la réalisation par leur soin d'une expérimentation scientifique qui leur est proposée. Pour réaliser l'expérimentation, les élèves sont répartis en petits groupes de trois ou quatre. Chaque petit groupe dispose du matériel nécessaire pour réaliser l'expérimentation. Les élèves suivent les consignes données par l'enseignant. Durant l'expérimentation, un échange s'établit entre les élèves et leur enseignant autour des questions et suggestions qui surgissent à mesure de la séquence. Grâce à leurs

questions et celles de l'enseignant ainsi que les réponses apportées, les élèves aboutissent à la bonne formulation du savoir scientifique en jeu qui est le même que pour le groupe contrôle. L'enseignant achève la séance en faisant noter aux élèves sur les cahiers le même résumé que leurs camarades du groupe contrôle.

- Après avoir reçu la séquence d'apprentissage, les élèves subissent un post-test¹ d'une durée de quinze minutes. Pour chaque niveau, le post-test¹ pour le groupe contrôle est le même que celui pour le groupe expérimental. Les élèves doivent répondre par écrit à une question portant sur le thème étudié. Durant ce post-test¹, les élèves n'ont pas le droit de consulter leur cahier ni le droit de communiquer entre eux.

A l'issue de ce post-test¹, les élèves sont invités à se rendre en récréation durant laquelle est préparée la deuxième séance de tests (préparation du matériel pour les expérimentations...) portant sur un autre thème pour chacun des deux niveaux : « La matérialité de l'air » pour le niveau Ce2 et « Mouvement apparent du Soleil et déplacement des ombres » pour le niveau Cm2.

-La seconde séance pour le second sujet s'est déroulée suivant la même organisation que pour la première séance. Les mêmes étapes ont été reprises pour ce deuxième sujet (pré-test, entraînement oral (pour groupe contrôle) et manipulation (pour groupe expérimental), et post-test 1) pendant les mêmes durées que celles consacrées durant la première séance.

Ainsi, pour chaque niveau, tous les élèves des groupes contrôles et expérimentaux, sont questionnés sur le même thème. Par contre c'est l'activité d'enseignement qui est différente. Les élèves du groupe contrôle ont comme activité d'enseignement une leçon orale, alors que ceux du groupe expérimental ont une expérimentation. Dans les deux cas, il y a un échange oral entre les élèves durant la phase d'apprentissage, celui-ci est encadré par l'enseignant. Pour Bachelard (1938), le maître doit en effet organiser des activités destinées à créer un « conflit socio-cognitif » qui favorise l'évolution de la pensée de l'enfant de façon dialectique. Dans le même sens, Giordan (1998) considère que les interactions entre les enfants ou avec l'adulte favorisent l'apprentissage. L'auteur considère également que c'est en expérimentant, en testant que l'on apprend. De même pour Mendel (1992), il ne suffit pas d'enregistrer l'expérience d'autrui ou d'écouter l'autre pour apprendre. Selon Astolfi (1998), le simple débat proposé aux élèves est insuffisant pour provoquer de véritables conflits, car les élèves se positionnent sur les idées scolairement établies. Les situations expérimentales par contre sont organisées pour provoquer des interactions dont les sujets ne puissent sortir que par une

résolution cognitive et non relationnelle, c'est-à-dire sans accepter les idées d'autrui par conformité ou par affection.

-La troisième séance de recueil de données s'effectue une quinzaine de jours plus tard. Elle consiste à faire passer à l'écrit, les deux post-tests 2 portant sur chacun des deux thèmes étudiés pour chaque niveau. La séance dure une trentaine de minutes à raison de quinze minutes par post-test 2. Les élèves des groupes contrôles et expérimentaux ont les mêmes post-test2 pour chaque niveau. Ils doivent tout en se justifiant, répondre à une question par post-test2. Ils disposent de quinze minutes pour chaque post-test2 et n'ont pas droit au cahier ni de communiquer entre eux. Par ailleurs, il est important de préciser d'une part qu'entre les post-test1 et les post-test2 il n'y a pas de retour sur ce qui est fait pendant les deux premières séances. D'autre part, les élèves ne sont pas prévenus de la tenue de cette séance de post-tests2 afin d'éviter de perturber le travail de recherche par d'autres facteurs.

3. Méthode utilisée pour l'analyse des données.

Les productions des élèves sont essentiellement du texte puisqu'ils doivent formuler des hypothèses, accompagnés quelques fois de schémas. Dans un premier temps, les réponses sont répertoriées par catégories. Cette catégorisation préalable est nécessaire dans la mesure où les élèves ne donnent pas forcément une réponse de type hypothèse. Nous utilisons ici la catégorisation des représentations proposée par Sallaberry (2004) dans le but de regrouper et quantifier les réponses qui ont une nature d'hypothèse d'une part et celles qui ne le sont pas d'autre part. En effet, Sallaberry (2004) nomme « représentations images » les représentations qui renvoient à des choses vues, autrement dit aux observations. Il attribue le code R1 à ce type de représentation. Pour les énoncés présentant « un aspect d'hypothèse », Sallaberry considère que ceux-ci renvoient à ce qu'il nomme des « représentations à prétention interprétante ». Il attribue le code R2 à ces représentations. Pour Sallaberry, les R2 sont de l'ordre du discours scientifique car étant des hypothèses, elles s'inscrivent dans un souci de justification et de précision et donc induisent un fonctionnement de nature scientifique. De ce fait, les réponses des élèves sont rangées dans la catégorie des R2 lorsqu'elles répondent à des critères précis. Par exemple, Sallaberry considère que si le langage courant convient à l'expression d'une R1, il n'en est rien dans le cas d'une R2 qui a le souci de précision. Ainsi le langage formel est approprié pour cette catégorie de représentations. Néanmoins, Sallaberry considère que tout en étant en dehors du langage formel, il est possible de parvenir à des énoncés suffisamment précis pour permettre une démonstration. Dans la catégorisation des

réponses données par les élèves, il est nécessaire de prendre en compte les considérations précédentes dans la mesure où tous les élèves n'ont pas atteint le stade de la pensée formelle, d'autre part, suivant la situation abordée, ils peuvent se trouver démunis pour formuler correctement leur hypothèse. Il est important de rechercher si dans leurs énoncés, les élèves sont dans une dynamique que Sallaberry nomme l'« affinement des bords ». Il apparaît opportun d'interroger le corpus de données recueilli pour vérifier si une tendance se dégage lorsque le choix est possible entre le langage formelle et le langage courant pour formuler une hypothèse. Dans un deuxième temps, elles sont dépouillées et rangées en fonction des types de réponses proposées, l'objectif étant de détecter et d'inventorier qualitativement les différentes conceptions initiales des élèves.

Le traitement de ces données est effectué par informatique. Il permet d'étudier la significativité de l'impact des facteurs (sexes, niveau scolaire, type d'activité d'entraînement, émission de R1, type de situation déclenchante,) sur la variable étudiée (transformation des hypothèses initiales des élèves) par comparaisons de moyennes à l'aide du t de student et de faire des analyses de régressions multi variées. L'analyse de régression consiste à étudier avec quel pourcentage les paramètres interviennent dans l'impact de l'expérimentation dans la transformation des conceptions initiales chez les élèves. La régression multivariée présente différents avantages :

- Elle permet de séparer les effets des facteurs qui jouent ensemble sur le phénomène étudié.
- Elle identifie les facteurs qui ont une influence significative sur le phénomène et ceux qui n'en ont pas.
- Elle mesure le poids relatif de chaque facteur (r^2) dans l'explication de la variance.

En outre, on rappelle que la corrélation permet de rechercher et d'identifier une liaison statistique qui existe entre des valeurs correspondant à deux distributions différentes.

Le coefficient de Bravais-Pearson (noté « r » ou coefficient de corrélation) renseigne sur l'intensité et le sens de la corrélation. Il permet de tester la relation statistique entre deux variables. Le signe de « r » indique le sens de la relation. Si « r » est positif, la corrélation est positive, et si « r » est négatif, la corrélation est négative. La valeur exprime le degré de relation. Si « r » est proche de 1, la corrélation est forte, s'il est proche de 0, il n'y a pas de corrélation, à condition que ces corrélations aient un test de significativité positif.

L'utilisation des modèles de régression multivariée permettent d'étudier simultanément l'impact de différentes variables indépendantes (notées « X », appelées aussi variables explicatives) sur la variable dépendante (« Y », encore variable expliquée). Le calcul de la

droite de régression (notée $Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots$) permet de trouver la droite résumant le mieux la relation passant par le maximum de points du diagramme de dispersion. On suppose que cette droite est linéaire. Ainsi, le « a » de l'équation nous renseigne sur l'impact de la variable explicative (X) sur la variable expliquée (Y).

Enfin, la part de variance de la variable expliquée notée (« R^2 ») est l'indice global de la qualité de la représentation du modèle. C'est le poids des variables explicatives (X) sur la variable expliquée (Y), car il peut y avoir d'autres facteurs qui agissent sur la variable expliquée (Y). R^2 est compris entre 0 et 1 ($0 < R^2 < 1$). Plus R^2 s'approche de 1 (ou 100 %), plus les variables explicatives (X) expliquent une grande part de la variance de la variable expliquée (Y) ou encore, les variables explicatives expliquent à x % la variable expliquée (Y).

II- Résultats et analyse des données.

1. Analyse quantitative

1.1. Analyse des résultats obtenus au pré-test

Les données recueillies au pré-test sont soumises à des traitements de statistiques descriptives afin de vérifier s'il y a au début de l'expérimentation, des différences significatives dans les réponses des sujets liées à l'appartenance à un groupe (contrôle ou testé), au sexe du sujet ou à son niveau scolaire (Ce2 ou Cm2). Cela a pour objectif de vérifier le caractère homogène des groupes d'élèves.

Pour ce faire, les performances au pré-test sont ainsi déterminées à partir de deux questions portant chacun sur l'un des deux thèmes étudiés. Un score global moyen est calculé pour chaque élève correspondant à son niveau de base. Ces résultats moyens sont soumis à des analyses statistiques en fonction des différents facteurs étudiés : sexe, niveau scolaire et groupe d'appartenance.

Les résultats indiquent tout d'abord qu'il n'y a aucune différence significative au pré-test $t = 1,79$, $p = .075$ entre les élèves de Cm2 (1,63) et de Ce2 (1,74). En outre, les performances du groupe expérimental (1,73) ne diffèrent pas significativement de celles du groupe contrôle (1,63), $t = -1,70$, $p = .09$. De même le sexe des élèves n'exerce pas d'effet significatif sur les performances au pré-test, $t = 0,63$, $p = 0,53$: les filles (1,71) ont obtenu des performances quasi-équivalentes aux garçons (1,67).

En résumé, le résultat moyen obtenu pour un élève au pré-test ne présente aucune différence significative suivant qu'il est fille ou garçon, suivant son groupe d'appartenance ou sa classe.

Ces résultats traduisent une certaine homogénéité des groupes avant l'étude de l'impact de l'expérimentation sur l'évolution des représentations initiales.

Le tableau 3 donne la répartition des effectifs en fonction des résultats moyens obtenus au pré-test.

Tableau 3 : Répartition du nombre d'élèves en fonction des résultats moyens obtenus aux pré-tests.

Notes moyennes Pré-tests (de 1 à 3)	Effectif	Effectif cumulé	Pourcentage	Pourcentage cumulé
1.00	36	36	15.65	15.65
1.50	102	138	44.35	60
2.00	64	202	27.83	87.83
2.50	23	225	10	97.83
3.00	4	229	1.74	99.56
VM Total	1	230	0.44	100

D'après les résultats présentés dans le tableau 3, il ressort que 60% de la population d'élèves, donnent en moyenne une réponse fausse au regard du savoir scientifique en jeu. Cela signifie qu'ils sont plus de la moitié à avoir utilisé un schéma explicatif différent du savoir scientifique pour interpréter les phénomènes en jeu. Ce tableau montre par ailleurs que lorsque l'on ajoute les élèves qui proposent une explication du phénomène de manière insuffisante (note moyenne égale à deux), l'effectif cumulé avoisine 88%. Donc au début de l'étude, ils sont extrêmement peu nombreux à pouvoir donner une hypothèse pour expliquer les phénomènes en accord avec le savoir scientifique. Seulement environ 2% des élèves peuvent donner une réponse scientifiquement correcte.

1.2. Analyse des résultats obtenus aux post-tests 1.

Comme pour les pré-tests, les performances au post-test1 permettent de calculer un score global moyen pour chaque élève. Cela permet de déterminer le nombre d'élèves ayant obtenu une note moyenne globale de un, deux ou trois.

Le tableau 4 donne la répartition du nombre d'élèves en fonction des résultats moyens obtenus au post-test1.

Tableau 4 : Répartition des effectifs en fonction des résultats moyens au post-test1.

Notes moyennes Post-test1	Effectif	Effectif cumulé	Pourcentage	Pourcentage cumulé
1.00	9	9	3.91	3.91
1.50	22	31	9.56	13.48
2.00	83	114	36.08	49.56
2.50	90	204	39.13	88.69
3.00	25	229	10.87	99.56
Total	1	230	0.43	100

Ce tableau 4 montre qu'environ 13,5% des élèves donnent toujours en moyenne une hypothèse en désaccord avec le savoir scientifique en jeu pour expliquer le phénomène. Par

contre, ils sont beaucoup plus nombreux, environ 86% à donner des hypothèses proches des explications scientifiquement attendues. Ce pourcentage comprend les élèves ayant obtenu un score moyen de 1.50 à 2.50. Le pourcentage des élèves qui donnent une réponse juste est multiplié par environ 6,5 entre le pré-test et le post-test1.

Ainsi, ce tableau montre que les élèves donnent en moyenne majoritairement des réponses qui se rapprochent de celles scientifiquement attendues. Comparativement aux résultats des pré-tests, ces données montrent une évolution « positive » (en ce sens où elles se rapprochent des explications attendues) des réponses des élèves par rapport à ce qui est attendu scientifiquement.

Ces résultats moyens au post-test1 sont de même soumis à des analyses statistiques (comparaisons de moyennes au moyen du t de student) en fonction des différents facteurs étudiés : niveau scolaire, groupe d'appartenance et sexe.

Les résultats indiquent tout d'abord qu'il n'y a aucune différence significative au post-test1 $t = 0,02$, $p = .98$ entre les élèves de Cm2 (2,219) et de Ce2 (2,217).

Par contre, les performances des deux groupes diffèrent significativement, $t = 2,65$, $p < .01$: Les résultats obtenus par les élèves du groupe expérimental aux post-tests1 (2,29) sont significativement meilleurs que ceux obtenus par les élèves du groupe contrôle (2,12).

Pour ce qui est de l'impact du sexe, il n'exerce aucun effet significatif. En effet la performance réalisée par les filles (2,21) au post-test1, n'est pas significativement différente de celle réalisée par les garçons (2,23), $t = 0,23$, $p = 0,82$. Ainsi, être fille ou garçon n'influence pas sur le résultat moyen obtenu par le sujet au post-test1.

La réalisation d'une analyse de régression de la variable dépendante Moyenne Post-test1 en fonction des différents paramètres niveau, groupe d'appartenance, sexe et moyenne pré-test donne les résultats du tableau 5.

Tableau 5 : Impact des facteurs niveau scolaire, groupe d'appartenance, sexe et moyenne pré-tests dans l'explication des performances aux post-tests1.

Variables	Modalités en référence	Modalités actives	Coef	Sign
Sexe	Fille	Garçon	-0.033	Ns
Groupe	Contrôle	Expérimental	0.12	<.05
Niveau scolaire	Ce2	Cm2	0.036	ns
Résultat pré-test			0.4	<.01
R²			18.1%	

Le tableau 5 montre qu'il existe un effet significatif de l'appartenance au groupe sur les résultats aux post-tests1 : les élèves du groupe expérimental, obtiennent 0,12 point de plus que ceux du groupe contrôle au post-test1.

L'analyse montre par ailleurs que les résultats aux pré-tests déterminent les résultats aux post-tests1. En effet 0,4 point provient des résultats obtenus aux pré-tests.

Pour ce qui est des paramètres niveau et sexe, ils n'ont aucun effet significatif sur les résultats obtenus en post-test1.

Les différentes variables explicatives du modèle expliquent 18% de la variance des scores au post-test. Il existe donc d'autres paramètres qui expliquent la variance mesurée.

Des analyses de régression prenant en compte les paramètres groupe seul et moyenne pré-test seul, permettent de mieux apprécier l'impact de chacun de ces paramètres sur les résultats au post-test1.

Les résultats sont présentés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Pourcentage de variance des performances réalisées aux post-tests1 expliqué par les paramètres groupe d'appartenance et moyenne réalisée aux pré-tests.

Pourcentage variance expliquée	R ²	Coeff.
Groupe d'appartenance	3,0%	+ 0,17 p< 0.01
Moyenne pré-tests	16,18%	+ 0,41 p< 0.01

Les résultats montrent que le groupe d'appartenance explique 3% de la variance des résultats obtenus entre les élèves du groupe contrôle et ceux du groupe expérimental.

Pour ce qui concerne le paramètre pré-test, il explique à lui seul 16% de la variance observée. Ainsi, le pré-test explique davantage la variance observée que l'appartenance à un groupe précis. Le pré-test a eu un impact conséquent sur les résultats au post-test.

1.3. Analyse des résultats obtenus au post-test2 (deux semaines après post-test1)

Le tableau 7 donne la répartition du nombre d'élèves en fonction des résultats moyens obtenus au post-test2.

Tableau 7 : Répartition des effectifs en fonction des résultats moyens obtenus aux post-tests2.

Notes moyennes Post-tests1	Effectif	Effectif cumulé	Pourcentage	Pourcentage Cumulé
1,00	10	10	4.35	4.35
1,50	22	32	9.56	13.91
2,00	61	93	26.52	40.44
2,50	79	172	34.35	74.78
3,00	57	229	24.78	99.56
VM	1	230	0.44	100

Le tableau 7 montre que les élèves qui donnent en moyenne des hypothèses en désaccord (élèves ayant obtenus une note moyenne comprise entre 1 et 1,5) avec celles attendues comptent pour environ 14% de l'effectif. Ce pourcentage reste équivalent à celui obtenu au post-test1. On constate ensuite que 86% des élèves donnent en moyenne des hypothèses proches (élèves ayant obtenus une note moyenne entre 2 et 2,5) ou correctes (élèves ayant obtenus une note moyenne de 3) par rapport à celles attendues, le pourcentage de ceux qui donnent des réponses scientifiquement satisfaisantes (une note égale à 3) progresse, il est de 25% alors qu'il n'était que de 11% environ au post-test1 et de moins de 2% au pré-test.

Il y a donc de plus en plus d'élèves qui proposent une hypothèse proche de l'explication scientifique des phénomènes en jeu. L'apprentissage semble donc renforcé entre le post-test1 et la passation du post-test2 deux semaines plus tard. Comme pour les résultats au post-test1, ces résultats moyens du post-test2 sont soumis à des analyses statistiques (comparaisons de moyennes au moyen du t de student) en fonction des différents facteurs étudiés : niveau scolaire, groupe d'appartenance et sexe. L'analyse montre qu'il existe une différence significative pour les résultats moyens obtenus au post-test2, $t = -2,69$, $p < 0.01$, entre les élèves de Ce2 (2,24) et ceux de Cm2 (2,43). Cet effet du niveau n'apparaît qu'à partir du post-test2, puisqu'il n'est pas significatif pour les résultats obtenus au post-test1. Ainsi, à partir du post-test2, un élève de niveau Cm2 explique en moyenne plus correctement un phénomène scientifique qu'un élève de Ce2.

Les résultats indiquent de même qu'il existe un effet significatif du groupe d'appartenance sur les résultats obtenus au post-test2. Les élèves qui ont effectué une expérimentation lors de la phase d'entraînement expliquent mieux en moyenne les phénomènes scientifiques deux semaines plus tard que ceux qui ont écouté le discours explicatif du maître. En effet, les résultats montrent qu'il existe une différence significative pour les performances moyennes réalisées au post-test2 ($t = -3,76$, $p < 0.01$), entre les élèves du groupe contrôle (2,17) et ceux du groupe expérimental (2,44).

Pour ce qui a été de l'impact du sexe, les résultats montrent qu'il n'a exercé aucun effet significatif. En effet la performance réalisée par les filles (2,33) au post-test2, n'est pas significativement différente de celle réalisée par les garçons (2,33), $t = 0.06$, $p = 0.95$.

La réalisation d'une analyse de régression de la variable dépendante Moyenne Post-tests2 en fonction des différents paramètres niveau, groupe d'appartenance, sexe et moyenne pré-tests donne les résultats du tableau 8.

Tableau 8 : Impact des facteurs niveau scolaire, groupe d'appartenance, sexe et moyenne pré-tests dans l'explication des performances aux post-tests2.

Variables	Modalités en référence	Modalités actives	Coef	Sign
Sexe	Fille	Garçon	-0.02	Ns
Groupe	Contrôle	Expérimental	0.22	<.01
Niveau scolaire	Ce2	Cm2	0.20	<.01
Résultat pré-test			0.27	<.01
R²			13.59%	

Les résultats indiquent qu'il y a un impact significatif du niveau sur les résultats au post-test2. Le fait d'être en Cm2 apporte 0,2 point de plus aux résultats que l'élève de niveau Ce2. Cet impact n'apparaît qu'à long terme, ici au bout de deux semaines. Ainsi, un élève de Cm2 va à long terme mieux construire un savoir scientifique qu'un élève de niveau scolaire inférieur Ce2. On constate ensuite qu'il y a un impact significatif du groupe d'appartenance des élèves. Les élèves du groupe expérimental gagnent 0,22 point de plus que ceux du groupe contrôle au post-test2. Les élèves qui ont reçu un apprentissage reposant sur une expérimentation, construisent mieux le savoir scientifique avec le temps qu'un élève ayant appris par cours magistral.

Pour ce qui concerne le sexe de l'élève, les résultats montrent qu'il n'y a aucun effet. Quel que soit le sexe, les élèves semblent apprendre et profiter des mêmes expériences de manière similaire.

Enfin, les résultats montrent qu'il y a un impact significatif du pré-test sur les résultats obtenus en post-test2. En effet, le pré-test apporte 0,27 point sur les résultats obtenus au post-test2. Ce résultat est néanmoins inférieur à l'impact du pré-test sur les résultats obtenus au post-test1. Avec le temps, l'effet du pré-test sur les performances tend à s'estomper.

Les paramètres niveau scolaire, groupe d'appartenance, moyenne pré-test expliquent environ 14% de la variance mesurée sur les résultats au post-test2. Il existe donc d'autres facteurs qui interviennent dans l'explication de la variance.

Des analyses de régression prenant en compte les paramètres niveau scolaire seul, groupe seul, moyenne pré-test seul, permettent de mieux apprécier l'impact de chacun de ces paramètres sur les résultats au post-test².

Les résultats sont présentés dans le tableau 9.

Tableau 9 : Pourcentage de variance des performances réalisées au post-test¹ expliqué par les paramètres groupe d'appartenance et moyenne réalisée au pré-test.

Pourcentage variance expliquée	R ²	Coeff.
Niveau scolaire	3,0%	+ 0,19 p< 0.01
Groupe d'appartenance	6,0%	+0,27 p<0.01
Moyenne pré-test	5,4%	+ 0,27 p< 0.01

Ici, l'analyse de régression montre que le niveau scolaire a un effet significatif sur les résultats au post-test². Ce paramètre explique 3% de la variance mesurée.

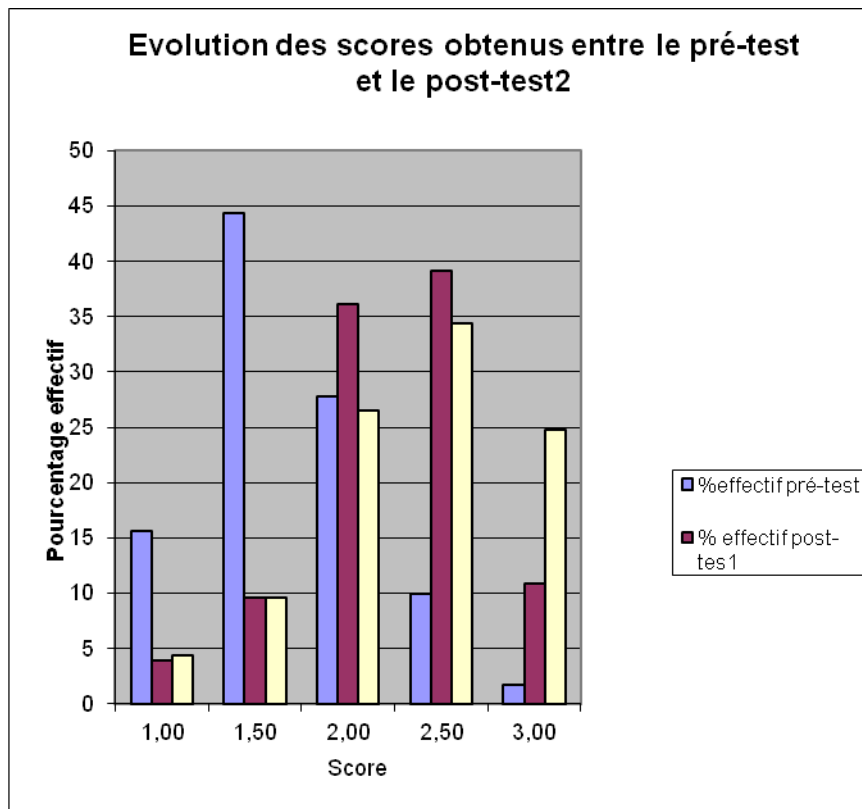
Par ailleurs, les résultats soulignent qu'il existe un effet significatif du groupe d'appartenance sur les résultats au post-test 2. Ce facteur explique pour sa part 6% de la variance mesurée.

Par conséquent, l'effet du groupe sur la variance mesurée est plus important à long terme que juste après la phase d'entraînement.

Ces résultats confirment qu'il existe toujours un effet significatif des résultats du pré-test sur les résultats obtenus en post-test². Ce paramètre explique environ 5% de la variance. Cette valeur est inférieure à celle au post-test¹. Ainsi, avec le temps, l'effet du pré-test est remplacé par d'autres paramètres.

La figure suivante représente un histogramme récapitulatif montrant comment les scores ont évolués entre pré-test et post-test.

Figure 1 : Histogramme des scores obtenus entre pré-test et post-test.



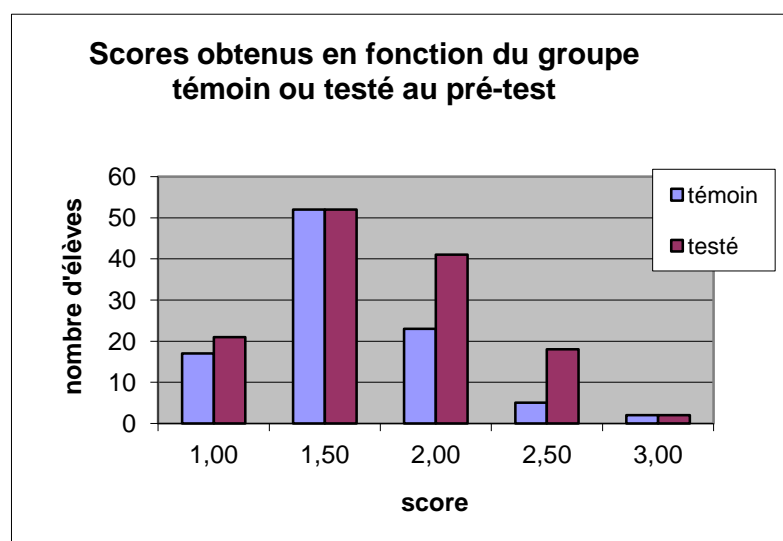
Cette figure récapitule l'évolution des scores entre le pré-test et le post-test.

Alors qu'au pré-test la note moyenne se situe autour de 1,5, ce qui signifie que les élèves donnent des hypothèses en désaccord avec le savoir scientifique en jeu, on constate que la note moyenne passe à 2,5 (les élèves donnent des réponses plutôt satisfaisantes au regard du savoir scientifique en jeu) au post-test1 et post-test2. Il y a un gain de 1 point.

On note cependant que si la note moyenne reste la même (2,5) entre le post-test1 et le post-test2, l'évolution du pourcentage d'élève obtenant la note maximale fait plus que doubler entre post-test1 et post-test2. Cette figure montre aussi qu'entre post-test1 et post-test2 le pourcentage d'élèves obtenant un score de 1 et 1,5, ne change pas. Globalement on constate que les élèves ont obtenu des scores de plus en plus meilleurs entre pré-test et post-test2.

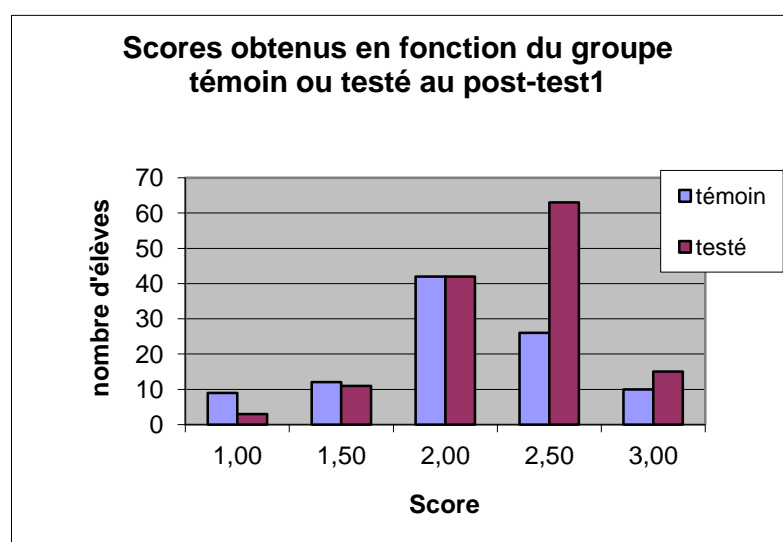
Au niveau des groupes d'appartenance, les figures 2,3 et 4 récapitulent sous forme d'histogrammes l'évolution comparée des scores obtenus en fonction entre le pré-test et le post-test2.

Figure 2 : Scores en fonction du groupe témoin ou testé au pré-test



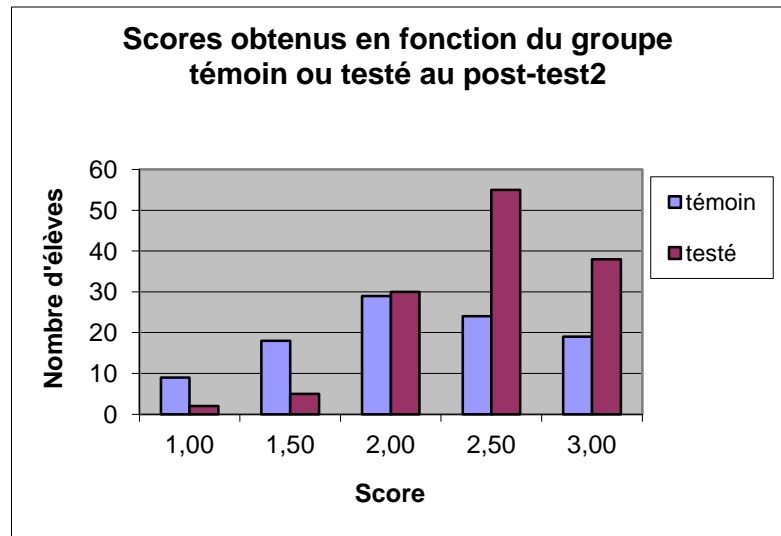
Au pré-test, les scores sont répartis de manière similaire pour les deux groupes. Pour les deux groupes, les scores sont faibles (scores majoritairement autour de 1,50).

Figure 3 : Scores en fonction du groupe témoin ou testé au post-test1



Au post-test1, les scores progressent pour les deux groupes. Cependant la progression est plus forte dans le cas du groupe testé.

Figure 4 : Scores en fonction du groupe témoin ou testé au post-test 2



Entre le post-test1 et le post-test2, les scores s'améliorent car il y a plus d'élèves qui obtiennent le score maximal de 3. Ce constat est plus manifeste dans le groupe testé que pour le groupe témoin.

2. Analyse qualitative.

2.1. Analyse des résultats obtenus au pré-test.

Les réponses recueillies au pré-test sont l'occasion de connaître les représentations initiales des élèves pour les phénomènes scientifiques évoqués au cours de l'expérimentation.

▪ Pour le niveau Ce2

- Les réponses relatives au sujet 1 portant sur « état et changement d'état de l'eau » sont présentées dans le tableau 10. On y trouve les réponses proposées pour la question concernant « le contenu des bulles lors de l'ébullition de l'eau » ainsi que leur fréquence.

Tableau 10 : Fréquence des réponses proposées par les élèves au pré-test1 en Ce2

Réponse	Nombre de fois	Fréquence en %
« vapeur et chaleur »	19	15,32%
« de l'air, vent »	47	37,90%
« eau »	26	20,96%
« gaz »	18	14,51%
« eau + savon »	5	4,03%
« produit »	4	3,22%
« liquide »	2	1,61%
« vapeur d'eau »	2	1,61%
« fumée »	1	0,8%
Total	124	100%

Pour bon nombre d'élèves, il y a de l'air dans les bulles lorsque l'eau bout. Quelques uns considèrent qu'il y a un gaz (14,51%), d'autres qu'il y a de l'eau (20,96%). Alors que le phénomène d'ébullition est vécu quotidiennement par les élèves, ils n'expliquent pas scientifiquement la diminution de l'eau dans la casserole à mesure que s'échappent des bulles. Le phénomène de changement d'état physique de l'eau n'est pas évoqué par les élèves.

-Pour le sujet 2 portant sur « la matérialité de l'air », on retrouve le même constat dans les réponses proposées par les élèves.

Le tableau 11 propose les fréquences exprimées en pourcentage des différentes réponses proposées par les élèves.

Tableau 11 : Fréquences en pourcentage des réponses élèves

Réponse	Nombre de fois	Fréquence en %
« l'eau rentre la bouteille avec bouchon »	73	58,8%
« l'air empêche l'eau de rentrer dans la bouteille bouchée »	27	21,7%
« La bouteille bouchée flotte, sans bouchon coule »	13	10,5%
« L'eau rentre avec production de bulle avec bouchon »	10	8,1%
« l'eau rentre un peu dans le cas avec bouchon sinon complètement sans bouchon »	1	0,8%

Ainsi, dans le pré-test², beaucoup d'élèves associent l'absence de matière solide ou liquide à du vide. Une grande majorité (58,8%) d'entre eux considère que l'eau va rentrer dans une bouteille « vide » avec son bouchon que l'on plonge verticalement et dont la base est ouverte. Pour ce type de réponse on trouve environ les deux tiers des réponses. Parmi les autres élèves, certains considèrent que l'eau ne va pas rentrer mais sans trop pouvoir dire pourquoi, ils évoquent brièvement la flottaison de la bouteille bouchée (13%). Enfin quelques réponses sont considérées comme justes (27%) avec la bonne explication. Une dizaine d'élèves évoque la production de bulles sans trop pouvoir expliquer clairement (10%).

▪ **Pour le niveau Cm2**

-Pour le niveau Cm2, le pré-test 1 porte sur le changement d'état physique de l'eau gazeuse en eau liquide. Le test demande à l'élève d'expliquer un phénomène qu'il côtoie

quotidiennement depuis son enfance : la formation de gouttelettes d'eau à la surface d'un objet froid.

Le tableau 12 indique les réponses proposées en fréquence.

Tableau 12: Fréquence des réponses recueillies pour le sujet 1 (Cm2)

Réponse N°	Nombre de fois	Fréquence en %
« C'est la manifestation ou la matérialisation du froid ou du chaud »	61	58,09%
« C'est le résultat d'un choc, entre le chaud et le froid, ou entre une température basse et une température haute »	28	26,66%
« C'est le fait que l'eau traverse la bouteille, comme une transpiration »	11	10,47%
« C'est un problème d'optique : le soleil permet de voir l'eau qui existait déjà sur la paroi. ».	1	0,9%
« C'est le contact d'un gaz ou de l'air avec l'objet froid »	4	3,81%
Total	105	100%

L'analyse des réponses montre que les élèves se représentent différemment le même phénomène. Tout d'abord, il est important de noter que la très grande majorité des élèves donne une explication de l'apparition de l'eau sur le corps froid par un raisonnement différent de celui donné en science. Cela se traduit ainsi par les scores présentés dans le tableau 3.

Il n'y a que quelques réponses qui se rapprochent de celle attendue scientifiquement. Néanmoins, sur les différentes explications inventoriées, certaines sont très fréquentes.

Pour ce sujet, les différentes réponses rencontrées se résument autour des propositions suivantes:

Les deux premières réponses du tableau étaient les plus citées. La première l'est deux fois plus que la seconde. Les élèves ont donc des représentations initiales du phénomène qui diffèrent du savoir scientifique en jeu.

-Pour le sujet 2, portant sur le mouvement apparent du soleil et le déplacement des ombres, l'analyse qualitative des réponses données dans le pré-test montre que beaucoup d'élèves utilisent les connaissances scientifiques pour expliquer le phénomène d'ombre et son déplacement journalier.

Le tableau 13 suivant indique la fréquence des réponses données.

Tableau 13 : Fréquence des réponses recueillies pour le sujet 2 (Cm2)

Réponse	Nombre de fois	Fréquence en %
« le déplacement est du au mouvement de la Terre autour du soleil »	31	29,52%
« A cause du mouvement du Soleil dans le ciel »	51	48,57%
« Le Soleil donne l'ombre dans les arbres »	7	6,66%
« C'est le résultat d'une différence de réchauffement de l'arbre par le soleil, le côté le plus froid produit l'ombre »	4	3,81%
« L'ombre est la conséquence de la chaleur : Plus il fait chaud, plus il y a de l'ombre »	6	5,71%
« L'ombre est la conséquence du vent qui fatigue le soleil »	6	5,71%
Total	105	100%

Ils expliquent correctement que l'ombre d'un arbre se déplace parce que la Terre tourne autour du Soleil (29,52%). Ils positionnent convenablement la position de l'ombre d'un objet éclairé par le Soleil. Un nombre conséquent d'élèves proposent des réponses (48,57%) qui sont proches de celle attendue. En effet ils considèrent qu'il y a mouvement de l'ombre à cause du mouvement du Soleil au cours de la journée dans le ciel. Ou encore ils ne

positionnent pas correctement l'ombre par rapport à l'objet et au Soleil. Les autres réponses sont très peu citées.

A l'issue du post-test1, les réponses sont plus en accord avec le savoir scientifique.

Deux semaines plus tard, les élèves répondent pour la plupart, correctement au post-test2.

Au pré-test, les élèves ont obtenu en moyenne un score de 1,50 c'est-à-dire que la connaissance scientifique est peu mobilisable dans la pratique quotidienne des élèves (Porchet 2002, Convert 2003, Charvet 2004). Ce score signifie qu'en moyenne les réponses fournies sont dans la plupart des cas différentes de ce qui est attendu scientifiquement. Dans l'analyse quantitative, on aurait pu s'attendre à un effet par rapport à l'âge, c'est-à-dire de meilleures réponses en CM2 même au pré-test qu'en Ce2: ce n'est pas le cas. Cela peut s'expliquer par le caractère tenace des représentations initiales qui se manifestent à tous les âges. Cela indique, en outre, que les élèves rencontrent des difficultés à transférer des connaissances scientifiques scolaires dans le quotidien. Peut-être est-ce la cause d'une différence de culture de pensée entre savoir scientifique et savoirs quotidiens comme le proposent Hawkins et Pea (1987).

2.2. Analyse des résultats obtenus aux post-tests (post-test1 et post-test2).

L'analyse des réponses recueillies aux post-tests est l'occasion d'apprécier comment évoluent les représentations initiales des élèves après les phases d'entraînement pour les phénomènes scientifiques en jeu.

▪ Pour le niveau Ce2

Concernant le sujet portant sur « état et changement d'état de l'eau », les réponses apportées au post-test sont davantage en accord avec le savoir scientifique. Le tableau 14 donne les différentes réponses proposées par les élèves.

Tableau 14 : Fréquence des réponses recueillies pour le sujet 1 post-test1 (Ce2)

Réponse	Nombre de fois	Fréquence en %
«Le linge sèche car l'eau s'évapore»	25	20,2%
«Le linge sèche à cause du soleil »	55	44,3%
«Le linge sèche à cause du vent »	23	18,5%
«Le linge sèche en dégoulinant »	21	16,9%
Total	124	100%

La plupart des élèves expliquent le séchage du linge ou du tableau en évoquant le phénomène d'évaporation de l'eau liquide sous l'action de la chaleur et du vent.

Sinon quelques élèves proposent la réponse suivante: « Le linge sèche en dégoulinant », c'est-à-dire que l'eau s'en va sous forme de petites gouttelettes, la transformation de l'eau liquide en eau gazeuse n'est donc pas évoquée.

Le nombre des réponses de ce type diminue quand on passe du post-test1 au post-test2. Le tableau 15 indique les réponses données par les élèves.

Tableau 15 : Fréquence des réponses recueillies pour le sujet 1 post-test2 (Ce2)

Réponse	Nombre de fois	Fréquence en %
«Le tableau sèche car l'eau s'évapore»	33	26,6%
«Le tableau sèche à cause du soleil »	11	8,9%
«Le tableau sèche à cause du vent »	67	54,0%
«Le tableau aspire ou absorbe l'eau »	13	10,5%
Total	124	100%

Ils ne sont plus qu'environ une dizaine à écrire que « Le tableau sèche parce que l'eau entre dans le tableau » ou encore « Le tableau absorbe l'eau de l'éponge ».

Pour le sujet 2 portant sur la matérialité de l'air, et après les séquences d'entraînement (manipulation et leçon orale), les élèves sont de plus en plus nombreux à évoquer l'existence d'un autre état de la matière qui est le gaz et en particulier l'existence de l'air. Ils constatent que c'est un état de la matière qui échappe aux sens et que c'est l'air qui est responsable de l'impossibilité pour l'eau de rentrer dans la bouteille ou encore des bulles qui se forment à l'extrémité de la paille. Pour ce sujet, les réponses recueillies varient entre deux modalités :

- « l'absence de matière liquide ou solide signifie vide », cette réponse étant incorrecte scientifiquement.

- « Présence d'une matière à l'état gazeux, l'air ». Cette réponse étant celle attendue sur le plan scientifique.

Au post-test, la majorité (environ 60%) des élèves explique la situation proposée en évoquant l'existence de l'air. Ils sont conscients que l'air occupe tout espace laissé libre par la matière solide et liquide.

▪ **Pour le niveau Cm2**

Concernant le sujet portant sur le passage de la vapeur d'eau en eau liquide, les réponses données au post-test¹ montrent qu'il y a plus d'élèves qu'au pré-test qui expliquent la formation de l'eau sur l'objet froid par le phénomène de condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air. Ainsi, à l'issue de la phase d'entraînement par expérimentation pour le groupe expérimental ou par discussion seule, pour le groupe contrôle, il y a un plus grand nombre d'élèves (environ 15 %) qui utilise le savoir scientifique pour expliquer la formation de la buée. Aucun élève n'explique cela par la transpiration ni en évoquant un phénomène optique. Cependant, tout en étant moins nombreux qu'au pré-test, des élèves continuent à considérer cela comme la manifestation du froid ou par le choc de température. Ce sont les seuls types de réponses qui sont toujours proposées aux post-tests après la phase d'entraînement en dehors de la réponse correcte.

Deux semaines plus tard, l'évolution constatée entre le pré-test et le post-test¹ se confirme : 40% d'élèves utilisent la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air, pour expliquer la formation des gouttelettes d'eau sur un Floup. La majorité des autres réponses sont proches de celle-ci. Il existe encore quelques réponses pour lesquelles certains élèves continuent de s'expliquer la formation des gouttelettes par la manifestation du froid. On trouve en effet des

réponses du type : « quand le Floup sort du congélateur, il se déglace, ce qui fait qu'il y a de l'eau qui apparaît dessus. ». Ce constat laisse supposer que suivant la représentation initiale, le processus déconstruction - reconstruction du savoir scientifique est plus rapide. En effet, les représentations initiales les moins fréquentes semblent être plus rapidement remplacées par le savoir scientifique tant en Ce2 qu'en Cm2.

Pour le sujet 2 qui interroge le mouvement apparent du soleil et le déplacement des ombres, les réponses proposées sont pour la plupart en accord avec le savoir scientifique. On observe le même type d'évolution que dans les cas précédents: après la phase d'entraînement, les élèves ont utilisé davantage la connaissance scientifique pour expliquer la formation et le déplacement de l'ombre d'un arbre que les explications qu'ils proposaient dans le pré-test. En effet ils étaient 61,9% à proposer une réponse scientifiquement correcte. Au post-test² le pourcentage de réponses correctes est de 72,4%.

III- Discussion

1. Interprétation des résultats du pré-test.

L'analyse descriptive des résultats obtenus aux pré-tests montre qu'il n'y a pas d'effet significatif lié aux différents paramètres : sexe, niveau et groupe d'appartenance sur les scores moyens obtenus. Elle traduit de ce fait une assez bonne homogénéité des groupes avant l'expérimentation. Il apparaît par ailleurs que les élèves expliquent les phénomènes autrement que par l'explication scientifique ce qui se traduit par des scores faibles au pré-test. Le score moyen étant en effet de 1,50. L'analyse qualitative, permet d'affiner les informations précédentes, puisque l'inventaire des types de réponses proposés montre, d'une part, que le schéma explicatif utilisé ne correspond pas au savoir en question, mais, d'autre part, que les élèves proposent une diversité d'explication pour un même phénomène. Cela corrobore certains auteurs.

En effet, comme le disent Delacôte et Tiberghien, (1994), ainsi que Driver (1985), Anderson (1986), Giordan et Martinand (1986), les enfants développent des idées sur le monde qui les environne dès leur plus jeune âge. Ils possèdent, avant d'aborder tout enseignement, des idées sur les questions étudiées : ce sont les représentations initiales. Ils construisent ces idées sur des observations fortuites, des événements non étudiés, l'acceptation des « on dit » Harlen (2004). La nature des réponses et les explications des élèves concernant les phénomènes mis en jeu montrent par ailleurs qu'ils élaborent des idées qui ont une apparence scientifique,

logique et cohérente (Giordan, 1998), et que ces représentations initiales existent à tous les niveaux, ici Ce2 et Cm2 (Astolfi, 1998).

Ainsi, les élèves considèrent qu'il n'y a pas de matière dans une bouteille vide car ils ont l'habitude d'appréhender la matière (solide ou liquide) en utilisant le toucher et la vue. Or, dans le cas de l'air, les sens ne permettent pas de constater son existence. L'élève se construit donc un raisonnement simple et logique (Giordan, 1998) : « Comme je ne vois pas, et comme je ne touche pas donc il n'y a rien ».

Quelques élèves expliquent la formation des bulles lors de l'ébullition de l'eau par la présence de savon, il faut très probablement interpréter cette réponse en disant que l'enfant utilise ce qu'il sait déjà lorsqu'il joue c'est-à-dire que pour des bulles, il faut de l'eau et du savon.

Un autre exemple de réponse concernant la formation des gouttelettes à la surface d'une paroi froide : « La formation de l'eau sur l'objet froid est due au fait que l'eau traverse la bouteille, comme une transpiration ». Ici, l'interprétation la plus plausible est que l'élève est habitué au corps humain qui transpire, c'est pour lui une preuve que l'eau est capable de traverser une paroi solide, donc se propose ce schéma explicatif simple dans le cas de la bouteille froide à l'air. Dans le cas des élèves qui considèrent que la formation de l'eau sur la paroi de l'objet froid pourrait provenir du résultat d'un « choc » entre le chaud et le froid, ils se représentent le chaud et le froid comme une substance qui subit une transformation du même type qu'une transformation chimique. L'histoire de l'élaboration de la notion de chaleur nous permet de mieux comprendre cette représentation et de rejoindre Chauvel (1990, p.8) citée en introduction de la première partie théorique lorsqu'elle affirme : « Dans son approche du réel, l'enfant se trouve dans un état d'esprit similaire à celui des premiers chercheurs de l'Antiquité, état d'esprit où prédomine l'imaginaire, l'affectivité, où l'intuition joue un rôle essentiel, et où l'explication n'a pas besoin d'être unique. C'est à partir de leurs confrontations successives qu'ils réélabore ses propres représentations. » En effet, un article de Halbwachs (1980) analysant cette construction historique, indique que la notion de chaleur est le résultat de deux courants de chercheurs : le premier qualifié de substantialiste remonte à l'Antiquité avec la première tentative de description de la chaleur et aux quatre qualités de la matière d'Aristote : le chaud, le froid, l'humide et le sec. Dans ce système explicatif qui semble rejoindre celui des élèves (quand ceux-ci dans leur réponse considèrent le chaud et le froid comme une matière), il y a indistinction entre qualité et substance, ce qui conduira à s'interroger sur le caractère pesant du chaud et du froid. Le second courant dit mécaniste va de son côté considérer la chaleur comme un échange de mouvement entre les particules de la matière. Les élèves qui ont expliqué la formation de l'eau sur la paroi froide de la bouteille

par un choc entre le chaud et le froid ou entre température froide et chaude illustre bien ce courant mécaniste.

Ainsi la diversité des réponses pour le même phénomène est en accord avec Chauvel quand elle affirme que pour l'élève, « l'explication n'a pas besoin d'être unique ».

Par ailleurs, hormis l'aspect scientifique qui se dégage des réponses aux pré-tests, il faut aussi noter un caractère imaginaire, intuitif comme l'évoque l'auteur. Par exemple, pour expliquer la formation de l'ombre, certains élèves proposent : « l'ombre est le résultat d'une différence de réchauffement de l'arbre par le soleil, le côté le plus froid produit l'ombre ».

Selon Giordan (2002), pour qui une conception dépend du contexte socio-culturel dans lequel elle est émise, pourrait expliquer en partie la réponse de l'échantillon d'élèves étudiés en Martinique. En effet dans le contexte local, l'expression, « cho-frèt » en créole par exemple, est utilisée pour traduire la formation des gouttelettes d'eau sur un objet qui sort d'un milieu froid. De même, les élèves sont habitués à associer la transpiration à la chaleur, c'est très probablement pourquoi certains considèrent que la bouteille transpire lorsqu'elle sort du froid, parce qu'à l'extérieur, il fait plus chaud que dans le congélateur. D'après Giordan et Martinand (2002), l'élève prend très souvent lui-même comme modèle d'explication. Cet égoïsme constitue d'après ces chercheurs un obstacle à une mise en doute de sa pensée et à l'écoute réelle d'autrui. Les réponses des élèves sont aussi teintées d'animisme, c'est à dire qu'une force anime toute chose. Par exemple, certains élèves proposent comme réponse : « le soleil donne l'ombre dans les arbres » ou encore « le vent fatigue le soleil pour donner l'ombre ».

2. Interprétation des résultats au post-test1

Au post-test1, les résultats quantitatifs montrent qu'il n'y a pas d'effet significatif du sexe, du niveau de classe. Par contre, il existe un effet significatif du groupe expérimental et des scores au pré-test sur les scores au post-test 1. L'effet du pré-test étant supérieur à celui du groupe.

Ensuite, l'analyse qualitative des résultats entre le pré-test et le post-test montre qu'une représentation initiale est personnelle car il y a toujours une diversité de réponses pour une même question posée, et que cette représentation peut évoluer. Son évolution correspond à une construction progressive du savoir. Cette transformation est lente et complexe et se réalise à travers les situations vécues. L'histogramme de répartition des scores obtenu au pré-test et post-test confirme que l'acquisition d'une connaissance s'effectue dans le temps (Giordan & Martinand, 2002).Ceux-ci proposent une évolution par palier successif. Pour Bachelard

(1938), l'évolution de la pensée de l'enfant se fait de façon dialectique, cela demande de choisir les activités et rechercher des contre-exemples qui feront évoluer ces conceptions premières. Ceci traduit une certaine complexité et une lenteur du processus d'appropriation du savoir qui passe par des chemins détournés et complexes.

D'ailleurs, 13,5% des élèves utilisent un autre schéma explicatif même après l'étape d'entraînement. Ce sont très probablement des élèves qui ont suivi passivement le contenu de cette phase d'entraînement, sans avoir été accroché par le phénomène étudié. On peut aussi traduire ce résultat par le fait que ce sont des élèves qui ont participé au débat dans la classe, qui ont expérimenté, mais qui n'ont pas adhéré au nouveau schéma explicatif auquel la classe est parvenue. Cette supposition semble la plus probante dans la mesure où dans toutes les classes, tous les élèves étaient très motivés et ont participé activement lors des séances de passation des tests et des activités d'entraînement. Cela laisse supposer ici que ces élèves ont besoin d'un temps plus long pour déconstruire leur représentation initiale afin d'accepter le savoir scientifique ou encore que l'activité expérimentale n'a pas eu un effet suffisamment « percutant » pour bousculer leur conception initiale.

En s'appuyant sur ces résultats qualitatifs et ceux de l'analyse quantitative qui indiquent qu'il existe une différence significative entre la moyenne obtenue au post-test en fonction du groupe d'appartenance, il est donc possible de valider l'hypothèse que l'apprentissage d'une notion scientifique qui se fait à partir d'un support expérimental est plus efficace que celui qui conduit l'élève à écouter le maître. En effet, les résultats obtenus par le groupe expérimental aux post-test¹ sont meilleurs que ceux obtenus par le groupe contrôle. Les élèves du groupe expérimental c'est-à-dire ceux qui ont réalisé une expérimentation entre le pré-test et le post-test¹ donnent en moyenne de meilleures réponses au post-test¹ que ceux qui n'ont pas expérimenté mais qui ont écouté le discours du maître. Par conséquent, l'apprentissage d'une notion scientifique avec un support expérimental semble plus efficace que l'apprentissage par simple écoute du discours de l'enseignant. Ce résultat va dans le sens de ce qui est développé par de nombreux chercheurs tels que Kant qui érige l'action des mains comme l'une des « bases de l'entendement humain », Dewey auteur du « Learning by doing », Freinet, Charpak (2005) avec « la main à la pâte ». De même, Giordan (1998, p.118) affirme que « c'est en expérimentant (un geste), en testant (une hypothèse), en soupesant (une idée), que l'on apprend. » Il ne suffit pas d'engranger l'expérience d'autrui ou d'écouter l'autre pour apprendre. De son côté Harlen (2004, p.89) considère que «[...]quand pensée et action sont étroitement liées : l'enfant comprend en manipulant lui-même ». D'autres pensent comme l'écrit Giuseppin « qu'un enseignement des sciences physiques qui n'aurait aucun support

expérimental ne réussirait qu'à une élite apte à conceptualiser dans l'abstraction ». Or d'après les données concernant le développement cognitif de l'enfant (Piaget, Balpe), l'on sait que celui-ci commence à conceptualiser dans l'abstrait qu'à partir de la classe de quatrième de collège. Avant ce stade, il a besoin du support matériel concret pour conceptualiser. Les résultats obtenus vont dans ce sens puisque l'échantillon sur lequel l'étude est menée est constitué d'élèves du primaire. C'est-à-dire d'élèves qui ont besoin du support matériel pour apprendre (Balpe, 1991).

Enfin, l'analyse quantitative révèle un impact du pré-test sur les résultats au post-test1 comme le laissait envisager l'analyse qualitative. Pour chaque point obtenu au pré-test, l'élève gagne 0,4 point au post-test1. Cela semble indiquer que le niveau initial des élèves est déterminant pour la déconstruction de la représentation initiale et la construction du savoir scientifique. Ainsi il est possible de considérer que suivant la conception initiale de départ, celle-ci pourrait plus ou moins facilement évoluer vers le savoir scientifique. L'impact du pré-test s'explique très probablement par le fait qu'il bouscule la représentation en place en générant un conflit cognitif chez l'élève. Cela l'oblige à confronter les arguments et à se rendre compte de la fragilité de sa représentation initiale.

En résumé, l'utilisation du travail expérimental apparaît comme un outil qui permet d'acquérir plus efficacement les notions scientifiques. Le passage de la représentation initiale de l'élève vers le savoir scientifique est un processus complexe et qui s'opère efficacement avec le temps. Dans cette construction du savoir scientifique, le niveau initial de l'élève et en particulier sa conception initiale est déterminante.

3. Interprétation des résultats au post-test2

La comparaison des résultats entre les deux post-test montre qu'il y a davantage d'élèves qui donnent la réponse scientifiquement attendue à l'issue du post-test 2 que du post-test1. Cela montre que la construction du savoir s'effectue avec le temps.

L'analyse quantitative montre que le pourcentage d'élèves donnant une réponse incorrecte sur le plan scientifique (score inférieur ou égal à 1.5) reste le même qu'au post-test1. Cela traduit la ténacité des représentations initiales chez certains élèves qui semblent ne pas encore trouver intérêt à déconstruire leur représentation initiale au profit de l'explication scientifique. Parmi ces élèves on trouve de ceux qui ont obtenu un bon score au post-test1 et qui donne un score médiocre au post-test2. Alors qu'ils semblaient avoir construit le savoir scientifique, ces élèves réutilisent leur représentation initiale face à une autre situation. Cela semble corroborer

l'idée de juxtaposition des représentations initiales et du savoir construit développée par Vygotsky (1985). Ensuite, les résultats obtenus au post-test² confirment l'efficacité d'un apprentissage reposant sur un support expérimental comparativement à celui reposant sur l'écoute de l'enseignant. Les résultats montrent que cette efficacité augmente avec le temps car un élève du groupe expérimental gagne 0.22 point de plus qu'un élève du groupe contrôle au post-test² alors qu'il en gagnait 0.12 de plus au post-test¹.

Dans la mesure où, de nombreux chercheurs (Giordan, Vygotsky, Piaget, Balpe....) montrent que « apprendre » passe par l'évocation des représentations initiales des élèves pour les faire évoluer vers le savoir scientifique construit, il en résulte que le support expérimental fait évoluer plus efficacement les représentations initiales vers le savoir scientifique que la leçon orale de l'enseignant. Cela confirme l'analyse faite au post-test¹. Il est possible de considérer que le conflit cognitif qui s'est déroulé dans la classe durant l'expérimentation ou simplement durant le discours du maître s'est déplacé sur le plan individuel pour générer un conflit cognitif interne à chaque élève entre le post-test¹ et le post-test². Ceci expliquerait l'importance du temps. Ensuite, il semble très probable que la réalisation de l'expérience constitue une situation qui mobilise davantage l'élève dans la recherche de la réponse aux questions qui se présentent à lui que le discours. L'analyse de régression montre cependant que d'autres paramètres viennent expliquer pour une certaine proportion les différences enregistrées entre le groupe contrôle et le groupe expérimental. Ces effets apparaissent avec le temps. C'est le cas du niveau des élèves : un élève en Cm2 va significativement évoluer vers le savoir construit plus efficacement qu'un élève de Ce2. Il est possible que l'élève de Cm2 possède davantage de capacité à mobiliser le processus de « déconstruction-reconstruction » que l'élève de Ce2 (Giordan, 1998). Compte tenu de son âge plus avancé, l'élève de Cm2 a déjà été confronté en classe à plus de situations qui le déstabilisent sur le plan cognitif que l'élève de Ce2.

Les résultats montrent aussi qu'il existe une corrélation entre les résultats du pré-test et ceux du post-test² mais en moindre importance comparativement à l'impact sur le post-test¹. Comme pour le post-test¹, on peut encore affirmer que ce résultat laisse envisager un caractère déterminant du niveau initial de l'élève. Suivant sa conception initiale de départ, celle-ci peut plus ou moins facilement changer vers un savoir scientifique construit. Il est possible d'évoquer comme explication, la solidité des arguments avancés par l'élève pour justifier sa conception initiale. Plus l'argumentation est cohérente pour l'élève, plus la déconstruction va être longue et va demander des contre arguments appropriés (Giordan, 1998). En dehors de ces facteurs, il existe d'après l'analyse de régression d'autre(s)

paramètres à prendre en compte qui n'ont pas été étudiés dans ce travail. En effet, les résultats obtenus aux différents tests peuvent être corrélés par exemple aux facteurs tels que les catégories socio- professionnelles des parents, le cadre de vie de l'élève (milieu rural ou urbain).

Pour ce qui concerne le déroulement des phases d'entraînement pour les deux groupes, l'observation des élèves montre que dans les deux cas, il s'instaure une discussion entre les élèves encadrée par l'enseignant. Les résultats montrent qu'il y a une augmentation des performances pour les deux types d'entraînement (expérimentation et cours magistral). Pour le groupe contrôle, la problématique étant proposée, les élèves alimentent la discussion en apportant chacun un élément de réponse, des hypothèses, des questions. En se contredisant, en se complétant, ils parviennent progressivement à formuler des réponses scientifiquement correctes validées par l'enseignant. Ainsi, la qualité du débat instauré dans la classe, l'encadrement assuré par l'enseignant ou encore la situation problème utilisée pour provoquer le conflit sociaux cognitif peuvent constituer d'autres exemples de facteurs que ceux proposés plus haut pouvant avoir un impact sur la construction du savoir par l'élève. Néanmoins, l'impact est plus important dans le cadre d'une expérimentation. Pour le groupe expérimental, en effet, l'approche de la discussion est autre. En exécutant les protocoles expérimentaux, les élèves amènent eux même le débat. A partir de leurs observations, hypothèses, questionnement, argumentations, exprimés à haute voix, s'instaure une discussion dans la classe, encadrée par l'enseignant. Le débat est plus animé que dans le cas précédent car chaque élève apporte sa contribution. La motivation est plus grande et aucun ne semble se sentir exclu. Les discussions partent de chaque petit groupe avant de trouver écho auprès de toute la classe. Le consensus autour de la formulation scientifique de la réponse à la problématique de départ est plus large. Il se dégage du groupe une impression de satisfaction, d'acquiescement contrairement au groupe contrôle où cette impression ne semble émaner que chez les élèves les plus motivés. Ces résultats viennent confirmer Giordan (1998, p.121) selon lequel, « formuler à haute voix ses idées permet de les « voir » autrement. Les écrire augmente leur cohérence et leur organisation ».

Pour résumer, cette première étude suggère que l'expérimentation apparaît comme une activité efficace qui amène les élèves non seulement à entrer dans un conflit socio-cognitif dans la classe, mais à entrer en conflit avec eux même. Cette activité favorise ainsi l'évolution de la pensée de l'enfant de façon dialectique, comme l'écrivait Bachelard (1938) et la raison du progrès serait liée au fait que les divers points de vue en opposition sont portés par des sujets co-présents et interagissant Astolfi (1998). Cette étude a mis aussi en relief

l'existence de différents paramètres qui influencent l'impact d'une activité expérimentale sur l'apprentissage d'une notion scientifique, comme c'est le cas, par exemple, de la représentation initiale de l'élève. Elle a amené à constater que suivant la représentation initiale, le processus de déconstruction - reconstruction peut être plus facile. Tout cela amène logiquement à d'autres questions afin de voir dans quelle mesure elle pourrait permettre de dégager des conclusions plus complètes.

Tout d'abord pour ce qui concerne l'organisation du recueil des données, Il semble important que les points suivants soient mieux considérés dans la suite de ce travail :

- Les questions doivent être comprises par l'ensemble des élèves de manière similaire et donc tous les élèves doivent pouvoir y répondre avec les mêmes capacités.
- Le mode de passation des tests par écrit a permis de ne pas trop perturber l'activité des enseignants, cependant il a peut être empêché certains enfants d'exprimer réellement leur représentation initiale (par exemple à cause de difficulté pour traduire par écrit leur pensée)
- La constitution des groupes pourrait être revue. Dans la mesure où l'étude montre le caractère déterminant de la représentation initiale du pré-test sur les résultats aux post-tests, il serait peut être plus pertinent d'effectuer une catégorisation des représentations initiales comme le propose Sallaberry (2004) afin de constituer ensuite les groupes pour le post-test. Il serait peut être plus intéressant de travailler avec des élèves ayant la même représentation initiale afin d'étudier véritablement l'impact de l'expérimentation sur l'apprentissage.

Ensuite, pour ce qui concerne l'exploitation des données, les points suivants doivent être mieux pris en compte pour la suite de l'étude :

- La notation des réponses fournies peut être source de biais, du fait que le questionnaire proposé est à questions ouvertes. Les réponses peuvent être disparates, mal interprétées par le chercheur, et donc être mal évaluées. Il faudrait par exemple recueillir les données par entretien ce qui demandera plus de temps, mais une meilleure compréhension des réponses formulées par les élèves.
- Il serait beaucoup plus prudent de travailler sur un temps plus long afin de connaître véritablement l'importance de la transformation observée et surtout pour mieux se positionner entre la théorie de Piaget (évolution des conceptions initiales en savoir) et celle de Vygostsky (1991) (juxtaposition des représentations initiales et du savoir). Pour cela il faudrait faire les post-tests à plusieurs moments de l'année scolaire et plus.

Les résultats de cette première phase de la recherche, donnent un certains nombre d'éléments intéressant pour poursuivre par l'étude de la façon dont s'opère le changement des conceptions. Cela permettrait de mieux intervenir, et d'utiliser les méthodes appropriées pour améliorer l'apprentissage ou encore se positionner en matière d'évolution des conceptions initiales entre « abandon de la représentation initiale au profit du savoir » selon Piaget, ou « évolution en terme de juxtaposition de la représentation et du savoir » défendu par Vygotsky.

Dans la partie suivante on s'intéresse aux paramètres de la situation expérimentale qui impactent l'émission d'hypothèse. Il s'agit de savoir s'il est possible d'agir sur certains paramètres de la situation expérimentale pour améliorer la transformation des hypothèses initiales des élèves vers le savoir scientifique. En effet, après avoir recensé les représentations des élèves, certaines semblent évoluer vers le savoir scientifique plus rapidement que d'autres face à la situation expérimentale. On cherche ainsi à déterminer les raisons de cette différence pour mieux cibler les méthodes à utiliser dans l'apprentissage.

Conclusion

Dans ce chapitre, l'intérêt porte sur le cas de l'apprentissage de concepts en sciences physiques dans le primaire. Plus particulièrement, il s'agissait d'étudier l'impact de l'expérimentation sur l'apprentissage d'un savoir scientifique dans le primaire comparativement à un enseignement reposant seulement sur le discours magistral.

Cela paraît évident aujourd'hui de dire qu'il n'est pas possible d'enseigner les sciences sans expérimentation. Précisons que cela n'a pas toujours été le cas, l'histoire de l'enseignement des sciences physiques le prouve. Actuellement, dans tous les programmes scolaires il est indiqué d'accompagner l'enseignement théorique par des travaux pratiques pour une meilleure construction du savoir scientifique chez l'élève. L'expression « construction du savoir par l'élève » est maintenant préférée à celle de « transmission du savoir par le maître » autrefois employée, depuis que de nombreux chercheurs cités dans ce travail ont montré qu'au cours de leur vie, les individus construisent le savoir scientifique à partir de leurs représentations dites initiales ou naïves du monde qui les environne. La connaissance de celles-ci est essentielle pour l'enseignement car ces représentations mentales sont souvent très éloignées des représentations explicites que sont les modèles scientifiques. Elles peuvent ainsi constituer des obstacles à l'apprentissage, d'autant plus qu'elles ont un caractère implicite. Tous les acteurs du système éducatif sont sensibles au fait que les élèves possèdent avant tout apprentissage d'un concept leur schéma explicatif.

Désormais, apprendre procède du processus de déconstruction –reconstruction. Il faut en effet avant tout apprentissage faire émerger les conceptions initiales des élèves afin d'orienter l'action didactique pour une transformation de ces conceptions vers le savoir construit.

Les représentations initiales (ou connaissances naïves) se distinguent des savoirs scientifiques enseignés. Elles sont personnelles, cohérentes, tenaces, logiques mais sont erronées au regard de la vérité scientifique. Apprendre un nouveau concept, demande à l'enfant de faire évoluer cette connaissance naïve vers le savoir scientifique. Pour ce faire, l'hypothèse avancée dans ce sixième chapitre a été de considérer l'expérimentation par les élèves comme un outil didactique plus efficace qu'une simple écoute d'un cours magistral dispensé par l'enseignant.

En travaillant sur une population d'élèves de primaire, l'étude met en évidence, l'existence de représentations initiales construites par les élèves avant tout apprentissage. Celles-ci sont implicites et dans la plupart des cas, différentes du savoir scientifique en jeu mais elles restent logiques cohérentes dans l'esprit des élèves. Ainsi, pour un même phénomène, on dénombre

plusieurs représentations initiales. Ces représentations évoluent plus ou moins rapidement lorsqu'elles sont éprouvées par une situation qui bouscule leur logique ou leur cohérence.

L'analyse statistique des données recueillies montre que l'expérimentation ainsi que le cours magistral ont un impact significatif sur l'évolution des représentations initiales en savoir construit. Cependant, une activité expérimentale réalisée par l'élève constitue un outil plus efficace qu'une explication orale de l'enseignant pour entraîner la transformation de la représentation initiale erronée vers un savoir scientifique. Avec le temps, différents facteurs présentent un impact significatif sur la transformation des représentations initiales. Alors que le sexe n'a aucun impact, les représentations initiales des élèves apparaissent comme un facteur déterminant. La transformation semble plus ou moins efficace en fonction de la représentation initiale. De même, le niveau scolaire influe significativement sur la transformation des représentations.

D'après cette étude, d'autres facteurs expliquent l'impact de l'expérimentation sur l'apprentissage. Il s'agit maintenant d'interroger l'existence ou pas de paramètres au niveau de la situation expérimentale qui pourraient améliorer l'impact de l'expérimentation sur la transformation des représentations initiales des élèves.

CHAPITRE VII

**LA CONSTRUCTION DE L'HYPOTHESE :
LES PARAMETRES IMPORTANTS.**

I- Méthode

1. Population

L'étude est menée dans le secondaire au niveau collège. L'échantillon est constitué de 101 élèves d'un collège situé à Fort-de-France en Martinique. La composition de cet échantillon est donnée dans le tableau 16.

Tableau 16 : Composition de « l'échantillon collège »

Niveau	Cinquième		Quatrième		Troisième	
Nombre	22		63		20	
Dont garçons(G) Filles (F)	14 G	8F	33G	30F	7G	13F
Age moyen	12 ans et 9mois		13 ans et 6 mois		14 ans et 10mois	

2. Recueil des données

2.1. Méthode de recueil des données.

Les considérations évoquées précédemment concernant les recommandations des didacticiens sont reprises ici et sont prises en compte dans le mode de recueil des données. Ainsi, le questionnaire proposé à l'échantillon « collège » a été conçu pour recueillir les hypothèses des élèves sur des situations de la vie courantes ou expérimentales. Il ciblait les facteurs intrinsèques à la situation pouvant influencer l'émission d'hypothèse. Le même questionnaire a été proposé à différents niveaux d'élèves (5^e, 4^e, 3^e).

2.2. Le matériel

Pour cet échantillon, les thèmes évoqués dans les situations sont vus aux programmes de physique-chimie. En cinquième, on étudie le thème de l'eau. Ce thème est évoqué ici dans des situations proches de celles évoquées dans l'échantillon « primaire ». En quatrième la gravitation est abordée. Mais les élèves disposent déjà des acquis sur ces thèmes depuis le primaire. Pour chaque thème, les situations sont présentées sous forme d'une courte affirmation accompagnée ou pas d'un schéma à compléter. On invite les élèves pour certains

sujets à formuler leur hypothèse par écrit ou à choisir dans une liste d'hypothèses proposées en justifiant par écrit dans les espaces laissés libres. Dans certains cas, ils doivent compléter un schéma accompagné d'une justification traduisant ainsi leur état de pensée. Pour certaines situations, la fiche réponse est très détaillée. Il est demandé aux élèves de noter les questions, les constats, les analogies ainsi que les connaissances qu'évoque chez eux la situation étudiée. L'objectif étant de rechercher le ou les mécanisme(s) de production d'une hypothèse. Les différents questionnaires utilisés sont rassemblés en annexes.

2.3. Procédure de passation des tests.

L'expérimentation se déroule dans des classes de 5^e, 4^e et 3^e en fin d'année scolaire pendant une heure. Les professeurs étant plus disponibles, ils procèdent à la passation du questionnaire dans leur classe sans préciser aux élèves qu'il s'agit d'un recueil de données pour un travail de recherche. Chaque élève répond sur sa fiche réponse. Dans la mesure où l'on cherche à interroger la production d'hypothèses, toute communication est interdite entre les élèves au cours de la séance. Ainsi, lorsqu'un élève manifeste une incompréhension, l'enseignant apporte l'explication nécessaire.

3. Méthode utilisée pour l'analyse des données.

Comme pour l'échantillon primaire, les productions des élèves pour l'échantillon collège sont essentiellement du texte puisqu'ils formulent des hypothèses. Dans un premier temps, les réponses sont répertoriées par catégories dans la mesure où les élèves ne donnent pas forcément une réponse de nature hypothèse. Nous utilisons pour cela, la catégorisation des représentations proposée par Sallaberry (2004) dans le but de regrouper et quantifier les réponses. Dans un deuxième temps, elles ont été dépouillées et rangées en fonction des paramètres étudiés.

II- Résultats

1. Présentation des activités proposées aux élèves

1.1. Thèmes utilisés

Les situations proposées aux élèves proviennent de trois thèmes :

- La pesanteur sur la Terre et sur la Lune
- La condensation de la vapeur d'eau
- La poussée d'Archimède

1.2. Catégorisation des types d'activités proposées

Les situations proposées sont de trois types :

- Situation que l'on peut qualifier d' « éloignée » pour les élèves lorsque ceux-ci ne la rencontrent pas dans leur quotidien, ou n'ont pas l'opportunité de l'expérimenter.
- Situation « habituelle » ; c'est une situation que l'élève rencontre dans son vécu.
- Situation « de pensée » ; c'est une situation d'expérimentation par la pensée. On demande aux élèves d'anticiper les résultats d'une situation.

1.3. Canevas suivi pour traduire les hypothèses

Avant de rédiger leurs hypothèses, on demande à chaque élève de renseigner par écrit, autant que possible les différentes rubriques suivantes :

-« Les questions suscitées par la situation proposée ».

Cette rubrique vise à déceler par exemple si l'élève a rencontré des difficultés de compréhension de la situation. Elle permet aussi d'analyser comment les élèves procèdent pour débiter l'élaboration d'une hypothèse. L'élève se pose-t-il des questions dans le processus d'élaboration de son hypothèse ? Les questions ont-elles une fonction particulière ?

-« Ce qu'il constate de la situation proposée »

Cette rubrique a été proposée pour étudier comment l'élève utilise les données de la situation. Les utilise-t-il ? Dans l'affirmative, quels types de données recueille-t-il dans la situation ? Comment les données de la situation interviennent-elles dans la formulation d'une hypothèse ?

-« Ce à quoi la situation lui fait penser »

C'est pour chercher à savoir si l'élève relie la situation proposée à une ou d'autres situations. L'élève utilise-t-il l'analogie avec d'autres situations pour élaborer son hypothèse ?

-« Ce qu'il sait en lien avec la situation »

Les élèves utilisent-ils les connaissances scientifiques déjà acquises. Construisent-ils leurs hypothèses à partir de leurs connaissances scientifiques ?

1.4. Exploitation des hypothèses recueillies

A partir des hypothèses formulées, on cherche à déterminer si une structure particulière se dégage des hypothèses formulées. Par exemple est ce que la structure de l'hypothèse fait intervenir à la fois les données de la situation, les connaissances scientifiques déjà acquises, les situations analogues ou privilégie-t-elle l'un de ces différents aspects ?

2. Situation-1 : Représentation de la pesanteur

2.1. Activité 1

2.1.1. Présentation et objectifs

Le thème de la situation 1 est la pesanteur sur la Lune comparée à celle sur la Terre. Les activités proposées portant sur ce thème peuvent être qualifiées d'« éloignées » pour les élèves. En effet ceux-ci n'ont pas l'occasion de vivre des situations où la pesanteur change ou d'expérimenter dans ces conditions.

Le choix de ces activités « éloignées » vise à rechercher si les élèves adoptent dans ce cas un comportement particulier dans la construction de leur hypothèse : utilisent-ils les données de la situation ou vont-ils rechercher les résultats de situations analogues pour élaborer leur hypothèse ?

Dans l'activité 1 on demande aux élèves de donner une explication à la situation suivante :

« Lorsque le cosmonaute se déplace sur la Lune, il fait des bonds alors que sur la Terre, il fait des pas. Quelle explication proposes-tu ? »

2.1.2. Résultats

Avant de formuler leurs hypothèses, certains élèves ont renseigné les différentes rubriques proposées sur le questionnaire.

- Les élèves se sont posé les questions suivantes:

En cinquième : « Pourquoi la gravité sur la Terre est différente de celle sur la Lune ? »

En quatrième, on retrouve la question précédente mais aussi deux autres : « Pourquoi le cosmonaute fait des bonds sur la Lune et pas sur la Terre ? » ainsi que « Pourquoi les hommes ou les objets flottent dans l'espace ? »

En troisième, la question est formulée de la façon suivante : « comment et à cause de quoi le cosmonaute fait-il des bonds ? »

On note que beaucoup d'élèves n'ont pas renseigné cette rubrique. Peut-être parce qu'ils n'aiment pas trop écrire. Dans les réponses recueillies, on constate une évolution de la

formulation des questions avec le niveau scolaire : alors que les élèves de 5° et 4° se posent la question du « Pourquoi ? », ceux de 3° s'interrogent sur le « Comment ? ». Ces deux interrogations renvoient à des niveaux de difficultés différentes. Si les élèves de 5° et 4° se contentent du pourquoi c'est-à-dire de la cause, les élèves de 3° se positionnent dans une dynamique de tentative d'explication du fait proposé.

- Au niveau des constats faits par les élèves on peut noter :

En cinquième et en quatrième, que les élèves relèvent plutôt la différence entre « pas » et « bonds ». En troisième, c'est la « légèreté » du cosmonaute sur la Lune qui a retenu l'attention des élèves.

- Pour ce qui concerne les analogies avec une autre situation:

En cinquième on trouve : « un crapaud qui saute au ralenti » ou encore « les aventures de Tintin : on a marché sur la Lune ». En quatrième, cette situation évoque : « quand on est dans l'eau », « un ballon gonflé qui rebondit », « Niels Armstrong ». En troisième, les élèves proposent les mots « gravité », « attraction », « masse », « ballon ».

- Pour la rubrique « je sais que » : on constate que les réponses sont plus nombreuses.

En cinquième, les élèves abordent les points suivants : « apesanteur sur la lune », « gravité sur la terre », « plus de gravité sur la Lune que sur la Terre », « plus il y a de la pesanteur, plus les bonds sont petits », « pas d'oxygène sur la Lune », « pas d'oxygène ni de gravité dans l'espace », « la pesanteur sur la Lune est différentes de celle sur la Terre ».

En quatrième, on trouve : « la gravité n'est pas la même sur toutes les planètes », « il y a de l'apesanteur sur la Lune et de la gravité sur la Terre », « pas d'atmosphère sur la Lune », « grâce à la Lune on est collé contre la Terre comme un aimant(mais je ne comprends pas trop comment ?) », « il y a beaucoup moins de gravité sur la Lune que sur la Terre », « la Terre tourne sur elle-même pas la Lune », « La gravité n'est pas stable », « il y a une force dans l'espace ».

En troisième les élèves évoquent les mots « pesanteur », « gravité », « masse », « gravité différente », « pas de gravité sur la Lune ».

Les hypothèses proposées par les élèves sont rassemblées dans les tableaux 17,18 et 19 suivants. Chaque tableau correspond à un niveau scolaire.

Tableau 17 : Hypothèses formulées en 5° pour la situation1

Niveau : 5°				
Effectif : 32 sujets				
Situation1 : « Lorsque le cosmonaute se déplace sur la Lune, il fait des bonds alors que sur la Terre, il fait des pas. »				
Hypothèses formulées	Nbre de réponse	Fille	garçon	%
« le cosmonaute fait des bonds sur la Lune parce qu'il y a l'apesanteur sur la Lune »	7	2	5	21,9
« Le cosmonaute fait des bonds sur la Lune parce qu'il n'y a pas de gravité ou moins de gravité »	12	2	10	37,5
« parce que dans l'espace il y a de la gravité »	2	0	2	6,25
« à cause de la pression de l'espace »	1	1	0	3,1
« parce que les masses sont différentes sur la Lune et sur la Terre »	1	0	2	3,1
« parce qu'il n'y a pas d'atmosphère sur la Lune donc pas de gravité »	2	1	1	6,25
« l'atmosphère sur la Lune est différente de celle de la Terre »	2	2	0	6,25
« il y a une force élastique à la surface de la Lune »	1	0	1	3,1
« la Lune et la Terre sont deux planètes différentes »	1	1	0	3,1
Pas de réponse	3	2	1	9,4

Tableau 18 : Hypothèses formulées en 4° pour la situation 1

Niveau : 4°				
Effectif : 78 sujets				
Situation 1 : « Lorsque le cosmonaute se déplace sur la Lune, il fait des bonds alors que sur la Terre il fait des pas ». Quelle explication proposes-tu ?				
Hypothèses formulées	nbre	Fille	Garçon	%
« Parce que la nature du sol de la Lune est différente de celui de la Terre »	2	2	0	2,6
« Parce qu'il y a l'apesanteur sur la Lune, pas de gravité »	30	12	18	38,5
« il n'y a pas d'atmosphère sur la lune donc pas de gravité, pas de masse »	14	7	7	17,9
« la gravité de la lune est moins forte que sur Terre »	12	5	7	15,4
« Attraction moins forte sur la Lune »	2	0	2	2,6
« C'est à cause de la différence de température de l'atmosphère de la Terre et de la Lune »	1	1	0	1,3
« à cause de la gravité de sur la Lune »	4	2	2	5,1
« à cause de la lévitation sur la Lune »	1	1	0	1,3
« à cause de la pression de l'air »	2	2	0	2,6
« Le poids du cosmonaute sur la Lune diminue »	2	0	2	2,6
« il y a plus de dioxygène sur la Lune que sur Terre »	1	1	0	1,3
« la masse change sur la Lune et sur la Terre »	3	2	1	3,8
« action d'une force au sol sur la Lune »	1	1	0	1,3
Pas de réponse	5	2	3	6,4

Tableau 19 : Hypothèses formulées en 3° pour la situation 1

Niveau : 3°				
Effectif : 23 sujets				
situation 1 : « Lorsque le cosmonaute se déplace sur la Lune, il fait des bonds alors que sur la Terre, il fait des pas ».				
Quelle explication proposes tu ?				
Hypothèses formulées	nbre	Fille	Garçon	%
« la gravité sur la Lune est plus faible que celle sur la Terre. »	11	5	6	47,8
« L'attraction de la Lune est différente de celle de la Terre »	5	3	2	21,7
« La masse diminue sur la Lune »	1	1	1	4,3
« Il y a de la gravité sur la Lune »	2	2	0	8,7
« Pas de réponse »	4	1	3	17,4

2-1-3-Interprétation des résultats

On note une importante participation des élèves. Ils exploitent des données de la situation ainsi que leurs connaissances pour émettre des hypothèses. On note qu'il y a une grande ouverture des hypothèses possibles pour les élèves de 5° et 4°. Cette ouverture est plus resserrée pour les élèves de troisième qui privilégient les connaissances acquises pour expliquer la situation proposée.

2.2. Activité -2

2.2.1. Présentation et objectifs

Dans cette activité, on propose aux élèves la même situation que précédemment, mais formulée autrement. En effet, l'activité 2 consiste à choisir l'hypothèse la plus vraisemblable dans une liste proposée pour la situation suivante : « Quand Niels Armstrong était sur la Lune, il ne pouvait pas marcher comme sur la Terre ! Pourquoi ? ».

Si la situation est similaire à la précédente, par contre on demande aux élèves de faire un choix parmi des hypothèses proposées.

Dans la liste des hypothèses proposées, l'hypothèse « différence de gravité entre la Terre et la Lune » est volontairement enlevée. En effet, dans l'activité précédente, les élèves ont beaucoup évoqué les mots « gravité, pesanteur ou apesanteur ». En proposant des formulations qui n'utilisent pas ces mots, l'élève fait le choix de l'hypothèse qui traduit sa représentation de la situation. On propose trois « types » d'hypothèses (Tableau 20), celles reposant sur un paramètre observable de la situation, celles construites en s'appuyant sur une situation analogue, celles reposant sur un savoir.

Tableau 20 : « Types » d'hypothèses proposées

Hypothèses utilisant un savoir	Hypothèse utilisant un paramètre observable de la situation	Hypothèse utilisant une situation analogue
« Il n'y a pas d'atmosphère sur la Lune » « le volume de la Lune est plus petit que celui de la Terre » « la masse de la Lune est plus petite que celle de la Terre »	« le cosmonaute est trop éloigné de la Terre »	« le sol de la Lune est élastique » « le cosmonaute est repoussé par une force » « la masse du cosmonaute diminue sur la Lune »

2.2.2. Résultats

Les résultats sont donnés dans les tableaux 21,22,23 suivants dans lesquels on trouve pour chaque niveau de classe, les hypothèses retenues et le nombre d'élèves correspondant.

Tableau 21 : Hypothèses choisies en 5° (situation 2)

Niveau de classe 5°				
Hypothèse choisie	Fille	Garçon	Nbre	%
« il n'y a pas d'atmosphère sur la Lune »	1	4	5	15,6
« Le volume de la Lune est plus petit que celui de la Terre »	1	2	3	9,4
« Le cosmonaute est trop éloigné de la Terre »	0	0	0	0
« Le sol de la Lune est élastique »	0	3	3	9,4
« La masse du cosmonaute diminue sur la Lune »	6	8	14	43,7
« La masse de la Lune est plus petite que celle de la Terre. »	1	0	1	3,1
« Le cosmonaute est repoussé par une force »	2	2	4	12,5
Pas de réponse	0	2	2	6,3

Tableau 22 : Hypothèses choisies en 4° pour la situation 2

Niveau de classe 4°				
Hypothèse choisie	Fille	Garçon	Nbre	%
« il n'y a pas d'atmosphère sur la Lune »	14	21	35	44,9
« Le volume de la Lune est plus petit que celui de la Terre »	3	4	7	8,9
« Le cosmonaute est trop éloigné de la Terre »	2	2	4	5,1
« Le sol de la Lune est élastique »	0	0	0	0
« La masse du cosmonaute diminue sur la Lune »	5	6	11	14,1
« La masse de la Lune est plus petite que celle de la Terre. »	1	1	2	2,6
« Le cosmonaute est repoussé par une force »	8	4	12	15,4
Pas de réponse	5	2	7	8,9

Tableau 23 : Hypothèses choisies en 3° pour la situation 2

Niveau de classe 3°				
Hypothèse choisie	Fille	Garçon	Nbre	%
« il n'y a pas d'atmosphère sur la Lune »	3	1	4	17,4
« Le volume de la Lune est plus petit que celui de la Terre »	1	1	2	8,7
« Le cosmonaute est trop éloigné de la Terre »	2	0	2	8,7
« Le sol de la Lune est élastique »	0	0	0	0
« La masse du cosmonaute diminue sur la Lune »	3	4	7	30,4
« La masse de la Lune est plus petite que celle de la Terre. »	0	2	2	8,7
« Le cosmonaute est repoussé par une force »	2	3	5	21,7
Pas de réponse	1	0	1	4,3

2.2.3. Analyse et interprétation

Très peu d'élèves n'ont pas répondu à cette activité.

On observe que pour les trois niveaux, les élèves ont très faiblement proposé l'hypothèse reposant sur le paramètre observable (éloignement par rapport à la Terre).

En cinquième, les élèves ont en majorité (65%) proposé une hypothèse qui leur rappelait une situation analogue. Les autres ont choisi une hypothèse qui utilisait un savoir.

En quatrième, les élèves ont majoritairement (56,4%) proposé une hypothèse reposant sur un savoir.

En troisième, on constate que si les élèves proposent majoritairement (52%) une hypothèse reposant sur une situation analogue, ceux proposant une hypothèse utilisant un savoir constitue le tiers de l'échantillon.

Ces considérations permettent de dire qu'il ne semble pas à priori se dégager une tendance quand au « matériau » qu'ils utilisent pour construire leurs hypothèses.

Quand on analyse par niveau, on constate qu'en cinquième les élèves choisissent d'expliquer le mouvement du cosmonaute sur la Lune par une diminution de la masse de celui-ci. En effet ils associent la « légèreté » d'un objet à la petitesse de sa masse. L'analyse du programme de physique-chimie de la classe de cinquième (B.O. hors série n°5, 25 août 2005) montre que les élèves ont en effet étudié les concepts de masse et de volume ainsi que leur mesure respective au cours de l'année. Ils ont appris que plus la masse d'un objet est grande, plus l'objet est lourd. Les élèves expliquent donc la situation en se focalisant sur le cosmonaute. Ils n'accordent pas d'intérêt à la différence Terre /Lune. Ils proposent donc un schéma explicatif en accord avec leur connaissance. Si les résultats laissaient croire à priori que les élèves proposaient une hypothèse utilisant une situation analogue, dans le fond, ceux-ci se basent sur leurs connaissances scientifiques. On peut proposer que le choix du paramètre masse du cosmonaute vient de la proximité des connaissances apportées par le programme. Remarquons qu'une telle hypothèse est intéressante dans le cadre d'un apprentissage par investigation, car source de progrès pour l'élève. Son prolongement dans la démarche doit amener l'élève à la déconstruire, pour concevoir un nouveau schéma explicatif.

En quatrième, les élèves proposent majoritairement d'expliquer le mouvement du cosmonaute par l'absence d'atmosphère comparativement à ce qui se passe sur la Terre. Dans leur représentation, les objets « flottent » dans l'univers car il y a le vide. C'est l'absence d'atmosphère qui explique le mouvement du cosmonaute sur la Lune. On observe par ailleurs que la mécanique n'est pas au programme de quatrième. On peut supposer que les élèves de quatrième n'utilisent plus majoritairement « la masse » pour expliquer la situation proposée car il n'y a pas de proximité avec les connaissances du programme. Peut-être reviennent-ils alors à leurs représentations initiales pour expliquer cette situation. Ce serait une confirmation de la ténacité des représentations initiales.

En troisième, les réponses proposées par les élèves sont plus variées. Si la « masse » du cosmonaute est davantage proposée, les autres hypothèses sont choisies dans des proportions non négligeables. L'analyse du programme de physique-chimie de troisième mentionne un chapitre sur la gravitation et le poids. Celui est prévu en fin de programme et l'un des objectifs est de faire connaître l'existence de l'action attractive gravitationnelle. Au moment

où les élèves ont passé ce test, le programme de troisième était sur sa fin, c'est-à-dire que les élèves avaient déjà travaillé ce chapitre. Si l'on reprend les résultats de l'activité 1 pour le niveau troisième, on constate que les élèves proposent en effet majoritairement la différence de gravité entre la Lune et la Terre pour expliquer la situation 1. Or lorsque l'on propose aux élèves de choisir dans une liste d'hypothèses celle qui permet d'expliquer une situation similaire, la répartition des réponses démontre une certaine désorientation. On peut expliquer ces résultats en considérant que les élèves de troisième ont enregistré le pourquoi de la situation, c'est-à-dire qu'ils savent pour la plupart dire que c'est la différence de gravité entre la Terre et la Lune qui explique les situations proposées dans les deux activités, cependant ils sont dans leur grande majorité encore en quête du « comment expliquer ? ». Ce constat a d'ailleurs été révélé en amont de leur formulation d'hypothèse de l'activité 1 puisque dans leurs questions, les élèves de troisième évoquaient le « comment ». En leur demandant de choisir une hypothèse pour expliquer la situation de l'activité 2, on montre que les élèves de troisième n'ont pas acquis la représentation scientifique de la gravité. Ils en parlent, mais ils ne sont pas encore en mesure de la réinvestir dans d'autres contextes puisqu'ils ne la possèdent pas. L'hypothèse peut donc être un outil d'évaluation de l'acquisition d'une connaissance.

2.3. Conclusion

Pour cette situation, on peut dire globalement, sans distinction de niveau dans l'échantillon de collégiens, que les élèves utilisent dans leur grande majorité leurs connaissances sur le sujet pour formuler leur hypothèse. Lorsque les connaissances sont oubliées, les élèves reviennent aux représentations naïves pour expliquer la situation. Ainsi, si en début d'analyse il semblait à priori ne pas se dessiner une tendance dans le choix du « matériau » utilisé par les élèves pour leur hypothèse, le croisement des résultats avec d'autres données permettent de les considérer et de les lire autrement. Les élèves de quatrième sont proportionnellement moins nombreux à proposer la différence de gravité car cette connaissance ne figure pas dans leur programme et est très certainement un peu oubliée.

3. Situation 2 : Représentation de la condensation de la vapeur d'eau sur une paroi froide.

3.1. Activité 1

3.1.1. Présentation et objectifs

Le thème de la situation 2 s'illustre quotidiennement dans la vie des élèves. C'est une situation proche de l'élève et qu'il manipule tous les jours. Il s'agit de vérifier si les élèves ont le même comportement quand ils construisent une hypothèse dans le cas d'une situation qui lui est proche que dans une situation éloignée. Le thème porte sur la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air. Ce thème a déjà été abordé dans les programmes du primaire. Il est revenu au programme de cinquième. Mais il faut souligner que les élèves sont confrontés quasi quotidiennement au phénomène de condensation de la vapeur d'eau au contact d'une paroi froide.

Dans la première activité, on propose aux élèves la situation suivante :

« A ton avis, pourquoi il y a des gouttelettes d'eau qui se forment sur la bouteille quand on la sort du réfrigérateur ? »

3.1.2. Résultats

Comme pour la situation précédente, les élèves ont renseigné des rubriques :

Très peu d'élèves ont noté les questions qu'ils se sont posés :

En cinquième, c'est le « pourquoi » de la formation de gouttelettes sur la bouteille ?, en quatrième les élèves se demandent « comment l'eau fait pour devenir glacée » ? « Comment fonctionne le réfrigérateur » ? En troisième les élèves s'interrogent sur « ce qui se passe dans le congélateur ».

Pour ce qui concerne les constats des élèves, en cinquième les élèves évoquent « la glace contenue dans le réfrigérateur et qui refroidit les aliments »; en quatrième, les élèves évoquent « la cause du froid ». En troisième, ils mentionnent « la fusion de la glace, la congélation ».

Cette situation fait penser à « l'eau qui se change en glace » pour les élèves de cinquième, en quatrième elle les renvoie à « la transpiration » ou encore « au couvercle sur une casserole d'eau chaude ». En troisième elle fait penser à « la glace », « au froid ».

Les savoir que les élèves ont mobilisés sont : en cinquième, « l'air contient de minuscules particules d'eau ». « L'eau passe de l'état solide à l'état liquide lorsque la température devient supérieure à zéro degré Célcius ». En quatrième, les élèves n'ont formulé aucune

connaissance, en troisième, ils évoquent « la fonte de la glace » ; « la présence d'eau dans le congélateur qui se frigorifie ».

Les hypothèses formulées par les élèves sont rassemblées dans les tableaux (24, 25, 26) suivants par niveau

Tableau 24 : Hypothèses formulées par les élèves en 5° (situation 3)

Niveau de classe 5°				
Situation 3				
Hypothèse formulée	Fille	Garçon	Nbre	%
« la bouteille est fissurée »	0	4	4	12,5
« condensation de l'humidité de l'air »	3	2	5	15,6
« eau liquéfiée »	3	0	3	9,3
« la bouteille transpire »	0	1	1	3,1
« c'est la rencontre du chaud et du froid »	8	3	11	34,4
Pas de réponse	3	5	8	25

Tableau 25 : Hypothèses formulées par les élèves en 4° (situation 3)

Niveau de classe 4°				
Situation 3				
Hypothèse formulée	Fille	Garçon	Nbre	%
« C'est l'eau de la bouteille »	3	4	7	9,0
« c'est le choc entre le chaud et le froid »	20	16	36	46,1
« C'est la condensation de l'eau de l'air sur la bouteille »	6	7	13	16,7
« C'est la glace du réfrigérateur »	1	3	4	5,1
Pas de réponse	8	10	18	23,0

Tableau 26 : Hypothèses formulées par les élèves en 3° (situation 3)

Niveau de classe 3°				
Situation 3				
Hypothèse formulée	Fille	Garçon	Nbre	%
« Le froid produit de l'eau ; c'est le choc du froid avec le chaud »	2	4	6	26,0
« condensation de l'eau de l'air »	2	2	4	17,4
« la bouteille transpire »	1	0	1	4,3
« c'est le froid du congélateur »	1	1	2	8,7
Pas de réponse	6	4	10	43,5

3.1.3. Interprétation

Les hypothèses formulées se retrouvent pour tous les niveaux. Un faible pourcentage d'élèves propose l'explication scientifique de la formation des gouttelettes d'eau. Or, les états et changement d'état de l'eau ont été vus dans le primaire et sont abordés en cinquième, mais ne figurent plus dans les autres programmes d'enseignement du collège. Les élèves ont donc déjà appris les états physiques de la matière et les changements d'état en particulier dans le cas de l'eau.

On remarque que les conceptions naïves sont largement utilisées pour expliquer la situation. D'autre part on remarque qu'un fort pourcentage d'élèves ne donne pas de réponse, plus particulièrement en troisième. On peut supposer que ces élèves ne proposent pas de réponse car d'une part, ils savent que leurs conceptions naïves n'expliquent pas la situation mais d'autre part, ils ont oublié son explication scientifique. Ainsi, cette situation semble constituée une vraie situation problème pour les élèves, leur attitude n'est pas en effet la même que pour la situation précédente.

Si pour la situation précédente les élèves se sont appuyés sur leurs connaissances scientifiques pour formuler leurs hypothèses, dans le cas présent, la majorité des élèves n'utilisent pas les connaissances scientifiques. C'est la représentation naïve du froid et sa « matérialisation » qui

sont évoquées. Les résultats de la partie A ont montré en effet que les enfants se font une représentation initiale du froid : « La rencontre du froid et du chaud produit de la buée ». C'est d'ailleurs la représentation largement répandue dans la société. En effet, les observations de tous les jours montrent que tout corps froid placé dans l'air ambiant se recouvre rapidement d'une couche de gouttelettes d'eau ou d'une fine couche de glace si le corps est très froid. Ces observations récurrentes ont très certainement amené les personnes à construire de manière empirique la représentation suivante du froid : « le choc chaud- froid produit de l'eau » ou encore « c'est le froid qui produit de l'eau ». Cette réponse n'est pas fausse en elle même, elle devient « incorrecte » lorsque que l'on constate que les personnes (pour ce qui concerne cette étude : les élèves) en font une représentation erronée de ce qui se passe sur la bouteille sortie du réfrigérateur par exemple. En effet, les élèves ne possèdent pas une explication scientifique de la formation de l'eau sur la bouteille. Ils se contentent de considérer la formation des gouttelettes comme étant le résultat de la rencontre du chaud et du froid à l'instar du produit d'une réaction chimique voire pour certains à un fait « qui ne s'expliquent » pas (c'est comme cela !). En posant la question de l'origine de l'eau, les élèves proposent des hypothèses que l'on retrouve déjà dès le primaire. Cela signifie que les élèves construisent leur schéma explicatif très tôt et le conserve quand bien même la connaissance scientifique a été apportée à certain moment de leur scolarité. L'analyse des hypothèses émises montre d'une part que la connaissance scientifique n'a pas supplantée les représentations naïves des élèves, d'autre part, elle interroge l'apprentissage sur sa définition, ses objectifs, son rôle...

3.2. Activité 2

3.2.1. Présentation et objectifs

Dans la deuxième activité, on interroge précisément les élèves sur l'explication qu'ils donnent à « la formation de l'eau sur un corps froid ». Pour donner du sens à la situation, celle-ci est tirée de leur quotidien :

« Quand tu achètes un FLOUP, il y a de l'eau qui apparaît dessus ! Quelle explication proposes-tu ? ».

Le Floup est une glace constituée de sirop de fruit congelé dans des emballages plastiques de forme allongée. Les élèves savent qu'ils ont les doigts mouillés lorsqu'ils dégustent leur Floup. Ils sont donc questionnés sur une situation habituelle. On leur demande de choisir une hypothèse parmi quatre proposées.

3.2.2. Résultats

Les résultats sont rassemblés dans les tableaux (27,28, 29) suivants par niveau.

Tableau 27 : Hypothèses choisies en 5° (activité 2)

Niveau de classe 5°				
Hypothèse choisie	Fille	Garçon	Nbre	%
« C'est l'eau qui sort du FLOUP »	1	4	5	15,6
« C'est de l'eau contenue dans l'air »	2	2	4	12,5
« C'est de l'eau contenue dans le plastique de l'emballage »	1	1	2	6,3
« C'est le froid qui produit de l'eau »	6	12	18	56,3
Pas de réponse	0	3	3	9,3

Tableau 28 : Hypothèses choisies en 4° (activité 2)

Niveau de classe 4°				
Hypothèse choisie	Fille	Garçon	Nbre	%
« C'est l'eau qui sort du FLOUP »	3	2	5	6,4
« C'est de l'eau contenue dans l'air »	11	6	17	21,8
« C'est de l'eau contenue dans le plastique de l'emballage »	2	3	5	6,4
« C'est le froid qui produit de l'eau »	21	26	47	60,3
Pas de réponse	1	3	4	5,1

Tableau 29 : Hypothèses choisies en 3° (activité 2)

Niveau de classe 3°				
Hypothèse choisie	Fille	Garçon	Nbre	%
« C'est l'eau qui sort du FLOUP »	1	1	2	8,7
« C'est de l'eau contenue dans l'air »	2	6	8	34,8
« C'est de l'eau contenue dans le plastique de l'emballage »	0	0	0	0
« C'est le froid qui produit de l'eau »	6	4	10	43,5
Pas de réponse	3	0	3	13,0

3.2.3. Analyse et interprétation

L'analyse des résultats montre que pour tous les niveaux, les élèves utilisent en majorité leurs connaissances naïves pour expliquer le phénomène. Le pourcentage d'élèves utilisant les connaissances scientifiques pour formuler leur hypothèse augmente progressivement mais dans de faibles proportions de la cinquième à la troisième.

3.3. Conclusion

Dans le cas de cette situation « habituelle », ce sont les connaissances naïves qui sont utilisées pour la construction de l'hypothèse. On remarque que beaucoup d'élèves ne réinvestissent pas les connaissances scientifiques apportées en classe. Cela peut s'expliquer soit par oubli, soit à cause de l'ancrage important de leur représentation naïve. Il convient de constater que les connaissances scientifiques liées à cette situation ont du mal à être réemployées dans le quotidien. On pourrait peut-être l'expliquer par un rapport de force défavorable entre la connaissance naïve utilisée massivement dans la société et la connaissance scientifique véhiculée à l'école. L'élève placé entre les deux, choisit de manière spontanée la connaissance naïve. On peut donc supposer que dans le cas d'une situation habituelle, pour laquelle l'élève a construit un schéma explicatif très fréquemment utilisé, c'est majoritairement celui-ci qu'il va ressortir pour expliquer une situation similaire.

4. Situation -3 : Représentation de la poussée d'Archimède

4.1. Activité 1

4.1.1. Présentation

Cette activité fait intervenir la poussée d'Archimède ». On propose aux élèves la situation suivante :

« On prend 3 verres identiques contenant de l'eau au même niveau. On introduit une bille dans chaque verre. On constate que le niveau de l'eau n'est plus le même dans chaque verre ! ».

Les élèves sont invités à anticiper la situation en donnant une explication après avoir évoqué les questions suscitées par la situation, les points constatés, les analogies, les savoirs concernant cette situations.

4.1.2. Résultats

Les tableaux (30,31, 32) suivants indiquent les réponses proposées rassemblées par niveau scolaire.

Tableau 30 : Hypothèses formulées en 5° pour la situation 5

Niveau de classe 5°				
Situation 5				
Hypothèse formulée :	Fille	Garçon	Nbre	%
Le niveau de l'eau dans les trois béchers est différent car :				
« les billes sont de masse différentes »	2	1	3	9,4
«les billes absorbent de l'eau»	1	0	1	3,1
« l'eau s'est évaporée»	0	1	1	3,1
« le poids est différent»	4	2	6	18,8
« les billes ont des volumes différents»	2	3	5	15,6
« les billes sont constituées de matériaux différents »	0	1	1	3,1
« il y a de l'eau dans la bille »	0	2	2	6,3
Pas de réponse	2	11	13	40,6

Tableau 31 : Hypothèses formulées en 4° pour la situation 5

Niveau de classe 4°				
Situation 5				
Hypothèse formulée : Le niveau de l'eau dans les trois béciers est différent car :	Fille	Garçon	Nbre	%
« les billes sont de masse différentes »	9	13	22	28,2
«les billes n'ont pas même volume»	6	10	16	20,5
« il y a un déplacement d'air dans l'eau»	1	0	1	1,3
« le poids est différent»	8	5	13	16,6
« les billes sont différentes»	1	1	2	2,6
« il y a un déplacement d'eau »	1	1	2	2,6
« les billes aspirent de l'eau »	2	3	5	6,4
Pas de réponse	10	7	17	21,8

Tableau 32 : Hypothèses formulées en 3° pour la situation 5

Niveau de classe 3°				
Situation 5				
Hypothèse formulée : Le niveau de l'eau dans les trois béciers est différent car :	Fille	Garçon	Nbre	%
« les billes ont des volumes différents »	2	4	6	26,0
«les billes ont des masses différentes»	3	1	4	17,4
« les billes absorbent de l'eau»	1	0	1	4,3
«les billes sont différentes »	1	0	1	4,3
Pas de réponse	5	6	11	47,8

4.1.3. Analyse et interprétation

Avant de formuler leur hypothèse, certains élèves ont renseigné les rubriques proposées :

Pour les questions suscitées par la situation, les élèves de cinquième s'interrogent sur la grosseur des billes utilisées, sur leur masse, et les interactions qu'elles ont avec l'eau. En quatrième des élèves s'interrogent sur la raison de l'augmentation du niveau de l'eau. En troisième l'interrogation porte sur la masse des billes. Dans leur analyse de la situation proposée, les élèves de cinquième constatent qu'il n'y a pas d'information sur la masse des billes, certains de quatrième s'arrêtent sur l'évolution du niveau de l'eau de même qu'en troisième ou certains élèves se focalisent sur la différence de niveau de l'eau dans les verres.

Il est curieux de constater qu'aucun élève n'a renseigné la rubrique portant sur ce que leur rappelle la situation proposée. C'est étonnant, dans la mesure où ils sont quotidiennement confrontés à des situations analogues. Peut-être n'y ont-ils pas trouvé d'intérêt. Concernant le savoir mis en jeu, en cinquième certains élèves savent que « plus le volume d'un objet est grand, plus il prend de la place ». En quatrième, certains élèves disent que « le volume de l'eau diminue ou augmente selon le poids que l'on met dedans », on trouve aussi « l'eau est constituée de molécules attachées entre elles de même que pour la bille, donc en ajoutant la bille dans l'eau, il y a plus de molécules donc le niveau de l'eau augmente ». Cette réponse montre que l'élève a une représentation de la matière qui lui satisfait puisqu'il lui permet d'expliquer par un raisonnement simple et scientifique une nouvelle situation. Cependant, il sera intéressant plus tard d'exploiter cette même représentation pour amener l'élève à étudier la nature des « liaisons entre les molécules », les changements d'état de la matière, le mélange et la notion de volume de mélange en thermodynamique.... En troisième certains élèves évoquent le fait que « plus le volume d'un objet est grand, plus il prend de la place ».

A partir de tous ces éléments, l'analyse des hypothèses formulées par les élèves montre une grande ouverture des explications possibles en cinquième et en quatrième. On constate que si les paramètres de la situation sont largement utilisés (volume des billes, leur masse...), les élèves n'hésitent pas à solliciter leur imagination. Par contre, en troisième le champ des hypothèses possibles est plus resserré, les élèves privilégient les paramètres de la situation. Les activités suivantes s'intéressent justement à étudier l'impact de la formulation de la situation sur l'élaboration des hypothèses par les élèves.

4.2. Activités 2

4.2.1. Présentation et objectifs

Dans ces activités, on étudie comment l'élève utilise les facteurs de la situation pour construire son hypothèse. L'élève se laisse-t-il guider par les facteurs saillants de la situation ? Ou bien, est-il libre dans l'élaboration de ses hypothèses ?

On considère pour cela une situation expérimentale portant sur la poussée d'Archimède. On fait varier différents paramètres de la situation. On demande aux élèves de donner le résultat attendu dans chaque cas en complétant le schéma de l'expérience et en expliquant la réponse.

4.2.2. Cas 1

4.2.2.1. Présentation

Dans cette situation, les facteurs mis en évidence sont : le matériau constituant les billes ainsi que leur masse. Il n'est pas indiqué que le volume des billes est le même, par contre, l'observation du schéma le montre. Le paramètre volume des billes est donc moins perceptible que les autres.

4.2.2.2. Résultats

Les résultats sont rassemblés dans les tableaux suivants en fonction du niveau scolaire.

Tableau 33 : Paramètres proposés dans l'hypothèse en 5° (situation6)

Niveau de classe 5°				
Situation 6				
Paramètre proposé dans l'hypothèse	Fille	Garçon	Nbre	%
« le matériau constituant les billes »	3	1	4	12,5
« la masse des billes »	4	7	11	34,4
« le volume des billes »	2	1	3	9,4
Pas de réponse	2	12	14	43,7

Tableau 34 : Paramètres proposés dans l'hypothèse en 4° (situation 6)

Niveau de classe 4°				
Situation 6				
Paramètre proposé	Fille	Garçon	Nbre	%
« la masse des billes »	15	22	37	47,4
«l e matériau »	5	8	13	16,7
« le volume des billes»	1	0	1	1,3
Pas de réponse	11	16	27	34,6

Tableau 35 : Paramètres proposés dans l’hypothèse en 3° (situation 6)

Niveau de classe 3°				
Situation 6				
Paramètre proposé	Fille	Garçon	Nbre	%
« La masse des billes»	2	3	5	21,7
«le matériau»	2	0	2	8,7
« le volume des billes»	2	0	2	8,7
Pas de réponse	6	8	14	60,9

4.2.2.3. Analyse et interprétation

Les résultats montrent tout d’abord qu’il y a une importante proportion d’élèves qui ne donnent pas de réponse. C’est plus de la moitié des élèves en troisième. Lorsque l’on considère les élèves qui ont donné une réponse, le pourcentage d’élève ayant proposé une hypothèse utilisant un paramètre « saillant » de l’expérience en 5°, 4°, 3° est respectivement, 83%, 98% et 77%.

On constate que des élèves proposent dans une proportion non négligeable (17% en 5° et 22% en 3°) considèrent que le volume dans les bécjers sera différent car les billes ont des

volumes différents. Ces résultats interpellent dans la mesure où il n'y a aucune information directe indiquant que le volume des billes est différent. L'analyse des schémas complétés par les élèves ayant proposé un effet du volume montre qu'il y a une forte corrélation entre l'ordre des niveaux de l'eau dans le bécher et l'ordre des masses. Tout ce passe comme si les élèves considèrent que plus la masse de la bille est grande, plus sont volume l'est aussi. Si tel est le cas, on peut donc considérer que ce qui a orienté les réponses de ces élèves, est le paramètre « masse des billes ». Dans ce cas de figure, les pourcentages des élèves utilisant un paramètre saillant de la situation se trouve amplifiés.

4.2.3. Cas 2

4.2.3.1. Présentation

Dans cette situation, on suggère l'effet des paramètres suivants : «la couleur de la bille » et « la masse de la bille ». Le paramètre « volume de la bille » n'est pas suggéré de même que le « matériau constituant les billes ». Par contre, comme précédemment, le schéma montre des billes de même diamètre et il est indiqué que toutes les billes sont en fer. Les élèves sont invités à compléter le schéma de l'expérience en précisant le niveau de l'eau dans les trois béchers. Ils doivent aussi souligner le paramètre qui explique la réponse.

4.2.3.2. Résultats

Les tableaux suivants donnent le paramètre proposé pour expliquer la différence du niveau de l'eau dans les béchers. Les résultats sont rassemblés dans les tableaux 36, 37,38, par niveau de classe.

Tableau 36 : Paramètres proposés dans les hypothèses en 5° (situation 7)

Niveau de classe 5°				
Situation 7				
Paramètre proposé	Fille	Garçon	Nbre	%
« le matériau»	2	1	3	9,4
«la masse des billes»	2	2	4	12,5
« le volume des billes»	4	4	8	25
Couleur des billes	1	0	1	3,1
Pas de réponse	2	14	16	50

Tableau 37 : Paramètres proposés dans les hypothèses en 4° (situation 7)

Niveau de classe 4°				
Situation 7				
Paramètre proposé	Fille	Garçon	Nbre	%
« le matériau»	5	9	14	17,9
«la masse des billes»	13	12	25	32
« le volume des billes»	3	1	4	5,1
Couleur des billes	2	0	2	2,6
Pas de réponse	13	20	33	42,3

Tableau 38 : Paramètres proposés dans les hypothèses (situation 7)

Niveau de classe 3°				
Situation 7				
Paramètre proposé	Fille	Garçon	Nbre	%
« La masse des billes»	2	2	4	17,4
«la couleur des billes»	1	1	2	8,7
« le volume des billes»	2	0	2	8,7
Pas de réponse	6	9	15	65,2

4.2.3.3. Analyse et interprétation

Pour cette activité, le pourcentage de « non réponse » est tout aussi important, seulement 35% du groupe en troisième donnent une réponse à la situation proposée. Néanmoins on note que lorsque l'on considère les élèves ayant répondu, les pourcentages d'élèves ayant utilisé l'un des paramètres suggérés par la situation suivent la même tendance que précédemment : les pourcentages sont importants, respectivement 31%, 60% et 75% en 5°, 4° et 3°. On note que le paramètre volume des billes est cité de nouveau de même que le paramètre matériau en 5° et 4°. Cela interpelle puisque les trois billes sont en fer et de même diamètre.

4.2.4. Cas 3

4.2.4.1. Présentation

Cette situation est identique aux précédentes, par contre on suggère ici une influence du « volume de la bille » (bien matérialisé sur le schéma de l'expérience par des billes de diamètres différents), « le matériau constituant la bille », « la masse de la bille » et « la couleur de la bille ». Les élèves complètent le schéma de l'expérience en indiquant le niveau de l'eau dans les béchers et en précisant le paramètre en jeu.

4.2.4.2. Résultats

Les résultats sont rassemblés dans les tableaux (39, 40,41) suivants en fonction du niveau scolaire.

Tableau 39 : Paramètres proposés dans l'hypothèse en 5° (situation 8)

Niveau de classe 5° Situation 8				
Paramètre proposé	Fille	Garçon	Nbre	%
« le matériau»	2	1	3	9,4
«la masse des billes»	1	2	3	9,4
« le volume des billes»	5	5	10	31,3
Couleur des billes	1	0	1	3,1
Pas de réponse	1	14	15	46,8

Tableau 40 : Paramètres proposés dans l'hypothèse en 4° (situation 8)

Niveau de classe 4° Situation 8				
Paramètre proposé	Fille	Garçon	Nbre	%
« le matériau»	4	6	10	12,8
«Le volume des billes»	12	6	18	23,0
« la masse des billes»	5	7	12	15,4
Pas de réponse	16	22	38	48,7

Tableau 41 : Paramètres proposés dans l'hypothèse en 3° (situation 8)

Niveau de classe 3°				
Situation 8				
Paramètre proposé	Fille	Garçon	Nbre	%
« La couleur des billes»	1	1	2	8,7
«la masse des billes»	1	0	1	4,3
« le volume des billes»	2	2	4	17,4
Pas de réponse	8	8	16	69,6

4.2.4.3. Analyse et interprétation

Le nombre de « non réponse » est important et du même ordre que pour les situations précédentes. On remarque par contre que les élèves n'utilisent que les paramètres suggérés pour élaborer un schéma explicatif pour la situation. Pour les trois niveaux, le paramètre « volume de la bille » est le plus utilisé. On constate néanmoins que tous les paramètres suggérés sont utilisés.

4.3. Conclusion

L'étude de ces différentes activités montre que dans le cas d'une situation «de pensée », c'est-à-dire « d'expérimentation par la pensée », où l'élève est amené à anticiper les résultats de la situation, celui-ci mobilise autant que possible ses connaissances en lien avec la situation. S'il ne le peut, il utilise alors ses connaissances naïves. Lorsqu'aucun paramètre de la situation proposée n'est « mis en lumière », les hypothèses proposées par les élèves sont très variées. Cette ouverture des hypothèses possibles se restreint quand le niveau augmente pour l'étude d'une même situation. La formulation de la situation a un impact certain sur les hypothèses formulées par les élèves.

III- Bilan des résultats

Dans le cas d'une situation « éloignée », les élèves mobilisent en premier lieu leurs connaissances. Ils exploitent pour cela les informations de la situation afin de repérer les connaissances à utiliser. Si les connaissances sont insuffisantes, ils font alors appel à leurs connaissances naïves.

S'ils sont dans une situation qu'ils côtoient habituellement, la formulation de leur hypothèse dépendra du « rapport de force » existant entre les connaissances naïves utilisées et les connaissances scientifiques apportées en classe. Si les connaissances scientifiques sont peu ou pas utilisées dans le langage courant pour expliquer la situation dans la vie courante, alors les élèves proposeront plus une représentation naïve.

Dans le cas d'une situation dans laquelle ils doivent anticiper le résultat, le comportement des élèves va dépendre de la présentation de la situation. Si certains paramètres sont clairement mis en lumière, alors les élèves vont majoritairement les utiliser pour élaborer leur hypothèse. S'ils possèdent en plus des connaissances scientifiques en lien avec la situation, alors ils portent majoritairement leur choix sur le paramètre saillant en lien avec leurs connaissances. Autrement ils vont choisir majoritairement le paramètre saillant qui correspond à leur représentation initiale.

D'une manière générale, on peut dire que selon la situation à laquelle ils sont confrontés, les élèves vont utiliser une stratégie pour élaborer leurs hypothèses. Si dans la présentation de la situation, certains paramètres sont mis en évidence, alors ils vont principalement chercher à les utiliser. Autrement, ils vont exploiter leurs connaissances scientifiques ou initiales.

Grace aux résultats de cette partie on peut dire qu'en fonction de ce que l'on souhaite tirer comme information des hypothèses que vont formuler les élèves, il est préférable d'adapter la situation proposée.

Considérons le cas où l'objectif de l'activité consiste à faire émerger les représentations initiales des élèves dans le cadre d'un apprentissage. Il sera plus opportun de proposer aux élèves une situation dans laquelle la formulation de leur hypothèse est le moins guidée possible. Pour cela, il faut proposer une situation dans laquelle les paramètres ne sont pas « éclairés ». La présentation doit être simple et succincte afin d'avoir une variété la plus large des hypothèses formulées par les élèves. Une telle activité peut être très appropriée en début d'un processus d'apprentissage.

Si l'objectif consiste à amener les élèves à tester des paramètres de l'expérience qu'ils auront eux-mêmes proposé au préalable dans leur hypothèse, alors il convient de proposer des situations mettant en « lumière » les paramètres en questions. Ce cas de figure peut être recherché pour éviter une trop grande dispersion des hypothèses des élèves lorsque le matériel pour les tester manque, ou encore lorsque l'on recherche un gain de temps en classe. Dans tous les cas, il est important que l'élève propose lui-même ou se positionne sur une hypothèse avant de chercher à tester une hypothèse.

Chapitre VIII

**CONSTRUCTION D'UN SAVOIR SCIENTIFIQUE EN TERMINALE S.
FONCTION STRUCTURANTE DE L'HYPOTHESE DANS
L'EVOLUTION DE LA PENSEE.
ETUDE A L'ECHELLE CLASSE ET A L'ECHELLE INDIVIDUELLE.**

I- Méthode

1. Population

L'étude est menée dans le secondaire, au lycée. L'échantillon de population dit « échantillon lycée » est constitué d'une classe de 33 élèves de Terminale scientifique spécialité physique-chimie d'un lycée de Fort-de-France à la Martinique. L'échantillon est constitué de 17 filles et 16 garçons. L'âge moyen est de 17 ans. On ne compte aucun redoublant. Le niveau moyen de la classe en physique-chimie est assez convenable. Cet échantillon d'élèves fait parti de la première vague d'élèves ayant expérimenté les nouveaux programmes et les nouvelles pratiques pédagogiques depuis l'école primaire (plan de rénovation de l'enseignement des sciences et techniques à l'école, introduction de la démarche d'investigation dans les pratiques pédagogiques). Ces élèves sont donc habitués à un enseignement basé sur l'interrogation et au cours duquel ils doivent formuler des hypothèses sur les phénomènes étudiés.

2. Recueil des données

2.1. Méthode de recueil des données.

Les mêmes considérations évoquées pour « l'échantillon collège » concernant les recommandations des didacticiens sont reprises ici et ont été prises en compte dans le mode de recueil des données.

Le questionnaire proposé à l'échantillon « lycée » a été conçu pour être passé en une seule séance d'une durée de deux heures. Ce questionnaire avait pour objectif d'étudier le processus d'évolution d'une hypothèse. Il vise dans un premier temps à recueillir les hypothèses de départ (représentations initiales) des élèves en utilisant une situation observée dans la vie courante. En effet les élèves construisent des représentations initiales à partir des situations quotidiennes qu'ils côtoient. Ensuite le questionnaire se propose d'étudier comment les apprenants abordent le phénomène et comment l'expérimentation progressive fait évoluer sa représentation du phénomène étudié. Ici, le questionnaire interroge les états de pensée des élèves à chaque étape et entre chaque étape, le ou les paramètre(s) de l'activité expérimentale qui interviennent dans le processus d'évolution de la pensée.

2.2. Le matériel

Pour cet échantillon, le questionnaire s'intéresse à une seule situation qui débute par une observation de la vie courante que l'on appellera situation déclenchante. On souhaite

étudier ici le processus d'évolution de la pensée depuis l'hypothèse initiale traduisant la représentation initiale de l'élève jusqu'à la transformation de celle-ci en représentation scientifique. Chaque étape de formulation d'hypothèse correspond à un palier traduisant l'état de pensée de l'élève sur la situation. Entre chaque palier de formulation d'hypothèse, l'élève procède à une expérimentation ou réfléchit sur une situation afin d'éprouver son hypothèse. Ainsi, il note les observations faites, analyse les résultats obtenus en les confrontant aux attentes formulées dans son hypothèse avant expérimentation. Le résultat de cette confrontation a pour objectif de conduire l'élève à un nouvel état de pensée qu'il traduit en reformulant son hypothèse. Pour cette étude, le choix du thème à porter sur « le fonctionnement du condensateur ». L'étude de ce dipôle électrique en tant que tel ne figure plus dans le programme de terminale S depuis la rentrée 2012. Un chapitre spécifique lui était consacré jusqu'alors. Chaque année, les élèves de terminales S manifestaient un comportement très particulier lors de la présentation de l'expérience d'introduction du chapitre sur les condensateurs. Avant de leur expliquer le fonctionnement de ce nouveau dipôle, ils devaient formuler une hypothèse pour expliquer le passage momentanée du courant dans un circuit avec condensateur à la fermeture ou à l'ouverture de l'interrupteur. Les différentes hypothèses proposées par les élèves étaient en générale très éloignées de l'explication scientifique du fonctionnement du condensateur dans un circuit. Malheureusement la démarche poursuivie s'arrêtait à l'émergence de ces hypothèses initiales. Il faut préciser que le programme de l'époque ne mentionnait pas de faire faire cette émergence initiale. Leur supposée « déconstruction » n'était pas à l'initiative des élèves eux-mêmes, contrairement à ce que suggèrent les travaux de Giordan(2002), mais apportée par l'enseignant lui-même faute de temps, par nécessité de donner rapidement la connaissance scientifique pour terminer le programme. Aujourd'hui, la démarche par investigation est clairement évoquée dans le programme en tant que méthode pédagogique à mettre en œuvre. Cette pratique pédagogique ouvre le champ à l'investigation en classe par les élèves, elle incite donc à prendre appui sur les hypothèses initiales des élèves et leur demande de les faire évoluer en autonomie sous l'encadrement de l'enseignant. D'ailleurs, aujourd'hui c'est l'élève qui construit son savoir, il n'est plus censé le recevoir sans implication de sa part. L'étude du fonctionnement du condensateur dans un circuit a semblé être un exemple intéressant pour comprendre le processus d'évolution de la représentation de l'élève depuis sa représentation initiale jusqu'à ce qu'il parvienne à la connaissance scientifiquement établie. Ainsi, le questionnaire proposé ici part d'une situation observée dans la vie courante pour amener l'élève à un questionnement et à la formulation de son hypothèse initiale. Des

expérimentations successives amène l'élève à éprouver progressivement son hypothèse de proche en proche jusqu'à approcher la connaissance scientifique. Des espaces libres sont prévues pour que l'élève note par écrit ses résultats.

Les différents questionnaires utilisés sont rassemblés en annexes.

2.3. Procédure de passation des tests.

L'expérimentation s'est déroulée durant deux heures en salle de TP physiques par groupes de TP. (16 élèves pour la premier groupe et 17 pour le deuxième) en fin de mois de septembre. Dans la salle, les élèves étaient répartis par groupes de 4 avec tout le matériel nécessaire pour réaliser les différentes manipulations proposées dans le questionnaire. Après présentation de la situation déclenchante par l'enseignant, un temps d'appropriation du sujet a été nécessaire par les élèves, un débat s'est installé dans la salle dans le but de bien préciser la situation étudiée. Une petite explication a été nécessaire pour indiquer le déroulement de la séance : émission d'hypothèse, expérimentation, réponse sur fiche, reconsidération de l'hypothèse de départ..... Une fois ces éléments donnés, le groupe subdivisé en quatre sous-groupes était en parfait autonomie. Tout en travaillant par groupe de quatre, chaque élève devait renseigner sa fiche réponse. L'objectif étant de d'étudier le processus d'évolution des hypothèses jusqu'à atteindre la connaissance, la communication était permise au sein du groupe. L'enseignant qui est en même temps le chercheur observait l'attitude des élèves, répondait aux questions d'ordre matériel, vérification des montages. L'enseignant n'a pas révélé qu'il s'agissait d'un recueil de données pour une recherche. Au bout de deux heures, les montages étaient défaits, le matériel rangé sur la paillasse pour accueillir le deuxième groupe. La fiche réponse est rendue en fin de séance à l'enseignant.

3. Méthode utilisée pour l'analyse des données.

Les productions des élèves étaient essentiellement du texte puisqu'ils devaient formuler des hypothèses. Dans un premier temps, les réponses similaires ont été rangées ensemble. Ensuite des calculs de pourcentage ont été effectués pour l'étude de l'évolution quantitative mais aussi qualitative des hypothèses proposées par les élèves.

II- Etude de l'évolution de la pensée des élèves à l'échelle classe.

1. Emergence des états de pensée initiale des élèves.

1.1. Objectifs

Deux situations que l'on peut qualifier d'« habituelles » sont proposées. Il s'agit de présenter une situation de questionnement. La comparaison des deux situations et l'utilisation des connaissances acquises en électricité doivent générer un conflit sociocognitif dans la classe que l'on va chercher à exploiter sur le plan individuel chez chacun des élèves.

1.2. Deux situations « habituelles »

Dans le tableau 42 suivant, est indiquée la situation 1 et les réponses proposées par les élèves.

Tableau 42 : Situation 1 et résultats.

Situation 1	« Quand on coupe le courant d'alimentation d'une chaîne Hi Fi quelle observation faites-vous au niveau du voyant lumineux ? »
Réponses	-Le voyant lumineux s'éteint progressivement (22 réponses) -Le voyant lumineux s'éteint après un certain temps. (10 réponses)

La situation 2 proposée et les réponses proposées sont données dans le tableau 43 suivant.

Tableau 43 : Situation 2 et résultats

Situation 2	« Que se passe t-il quand on appuie sur l'interrupteur pour éteindre la lumière dans une pièce par comparaison à la situation précédente»
Réponses	-La lampe s'éteint tout de suite -La lampe s'éteint immédiatement -La lampe s'éteint spontanément -La lampe s'éteint brutalement -La lampe s'éteint instantanément

1.3. Analyse des résultats

L'analyse des résultats pour la situation 1 montrent que tous les élèves ont donné une réponse. Ils ont observé que le voyant lumineux ne s'éteint pas instantanément, mais progressivement. Cette situation a priori « banale » semble avoir déjà retenue leur attention, mais aucun élève n'a semblé être en mesure d'en apporter une explication.

Pour les deux situations, toutes les réponses proposées sont toutes de type R1 selon la catégorisation des représentations proposée par Sallaberry (2002). Dans des formulations différentes, tous les élèves répondent que la lampe s'éteint instantanément pour la situation 2, contrairement au voyant lumineux de la chaîne Hi Fi.

Ces résultats montrent que tous les élèves ont compris qu'il s'agit ici d'interroger une situation courante (qu'ils ont tous déjà constaté) : pour certains appareils notamment — ceux ayant un voyant lumineux — l'extinction de la lumière s'effectue bien après avoir débranché ceux-ci du secteur. Or, dans nombre d'autres situations, ils sont habitués au fait qu'une rupture du courant électrique entraîne un arrêt immédiat du fonctionnement de l'appareil : arrêt de moteur, d'une lampe, d'un appareil électroménager... Les élèves savent par ailleurs d'après leurs connaissances en électricité que l'ouverture de l'interrupteur dans un circuit électrique entraîne la rupture immédiate du courant. Comment s'expliquent-ils cet état de fait ? On peut noter que le choix de cette situation repose sur sa visibilité dans le quotidien des élèves, mais en même temps sur le fait qu'elle soit en décalage par rapport aux connaissances scientifiques acquises par les élèves pour susciter une certaine volonté de comprendre. La situation se présente donc comme un terrain approprié pour faire émerger des représentations de type R2 — cf. la catégorisation des représentations proposée par Sallaberry (2002). Dans la mesure où les circuits tels que la chaîne Hi Fi sont suffisamment camouflés par les boîtiers, cela laisse les élèves en situation de construction d'un schéma explicatif personnel. En outre, le domaine de l'électronique est en général suffisamment éloigné de l'environnement des élèves pour que ceux-ci s'engagent dans une tentative de recherche d'explication scientifique. Ainsi, ils ont compris qu'ils étaient ici dans un processus d'explication de cette situation. Il est important de noter qu'aucun élève n'a donné de réponse à visée interprétative ou de début d'hypothèse (type R2).

1.4. Formulation d'hypothèse initiale.

On demande alors aux élèves de « proposer une ou (des) hypothèse(s) pour expliquer le résultat de leur comparaison ».

Les hypothèses proposées par les élèves sont répertoriées dans le tableau 44 suivant :

Tableau 44: Formulation d'hypothèses « initiales »

Formulation de l'hypothèse	Nombre de réponses
Pas d'hypothèse formulée	2
Il y a une différence entre la vitesse de la lumière et la vitesse du courant.	1
Il y a une différence de fonctionnement du circuit : pour le voyant lumineux (DEL) c'est une baisse de l'intensité, alors dans le cas de la lampe, c'est une rupture de l'intensité grâce à l'interrupteur.	1
Il y a un « reste » de courant qui traverse le circuit dans le cas du voyant lumineux après avoir débranché l'appareil du secteur.	7
Il y a une différence de fonctionnement entre la lampe et la DEL : -à cause de la résistance qui garde le courant -à cause d'un autre composant dans la chaine Hi Fi qui conserve du courant. -à cause du fait que le courant passe différemment dans la DEL et la lampe.	7
-Il y a une différence de fonctionnement entre la DEL et la lampe car la DEL garde l'énergie. -La lampe consomme plus que la DEL, ainsi la DEL termine de consommer le courant après ouverture du circuit.	8
Le temps pour que l'information d'extinction de la lumière n'est pas la même pour les différents appareils.	2
-la différence observée est due à une différence de distance entre les éléments du circuit.	4

1.5. Analyse des représentations « initiales ».

1.5.1. Les paramètres saillants des situations proposées

Les situations proposées diffèrent par :

- La nature des lampes : le voyant lumineux est une DEL rouge, alors que la lampe pour l'éclairage de la pièce est une lampe à filament classique.

-Les circuits sont différents : plus restreint pour la chaîne Hi Fi, mais aussi, ils sont différents de part la nature et nombre des composants du circuit...

-Différence de distance entre le point d'action (l'interrupteur) et le point où se manifeste l'effet (les lampes qui s'éteignent). Ce sont les paramètres qui sont rapidement identifiables que l'on peut qualifier de paramètres saillants.

1.5.2. Analyse des représentations « initiales » recueillies : impact des R1.

De manière générale les réponses proposées sont de type R2 car elles se proposent d'expliquer la différence observée entre les deux situations. Seuls deux élèves ne donnent pas d'hypothèse tout en ayant formulé des R1. Un élève se contente de répondre en formulant une réponse type R1 à savoir : « Il y a une différence entre la vitesse de la lumière et la vitesse du courant ».

L'analyse des R2 montre que 17 élèves soient 53% de l'échantillon attribuent la différence observée dans les deux situations, à une différence de fonctionnement lampe/DEL. Les élèves utilisent majoritairement le paramètre « différence de fonctionnement lampe/DEL » mais sous différentes déclinaisons. On constate que les élèves utilisent le paramètre saillant le plus facilement identifiable. A des conséquences différentes, ils vont rechercher « la cause » dans l'expression d' « une différence ».

On constate que les élèves proposent en moins grand nombre les autres paramètres.

7 élèves considèrent que si le voyant continue d'être éclairé, c'est qu'il « reste du courant dans le circuit » malgré l'ouverture de l'interrupteur. Ici les élèves n'ont pas recherché une différence pour expliquer des conséquences différentes. Ils n'hésitent pas à formuler une hypothèse qui les place dans une position « médiane » : il sont en opposition avec leur connaissances scientifiques puisqu'ils considèrent qu'il y a un « reste » de courant or d'après leur connaissances scientifiques, « il n'y a pas accumulation de charges dans un circuit électrique ». En même temps ils restent en cohérence avec d'autres connaissances puisqu'ils considèrent que si la lampe continue d'éclairer s'est qu'il y a passage d'un courant pendant un certain temps dans le circuit. Cette représentation sous-entend au préalable qu'il y a une différence entre les deux circuits puisqu'il n'y a pas de « reste de courant » qui se manifeste dans le circuit avec la lampe.

On remarque de manière générale, une liaison entre les R2 proposées et les R1 formulées au préalable. En même temps, on constate que les R1 sont liées aux paramètres saillants voire le

plus saillant de la situation proposée c'est-à-dire celui qui est le plus visible : la nature différente des lampes.

L'analyse des R2 montre que les R1 émises au préalable constituent le support pour la formulation de la R2 pour 27 élèves (environ 84% des élèves). Il y a en effet une certaine cohérence entre la R2 formulée et les R1 exprimées. Par exemple, les élèves évoquent, une extinction progressive de la lumière pour le voyant et spontanée pour la lampe. C'est une différence qui se situe au niveau des lampes et qui semblent amener les élèves à proposer comme hypothèse, une différence de fonctionnement de ces deux dipôles. Un autre exemple intéressant traduisant la cohérence entre l'influence des R1 sur la formulation des R2 : après avoir évoqué la différence entre les temps d'extinction lumineuse des deux lampes, un élève propose comme explication : « on observe que le voyant lumineux de la chaîne hi fi s'éteint progressivement car il s'agit d'une baisse de l'intensité du courant, alors que la lumière de la pièce s'éteint spontanément car lorsqu'on appuie sur l'interrupteur, on ouvre le circuit électrique et le courant ne circule plus ». Un autre élève propose comme R2 « dans le cas de la chaîne hi fi il est possible qu'il reste du courant qui circule dans le circuit retenu par la résistance ». Pour deux élèves, il ne semble y avoir aucun lien entre les R1 émises et la R2 formulée. Par exemple, un élève propose comme explication : « la vitesse de la lumière est plus élevée que la vitesse du courant » alors qu'il propose comme R1 au préalable la même différence de temps d'extinction entre les lampes que précédemment. Un autre élève propose d'attribuer la différence de temps d'extinction lumineuse à « la résistance dans les circuits ». Trois élèves restent au stade d'expression de R1 parmi lesquels deux n'apportent aucune réponse. Les hypothèses proposées présentent pour la plupart un caractère vérifiable : elles peuvent donc être soumises à l'épreuve de l'expérience.

2. Etape 1 : Evolution des hypothèses « initiales »

2.1. Activité expérimentale 1

2.1.1. Description de l'activité.

Elle consiste à faire les élèves réaliser deux circuits identiques, seule change la nature de la lampe. Une lampe dans le circuit A est remplacée par une DEL (diode électroluminescente) dans le circuit B. Les ampèremètres dans les branches du circuit permettent de lire l'intensité après fermeture et ouverture de l'interrupteur. La réalisation de la manipulation a pour

objectif de mettre l'élève devant des résultats expérimentaux qui interrogent les hypothèses possibles. Les schémas des circuits A et B sont donnés ci-après.

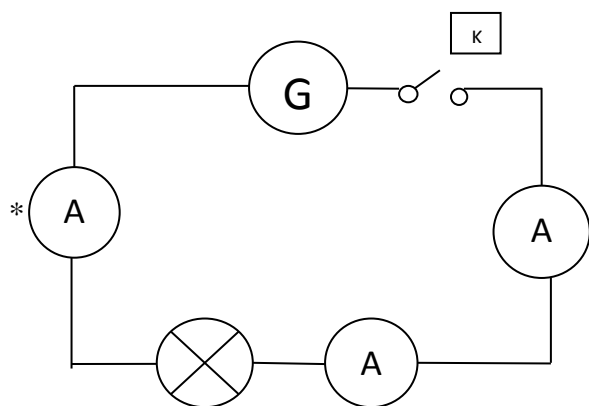


Schéma 1 : Circuit A

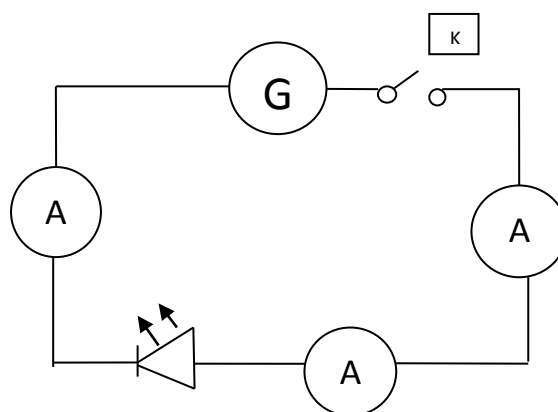


Schéma 2 : Circuit B

2.1.2. Objectifs visés

La réalisation de l'expérience peut permettre aux élèves d'éprouver les hypothèses suivantes :

-« La différence observée est due à la nature de la lampe (DEL/ampoule classique) et à leur mode de fonctionnement. »

-« Il y a un reste de courant qui circule dans le circuit après ouverture de l'interrupteur ou encore la DEL retient l'énergie électrique ».

-« L'effet de la distance entre les différents éléments du circuit ».

La réalisation de la manipulation doit montrer à la fermeture puis à l'ouverture de l'interrupteur que les deux lampes s'allument et s'éteignent simultanément. La présence des ampèresmètres dans les différentes parties du circuit montre à l'élève que l'intensité est la même lorsque l'interrupteur K est fermé. Quand on ouvre l'interrupteur K, l'élève doit observer que les deux lampes s'éteignent en même temps et instantanément. Parallèlement, les intensités dans toutes les branches du circuit s'annulent.

2.1.3. Les conditions de réalisation de l'activité

Aucune information n'a été donnée sur le rôle de l'expérience ni sur ce que l'on attend d'eux. Les élèves réalisent un montage indiqué dans une consigne. Ils expérimentent par groupe de 4. Mais restituent seul les résultats. Le montage est validé par le chercheur qui donne son accord pour que les élèves recueillent et exploitent les résultats de l'expérience.

Aucune communication n'est tolérée dans la phase de recueil des résultats ni durant l'exploitation de ceux-ci et le remplissage de la fiche réponse.

2.2. Les résultats de l'étape d'évolution des hypothèses initiales

2.2.1. Observations faites par les élèves (tableau 45)

Tableau 45 : Observations recueillies expérience 1

Observations	Nombre d'élèves
« Les lampes s'allument et s'éteignent instantanément. »	23
« L'ampoule s'éteint plus vite que la DEL »	2
« L'intensité est la même à la fermeture de K dans tout le circuit. Elle s'annule dans tout le circuit à l'ouverture de K de manière instantanée ».	22

2.2.2. Analyse des observations des élèves.

Toutes les réponses recueillies sont de type R1. En effet, les réponses proposées ne sont pas à visée interprétative. Les élèves ne rapportent ici que les observations faites au niveau des lampes et au niveau des ampèremètres au moment de l'ouverture de l'interrupteur. On note que 7 élèves se sont focalisés essentiellement sur les indications fournies par les ampèremètres sans mentionner les résultats au niveau des lampes.

De même, 8 élèves se sont focalisés que sur l'observation des lampes sans mentionner les indications données par les ampèremètres.

15 élèves relèvent les observations au niveau de la lampe et au niveau des ampèremètres.

On constate que dans tous les cas les élèves ont considéré la situation expérimentale comme étant une modélisation des deux situations concrètes précédentes. Ils ont tous cherché à comparer le paramètre temps de rupture du courant dans les deux situations : pour les uns en comparant l'extinction lumineuse pour les deux lampes et pour les autres en comparant les indications des ampèremètres dans les deux circuits après ouverture de l'interrupteur. Les élèves semblent avoir mis à profit l'activité expérimentale pour faire évoluer leurs représentations données précédemment.

2.2.3. Perception du rôle de l'expérience par les élèves

Pour savoir quel rôle les élèves attribuent à l'expérience qu'ils ont réalisée, ils sont invités, après avoir noté leurs observations, à répondre à la question suivante :

« A votre avis quel est l'objectif de la manipulation proposée ? ».

Il s'agit de vérifier s'ils ont fait le lien entre la situation précédente où ils ont formulé une hypothèse et la situation expérimentale. On interroge ici la perception des élèves sur le rôle de l'expérience : l'expérience est-elle déconnectée de l'hypothèse ? Est-elle liée à l'hypothèse émise précédemment ? Si oui pourquoi ? Quel est l'intérêt de placer l'expérience ici ?

Les résultats montrent que :

- 21 élèves (environ 66%) considèrent que l'expérience cherche à vérifier s'il y a une différence de fonctionnement entre la DEL et l'ampoule.

- Un tiers des élèves (31%), considèrent l'expérience comme une situation pour éprouver leur propre hypothèse.

On constate en effet une bonne cohérence entre les hypothèses proposées par ces élèves et l'objectif attribué à l'expérience réalisée. Les élèves se sont focalisés sur le changement apporté dans le circuit c'est-à-dire « la nature de la lampe ». C'est cette hypothèse qu'ils avaient proposée majoritairement dans la situation initiale. Néanmoins, cette expérience était aussi une occasion pour éprouver d'autres des hypothèses initiales proposées. Par exemple « il y a toujours un reste de courant qui traverse le circuit ». Si l'un des élèves n'a pas proposé d'hypothèse, on peut dire de manière générale qu'ils ont attribué un rôle précis à l'expérience ici. Seul 30% d'entre eux ont relié l'expérience réalisée à l'hypothèse qu'ils avaient émise, tous les autres ont rattaché la réalisation de l'expérience à l'hypothèse de « l'effet de la nature de la lampe utilisée dans le circuit ». On remarque que les élèves inscrivent l'expérience dans une démarche constructive en faisant un aller retour entre la pensée et la vérification expérimentale. Ils ciblent en priorité le paramètre le plus saillant de l'expérience. Ici il s'agit de la modification d'un composant du circuit tous les autres paramètres étant maintenus identiques par ailleurs. Les élèves semblent concevoir le caractère provisoire de l'hypothèse et la nécessité de la faire évoluer en la soumettant à l'épreuve de l'expérience. On peut supposer que l'expérience constitue donc pour eux une suite logique à l'émission d'une hypothèse. Ce processus vient interroger l'élève sur le primat de la pensée sur l'expérience et le rôle que peut tenir l'hypothèse dans la construction de la connaissance scientifique.

2.2.4. Conclusions formulées par les élèves.

A l'issue de la réalisation de l'expérience, les élèves sont invités à proposer une conclusion pour l'expérience réalisée et à reformuler si nécessaire leur hypothèse de départ. Les résultats sont rassemblés respectivement dans les tableaux 46 et 47 suivants.

Tableau 46 : Conclusions formulées pour l'expérience 1

« Expérience contradictoire avec mon hypothèse »	4
« Le paramètre «nature de la lampe n'a pas d'effet »	1
« La DEL et la lampe s'éteignent en même temps »	7
« La baisse progressive de l'intensité n'est pas liée à l'interrupteur »	2
« La DEL n'est pas à l'origine de l'extinction progressive du courant »	7
« La DEL est aussi une résistance »	4
« Les deux ne s'éteignent pas en même temps »	3
« pas de réponse »	4

On constate que dans la majorité des cas, les élèves manifestent un désaccord entre les résultats de l'expérience et ceux qu'ils attendaient a priori. Il y a en effet situation de conflit cognitif par rapport aux résultats attendus formulés dans les hypothèses initiales. Les élèves manifestent étonnement, et interrogation. Ils semblent déroutés dans leur pensée. On peut noter l'efficacité de l'expérience puisqu'elle a bousculé la majorité des élèves dans leur schéma explicatif des situations initiales. Par ailleurs, à cause de ces résultats, les élèves doivent sentir le besoin de reconsidérer leurs hypothèses initiales. Seuls trois d'entre eux maintiennent qu'il y a une différence dans le temps d'extinction de la lumière pour les deux lampes. On constate qu'il y a un abandon de l'hypothèse qui attribuait la rupture plus tardive du courant au niveau du voyant de la chaîne HI FI à la nature de la lampe utilisée. Cette situation expérimentale a été l'occasion de faire évoluer les hypothèses émises puisque, 11 élèves considèrent que la situation expérimentale a fait évoluer leur hypothèse. 7 élèves considèrent par contre qu'ils n'ont pas besoin de modifier leur hypothèse car les résultats expérimentaux n'apportent pas de contradictions. Ils sont en effet 11 élèves à évoquer

l'existence d'un autre dipôle pour expliquer la situation initiale. 13 élèves ne donnent pas de réponse.

2.3. Hypothèses des élèves au palier de pensée 1

2.3.1. Evolution des différentes hypothèses initiales

Les états de pensée des élèves au premier palier de pensée sont répertoriés dans le tableau suivant. Le tableau 47 montre l'évolution des hypothèses formulées entre le palier initial et le premier palier suite à l'activité expérimentale 1.

Tableau 47: Hypothèses formulées au palier de pensée 1.

Hypothèse initiale	Hypothèse au palier 1
Pas d'hypothèse initiale (2)	Pas d'hypothèse (2)
Il y a une différence entre la vitesse de la lumière et la vitesse du courant. (1)	Extinction identique de la DEL et de la lampe, il y a un autre dipôle pour expliquer l'extinction progressive dans la chaîne Hi-Fi. (1)
Il y a une différence de fonctionnement du circuit : pour le voyant lumineux (DEL) c'est une baisse de l'intensité, alors dans le cas de la lampe, c'est une rupture de l'intensité grâce à l'interrupteur.(1)	La baisse progressive du courant n'est pas liée à l'interrupteur. La lampe et la DEL s'éteignent différemment à cause d'un autre dipôle. (1)
Il y a un « reste » de courant qui traverse le circuit dans le cas du voyant lumineux après avoir débranché l'appareil du secteur.(7)	La DEL n'est pas à l'origine de l'extinction progressive, mais pas de nouvelle hypothèse. (5)
	Il y a un autre dipôle pour expliquer la différence observée entre le voyant et la lampe. (1)
	Pas d'évolution de l'hypothèse (1)
Il y a une différence de fonctionnement entre la lampe et la DEL : (7) -à cause de la résistance qui garde le courant -à cause d'un autre composant dans la chaîne Hi Fi qui conserve du courant. -à cause du fait que le courant passe différemment dans la DEL et la lampe.	La DEL est aussi une résistance. Pas de nouvelle formulation d'hypothèse. (1)
	Il y a un composant qui explique la différence observée entre la DEL et la lampe. (3)
	Pas d'évolution de l'hypothèse initiale car elle n'a pas été rejetée par l'expérience. (1)
	La DEL n'est pas à l'origine de l'anomalie. (2)
-Il y a une différence de fonctionnement entre la DEL et la lampe car la DEL garde l'énergie. -La lampe consomme plus que la DEL, ainsi la DEL termine de consommer le courant après ouverture du circuit. (8)	Il y a un autre composant qui garde l'énergie et qui permet d'expliquer la différence entre le voyant et la lampe. (5)
	L'expérience contredit mon hypothèse initiale. Pas de nouvelle hypothèse. (1)
	La DEL agit comme une résistance (1)
	Pas de réponse (1)
Le temps pour que l'information d'extinction de la lumière n'est pas la même pour les différents appareils. (2)	L'hypothèse initiale est rejetée. Pas de nouvelle formulation d'hypothèse. (1)
	Rejet de l'hypothèse initiale. Il y a un autre dipôle qui est la cause de la différence observée.(1)
-la différence observée est due à une différence de distance entre les éléments du circuit. (4)	La DEL est aussi une résistance (1)
	Il y a un autre composant responsable de la différence observée. (2)
	L'hypothèse initiale est renforcée par l'expérience (1)

L'analyse du tableau 47 montre les points suivants:

- Les deux élèves qui n'ont pas formulé d'hypothèse initiale n'ont pas proposé d'hypothèse à nouveau. Or ce sont des élèves qui ont travaillé sérieusement. Cela peut s'expliquer en supposant que ces élèves rencontrent des difficultés pour élaborer une représentation type R2 alors qu'ils sont à l'aise dans la formulation des R1.

- On dénombre 14 élèves (soit pratiquement la moitié de l'échantillon) qui proposent de considérer l'existence d'un autre composant dans la chaîne Hi fi qui garde l'énergie et qui expliquerait le retard de l'extinction lumineuse pour le voyant lumineux. Une analyse plus fine montre que cette phase d'évolution de la pensée à partir de l'expérience ne fait pas évoluer quantitativement les hypothèses initiales de manière identique. Pour le groupe d'élèves ayant proposé initialement « *il y a un reste de courant dans le circuit* », 6 élèves sur 7 ne font pas évoluer leur hypothèse initiale quand bien même ces élèves sont tous convaincus que la DEL n'est pas responsable de cette différence de comportement. Un élève a franchi le pas. On peut considérer que l'expérience et les résultats auxquels elle conduit « ne bousculent pas » suffisamment cette hypothèse initiale pour lui permettre de se transformer. D'un autre côté, pour le groupe d'élèves ayant proposé comme hypothèse initiale « *-Il y a une différence de fonctionnement entre la DEL et la lampe car la DEL garde l'énergie.-La lampe consomme plus que la DEL, ainsi la DEL termine de consommer le courant après ouverture du circuit* » on constate que 6 élèves proposent l'existence d'un autre composant pour expliquer ce qui se passe pour le voyant de la chaîne hi fi. Dans ce cas, l'expérience a permis de faire évoluer quantitativement cette hypothèse initiale. Pour le groupe d'élèves ayant proposé l'hypothèse initiale suivante : « *Il y a une différence de fonctionnement entre la lampe et la DEL : -à cause de la résistance qui garde le courant -à cause d'un autre composant dans la chaîne Hi Fi qui conserve du courant. -à cause du fait que le courant passe différemment dans la DEL et la lampe* » on constate qu'il n'y a pas de tendance ni dans un sens ni dans l'autre. la moitié des élèves proposent l'existence d'un autre composant. Il s'agit maintenant d'interroger pourquoi cette étape expérimentale a un impact différent sur ces hypothèses initiales. Pour répondre à cette question, il convient d'analyser et de comparer les différentes hypothèses initiales formulées.

Pour l'hypothèse « *il y a un reste de courant qui traverse le circuit dans le cas du voyant lumineux* », on constate que les élèves envisagent la présence de courant : cela se justifie par le fait que le voyant lumineux continue d'éclairer. L'utilisation du terme « reste de courant » est

vraisemblablement suggérée par le fait que les élèves observent une extinction progressive de l'éclairement du voyant ainsi que la diminution progressive de la valeur de l'intensité du courant affichée par les ampèremètres. Cette hypothèse peut renvoyer à l'image de l'eau qui continue de s'écouler dans un tuyau d'arrosage après fermeture du robinet. Cette formulation semble dans ce cas considérer le courant tel un fluide (l'eau) qui s'écoulerait dans le circuit électrique. Elle n'exprime pas explicitement le stockage de l'énergie électrique mais sous-entend que le courant puisse être retenu en « quelque part » dans le circuit. Pour ce qui concerne l'hypothèse « *Il y a une différence de fonctionnement entre la DEL et la lampe car la DEL garde l'énergie.-La lampe consomme plus que la DEL, ainsi la DEL termine de consommer le courant après ouverture du circuit* » on constate que les élèves envisagent comme précédemment un courant résiduel, mais ici, ils l'attribuent au stockage de l'énergie par un dipôle, plus précisément la DEL. On constate que la formulation de l'hypothèse est plus précise dans le deuxième cas. Par ailleurs, on note une plus grande rigueur scientifique. En effet les élèves emploient un vocabulaire scientifiquement approprié. Leur représentation R2 de la situation reste en cohérence avec leurs connaissances scientifiques, tout en cherchant à expliquer une situation « déstabilisante ». Cette représentation a été fortement « percutée » par les résultats expérimentaux parce que l'hypothèse est précise : elle évoque le stockage d'énergie dans le circuit, elle localise ce stockage dans la DEL, elle attribue la différence observée entre le voyant de la chaîne hi-fi et la lampe d'éclairage par une différence de fonctionnement des deux lampes. Ces différents paramètres ont été directement éprouvés par l'étape d'expérimentation. On peut donc considérer que plus l'hypothèse formulée est précise, plus il est possible de la faire évoluer. On note par ailleurs que la transformation subie par l'hypothèse correspond à une modification structurelle peu importante. Lorsque la transformation doit entraîner une modification structurelle profonde, elle devient peu probable. Ainsi, dans le cas présent, la transformation de l'hypothèse a conduit de manière quantitative à une formulation proche de l'hypothèse initiale : on est passé de « *Il y a une différence de fonctionnement entre la DEL et la lampe car la DEL garde l'énergie — La lampe consomme plus que la DEL, ainsi la DEL termine de consommer le courant après ouverture du circuit.* » à « *Il y a un autre composant qui garde l'énergie et qui permet d'expliquer la différence entre le voyant et la lampe* ». Les résultats de l'expérience ont permis de bousculer une partie de l'hypothèse initiale : ce n'est plus la DEL qui est responsable du stockage de l'énergie mais un autre dipôle. Les élèves n'abandonnent pas en bloc l'hypothèse initiale.

Pour ce qui concerne le groupe d'élèves ayant proposé comme hypothèse initiale : « *Il y a une différence de fonctionnement entre la lampe et la DEL* :

-à cause de la résistance qui garde le courant

-à cause d'un autre composant dans la chaîne Hi Fi qui conserve du courant.

-à cause du fait que le courant passe différemment dans la DEL et la lampe. », les résultats montrent qu'un peu moins de la moitié des élèves font évoluer leur hypothèse. L'analyse de la formulation de l'hypothèse initiale montre que les élèves proposent déjà un composant (la résistance) auquel ils attribuent le stockage de l'énergie. Or l'expérience n'a pas cherché à remettre en cause cette idée. Ainsi, ceux-ci ne trouvent donc pas d'intérêt à reconsidérer leur hypothèse à l'issue de cette expérience.

Pour ce qui concerne les autres hypothèses : « *Il y a une différence entre la vitesse de la lumière et la vitesse du courant* », « *Il y a une différence de fonctionnement du circuit : pour le voyant lumineux (DEL) c'est une baisse de l'intensité, alors dans le cas de la lampe, c'est une rupture de l'intensité grâce à l'interrupteur* », « *Le temps pour que l'information d'extinction de la lumière n'est pas la même pour les différents* », « *la différence observée est due à une différence de distance entre les éléments du circuit* », on constate que 6 élèves sur 8 font évoluer leur hypothèse initiale. A l'issue de l'expérience, 5 élèves proposent d'expliquer l'extinction progressive du courant dans le voyant lumineux par l'existence d'un autre dipôle. Un élève fait évoluer son hypothèse en considérant que c'est la résistance qui est responsable de la différence observée entre le voyant et la lampe. Pour ces cas de figure, on peut envisager effectivement un grand écart entre l'hypothèse initiale et celle d'arrivée, c'est-à-dire un changement structurel profond. Cependant, on peut supposer que de par leurs structures, ces hypothèses initiales ne nécessitent pas d'« être percutées fortement » pour basculer vers une autre formulation structurellement différente.

2.3.2. Bilan des hypothèses au « palier de pensée 1 »

A l'issue de cette phase d'évolution de la pensée par l'expérience, un nouveau palier est atteint que l'on appellera « palier de pensée 1 ». Le bilan des hypothèses est indiqué dans le tableau 48 suivant.

Tableau 48 : Hypothèses au « palier de pensée 1 »

Pas de formulation d'hypothèse	4
Il y a un « reste » de courant qui traverse le circuit dans le cas du voyant lumineux après avoir débranché l'appareil du secteur	6
« Il y a un autre composant qui garde l'énergie et qui permet d'expliquer la différence entre le voyant et la lampe	14
Il y a une différence de fonctionnement entre la lampe et la DEL : -à cause de la résistance qui garde le courant -la DEL se comporte comme une résistance -la DEL garde le courant	7
-la différence observée est due à une différence de distance entre les éléments du circuit.	1

3. Etape 2 : Evolution des hypothèses du palier de pensée 1.

3.1. Mise en place des conditions d'évolution de la pensée

3.1.1. Condition 1 : Présentation d'un nouveau dipôle, le condensateur

Le chercheur présente oralement aux élèves un nouveau dipôle : le condensateur. La présentation est faite telle qu'elle le serait lors de l'introduction d'un cours classique sur les condensateurs en classe de terminale scientifique dans l'esprit de l'ancien programme. Le symbole du dipôle est expliqué et représenté sur le questionnaire sans pour cela expliquer son mode de fonctionnement dans un circuit.

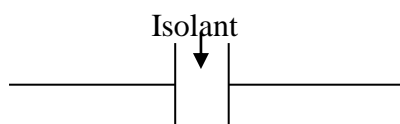


Schéma du condensateur

Il montre les deux plaques conductrices et l'isolant. On vérifie que chaque terme employé dans la présentation du dipôle est compris par tous les élèves. On rappelle que ce dipôle est

évoqué pour la première fois en classe de terminale scientifique dans le cadre de l'ancien programme de terminale scientifique. Différents exemples de condensateurs sont présentés aux élèves.

3.1.2. Condition 2 : Travail de réflexion

On propose aux élèves de mettre par écrit ce qu'évoque pour eux à priori le terme condensateur.

Les réponses recueillies sont rassemblées dans le tableau 49 suivant :

Tableau 49 : Evocations du terme « condensateur » chez les élèves.

Stocker et transmettre le courant progressivement	1
Il va baisser le courant dans le circuit	1
Il va « condenser le courant »	10
Stocker de l'énergie	12
Faire une réserve	1
Réguler le courant	4
Stopper le passage du courant	1
Concentrer le courant pour le retenir	1
Garde une partie de l'intensité	1

Cette situation a pour objectif d'amener les élèves à se prononcer sur le condensateur. Quel peut bien être son rôle dans un circuit ? Les réponses proposées ici sont d'ordre hypothétique. L'évocation du mot condensateur qui n'est pas un mot familier pour les élèves entraîne chez eux différentes représentations qui sont de type R2. Les élèves supposent a priori que le condensateur a pour fonction de « stocker » : une dizaine proposent le stockage du courant, pour une douzaine c'est le stockage de l'énergie. On constate sur l'ensemble des R2 proposées, que les élèves envisagent l'idée de « rétention » localisée dans le circuit qui va se manifester comme le propose certains par une rupture du courant, une baisse de l'intensité.

3.1.3. Condition 3 : Une expérience de pensée et recueil des représentations initiales.

Le schéma d'un montage est proposé aux élèves pour une anticipation par la pensée des résultats attendus. Le montage intitulé « Un circuit avec condensateur » a pour objectif de poursuivre la situation de questionnement.

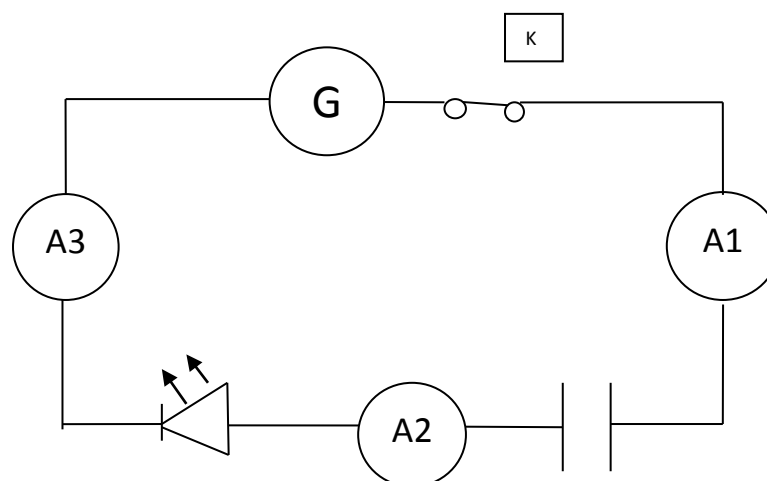


Schéma 4 : « Un circuit avec condensateur »

Les élèves sont placés devant un circuit série utilisant un condensateur, un interrupteur, une DEL et trois ampèremètres. L'utilisation de la DEL est ici l'un des moyens donné aux élèves pour qu'ils expriment leur représentation initiale sur le fonctionnement du condensateur dans le circuit. En effet les élèves peuvent traduire leur représentation à travers ce qui va se passer au niveau de l'éclairement de la DEL. Les élèves peuvent aussi traduire leur représentation en anticipant les indications données par les ampèremètres. Le nombre d'ampèremètres et leur localisation ont pour objectif d'accompagner les élèves dans l'infirmer ou la confirmation de l'idée d'accumulation de courant à certains endroits du circuit largement envisagée dans les R1 proposées dans le tableau précédent. En effet dans la mesure où les élèves envisage un « stockage » de courant ou d'énergie au niveau du condensateur on suppose qu'ils seront amené à envisager le passage du courant jusqu'au condensateur. On note à ce stade que les élèves ne parlent pas d'unicité de l'intensité dans un circuit série qu'ils ont déjà vue dans les classes antérieures. On peut renvoyer cela à la ténacité des représentations naïves face aux savoir scientifiques apportés par l'apprentissage en cours de d'électricité. La lecture de ce circuit et l'interrogation sur ce qui se passerait à la fermeture de l'interrupteur constitue une situation problème intéressante pour les élèves. En effet ils sont plongés dans un conflit cognitif puisque le condensateur est un dipôle électrique, c'est-à-dire qu'il est conçu pour être utilisé dans les circuits électriques. Or dans la

présentation faite par le chercheur et dans le symbole de celui-ci il y a un isolant. A-t-il le fonctionnement d'un interrupteur ouvert ? Si oui quel est son intérêt dans un circuit électrique ? Ce sont quelques questions que les élèves se sont posées avant de traduire leur hypothèse par écrit. Cela montre qu'ils se sont appropriés la situation problème et qu'ils ont la volonté sinon la curiosité de résoudre l' « énigme » ! Après une phase de réflexion, les élèves ont formulé leur hypothèse initiale sur les résultats attendus.

Les réponses sont rassemblées dans le tableau 50 suivant :

Tableau 50: Représentations initiales formulées par les élèves

Représentation initiale formulée	Nombre de réponses
Le courant ne va pas passer et la DEL ne s'allumera pas à cause du condensateur qui ouvre le circuit.	20
Le courant continue de circuler mais le courant baisse progressivement car le condensateur canalise le courant.	7
La DEL reste éteinte et les ampèremètres affichent 0	2
Il reste du courant même après fermeture de l'interrupteur.	2
Avec l'isolant du condensateur, le courant ne passera pas dans tout le circuit.	1

L'analyse des résultats montre que les élèves utilisent des R2 pour traduire leur représentation. En effet, ils anticipent les résultats attendus pour l'expérience proposée. Dans les réponses proposées, il y a une visée explicative à vérifier. Ils ont formulé des hypothèses. 22 élèves (environ 70%) considèrent que le courant ne va pas passer à cause de l'isolant du condensateur. Parmi ceux-ci 20 élèves expriment leur représentation en indiquant ce qui va se passer au niveau de la DEL. Seul 2 élèves anticipent à la fois ce qui va se passer au niveau de la DEL et des ampèremètres.

9 élèves considèrent que le courant va passer dans le circuit. 1 élève envisage par contre que le courant ne passera que dans certaines parties du circuit.

On constate qu'il y a deux tendances à l'issue de cette phase d'émergence des représentations initiales : une majorité des élèves qui considèrent qu'il y a un isolant dans le circuit donc le courant ne doit pas passer. On peut dire que ces élèves se « protègent » derrière la certitude

que leur renvoie l'interrupteur ouvert et de ce fait restent en cohérence avec les connaissances acquises. Un deuxième groupe d'élèves qui par contre « outre passent » cette conviction pour envisager « autre chose ». Certainement pour ne pas être en porte à faux par rapport à ce qu'ils ont proposé comme définition pour le condensateur précédemment. En effet, lorsque l'on compare le nombre d'élèves ayant proposé que le condensateur a un rôle de stockage et le nombre d'élèves qui considèrent que le courant passe dans le circuit, il y a un décalage : 22 élèves envisagent le stockage du courant ou de l'énergie dans le condensateur contre 9 qui supposent que le courant circule. Comment concilier le stockage d'énergie au niveau du condensateur s'il n'y a pas circulation du courant ? Cela traduit bien que les élèves sont face à une situation problème. L'émergence de leur hypothèse initiale les place en situation d'attente d'une étape d'évolution concrète de la pensée.

3.2. Activité expérimentale 2

3.2.1. Description de l'activité et conditions de sa mise en œuvre.

On propose aux élèves de réaliser le montage « un circuit avec condensateur » évoqué précédemment et de noter leur observation. On précise que l'on a fait le choix d'un condensateur avec une forte capacité ($C = 4500\mu F$) afin que les élèves observent des évolutions au niveau de l'éclairement de la DEL et au niveau des indications données par les ampèremètres. De même on a fait le choix de la DEL qui nécessite beaucoup moins d'énergie pour produire un éclairage qu'une lampe classique.

Les conditions de mise en œuvre de l'activité sont les mêmes que pour l'expérience 1. Les élèves réalisent le circuit. Celui-ci est ensuite vérifié par le chercheur avant d'être mis sous tension.

3.2.2. Les résultats recueillis : Observations recueillies et analyse

A l'issue de cette étape, les observations faites par les élèves sont recueillies et rassemblées dans le tableau 51 suivant :

Tableau 51 : Observations faites par les élèves.

Observations faites	Nombre d'élèves
Le courant passe pendant un court instant	4
La lampe s'allume et s'éteint progressivement	23
Il y a de l'intensité tout au long du circuit	4
La lampe ne s'allume pas	1

Dans cette étape d'évolution de la pensée, les élèves produisent essentiellement des représentations de type R1. Ils sont 75% à construire leur R1 à partir de l'observation de l'éclairement de la lampe.

L'analyse des résultats montre que les R1 formulées sont dans une grande majorité en désaccord avec les résultats attendus formulés dans les hypothèses. En effet, 27 élèves (soient 84% de l'effectif) considèrent que leurs observations ne correspondent pas à ce qu'ils avaient prévu. Les différentes raisons évoquées pour expliquer ce désaccord sont rassemblées dans le tableau 52:

Tableau 52 : Les raisons du désaccord observations expérimentales-résultats attendus.

Raisons évoquées pour expliquer le désaccord	Nombre d'élèves
J'observe que le courant passe	19
L'isolant ne joue pas son rôle dès le début	3
La lumière passe	4
La lampe s'éteint	1

Seuls 3 élèves considèrent que les observations sont en accord avec leur attente. Enfin deux élèves affirment que les observations sont en accord mais pendant un court instant puisque la lampe s'éteint progressivement.

On remarque que les élèves se sont focalisés sur le fait que « le courant passe » alors qu'ils attendaient le contraire. Le caractère « momentané » du passage du courant n'est évoqué que par deux élèves et ce sont ces deux mêmes élèves qui observent déjà que le courant « s'estompe progressivement » dans le circuit.

Cette situation est donc l'occasion pour les élèves de reconsidérer leur hypothèse initiale concernant le rôle joué par le condensateur dans le circuit. On atteint ainsi un nouveau palier de pensée.

3.3. Hypothèses des élèves au palier de pensée 2

Les nouvelles formulations des hypothèses que l'on pourrait qualifier d' « intermédiaires de pensée » sont rassemblées dans le tableau 53 suivant :

Tableau 53: Les hypothèses formulées au palier de pensée 2.

Hypothèse formulée	Nombre d'élèves
Pas de réponse	2
Il y a stockage d'électrons avec libération de quelques électrons pour expliquer le passage du courant.	6
Il restait du courant entre le condensateur et la lampe ; c'est ce qui explique le passage du courant.	1
Le condensateur amortit l'intensité du courant.	4
Le condensateur est un isolant qui isole progressivement le courant. il diminue le courant.	5
Le courant passe malgré la présence du condensateur.	1
Le condensateur bloque le courant.	1
Le condensateur emmagasine l'énergie	5
Le condensateur emmagasine l'énergie et la libère jusqu'à ce qu'il n'y en ai plus.	5
Le condensateur ouvre le circuit après un certain temps car il doit emmagasiner des électrons jusqu'à saturation.	1
Les électrons sautent d'une plaque à l'autre c'est pour cela que le courant passe.	1

On constate que si au niveau du palier initial de pensée il y a avait une certaine convergence de la représentation de la situation présentée, à ce nouveau palier, les hypothèses sont très variées car elles sont formulées avec plus de détails. Cependant il y a une tendance à concevoir un rôle de « stockage » pour une moitié des élèves (17 élèves, soient 53%). On retrouve pratiquement les résultats obtenus pour la représentation que les élèves se font du mot condensateur mais cette idée de stockage est nuancée pour prendre en considération le passage du courant (stockage d'électrons avec libération de quelques électrons, stockage puis libération de l'énergie jusqu'à épuisement...). Les résultats montrent finalement que cette

phase d'évolution de la pensée n'a pas « bousculé » l'hypothèse du stockage de l'énergie par le condensateur. Par contre elle interroge les modalités de ce stockage à travers l'observation du passage du courant électrique.

4. Etape 3 : Evolution des hypothèses du palier de pensée 2

4.1. Activité expérimentale 3

4.1.1. Schéma du montage de l'activité expérimentale 3

Pour préciser leur représentation de ce qui se passe au niveau du condensateur, on propose aux élèves de réaliser l'expérience (3) suivante. Le schéma du montage de l'expérience 3 : « Un autre circuit avec condensateur » est donné ci-contre :

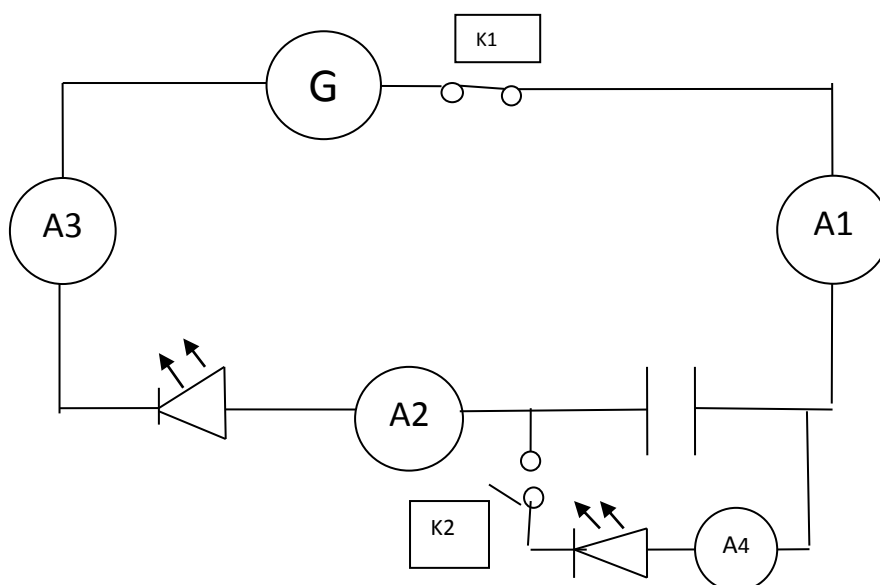


Schéma 5 : Un autre montage avec condensateur

4.1.2. Description, mise en œuvre et objectifs de l'activité expérimentale 3

Dans l'expérience (3), on reprend le montage de l'expérience (2) auquel on ajoute une dérivation contenant une lampe, un ampèremètre et un interrupteur (K2) aux bornes du condensateur. Par rapport à l'expérience (2) on propose un élément supplémentaire dans le montage pour permettre aux élèves de faire évoluer si nécessaire leur hypothèse. On fait le choix de mettre une lampe en dérivation car les élèves semblent interpréter plus facilement les observations qu'ils font au niveau de ce dipôle. Ainsi, tous les élèves sont en mesure de faire évoluer leur hypothèse s'ils le jugent opportun. On demande aux élèves de fermer l'interrupteur K1 tout en gardant K2 ouvert. Cela permet de se replacer dans la situation de l'expérience (2). Les élèves doivent observer un passage momentané du courant dans le

circuit, avec une rupture progressive de celui-ci. On demande ensuite de fermer l'interrupteur K(2) en maintenant (K1) fermé. Les élèves doivent observer un passage normal du courant sans interruption. Les deux lampes s'allument pareillement et les ampèremètres doivent afficher les mêmes valeurs d'intensité. Cette expérience doit permettre de constater que c'est le condensateur qui était responsable de la rupture progressive du courant.

4.2. Résultats

4.2.1. Les observations des élèves

Au niveau des observations faites au cours de la manipulation, on note que :

- 20 élèves rapportent que : « lorsque l'on ferme K1 il y a passage du courant pendant un court instant puis rupture progressive ; à la fermeture de K2, les deux lampes restent allumées. ».

-12 élèves rapportent les mêmes observations que précédemment sans mentionner qu'il y avait rupture progressive après la fermeture de K1.

D'une manière générale, les élèves ont remarqué en le manifestant oralement que la première partie de la manipulation était une répétition de ce qu'ils avaient opéré dans l'étape précédente. Ils ont compris que l'addition de la branche en dérivation avait pour objectif d'apporter une information supplémentaire pour affiner leur hypothèse. Ils montrent bien dans leur attitude qu'ils sont dans un processus de résolution d'un problème et que chaque élément nouveau par rapport à la situation antérieure peut aider à cette résolution. Les explications qu'ils proposent face aux observations apportées sont répertoriées dans le tableau 54 suivant :

Tableau 54: Explications proposées pour l'activité expérimentale 3

Explication proposée	Nombre d'élèves
Le condensateur est responsable de l'arrêt progressif du courant	5
C'est le condensateur qui bloque le passage du courant	8
Le courant passe par la dérivation pour contourner l'isolant	19

L'analyse des réponses proposées montrent que les élèves ont extrait l'information de la situation expérimentale. Ils attribuent au condensateur la rupture du courant dans le circuit grâce à son isolant. Les élèves sont susceptibles de faire évoluer leur hypothèse à partir de cette information.

4.2.2. Hypothèses formulées au palier de pensée 3 et analyse.

A ce nouveau palier de pensée, les hypothèses recueillies sont répertoriées dans le tableau 55 suivant :

Tableau 55 : Hypothèses formulées au palier de pensée 3

Hypothèses proposées	Nombre d'élèves
Le condensateur stocke l'énergie.	7
Le condensateur stocke, puis libère des électrons.	7
Ce n'est pas « un peu de courant » qui restait mais c'est le condensateur qui agit.	1
Il y a dans le circuit de la chaîne Hi Fi un condensateur qui stocke l'énergie.	1
Le condensateur isole le courant avec un temps de retard progressivement.	5
Le condensateur ouvre le circuit après un certain temps après avoir été saturé en électrons.	5
Mon hypothèse consistant à dire que le courant passe dans le condensateur devient fautive.	1
Le condensateur bloque le passage du courant.	5

L'analyse des hypothèses formulées montrent que tous les élèves considèrent à ce stade de pensée que c'est le condensateur qui est responsable de la rupture du courant. Ils sont convaincus que l'isolant assure son rôle mais ceci de manière progressive et donc que le courant ne passe plus après un certain temps. Ici, se pose un problème de cohérence entre la présence d'un isolant et l'existence du passage momentané du courant. Une analyse plus poussée montre que les élèves s'en échappent « habilement » en proposant une hypothèse qui concilie les deux parties de leur schéma explicatif. Ils parviennent à une représentation de l'isolant du condensateur leur permettant de proposer un schéma explicatif logique (R2) et en

accord avec les observations (R1) faites. Ils proposent l'idée d'un isolant « progressif ». Or, jusqu'à ce stade du processus de construction du savoir, les activités d'évolution de la pensée proposée n'apportent pas d'éléments pouvant bousculer cet aspect des hypothèses formulées. On retrouve ici les résultats concernant la construction puis l'ancrage et la ténacité des représentations « naïves » des élèves. Cet aspect logique de leur hypothèse va donc perdurer tant qu'il n'y aura pas une activité (par exemple expérimentale) qui viendra le bousculer. Plus la représentation dite « naïve » a un caractère logique, plus l'activité à mettre en place pour la « percuter » doit être convaincante de par ses résultats. On constate néanmoins que ceux qui supposaient que le courant traversait le condensateur malgré l'isolant, sont parvenus à rejeter cette hypothèse. On note par ailleurs que 20 élèves maintiennent l'idée d'un stockage (d'énergie, de courant ou d'électrons) dans le condensateur. Cela signifie que ces élèves n'ont pas rejeté l'hypothèse de stockage suggérée par le nom du dipôle « condensateur ». En effet ils n'ont pas rencontré de situation mettant à l'épreuve cette partie de leur hypothèse qui est suggérée par l'évocation du nom du dipôle. D'un autre côté, rien sur le plan expérimental pour l'instant n'encourage cette idée de stockage. On ne peut d'ailleurs pas évoquer de situation analogue pouvant aider à la suggérer.

Les élèves ont donc acquit l'idée que c'est au niveau du condensateur que s'opère le phénomène. D'autre part que le condensateur laisse passer le courant momentanément, pour cela ils conçoivent un fonctionnement particulier de l'isolant. Enfin, il y a une supposition de « stockage » très marquée pour environ deux-tiers des élèves. Pour le reste, c'est-à-dire un tiers des élèves, la formulation de leur hypothèse ne va pas au-delà de l'idée que c'est le condensateur qui assure la rupture progressive du courant.

Au final, au palier de pensée 3, il y a une évolution des représentations (R2) des élèves qui s'appuie et prend en compte les observations (R1) effectuées. Il y a une cohérence des R2 formulées avec l'ensemble des R1 recueillies dans les activités proposées au préalable.

5. Etape 4 : Evolution des hypothèses du palier de pensée 3

5.1. Activité expérimentale 4.

5.1.1. Schéma du montage de l'activité expérimentale 4

Dans cette phase d'évolution des hypothèses, on s'intéresse à l'idée de stockage. Pour cela, le montage précédent est reconduit mais les élèves l'exploitent différemment.

5.1.2. Description, mise en œuvre et objectifs de l'activité expérimentale 4

Dans cette situation d'évolution de la pensée, on demande aux élèves d'agir autrement sur le montage précédent. L'objectif étant d'éprouver l'idée de « stockage ». Aucune information sur l'objectif visé n'est donnée aux élèves. Ainsi, on demande de fermer l'interrupteur K1 pendant un instant puis de l'ouvrir, K2 étant ouvert. Les élèves sont donc à nouveau confrontés à la situation initiale : la lampe s'allume puis s'éteint progressivement. Ensuite on leur demande de fermer l'interrupteur K2 dans la branche en dérivation. Ils doivent alors constater que pendant un court instant, la lampe en dérivation s'allume puis son éclairage s'estompe progressivement. Les élèves doivent constater que lors de la fermeture de l'interrupteur K2, il y a à nouveau une manifestation du courant dans le circuit alors que juste avant il n'y avait plus de courant puisque la lampe dans le circuit principale n'éclairait plus. D'autre part, l'interrupteur K1 étant ouvert, cela signifie que le générateur ne délivre plus de courant dans le circuit. Cette activité doit donc amener les élèves à confirmer l'idée que de l'énergie a été stockée au niveau du condensateur. Plus précisément, ils doivent aboutir à l'idée que le condensateur stocke de l'énergie électrique à mesure de la rupture progressive du courant dans le circuit principal. C'est cette énergie qui est libérée dans la lampe branchée en dérivation à la fermeture de l'interrupteur K2.

5.2. Résultats

5.2.1. Observations recueillies

Les observations recueillies sont rassemblées dans le tableau 56 suivant :

Tableau 56 : Observations des élèves au niveau de l'activité expérimentale 4

Observations formulées	Nombre d'élèves
L1 s'allume puis s'éteint progressivement comme dans l'expérience 1. En ouvrant K1 il ne se passe rien et quand on ferme K2 la lampe en dérivation s'allume et s'éteint progressivement.	29
Le condensateur emmagasine de l'énergie pour le délivrer ensuite	2
Les deux lampes s'allument à retardement et s'éteignent progressivement.	1

Les observations de types R1 faites dans cette expérience montrent que les élèves ont saisi une information supplémentaire susceptible de faire évoluer leur hypothèse. Cette information est la même pour tous les élèves excepté un.

5.2.2. Les hypothèses formulées au palier de pensée 4 et analyse

Les nouvelles formulations d'hypothèse à l'issue de ces observations sont rassemblées dans le tableau 57 suivant :

Tableau 57 : Hypothèses formulées au niveau du palier de pensée 4

Hypothèse	Nombre d'élèves
Pas de réponse	4
Mon hypothèse est toujours vraie c'est-à-dire que le condensateur stocke l'énergie et à un moment libère des électrons.	5
Le condensateur agit bien, il relâche le courant qu'il conservait	3
Quand K1 fermé, le condensateur accumule du courant puis quand K1 ouvert et K2 fermé, il libère le courant accumulé. Ainsi la lampe s'allume et s'éteint car le condensateur a accumulé une certaine quantité de courant.	3
Le condensateur laisse passer du courant mais en stockant progressivement jusqu'à saturation et ne laisse plus rien passer. Quand le courant est coupé, le condensateur se vide progressivement.	10
Le condensateur tient un rôle qui est d'isoler la lumière, ne pas la laisser passer donc mon hypothèse n'est pas soutenu.	1
Mon hypothèse est confirmée : le condensateur laisse passer le courant un certain temps puis joue son rôle d'isolant.	1
Le condensateur accumule un certain nombre d'électrons. Lorsqu'on ferme le circuit, les électrons quittent le condensateur en créant un courant qui reste bloqué à sa surface en y revenant à cause de l'isolant. Il n'y a plus de courant, la lampe s'éteint alors.	3
Le condensateur réduit petit à petit le courant dans le circuit. Le circuit dérivé reçoit un « coup de jus » du reste de courant du circuit.	1
Il y a une accumulation d'électrons au niveau du condensateur	1

On constate que d'une manière générale les R1 formulées précédemment ont fortement orienté la formulation des R2. On retrouve en effet l'idée de stockage dans 25 des hypothèses formulées. Si à ce niveau, l'idée de « stockage » semble acquise, subsiste un « problème » dans la pensée des élèves : comment expliquer le passage momentané et la baisse du courant alors qu'il y a un isolant ? On constate que certaines formulations amorcent cette tentative d'explication de ce passage momentané du courant. Ainsi, les élèves parlent d'« accumulation » des électrons sur les plaques du condensateur ; L'idée d'« accumulation » implique une consommation de temps ainsi qu'un aspect « cumulatif ». Ils cherchent à relier les deux observations concernant la rupture progressive de l'éclairage de la lampe et l'accumulation des électrons sur les plaques du condensateur. Ce sont deux phénomènes qui, à juste titre, pourraient se faire simultanément. On constate que quatre élèves ne formulent pas d'hypothèse malgré avoir exprimé des R1. On peut supposer que ceux-ci ne sont pas encore parvenus à faire coïncider les différentes « certitudes » qu'ils ont progressivement capitalisées au cours des différentes activités d'évolution de la pensée qui précèdent.

6. Etape 5 : Evolution des hypothèses du palier de pensée 4

6.1. Activité expérimentale 5

6.1.1. Schéma du montage de l'activité expérimentale 5

Dans le schéma du montage de l'expérience précédente, on remplace la DEL dans la branche en dérivation par un voltmètre. Le schéma du montage devient :

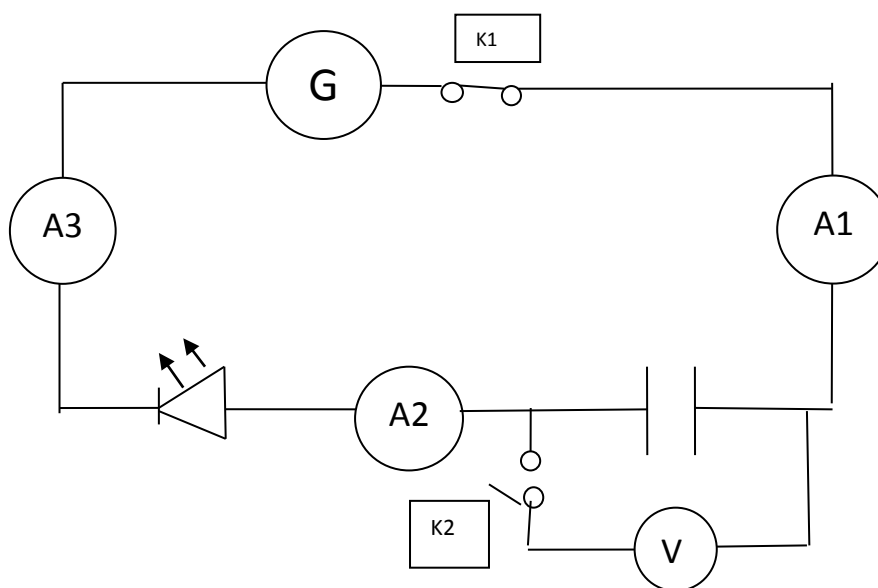


Schéma 6 : Activité expérimentale 5

6.1.2. Description, mise en œuvre et objectifs de l'activité expérimentale

5.

L'expérimentation proposée dans cette étape a plusieurs objectifs :

Renforcer l'idée du processus d'accumulation progressive de charge évoquée précédemment. En effet, dans l'étape précédente, le moment du « stockage d'énergie dans le condensateur » a été masqué. En faisant circuler le courant dans la lampe montée en dérivation, les élèves ont renforcé l'idée d' « énergie stockée » grâce à la manifestation de celle-ci. Pour le ca présent, les élèves doivent constater en direct qu'une tension s'installe progressivement aux bornes du condensateur. Cette activité se propose de leur faire constater le « stockage » de l'énergie électrique dans le condensateur. C'est le voltmètre introduit dans la branche en dérivation qui doit permettre de faire ce constat.

Ils doivent par ailleurs constater que la tension atteint une limite : cette observation attendue, doit être en mesure d'amener les élèves à construire l'idée d'une quantité d'énergie maximale stockée dans le condensateur.

Dans un deuxième temps, ils doivent parvenir à confirmer l'idée d'énergie stockée. En effet, en ouvrant l'interrupteur K1, les élèves doivent constater que la tension maximale lue au niveau du voltmètre ne varie pas quand bien même le générateur n'alimente plus le circuit. Ainsi il y a de l'énergie stockée dans le condensateur.

Enfin ils vont pouvoir constater qu'une intensité circule dans le circuit durant toute la durée de « stockage » de l'énergie électrique dans le condensateur. Le courant décroît à mesure que la tension aux bornes du condensateur augmente. Son intensité s'annule lorsque la tension maximale est atteinte.

6.2. .Résultats

6.2.1. Observations recueillies par les élèves.

Le tableau 58 suivant rassemble les R1 formulées par les élèves à l'issue de l'expérimentation.

Tableau 58 : Observations recueillies par les élèves dans l'activité expérimentale 5

R1 formulée	Nombre d'élèves
La tension augmente et se stabilise et la DEL s'éteint.	19
La tension augmente alors que l'intensité baisse	4
La tension augmente progressivement	2
La DEL s'allume et s'éteint progressivement	3
La tension augmente et reste constante. La DEL s'éteint quand la tension atteint son maximum.	4

L'analyse des observations des élèves montrent que ceux-ci se sont focalisés sur le nouvel élément du montage, à savoir le voltmètre. Ils sont 29 soit plus de 90% des élèves à avoir relevé que la tension augmente progressivement. D'autre part on constate que dans leur grande majorité, les élèves ont cherché à mettre en parallèle cette augmentation progressive de la tension (élément nouveau) avec les autres observations qu'ils avaient au préalable relevé dans les activités précédentes. Tout se passe comme si les élèves allaient recueillir dans la manipulation des éléments qu'ils juxtaposent aux autres déjà recueillis pour les mettre « à charge ou à décharge » de leur hypothèse. Ainsi, quels que soient les résultats de l'activité d'évolution de la pensée (ici l'expérimentation), l'hypothèse en ressort évoluée (consolidée, détruite, reformulée...). Dans ce processus les élèves semblent façonner progressivement une « pièce », pas n'importe laquelle, « leur » hypothèse, jusqu'à la transformer en « savoir scientifique », que l'on pourra qualifier de savoir scientifique « construit » car l'élève est dans ce cas l'auteur de l'évolution de sa représentation naïve en savoir scientifique.

On demande ensuite aux élèves d'ouvrir l'interrupteur K1 et de noter leurs observations. Les observations faites par les élèves sont rassemblés dans le tableau 59 suivant :

Tableau 59 : Observations recueillies par les élèves dans l'activité expérimentale 5

R1 formulée	Nombre d'élèves
La tension reste la même	16
La tension baisse légèrement et lentement	12
La DEL s'éteint instantanément	4

Les élèves sont captivés par l'indication du voltmètre. Peut-être ont-ils brièvement cherché à anticiper l'évolution des indications que donnerait le voltmètre après l'ouverture de l'interrupteur K2. Il aurait été intéressant d'analyser les réponses que donneraient les élèves pour cette question : cela aurait été l'occasion de mesurer la cohérence avec l'idée de « stockage » d'énergie dans le condensateur. Malheureusement, l'intérêt qu'aurait pu avoir cette investigation n'a été constaté qu'au moment de l'exploitation des données. Pratiquement un élève sur deux constate que la tension reste constante aux bornes du condensateur à l'ouverture de l'interrupteur K2. Il est important de noter que plus d'un tiers des élèves observent une lente et légère baisse de la tension aux bornes du condensateur. Il faut attribuer cette observation à un défaut d'isolement du condensateur, ainsi que le courant qui traverse le voltmètre. Cette situation ne manque pas d'intérêt, puisqu'il s'agira de voir si cette R1 va impacter l'évolution des états de pensée au palier de pensée 5.

6.2.2. Les hypothèses formulées au palier de pensée 4 et analyse

A l'issue de cette étape de manipulation, les nouvelles formulations d'hypothèses recueillies sont rassemblées dans le tableau 59 suivant :

Tableau 59 : Hypothèses formulées par élèves au palier de pensée 5

Hypothèse formulée	Nombre d'élèves
Pas de réponse	1
Le condensateur stocke de l'énergie, des électrons.	25
Le condensateur isole le courant progressivement	3
Le condensateur stocke de l'énergie puis libère les électrons	2
Le condensateur laisse passer le courant un certain temps puis devient isolant.	1

Les mots proposés par les élèves pour caractériser les observations faites au niveau du condensateur sont rassemblés dans le tableau 60.

Tableau 60 : Mots proposés par les élèves pour caractériser les observations.

Mot proposé	Nombre d'élèves
Stocker	16
Emmagasiner	4
Accumuler	2
Charger	5
Court-circuit	4
Pas de réponse	1

L'analyse des résultats montrent que les élèves consolident l'idée de « stockage » d'énergie par le condensateur dans le circuit. L'observation de la tension qui augmente aux bornes du condensateur pendant que l'éclairement de la lampe et l'intensité diminuent semble être un facteur déterminant. On constate que la légère baisse de la tension observée précédemment aux bornes du condensateur n'a pas perturbé la compréhension du rôle du condensateur dans le circuit. On remarque par ailleurs que les élèves ne s'intéressent pas aux valeurs lues, mais essentiellement à l'augmentation de la tension. Ils sont très peu nombreux à mentionner ce qui se passe au niveau de l'ampèremètre. On peut supposer qu'ils ont déjà intégré ces données dans leur raisonnement et qu'ils ne jugent pas nécessaire de les rappeler. Ils s'intéressent donc à ce qui apporte des éléments nouveaux de compréhension de la situation : ici la tension donnée par le voltmètre branché en dérivation. Dans le vocabulaire habituel utilisé dans les livres, c'est le terme « charge » qui est utilisé pour qualifier les observations faites au niveau du condensateur. A l'issue de cette étape, certains élèves ont fait le parallèle avec l'onduleur en informatique, ou encore la batterie d'accumulateur qui se charge. A ce stade de pensée, près de 85% des élèves parviennent à donner le rôle exact du condensateur dans le circuit.

7. Etape 6 : Evolution des hypothèses du palier de pensée 5

7.1. Activité expérimentale 6

7.1.1. Schéma de l'activité expérimentale 6

Dans cette étape, on présente aux élèves une situation de décharge du condensateur.

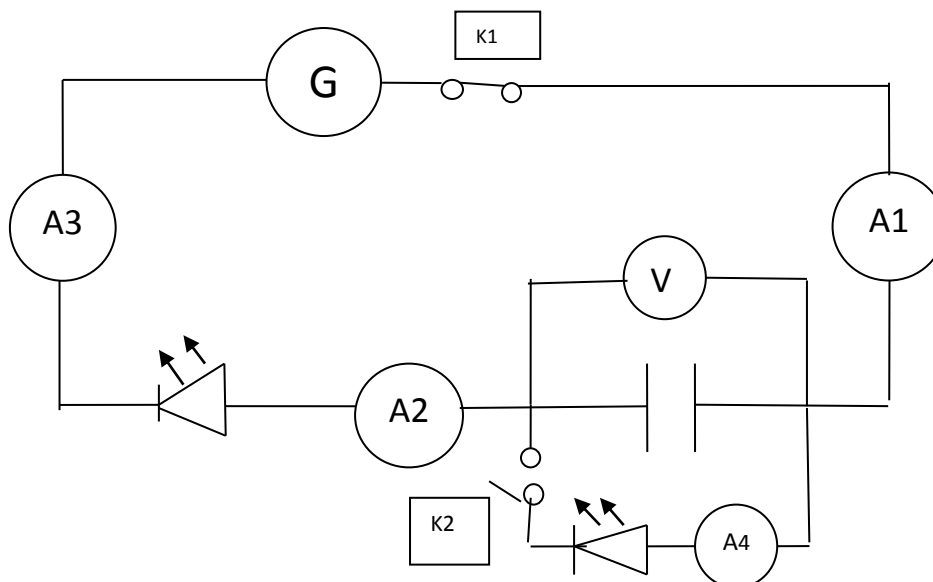


Schéma 7 : Activité expérimentale 6

Le schéma du montage est le même que précédemment. Le circuit de décharge est constitué d'une branche montée en dérivation sur le condensateur comportant une DEL et un ampèremètre. Une deuxième dérivation comporte un voltmètre, afin de voir l'évolution de la tension aux bornes du condensateur lors de la décharge.

7.1.2. Objectifs et mise en œuvre de l'expérimentation.

L'énergie stockée dans le condensateur est utilisée pour alimenter une DEL. Le choix de la DEL permet de montrer qualitativement qu'il y a un courant qui la traverse pendant un court instant.

L'ampèremètre branché en série permet de montrer que l'intensité décroît rapidement pour s'annuler et confirme le passage du courant pendant un court instant dans le circuit.

Le voltmètre branché en dérivation montre que la tension décroît aux bornes du condensateur pour s'annuler en même temps que l'intensité.

Les élèves doivent être en mesure d'évoquer l'étape de décharge du condensateur.

A l'issue de cette étape, les élèves doivent être parvenus seuls à concevoir que le condensateur se charge et peut ensuite se décharger dans un autre circuit.

Pour ce faire, les élèves commencent par reproduire l'expérimentation de charge du condensateur réalisée plus haut en fermant l'interrupteur K1 (K2 est ouvert). Ils doivent observer que la tension augmente et atteint une valeur maximale aux bornes du condensateur. Parallèlement, l'éclairement de la lampe dans le circuit principal décroît en même temps que l'intensité. Les élèves ouvrent K1, la tension ne change presque pas aux bornes du condensateur, puis ils ferment K2. Ils doivent observer que la DEL branchée en dérivation s'éclaire pendant un bref instant et que la tension aux bornes du condensateur chute rapidement de même que l'intensité dans le circuit avant de s'annuler toutes les deux.

7.2. Résultats

7.2.1. Observations recueillies par les élèves.

Les observations des élèves sont répertoriées dans le tableau 61 suivant :

Tableau 61 : Observations faites par les élèves pour l'activité expérimentale 6

Observations faites	Nombre d'élèves
A la fermeture de K2, la tension chute, la lampe en dérivation s'allume et s'éteint progressivement.	7
A la fermeture de K2, la lampe en dérivation s'allume et s'éteint progressivement ; la tension diminue ainsi que l'intensité.	24
La DEL s'éteint progressivement.	1

L'analyse des résultats montre que dans la très grande majorité (75%), les élèves relèvent toutes les informations du circuit. Plus de 20% d'entre eux mentionnent toutes les observations hormis les données de l'ampèremètre. Enfin seul un élève ne relève que l'évolution de l'éclairement de la DEL dans la branche en dérivation. On constate une certaine unanimité au niveau du comportement des élèves : tout se passe comme si cette expérimentation venait confirmer une logique de pensée acquise. Les élèves ne semblent plus être dans la phase de tâtonnement puisqu'ils semblent prendre du recul par rapport à l'expérimentation pour savoir en retirer l'essentiel.

7.2.2. Fonctionnement du condensateur dans un circuit : les représentations des élèves.

On demande ensuite aux élèves de rassembler les résultats obtenus pour qu'ils donnent leur représentation du fonctionnement du condensateur dans un circuit électrique.

Les résultats sont regroupés dans le tableau 62 suivant :

Tableau 62 : Représentations élèves du fonctionnement du condensateur dans un circuit.

Fonctionnement du condensateur	Nombre de réponses
Le condensateur stocke de l'énergie qu'il peut libérer ensuite.	28
Le condensateur stocke des électrons jusqu'à saturation.	2
Le condensateur permet de réguler le courant progressivement.	1
Le condensateur isole le courant.	1

A l'issue de l'expérimentation, pratiquement 90% des élèves sont en mesure de se représenter convenablement le fonctionnement du condensateur dans un circuit électrique. Pour ce qui concerne l'explication du passage du courant dans le circuit pendant la phase de charge, cela pourrait faire l'objet d'un autre travail d'investigation avec les élèves. Notons toutefois, qu'il devient plus facile d'apporter ce complément aux élèves à partir des expériences proposées précédemment. Il conviendrait d'amener les élèves à prendre conscience qu'à cause de l'isolant, aucun courant continu ne traverse le condensateur. Les élèves ont constaté l'évolution de la tension aux bornes du condensateur pendant la charge, ils peuvent dès lors apporter une explication à l'apparition de cette tension.

On note que certains élèves ont fait le retour sur la chaîne Hi-Fi en supposant l'existence de condensateurs dans les circuits électriques de l'appareil.

III- Exemples de parcours individuel d'évolution de la pensée : repérage comparé

1. Introduction

L'exploitation des énoncés recueillis à l'échelle de la classe a permis d'effectuer une étude quantitative de l'évolution de la pensée des élèves. Pour ce faire, une tentative de catégorisation de leurs énoncés est réalisée, en inférant que le contenu des énoncés recueillis traduit leur représentation. Ainsi, le paragraphe précédent s'est consacré à étudier quantitativement l'évolution du processus de pensée des élèves grâce à un accompagnement expérimental. Dans le chapitre qui suit, il s'agit d'étudier qualitativement et de manière comparée deux cas de processus d'évolution de pensée de deux élèves depuis leur représentation initiale, jusqu'au moment où ils tiennent le savoir. On espère dégager des aspects qui peuvent échapper à une étude menée de manière statistique.

2. Présentation des élèves

Le parcours de pensée noté parcours 1 est celui d'une fille de la classe de Terminale S, dont le niveau est moyen en physique chimie.

Le parcours de pensée noté parcours 2 est celui d'un garçon de la même classe, dont le niveau est très satisfaisant en physique chimie.

Les deux élèves ont le même âge soit 17 ans et demi et font tous les deux partie de l'échantillon précédent : leurs réponses sont donc dans les tableaux donnés précédemment. Aucun des deux n'a redoublé la classe de terminale S (ce qui signifie qu'aucun des deux n'a abordé l'étude du condensateur en classe).

3. Emergence de l'état de pensée initiale des élèves.

3.1. Hypothèse initiale pour les deux situations « habituelles » proposées

Dans le tableau 63 suivant, est indiquée la situation 1 et les réponses des élèves.

Tableau 63 : Situation 1 et réponse de l'élève.

Situation 1	« Quand on coupe le courant d'alimentation d'une chaîne Hi Fi quelle observation faites-vous au niveau du voyant lumineux ? »
Parcours 1	<i>-On observe que le voyant lumineux s'éteint progressivement.</i>
Parcours 2	<i>-Le voyant lumineux s'éteint progressivement</i>

La situation 2 et la réponse proposée sont données dans le tableau 64 suivant.

Tableau 64: Situation 2 et réponse de l'élève.

Situation 2	« Que se passe t-il quand on appuie sur l'interrupteur pour éteindre la lumière dans une pièce par comparaison à la situation précédente»
Parcours 1	<i>-On observe que la lumière ne s'éteint pas progressivement mais spontanément.</i>
Parcours 2	<i>-La lumière dans une pièce s'éteint instantanément.</i>

Dans les deux cas, les réponses formulées sont des représentations de type R1 dans la mesure où celles ci ne présentent pas de caractère explicatif.

3.2. .Hypothèse initiale formulée.

Pour expliquer les observations faites, les hypothèses formulées par l'élève sont indiquées dans le tableau 65 suivant:

Tableau 65 : Hypothèses initiales formulées

	Hypothèse initiale formulée par l'élève
Parcours 1	<i>« On observe que le voyant lumineux de la chaine Hi Fi s'éteint progressivement car il s'agit d'une baisse de l'intensité du courant et non de l'ouverture du circuit. La lumière d'une pièce s'éteint spontanément car lorsqu'on appuie sur l'interrupteur le circuit électrique sera ouvert et donc le courant ne circule plus. »</i>
Parcours 2	<i>« Je pense qu'il reste un peu de courant dans le circuit lorsque l'on coupe l'alimentation de la chaine Hi Fi. »</i>

3.3. .Analyse des représentations « initiales » recueillies : impact des R1 ?

Alors que 17 élèves soient 53% de l'échantillon attribuent la différence observée dans les deux situations, à une différence de fonctionnement lampe/DEL. On constate que le sujet du parcours 1 explique la différence observée par l'action exercée par l'expérimentateur sur les deux circuits : il considère que dans le cas de la chaine Hi Fi, il ne s'agit pas véritablement d'une rupture du courant puisque pour lui on n'a pas actionné un interrupteur contrairement à

la situation 2 où il a clairement identifié l'interrupteur. Ainsi la chaîne étant encore branchée au secteur, en état de veille, il considère que c'est « une diminution progressive de l'intensité du courant » qui est responsable de l'extinction progressive de l'éclairement du voyant lumineux. Dans le cas de la lampe, le résultat reste conforme au mode de fonctionnement d'un interrupteur dans un circuit, d'où une rupture instantanée du courant. Ici l'élève n'utilise pas le paramètre le plus saillant qui est la différence de nature des lampes, néanmoins, on peut considérer une liaison entre la R2 proposées et les R1 formulées au préalable. L'élève explique la différence (rupture progressive et rupture instantanée) du courant par une différence au niveau des « points d'action » sur les deux circuits. Elle identifie bien l'interrupteur dans un cas et attribue dans l'autre cas (chaîne Hi Fi) une fonctionnalité en adéquation avec l'observation faite (la R1 formulée). L'hypothèse proposée présente un caractère vérifiable : elle peut donc être soumise à l'épreuve de l'expérience.

Dans le cas du parcours 2, l'élève explique la différence observée en restant très pragmatique : il considère que si le voyant lumineux continue d'éclairer après la rupture du courant, c'est qu'il y a du courant qui continue de passer dans le circuit. D'autre part, il considère que c'est une quantité de courant bien limitée puisque le voyant finit par s'éteindre, ce qui n'est pas le cas pour la lampe d'éclairage d'une pièce dans une habitation. Cette hypothèse diffère de celle formulée dans le parcours 1 : ici l'élève se contente de considérer qu'il y a du courant qui circule malgré l'ouverture du circuit. On peut dire que son hypothèse est « prudente » dans la mesure où l'on a une forte chance de prouver que le voyant éclaire grâce au passage d'un courant pendant un court instant. On ne connaît en effet pas d'autre méthode pour faire fonctionner le voyant lumineux. Par contre dans le cas 1, l'élève va au-delà de l'idée du courant qui circule après l'ouverture du circuit (idée qui est sous-jacente à sa proposition). Elle propose, en plus, d'expliquer pourquoi il y a un courant qui circule pendant un court instant dans le voyant lumineux. On constate ainsi que chaque élève aborde initialement la même situation problème avec une représentation initiale qui lui est personnelle. On comprend ainsi l'intérêt de permettre à chaque élève de faire émerger sa représentation initiale pour ensuite faire converger chaque pensée vers un point central unique qui est le savoir scientifique à « tenir ». Ainsi chaque pensée va suivre un parcours qui va dépendre de la manière dont celle-ci va être « percutée » à mesure de sa progression par les différentes situations qu'elle va rencontrer (situation expérimentale, information,...). Dans le cas de la pensée, pour passer d'une représentation à une autre, il faut une situation favorisant son évolution. Cette situation doit être suffisamment « percutante » pour permettre à la pensée

initiale d'évoluer. Ainsi tout comme en chimie ou l'acte élémentaire est modélisé par un choc qui peut être efficace (transformation) ou inefficace (pas de transformation), dans le cas de la pensée, il faudra une situation (par exemple, expérimentale) appropriée pour que la transformation opère.

4. Les différentes étapes d'évolution de la pensée

4.1. .Etape 1 : Evolution des hypothèses « initiales »

Pour les deux circuits, l'élève du parcours1 remarque que la lampe s'éteint spontanément. Il en est de même pour l'élève du parcours 2 qui remarque que l'intensité du courant passe brutalement à 0 pour les trois ampèremètres dans chaque circuit simultanément. Si le sujet 1 considère que l'expérience proposée peut l'aider à éprouver son hypothèse (si l'on pose que le circuit A modélise la situation 2 et le circuit B la situation 1), le sujet 2 a mesuré la raison de la réalisation de ces deux montages : *« L'objectif était de montrer si la DEL était la cause de l'extinction progressive du courant ».*

Le sujet 1 mentionne que l'expérience remet en cause son hypothèse initiale. Son hypothèse évolue en considérant que la différence de comportement des deux lampes dépend d'« un autre élément » du circuit. On peut s'interroger sur cette évolution de l'hypothèse initiale puisque en effet, la situation expérimentale proposée ne devait a priori pas avoir d'impact sur l'hypothèse initiale proposée par cette élève, si ce n'est que de la conforter. En effectuant les deux circuits avec le même interrupteur, et au regard des résultats, l'élève devait plutôt conforter son hypothèse. On peut supposer que celle-ci s'est trouvée dans une impasse en constatant qu'il n'était pas envisageable de mettre à l'épreuve un effet de la nature des interrupteurs. On peut aussi supposer l'effet des autres élèves qui ont peut-être manifesté d'autres idées ou encore l'effet lié au matériel utilisé qui ne fait pas intervenir des interrupteurs variés. Cependant, on constate que le sujet 1 n'abandonne pas l'idée de la cause d'un autre composant dans le circuit0 mais il rejette celle liée à la nature de l'interrupteur. Pour ce cas de figure, on peut constater un faible écart de structure entre l'hypothèse initiale et celle d'arrivée : l'élève ne fait que déplacer la cause de l'interrupteur à un autre composant supposé du circuit. C'est un faible changement qui ne nécessite pas d'« être percuté fortement » pour basculer vers une autre formulation structurellement proche mais certainement « plus stable » pour l'élève.

Le sujet 2 considère de son côté que *« on peut conclure que la DEL n'est pas responsable de la façon dont elle s'éteint »* ce qui lui permet de dire concernant son hypothèse initiale : *« les résultats de l'expérience n'empêchent pas mon hypothèse »*. Cette situation illustre ce qui a

été dit précédemment : la situation expérimentale n'était pas appropriée pour faire évoluer la représentation initiale de cette élève. Certes elle apporte des informations complémentaires à l'élève, mais elle ne percute en rien son hypothèse initiale, donc pas d'évolution de l'hypothèse initiale. Cette situation permet de mettre en lumière un point important de la démarche d'investigation où l'élève propose lui-même son protocole expérimental pour éprouver son hypothèse. On aurait souhaité procéder ainsi pour ce travail de recherche ; mais dans la mesure où l'on étudie le parcours de pensée de chaque élève, cela deviendrait rapidement difficilement gérable au point de vue matériel. On a considéré ici un sujet pour que la fenêtre des hypothèses possibles ne soit pas trop ouverte afin de pouvoir éprouver des hypothèses variées avec un même matériel disponible au laboratoire.

4.2. .Etape 2 : Evolution de l'hypothèse du palier de pensée 1.

4.2.1. Travail de réflexion

Les représentations initiales du mot condensateur pour ces deux élèves sont données dans le tableau 66 suivant :

Tableau 66 : Représentations initiales du condensateur pour les deux sujets

	Représentation initiale du mot condensateur
Sujet parcours 1	Composant qui « permet de stocker de l'énergie »
Sujet parcours 2	Composant qui « <i>condense le courant qui le traverse</i> »

4.2.2. Une expérience de pensée et représentation initiale.

Le tableau 67 traduit le conflit psycho-cognitif qui s'installe parallèlement chez les deux sujets.

Tableau 67 : Evolution comparée des hypothèses initiales pour les deux sujets

	Formulation du sujet parcours1	Formulation du sujet parcours 2
Proposition	« <i>la lampe ne va pas s'allumer</i> » au regard de la présentation faite sur le condensateur	« <i>on s'attend à ce qu'il y ait une diminution progressive du courant</i> »

Observation	« la lampe s'allume puis s'éteint progressivement ».	« on observe un flash lumineux de la DEL, et elle s'éteint progressivement »
Conclusion	« la proposition n'est pas en accord avec les observations expérimentales »,	« Ma proposition est en accord car la DEL s'éteint lentement, cependant la DEL ne s'allume qu'un court instant ».
Hypothèse Palier 2	« Lorsque le condensateur est en circuit, il stocke des électrons qui seront libérés lors du passage du courant car celui-ci arrive avec d'autres électrons. »	« Le condensateur bloque le courant »

4.2.3. Interprétation de l'évolution de la pensée de l'élève.

Cette expérience bouscule le sujet 1 dans sa conception du circuit : jusqu'alors, la présence d'un isolant dans le circuit devait interrompre le passage du courant. Or il constate que ce n'est pas le cas. L'hypothèse formulée lui permet d'expliquer pourquoi il y a un courant malgré l'isolant. L'élève propose d'expliquer le passage du courant par un choc entre des électrons qui seraient déjà stockés dans le condensateur et les électrons qui arriveraient par le courant après la fermeture de l'interrupteur. On constate que ce schéma explicatif utilise des connaissances de la mécanique : le choc entre solides. Si l'idée d'électrons stockés est déjà évoquée, il n'en reste pas moins que la proposition de l'élève pour expliquer le fonctionnement du condensateur reste très éloignée de la connaissance reconnue pour le fonctionnement du condensateur.

On constate que le sujet 2 ne s'arrête pas pour l'instant sur la présence de l'isolant. On peut supposer qu'il possède déjà quelques éléments de connaissance sur le condensateur. Contrairement au sujet 1, cette expérience ne bouscule pas la conception du sujet 2 puisqu'il considère que les résultats observés sont en accord avec ses attentes.

4.3. .Etape 3 : Evolution des hypothèses du palier de pensée 2

Pour préciser leur représentation du fonctionnement du condensateur, les élèves ont réalisé le montage de l'expérience 3 « Un autre circuit avec condensateur ». A l'issue de cette expérience, les élèves ont fait si nécessaire évoluer leur hypothèse (tableau 68).

Tableau 68 : Evolution comparée des hypothèses du palier de pensée 2

	Formulation sujet parcours 1	Formulation sujet parcours 2
Observations	« lorsque l'on ferme K1 il y a passage du courant pendant un court instant puis rupture progressive ; à la fermeture de K2, les deux lampes restent allumées. »	« quand on ferme l'interrupteur 1, l'intensité diminue progressivement. A la fermeture de l'interrupteur K2, les DEL s'allument. »
Explications	« les électrons ne sont plus bloqués par le condensateur et circulent par le circuit en dérivation lorsque l'interrupteur 2 est fermé ».	« Le courant passe par la dérivation et contourne le condensateur. Celui-ci bloquait le courant »
Hypothèse Palier3	« c'est le condensateur qui est responsable de la rupture progressive du courant dans le circuit. »	« Elle confirme donc l'hypothèse émise au palier 2 »

Pour les deux exemples, les élèves parviennent au même résultat, à savoir que le condensateur est responsable de la diminution progressive du courant dans le circuit. Malgré des représentations initiales différentes, on constate que cette situation expérimentale permet de faire converger les pensées sur le fait que le condensateur est responsable de la diminution progressive du courant. Cependant, à ce stade de pensée, si l'un considère que le condensateur « bloque le courant » l'autre élève « pose que le condensateur « contient des électrons qui vont être libérés lors du passage du courant à la fermeture de l'interrupteur ».

4.4. Etape 4 : Evolution des hypothèses du palier de pensée 3

Le tableau 69 rassemble les hypothèses au palier 4 pour les deux sujets :

Tableau 69 : Evolution des hypothèses du palier de pensée 3

	Formulation sujet parcours 1	Formulation sujet parcours 2
Observations	« L1 s'allume puis s'éteint progressivement comme dans l'expérience 1. En ouvrant K1 il ne se passe rien et quand on ferme K2 la lampe en dérivation s'allume et s'éteint progressivement. »	« la lampe L1 s'allume puis s'éteint progressivement. En ouvrant l'interrupteur K1 il ne se passe rien et quand on ferme l'interrupteur K2 la lampe en dérivation s'allume et s'éteint »

		<i>progressivement. »</i>
Hypothèse palier 4	<i>« Lorsque le courant est passé avec la fermeture de K1, le condensateur accumule le courant puis lorsque K1 est ouvert et K2 est fermé le condensateur va libérer le courant accumulé. Ce qui explique que la lampe s'allume mais s'éteint après car le condensateur a accumulé une certaine quantité de courant »</i>	<i>« Mon hypothèse est fausse. Le condensateur stocke le courant et lorsque le circuit s'ouvre, il libère le courant dans le circuit fermé en dérivation ».</i>

A ce niveau de pensée, l'idée de « stockage » semble acquise chez le sujet du parcours 1, subsiste un « problème »: comment expliquer le passage momentané et la baisse du courant alors qu'il y a un isolant ? L'élève parle d' « accumulation » de courant : l'idée d' « accumulation » implique une « consommation de temps » ainsi que l'idée de « rétention ». Peut-être une manière d'expliquer la diminution progressive de l'intensité dans le circuit.

Par contre on observe que cette activité expérimentale « a bousculé » l'hypothèse de l'élève du parcours 2 puisqu'il reconnaît que son hypothèse est fausse. D'autre part, on peut dire que l'idée de « stockage » est aussi acquise, cependant, la conception du rôle du condensateur dans le circuit semble être acquise correctement et plus rapidement pour cet élève. L'analyse comparée de ces deux exemples montre que chaque élève construit le savoir à son rythme en utilisant un parcours qui lui est propre.

4.5. .Etape 5 : Evolution des hypothèses du palier de pensée 4

Le tableau 70 rassemble l'évolution des hypothèses du palier de pensée 4 pour les deux sujets:

Tableau 70 : Hypothèses des sujets au palier 5

	Formulation sujet parcours 1	Formulation sujet parcours 2
Observation	<i>« quand K2 est fermé la tension est nulle puis lorsque K1 est fermé il y</i>	<i>« Si K2 est fermé, la fermeture de K1 entraine une augmentation</i>

	<i>a une augmentation rapide de la tension qui devient ensuite constante à 5 volt »</i>	<i>rapide de la tension qui se stabilise »</i>
Conclusion	<i>« hypothèse est validée car : le courant accumulé est de 5 volt ».</i> -Le mot proposé pour qualifier le fonctionnement du condensateur : <i>« Accumuler ».</i>	<i>« Mon hypothèse est validée car : le condensateur stocke de l'énergie.»</i> -le mot proposé pour qualifier le fonctionnement du condensateur est <i>« Emmagasiner »</i>
Hypothèse palier 5	<i>« le condensateur stocke de l'énergie dans le circuit »</i>	<i>« Mon hypothèse reste la même qu'au palier précédent »</i>

Les observations faites corroborent l'hypothèse d'une accumulation d'une certaine quantité d'énergie par le condensateur. L'action qui consiste à ouvrir l'interrupteur K1 afin d'isoler le condensateur chargé a consolidé la pensée des deux élèves. A ce stade de pensée, on constate que l'élève du parcours 1 est pratiquement parvenu à concevoir le rôle du condensateur dans le circuit. Cependant, on note des imperfections au niveau de la formulation scientifique de la pensée.

Pour le sujet du parcours 2, on peut considérer que l'élève « tient le savoir » dès ce palier de pensée.

4.6. .Etape 6 : Evolution des hypothèses du palier de pensée 5

Le tableau 71 montre l'évolution des hypothèses du palier de pensée 5 :

Tableau 71 : hypothèses au palier de pensée 6 pour les deux sujets

	Formulation du sujet parcours1	Formulation du sujet parcours2
Observation	<i>« K1 fermé, la lampe L1 s'allume puis s'éteint progressivement, la tension augment et se stabilise. En ouvrant K1 et en fermant K2, l'éclairement diminue, la tension et</i>	<i>« K1 fermé, la lampe L1 s'éteint progressivement, la tension augment et se stabilise. K1 ouvert et en fermant K2, la lampe s'éteint progressivement, la tension et</i>

	<i>l'intensité diminuent en même temps. »</i>	<i>l'intensité diminuent»</i>
Conclusion	<i>« Mon hypothèse est confirmée »</i>	<i>« Mon hypothèse est confirmée »</i>
Rôle du condensateur dans le circuit	<i>« le condensateur stocke les électrons dans le circuit quand le courant diminue ».</i>	<i>« Le condensateur stocke les électrons dans le circuit et quand le courant est coupé, il libère les électrons dans le circuit en dérivation jusqu'à ce qu'il soit « vide ». »</i>

Dans la dernière étape qui a consisté à présenter une situation de décharge du condensateur, on constate que les deux élèves sont parvenus à relier l'évolution des différents paramètres dans le circuit (tension, intensité, éclairage de la DEL).

A l'issue de l'expérimentation, ces élèves sont en mesure de se représenter convenablement le fonctionnement du condensateur dans un circuit électrique. Ils ont pu facilement faire le retour sur les situations initiales en supposant l'existence de condensateurs dans les circuits de la chaîne Hi Fi. Pour l'élève du parcours 1, cela vient confirmer son hypothèse de l'existence « d'un élément » pour expliquer l'extinction lumineuse progressive au niveau du voyant lumineux.

5. Conclusion

L'étude comparée de ces deux cheminements de la pensée permet d'observer la progression de la pensée de l'élève et en parallèle la construction du savoir scientifique depuis sa représentation initiale. Elle permet d'autre part de constater que la progression de la pensée de l'élève lui est propre et n'est pas linéaire. L'élève progresse en fonction des hypothèses qu'il formule et des situations qu'il rencontre lui permettant de faire évoluer sa pensée. Chaque situation expérimentale amène l'élève à reconsidérer sa pensée de proche en proche jusqu'à tendre vers une conception scientifique de la situation. A mesure que l'élève « accroche » la représentation scientifique, sa pensée se stabilise. L'élève manifeste alors une certaine satisfaction, celle d'être parvenue à construire le savoir. On observe par ailleurs que chaque élève évolue à son rythme en fonction du cheminement suivi. Dans le cas de ces deux

élèves, on observe que c'est celui qui a le niveau le plus satisfaisant dans la discipline qui parvient le plus rapidement à « tenir le savoir correctement », sans qu'il soit plus méritant au niveau du parcours emprunté. La différence semble se jouer au niveau de la formulation des hypothèses successives : plus l'hypothèse formulée est précise c'est-à-dire qu'elle cible un paramètre de la situation observée, plus le processus de la déconstruction-reconstruction est rapide. L'élève rejette son hypothèse plus facilement si celle-ci est contredite par les résultats de l'activité expérimentale. Lorsque l'hypothèse formulée est globale, l'élève n'abandonne pas sa pensée d'un coup, mais la façonne à mesure de ses observations expérimentales. Ainsi, lorsque le savoir à construire implique l'un des paramètres de la situation étudiée, l'évolution de la pensée qui passe par la formulation d'hypothèses précises semble amener l'élève à parvenir plus rapidement à tenir ce savoir. L'utilisation d'hypothèse globale semble permettre à l'élève de parvenir au savoir plus tardivement car celui-ci doit tâtonner plus longuement. C'est en effet une étape qui nécessite de l'observation, de l'attention, un sens critique et surtout une bonne capacité d'analyse. On note cependant que lorsque le temps est suffisant, l'objectif est atteint pour les deux sujets. A l'échelle de l'échantillon classe, on retrouve ces mêmes conclusions. On peut donc considérer que la démarche d'investigation va dans le bon sens puisqu'elle permet aux élèves d'évoluer à leur rythme et surtout de participer activement à la construction de leur savoir. Il est important de noter toutefois que cette expérimentation a ciblé un savoir précis : « le rôle du condensateur dans le circuit ». Il serait sans doute plus délicat de s'aventurer dans une telle démarche en se donnant pour objectif d'atteindre un ensemble de savoirs simultanément.

IV- Discussion

1. Introduction

L'étude réalisée dans ce chapitre s'appuie sur les résultats et conclusions obtenues dans les chapitre VI et VII. Ces résultats permettent de concevoir un outil pour étudier l'évolution de la pensée au cours d'un processus d'apprentissage. Les résultats du chapitre VI permettent de définir les conditions dans lesquelles il faut conduire l'étude de l'évolution de la pensée dans l'apprentissage d'un savoir scientifique. En particulier, le choix d'un outil pédagogique reposant sur l'expérimentation est largement suggéré. Les conclusions du chapitre VII précisent de leur côté les paramètres de l'expérimentation qu'il faut mobiliser pour rendre celle-ci plus efficace. Ainsi, la conception de l'activité proposée aux élèves privilégie l'expérimentation par ceux-ci pour leur faire construire le savoir scientifique. Compte tenu du matériel à disposition, il n'est possible de faire au mieux des groupes de trois

à quatre élèves. Néanmoins, les élèves de chaque groupe peuvent s'ils en ont besoin, utiliser individuellement le matériel pour refaire la manipulation. Par contre, les élèves n'ont pas l'autorisation de communiquer entre eux. En effet, les résultats de l'analyse du chapitre VI montrent que les représentations initiales sont certes personnelles, cohérentes, tenaces logiques et erronées, mais dans certains cas, certains élèves peuvent taire leur représentation pour accepter passivement celle d'un autre élève. L'objet de la recherche étant le suivi de l'évolution de la pensée de chaque élève, il faut éviter autant que possible les autres facteurs pouvant influencer cette évolution.

La démarche d'investigation demande que l'élève soit auteur du protocole expérimental à mettre en œuvre pour tester son hypothèse. Pour cette étude, les manipulations à réaliser sont directement proposés aux élèves. Différentes raisons expliquent cette anticipation : Tout d'abord, l'émergence des représentations initiales des élèves pour le sujet abordé (le rôle du condensateur) montre sur quelques années une certaine stabilité des réponses. C'est-à-dire que les principales représentations initiales proposées par les élèves de l'échantillon sont attendues à l'exception de certaines réponses isolées mais tout aussi importantes pour l'étude. D'autre part, les résultats obtenus dans le chapitre VII indiquent comment construire les activités pour éprouver une hypothèse. Par exemple, il s'agit de mettre en lumière certains paramètres que l'on souhaite éprouver dans l'activité proposée, ou encore d'utiliser les aspects qualitatifs sans négliger les aspects quantitatifs. D'autres considérations plus pratiques permettent aussi de privilégier l'anticipation des activités à proposer aux élèves : principalement, la disponibilité limitée du matériel, le temps disponible en classe (en particulier en classe de terminale S). Précisons en outre, que le choix d'anticiper la conception des activités expérimentales et de les proposer directement aux élèves ne gêne pas le travail de recherche car celui-ci s'intéresse précisément à l'étape de « formulation d'hypothèses » par les élèves et l'évolution de ces hypothèses. Les interactions entre cette étape et celles de questionnement en amont et d'expérimentation en aval ne sont pas négligées pour autant. Ainsi, les activités proposées aux élèves ont pour objectif de « rentrer » dans la logique supposée des représentations successives des élèves et en même temps de mettre en lumière leur caractère erroné.

Différentes raisons aident à retenir le choix d'un sujet portant sur l'étude du condensateur en terminale scientifique pour étudier l'évolution de la pensée des élèves au cours d'un apprentissage. Dans un premier temps, il est important de proposer une situation tirée du quotidien des élèves. Cela permet de susciter chez eux une certaine motivation et l'envie d'aller au bout de l'investigation. Il faut en effet proposer aux élèves des activités qui procurent du sens. « Faire sans savoir pourquoi » n'est pas source de motivation pour les

élèves. Ainsi en construisant une situation pédagogique d'apprentissage proche de leur milieu de vie, celle-ci devient porteuse de sens au maximum d'élèves. Ces considérations permettent d'éviter aux élèves de se poser la question: « A quoi cela va-t-il servir ? ». Les élèves posent cette question lorsque l'activité qu'ils réalisent ne leur dit rien, c'est à dire lorsqu'elle ne procure pas de sens pour eux.

Le thème de l'électricité semble approprié pour cette étude dans la mesure où les notions d'électricité sont en générales l'objet de représentations naïves de la part des élèves car non observables concrètement. Ces représentations naïves sont en générale éloignées des savoirs scientifiques.

Plus précisément le sujet du condensateur s'est imposé de lui-même : c'est un chapitre qui était inscrit au programme de Terminale S depuis plusieurs années. Avec l'entrée en vigueur des nouveaux programmes en 2012, ce chapitre n'y figure plus en tant que tel, mais le condensateur peut être utilisé dans un montage. D'un autre côté, ces nouveaux programmes préconisent de mettre en place des pratiques pédagogiques telle que la démarche par investigation. En outre, depuis des années, les élèves semblent appréhender difficilement le condensateur et son fonctionnement dans un circuit électrique tel que le circuit de charge ou de décharge. Dans les dernières années, il a semblé intéressant de procéder autrement en proposant aux élèves une activité « pour entrer dans le chapitre ». C'est une expérience montrant le rôle du condensateur dans un circuit afin de susciter chez eux questionnement, émergence des représentations naïves face à une situation inhabituelle et surtout la motivation pour aller au bout du chapitre. La réalisation de cette activité depuis quelques années montre que les élèves proposent des schémas explicatifs variés et ayant chacun une part de logique. Ces schémas explicatifs sont les mêmes pour la plupart d'une année à l'autre. Par contre, l'activité proposée ne cherchait pas durant ces années à procéder à une quelconque « déconstruction », le savoir scientifique est apporté aux élèves avec l'espoir qu'en mémorisant, ceux-ci ne gardent que cette conception scientifique du fonctionnement du condensateur. Malheureusement, les résultats d'évaluations formatives ou diagnostiques courtes montrent à chaque fois qu'il n'en est rien.

Ces constats suscitent des questions évidentes : Pourquoi les élèves n'adhèrent ils pas en masse à l'information qui est donné ? Comment les amener à intégrer ce savoir ?

Ces différentes raisons sont à l'origine de la décision de faire de la problématique du statut de « l'hypothèse » et de sa fonction dans la démarche d'investigation un sujet de recherche.

2. Interprétation des résultats obtenus dans l'étude de l'évolution de la pensée des élèves à l'échelle de la classe.

2.1. Interprétation des résultats obtenus dans l'étape d'émergence des états de pensée initiales des élèves

Le choix de la situation-problème proposée aux élèves a pour objectif avant tout de produire du sens chez eux. Cette situation les concerne dans la mesure où ils utilisent quasi quotidiennement des appareils au niveau desquels ils observent le phénomène évoqué. Cette observation à priori très simple voire très banale provoque chez eux plutôt de l'étonnement voire de la stupéfaction. D'une part, ils prennent conscience de leur incapacité à expliquer le phénomène à partir de leur connaissance en électricité, d'autre part, ils manifestent de la curiosité et souhaitent obtenir l'information. La situation proposée aux élèves est vécue par ceux-ci comme une difficulté, un obstacle qui remet en cause ce qu'ils croient savoir. Ils sont dans une « impasse ». Finalement ce n'est pas seulement le savoir qui est mis en cause mais aussi l'élève. C'est donc le blocage créé par cette impasse et leur implication qui vont donner du sens au travail à venir des élèves. En effet ce blocage est générateur de questionnement. Pour cela, les élèves sont donc placés devant deux situations d'apparence banale mais présentant une contradiction. La simple évocation de ces deux situations, « Rupture du courant dans une chaîne audio et dans une pièce d'habitation » a permis de faire émerger des conceptions chez les élèves lesquelles sont en contradiction avec la réalité et leurs connaissances en électricité. La diversité des réponses recueillies à ce stade traduit une grande implication des élèves autour du sujet et montre bien que chaque élève a sa représentation du même fait. A ce stade, il n'y a pas consensus autour d'« un savoir unique » mais des « savoirs personnels ». Cette situation montre la nécessité de faire apprendre, c'est-à-dire l'intérêt d'avoir un « arbitre » ou un « guide » qui amène les élèves vers un savoir unique, collectivement partager.

De l'ensemble des analyses effectuées sur l'étude à l'échelle classe, il paraît envisageable de dégager pour l'instant quelques caractéristiques très générales concernant les processus de recherche d'hypothèses explicatives pour le phénomène proposé. Nous constatons que les élèves procèdent à une analyse très sélective des situations proposées. Notons dans un premier temps que les hypothèses formulées montrent que les élèves n'ont pas une tendance naturelle à émettre des hypothèses mais plutôt à « affirmer » comme le souligne de Vecchi (1996). Selon ce dernier, il faudrait apprendre aux élèves à douter d'une part et d'autre part faire changer la conception qu'ils ont de l'hypothèse. En général, ils considèrent qu'émettre une hypothèse consiste à deviner la solution alors qu'on leur demande un travail d'anticipation.

Pour émettre des hypothèses, il ne s'agit pas de connaître la réponse au problème étudié mais de tenir compte d'un ensemble de connaissances qui permettent de donner sens au problème. Au niveau des hypothèses proposées nous constatons qu'elles s'appuient pour certaines sur l'expérience sensible et d'autre sur un raisonnement. Cela renvoie à l'origine des idées ou encore à la construction des hypothèses. Nous constatons en effet que certains élèves se laissent guider par les paramètres saillants glissés dans l'activité expérimentale comme par exemple la nature différente des lampes, la longueur du circuit (paramètre plus original mais légitime). D'autres semblent rechercher en mémoire des événements plus ou moins analogues à la situation étudiée, et des connaissances liées aux éléments qu'ils sélectionnent. Par exemple, considérons l'idée « de reste de courant dans le circuit » proposée par un quart des élèves: cette hypothèse contient à priori un aspect logique dans la mesure où le courant « se manifeste » momentanément et en s'estompant. Néanmoins, elle reste éloignée de la conception scientifique du phénomène dans la mesure où ceux-ci ne doivent pas envisager une accumulation de charges dans le circuit. Les élèves semblent s'être appuyés sur l'analogie hydraulique pour expliquer le phénomène. Ils semblent concevoir la rupture progressive du courant comme l'eau dans un tuyau après fermeture du robinet. En effet après fermeture du robinet, l'eau continue de s'écouler avec une diminution progressive du débit jusqu'à extinction. On constate que cette hypothèse vise un niveau d'explication assez globale, elle ne se focalise pas sur un facteur en particulier. Ces observations montrent bien, que les conceptions naïves ne sont pas éradiquées définitivement malgré un apprentissage scientifique, mais coexistent avec le savoir scientifique.

Pour les élèves ayant proposé des hypothèses plus spécifiques c'est-à-dire relatives à un ou des facteurs du phénomène, nous pouvons supposer comme le souligne Weil-Barais (1985, p.34) que le temps disponible est suffisant pour s'approprier la situation proposée et s'en faire une représentation globale, même grossière. Par exemple la moitié des élèves proposent une hypothèse autour d'« une différence entre la DEL et la lampe », d'autres proposent de considérer « la différence de distance entre les éléments du circuit ». Pour cette hypothèse, ils ne sont que deux car le facteur évoqué ici est moins évident. Dans ces différents cas, les élèves semblent avoir une vision plutôt paramétrique de la situation étudiée. Selon Weil-Barais (1985, p.34), l'élaboration de ce type d'hypothèses est fortement influencée entre autres, par le mode de présentation du phénomène et aussi l'expérience antérieure de l'élève.

2.2. Interprétation des résultats à l'issue de l'activité d'évolution de la pensée – palier de pensée 1

L'analyse des résultats obtenus au niveau de l'activité d'évolution des représentations initiales montre que celles-ci n'évoluent pas de manière similaire. Si nous considérons la distinction entre « hypothèse globale » et « hypothèse précise » nous observons que les hypothèses globales évoluent très peu contrairement aux hypothèses plus précises. Un élève sur sept fait évoluer son hypothèse parmi ceux qui proposent des hypothèses globales de la forme « il y a un reste de courant dans le circuit ». D'un autre côté, les hypothèses qui attribuent la différence entre les deux situations à un facteur précis évoluent pour la plupart substantiellement comme l'indiquent les tableaux 4,5 et 6. Cela vient donc corroborer l'idée que lorsque l'hypothèse formulée par l'élève cible précisément un facteur du phénomène, elle peut être éprouvée plus facilement et conduire à une évolution de la pensée du sujet. Il est donc plus facile dans ce cas de mettre en place un dispositif permettant de faire un élève consolider ou au contraire abandonner son hypothèse. D'après Giordan (1999, p.109), l'élève tient en général à sa première explication qui devient pour lui une certitude, sa seule explication du phénomène étudié. Pour que l'activité pédagogique soit efficace, elle doit faire en sorte que l'élève perde sa certitude. En tout état de cause, à ce stade, ce n'est pas à l'enseignant ni à une autre autorité de dire à l'élève qu'il s'est trompé. Il doit prendre en compte les résultats de l'activité pour constater qu'il est en contradiction ou en accord avec son hypothèse. Dans les deux cas, contradiction ou confirmation, l'élève doit y trouver le moteur de la suite de son investigation. Il doit donc trouver le besoin de faire évoluer son hypothèse et le besoin de proposer la vérification de celle-ci. En effet selon Giordan (1999, p.116), « il est toujours important que la certitude ne soit plus parachutée, que les justifications soient élaborées par l'élève à partir des obstacles qu'il a surmonté, en liaison avec ses idées ». Il souligne par ailleurs « qu'il est formateur que les élèves se trouvent devant plusieurs explications d'un même phénomène donnant lieu à controverse » c'est selon lui une occasion qui pousse les élèves à des investigations supplémentaires pour trouver la solution. Cette approche de mise en confrontation des différentes hypothèses des élèves constitue en effet une étape dans la démarche d'investigation. Cela n'est pas proposé ici dans la mesure où le travail de recherche consiste à étudier l'effet d'un facteur : l'expérimentation, sur l'évolution individuelle de la pensée des élèves.

Ainsi, cette phase d'évolution de la pensée, fait évoluer quantitativement les hypothèses qui présentent un caractère plus précis contrairement aux hypothèses plus globales qui n'évoluent quasiment pas. Les nouvelles hypothèses proposées en place de celles qui ont évolué, sont

plus en cohérence avec les observations faites au niveau de l'activité expérimentale. Plus de la moitié des élèves attribuent la manifestation du courant après rupture à un autre composant du circuit. Quelques uns considèrent que ce composant est une résistance. Nous constatons que les élèves cherchent à être le plus cohérent possible avec ce qu'ils observent. Nous notons ainsi une dispersion moins importante au niveau des hypothèses proposées.

2.3. Interprétation des évolutions entre le palier 1 et le palier 2

L'étape de présentation du condensateur aux élèves est une situation d'émergence des hypothèses initiales sur le rôle du condensateur dans un circuit. Tout d'abord, pour donner leur représentation du mot condensateur, nous constatons que les élèves ne prennent pas en compte les informations apportées dans la présentation du dipôle. Nous notons qu'un élève retient que dans le condensateur il y a un isolant pour proposer que « le condensateur va stopper le courant dans un circuit ». Plus des deux tiers des élèves restent accrochés à la représentation initiale que leur renvoie le mot « condensateur » pour émettre l'idée de stockage de courant ou d'énergie. Cette situation est fort intéressante dans la mesure où elle illustre une conclusion de l'étude menée dans le chapitre VI. En effet, après la présentation orale du chercheur, la majorité des élèves s'appuient sur la représentation véhiculée par le mot « condensateur » sans tenir compte des informations apportées dans la présentation orale. Nous pouvons supposer que cette activité d'écoute de l'exposé n'a pas un impact conséquent sur la pensée des élèves dans la mesure où ceux-ci ne se sentent pas impliqués dans une forme d'activité d'apprentissage. Nous pouvons supposer par contre que l'activité qui conduit au palier de pensée 1 impacte fortement les réponses données ici : les élèves sont en attente d'une réponse à la situation problème précédente, ils proposent alors que « le condensateur est un dipôle qui stocke de l'énergie ».

Lorsque nous demandons ensuite aux élèves d'anticiper les résultats attendus pour « l'expérience de la pensée avec un condensateur » dont nous leur présentons le schéma du circuit, nous constatons que les élèves réagissent autrement : ils sont tout aussi nombreux que précédemment à proposer que « le courant ne va pas circuler dans le circuit ». Ce résultat est plutôt inattendu : en effet précédemment, les élèves étaient plus d'une vingtaine à proposer un « stockage de courant ou d'énergie dans le condensateur ». Comment alors, concilier ces deux propositions ? Comment expliquer le « stockage du courant ou de l'énergie » sans envisager une manifestation du courant ?

Remarquons toutefois que nous retrouvons ici un résultat obtenu dans le chapitre VII : « pour émettre leurs hypothèses, les élèves utilisent un paramètre saillant de la situation ». En effet,

ici le schéma du circuit montre une ouverture au niveau du symbole du condensateur, donc le courant ne peut pas passer.

Nous constatons que les élèves adaptent leurs propositions en fonction de la situation qu'ils rencontrent. Ils cherchent à être en cohérence avec leur observation en proposant un schéma explicatif qui « colle à la situation ». Pour ce qui concerne la cohérence entre des situations différentes, cela semble être pour eux une situation problème d'un autre niveau.

Nous pouvons donc dire que peu importe la situation proposée aux élèves, ceux-ci vont y chercher les éléments en particulier le (ou les) plus saillant(s) pour construire leur schéma explicatif.

D'un point de vue individuel, les élèves sont dans une situation de conflit cognitif puisque si cela semble logique de dire « que le courant ne passera pas à cause de l'isolant » (paramètre saillant du montage), cela semble tout aussi logique d'envisager un « stockage » (d'après ce que suggère le nom du dipôle). Or il semble y avoir incohérence entre ces deux propositions.

La réalisation du circuit et l'observation des résultats sont l'occasion d'éprouver les hypothèses : nous constatons qu'une majorité des élèves interprète le passage momentané du courant dans le circuit comme un désaccord avec leur hypothèse. Cela semble étonnant dans la mesure où cette observation peut permettre de faire le lien entre la première proposition qui mentionne le stockage de l'énergie et la deuxième qui évoque la rupture du courant. Le passage momentané du courant peut être l'occasion d'expliquer un stockage progressif de l'énergie.

Dans les hypothèses formulées au palier 2, nous constatons qu'il y a une tentative de prendre en compte les différents éléments suivants: « le stockage de l'énergie ou du courant », « la rupture progressive du courant dans le circuit » et « la rupture du courant » afin de proposer un schéma explicatif cohérent. Ainsi, pour la moitié des élèves, nous avons les propositions suivantes : « Il y a stockage d'électrons avec libération de quelques électrons pour expliquer le passage du courant », « le condensateur est un isolant qui isole progressivement le courant. Il diminue le courant », « Le condensateur emmagasine l'énergie et la libère jusqu'à ce qu'il n'y en ait plus » et « le condensateur ouvre le circuit après un certain temps car il doit emmagasiner des électrons jusqu'à saturation ».

A mesure des activités proposées, les élèves prennent en compte les éléments nouveaux qu'ils recueillent pour ajuster la formulation de leur hypothèse. Si pour chacune des activités précédentes ils se contentent de donner une proposition qui ne tient compte que des paramètres de l'activité, à ce palier de formulation de leur état de pensée, nous remarquons qu'ils cherchent à proposer une hypothèse qui est une « synthèse » de leurs propositions

précédentes. Donc en laissant du temps aux élèves, ils structurent leur pensée pour formuler des hypothèses qui tiennent compte de différents aspects qui émergent de l'exploration de la situation étudiée. Plus le temps passe plus les hypothèses construites intègrent d'autres aspects de la situation pour former un « tout cohérent » acceptable pour l'esprit, à l'image de la théorie que le chercheur élabore pour expliquer un ensemble de lois.

2.4. Interprétation de l'évolution de la pensée entre palier 2 et palier 3.

L'activité proposée dans cette étape d'évolution de la pensée permet de cerner le rôle du condensateur dans le circuit. Une majorité des élèves conçoivent que le condensateur est responsable de la rupture du courant dans le circuit. Il y a à ce stade de la pensée un renforcement de leur hypothèse. Il est en outre important de noter que les élèves trouvent du sens à la manipulation puisqu'ils deviennent capables d'extraire l'information leur permettant de faire évoluer leur hypothèse. A ce stade, le travail des élèves est plus élaboré, puisqu'ils doivent formuler une hypothèse qui prend en compte l'ensemble des propositions données au préalable. Par exemple, pour concilier des aspects éloignés de leur hypothèse, c'est-à-dire, « passage momentané du courant malgré l'isolant », « rupture du courant » et enfin « charge du condensateur » certains élèves proposent de concevoir un « isolant progressif » au niveau du condensateur.

2.5. Interprétation de l'évolution de la pensée entre palier 3 et palier 4

Nous constatons que l'idée de « stockage de l'énergie ou des électrons » perdure jusqu'à ce stade d'évolution de la pensée. Cela corrobore les affirmations de Giordan qui considère que l'élève s'accroche à son explication première tant que celle-ci n'est pas remise en cause. L'analyse des résultats montre que les élèves exploitent à bon compte les résultats de l'activité proposée dans cette étape, puisqu'ils comprennent dans leur majorité qu'il s'agit d'éprouver qualitativement l'idée de « stockage de l'énergie ou d'électrons dans le condensateur ». Les élèves trouvent du sens à réaliser l'activité puisque celle-ci éprouve un aspect de leur hypothèse. Dans une telle démarche, l'activité expérimentale n'est plus exécutée machinalement sans l'implication des élèves. Les élèves donnent du sens à la tâche et ont une autre approche du rôle de l'expérience. Ils manifestent ainsi une plus grande attention puisqu'ils sont en situation d'investigation et en quête d'informations pour faire évoluer leur hypothèse.

2.6. Interprétation de l'évolution de la pensée entre le palier 4 et le palier 5

Si les élèves bien perçoivent qu'il s'agit de confirmer l'idée de « stockage », ils notent l'évolution quantitative de la tension aux bornes du condensateur au cours de ce processus. Cette activité peut amener les élèves à proposer une explication du processus de « stockage des électrons » dans le condensateur et à expliquer son caractère momentané. Les élèves proposent en effet de considérer une accumulation d'électrons dans le condensateur sans chercher véritablement à donner une explication de l'apparition de la tension. Nous pouvons considérer que c'est à cause d'une maîtrise insuffisante de la notion de tension électrique par les élèves. Il y a donc une focalisation sur l'idée du « stockage d'électrons dans le condensateur » sans pour autant expliquer le processus de ce « stockage des électrons ». Nous notons qu'il y a en outre une convergence des hypothèses proposées autour de l'idée de stockage de l'énergie ou des électrons dans le condensateur. Cependant les élèves ne cherchent pas encore à pousser l'investigation vers l'explication du processus de charge, seul un élève propose ouvertement une hypothèse. Ce constat s'explique d'une part par le fait que la question posée aux élèves était très précise et d'autre part parce que chercher à expliquer la charge du condensateur constitue une autre investigation qui pourrait faire suite à celle proposé dans cette activité de recherche. On peut tout de même dire qu'à ce stade de l'activité, une grande majorité des élèves parviennent à « tenir » l'information concernant le rôle du condensateur dans un circuit.

2.7. Interprétation de l'évolution de la pensée entre les paliers 5 et 6.

L'activité réalisée entre les paliers de pensée 5 et 6 a pour objectif de confirmer l'idée que le condensateur stocke l'énergie et que celui-ci peut la restituer ensuite. Pour le constater, les élèves peuvent s'appuyer sur des observations qualitatives (l'éclairage de la DEL dans la nouvelle branche du circuit placée en dérivation) ou des observations quantitatives (indications de l'ampèremètre ou du voltmètre). Les résultats montrent que les élèves relèvent tout aussi bien les observations qualitatives que quantitatives. Cependant il est important de noter que leur attitude vis-à-vis de l'expérience semble autre. L'activité expérimentale n'est pas vécue dans cette étape de la même manière que dans les premières étapes du cheminement de pensée. S'il en était déjà le cas pour certains élèves dans l'étape d'évolution entre les paliers 4 et 5, voire pour quelques uns entre les paliers 3 et 4, ici nous constatons que cette

attitude se généralise à la classe pratiquement dans son ensemble. Dans les premières activités, au début du cheminement de la pensée, les résultats expérimentaux constituent de la « matière » pour l'élaboration des hypothèses par les élèves. Nous pouvons dire que ceux-ci se trouvent dans une activité de pensée plutôt de nature inductive. Les élèves sont conscients que leurs formulations d'hypothèses a un caractère provisoire, fragile, instable, incertain et erroné. Maintenant, une certaine certitude s'installe dans la pensée des élèves : les hypothèses n'évoluent plus vers d'autres formes hypothétiques mais nous constatons qu'elles quittent leur statut d'hypothèse pour devenir un savoir construit. Au cours du cheminement de la pensée, lorsque l'hypothèse ne comporte plus d'aspect erroné, elle prend alors le statut de savoir. Ce savoir peut dès lors être qualifié de savoir construit si les élèves empruntent ce cheminement qui les amène à se déposséder progressivement de tous les aspects erronés qui accompagnent leur pensée. Ainsi, cela se traduit par un autre comportement vis-à-vis de l'expérience. Nous pouvons dire que les élèves rentrent alors dans une activité de pensée plutôt déductive. Les élèves ne sont plus « dépassés » par l'activité expérimentale, ils deviennent capables de l'imaginer au point d'anticiper les résultats qu'elle va produire. Ils ont un regard plus avisé et peuvent extraire plusieurs informations simultanément. Dans le cas présent les élèves parviennent à dire que l'éclairement de lampe diminue en même temps que la diminution de la tension et de l'intensité car ils ont compris que c'est un processus de décharge du condensateur et envisagent les conséquences sur différents paramètres.

Nous notons qu'à l'issue de cette étude, toute la classe parvient à faire passer leur hypothèse au statut de savoir mais pas avec le même rythme. Si pour un petit nombre, cette transformation demande peu d'activités, pour d'autres il faut plus d'étapes. Ainsi, cela laisse supposer que tous les élèves sont susceptibles de parvenir au même savoir mais chacun à son rythme et en fonction de son positionnement initiale par rapport au savoir étudié. Pour qu'ils parviennent tous au savoir, il faut:

- partir de leur représentation initiale du phénomène étudié.

- leur laisser le temps nécessaire pour qu'ils s'imprègnent de la situation étudiée de manière progressive. Cela leur permet de faire une dialectique tâtonnante entre la pensée et l'expérience ;

- faire éprouver chaque aspect erroné de leur pensée progressive afin qu'ils s'en débarrassent par eux même.

-observer l'instant où le savoir est atteint : l'élève possède alors une attitude déductive, il devient capable d'anticiper correctement les résultats attendus d'une expérience par exemple.

Dans le canevas de la démarche d'investigation, il est demandé à l'issue de la démarche de placer l'élève dans un autre contexte afin qu'il réinvestisse le savoir construit. Cela a pour conséquence de renforcer le savoir qu'il vient de construire. En effet, plus l'élève va diversifier les contextes dans lesquels il peut utiliser son savoir, plus il va le posséder et sera en mesure de le réinvestir dans un contexte nouveau et de manière spontanée car autrement il peut à nouveau ressortir ses connaissances naïves.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous avons constaté que pour juguler les difficultés que rencontrent les élèves en sciences physiques mises en évidence par l'état des lieux réalisé dans le premier chapitre, les démarches pédagogiques préconisées actuellement à l'échelle nationale comme mondiale mettent l'accent sur l'« investigation ». Contrairement aux activités utilisant une démarche inductiviste comme le définit Robardet (1997), les démarches basées sur l'« investigation » renouent des liens entre les représentations initiales des élèves et le savoir scientifique à construire. Nous avons vu en nous appuyant sur de nombreux auteurs tels que Bachelard, Robardet, Popper, qu'il était préférable à l'inductivisme dont l'enseignement des sciences physiques est encore très imprégné, de substituer une démarche constructiviste fondée sur l'hypothèse et la résolution de problèmes. L'expérience inductiviste proposée pour l'apprentissage doit être remplacée par l'expérience construite, impliquant l'élève. D'autres

épistémologues tels que Kuhn, Feyerabend, nous ont montré que les procédures de validation du savoir sont multiples et parfois moins rationnelles qu'on ne le pense. D'autre part, nous avons vu que les théories de l'apprentissage dont nous disposons sont complexes et que leur emploi n'est pas simple ni unilatéral. Nous avons évoqué par exemple les six grands paradigmes du 20^e siècle repérés par Sallaberry (2004) pour lesquels il parle de superposition, c'est-à-dire que toutes ces théories trouvent « en parallèle » des applications dans l'apprentissage actuellement.

Pour revenir à la démarche par investigation elle est constructiviste. L'interrogation de l'étape de formulation d'hypothèse qui constitue selon De Vecchi (2006) le pivot de la démarche, nous a montré contrairement à l'approche inductiviste où elle est totalement absente, que son positionnement dans cette démarche est central. Elle s'articule entre l'appropriation de la situation-problème par l'élève et la mise en œuvre de l'expérience. Nous avons ainsi montré que si traditionnellement le problème était utilisé pour vérifier l'efficacité d'un enseignement et l'expérience pour accompagner l'exposition de l'enseignant, ici le problème se situe en amont de l'apprentissage, son rôle est de susciter des questions et faire émerger des hypothèses chez l'élève. De son côté, l'expérience a pour fonction de valider ou d'invalidier les hypothèses. D'autre part, il en est ressorti que l'utilisation de l'hypothèse entraîne une autre prise en considération du vrai, du faux, et de l'erreur dans l'apprentissage : il n'est pas nécessaire que l'hypothèse soit vraie ou fausse, l'important c'est d'en concevoir et de pouvoir la formuler clairement. Nous avons montré en effet qu'une hypothèse « fausse » est source de progrès pour la connaissance dès lors qu'elle a été éprouvée. En nous appuyant sur De Vecchi (2006) nous avons constaté l'intérêt pédagogique des hypothèses et l'intérêt d'en faire formuler par les élèves dès leur plus jeune âge. Pour y parvenir, nous avons recherché la définition et les caractéristiques à attribuer à l'hypothèse, ainsi que ses critères de recevabilité. Des stratégies pour familiariser les élèves à l'utilisation de l'hypothèse sont données en particulier en direction des enseignants. En effet, selon Gangloff (2008), savoir formuler une hypothèse ne doit pas être circonscrit à une ou quelques disciplines, mais doit être un état d'esprit nécessaire et global » car l'hypothèse est un outil universel nécessaire à la construction du citoyen.

Pour préparer le cadre dans lequel nous avons opéré le recueil et l'exploitation des données sur le terrain, nous avons utilisé l'éclairage historique proposé par Robardet (1997), ce qui nous a permis d'évoquer l'épistémologie de la démarche expérimentale. Nous avons ainsi repéré de nombreuses critiques formulées par des épistémologues qui nous ont amené à constater qu'il existe un grand écart entre la science telle qu'elle se construit et la science

enseignée. L'apport de Le Moigne (1990) nous a permis pour sa part de préciser notre positionnement épistémologique vis-à-vis de ce travail et de pouvoir élaborer les méthodes permettant de recueillir et d'exploiter les données. Ici, dans la mesure où les données recueillies sont des énoncés, à partir desquels nous inférons des représentations et des « états de pensée », notre position est celle de l'hypothèse phénoménologique de Le Moigne.

Grace à la catégorisation des représentations proposée par Sallaberry (2004), nous avons effectué un tri des représentations avant de pouvoir commencer l'exploitation du corpus de données. Nous avons ainsi élaboré un outil approprié qui nous a permis de recueillir les états de pensée « statiques » sur les échantillons primaire et collège. Si cet outil a été efficace pour les investigations menées sur ces échantillons, il nous a rapidement montré ses limites dans la perspective d'étudier l'évolution de l'état de pensée des sujets dans le processus dynamique de l'apprentissage d'un concept scientifique. Ainsi, en utilisant les résultats obtenus sur les deux échantillons primaire et collège, une nouvelle méthode a été élaborée pour recueillir des processus d'évolution des états de pensée sur un échantillon d'élèves de lycée lors d'un apprentissage en physique. Cette méthode a été pertinente puisqu'elle a permis de suivre l'évolution des états de pensée des trente trois élèves d'une classe de terminale scientifique depuis leur conceptions naïves (initiales) sur le fonctionnement du condensateur dans un circuit électrique, jusqu'au savoir scientifique.

De l'exploitation du corpus de données, nous avons pu dégager un certain nombre de résultats.

Tout d'abord, concernant l'étude de l'impact de l'expérimentation sur l'apprentissage d'un savoir scientifique comparativement à un enseignement reposant seulement sur le discours magistral menée dans le primaire, il en ressort les points suivants :

Sachant que « Apprendre un nouveau concept », demande à l'enfant de faire évoluer sa connaissance initiale vers le savoir scientifique, nous avons émis l'hypothèse que l'expérimentation par les élèves constitue un outil didactique plus efficace pour le processus « déconstruction de la connaissance initiale – reconstruction du savoir construit » qu'une simple écoute d'un cours magistral dispensé par l'enseignant. Les résultats montrent en effet l'existence de représentations initiales construites par les élèves avant tout apprentissage. Celles-ci sont implicites et dans la plupart des cas, différentes du savoir scientifique en jeu mais elles restent logiques cohérentes dans l'esprit des élèves. Ainsi, pour un même phénomène, on dénombre plusieurs représentations initiales. Ces représentations évoluent

plus ou moins rapidement lorsqu'elles sont éprouvées par une situation qui bouscule leur logique ou leur cohérence.

L'analyse statistique des données recueillies montre que l'expérimentation ainsi que le cours magistral ont un impact significatif sur l'évolution des représentations initiales en savoir construit. Cependant, une activité expérimentale réalisée par les élèves est plus efficace qu'une explication orale de l'enseignant pour entraîner la transformation de la représentation initiale erronée vers un savoir scientifique. Avec le temps, différents facteurs présentent un impact significatif sur la transformation des représentations initiales. Ceux-ci viennent se superposer à l'effet lié au facteur expérimentation. Par exemple, alors que le sexe n'a aucun impact, les représentations initiales des élèves apparaissent comme un aspect "incontournable". La transformation semble plus ou moins efficace en fonction de la représentation initiale.

Pour ce qui concerne l'étude menée sur l'échantillon collège, elle consiste à interroger la construction de l'hypothèse. Quels sont les éléments qu'utilise le sujet pour élaborer son hypothèse ? Nous supposons par exemple, au départ, l'existence de paramètres plutôt pertinents au niveau de la situation problème qui pouvaient impacter l'état de pensée des élèves.

Nous avons retenu de cette étude les points suivants :

Dans le cas d'une situation que l'on peut qualifier d'« éloignée », les élèves semblent mobiliser en premier lieu leurs connaissances. Nous avons constaté qu'ils exploitaient pour cela les informations de la situation afin de repérer les connaissances à utiliser. Si les connaissances sont insuffisantes ou absentes, ils ont tendance à faire appel à leurs connaissances naïves.

S'ils sont dans une situation qu'ils côtoient habituellement, la formulation de leur hypothèse semble dépendre du « rapport de force » existant entre les connaissances naïves utilisées et les connaissances scientifiques apportées en classe. Si les connaissances scientifiques sont peu ou pas utilisées dans le langage courant pour expliquer la situation dans la vie courante, alors les élèves semblent proposer plutôt une représentation naïve.

Dans le cas d'une situation dans laquelle ils doivent anticiper le résultat, le comportement des élèves semble dépendre de la présentation de la situation. Si certains paramètres sont clairement mis en lumière, alors nous constatons que les élèves ont tendance à majoritairement les utiliser pour élaborer leur hypothèse. S'ils possèdent en plus des connaissances scientifiques en lien avec la situation, alors ils portent majoritairement leur

choix sur le paramètre saillant en lien avec leurs connaissances. Autrement ils semblent choisir majoritairement le paramètre saillant qui correspond à leur représentation initiale.

D'une manière générale, on peut dire que selon la situation à laquelle ils sont confrontés, les élèves vont utiliser une stratégie pour élaborer leurs hypothèses. Si dans la présentation de la situation, certains paramètres sont mis en évidence, alors ils vont principalement chercher à les utiliser. Autrement, ils vont exploiter leurs connaissances scientifiques ou initiales.

Ces résultats nous ont amené à considérer qu'en fonction de ce que l'on souhaite tirer comme information des hypothèses que vont formuler les élèves, il est préférable d'adapter la situation proposée.

Considérons le cas où l'objectif de l'activité consiste à faire émerger les représentations initiales des élèves dans le cadre d'un apprentissage. Il paraît plus opportun de proposer aux élèves une situation dans laquelle la formulation de leur hypothèse est le moins guidée possible. Pour cela, nous pensons qu'il faudrait proposer une situation dans laquelle les paramètres ne sont pas « éclairés ». La présentation doit être simple et succincte afin d'avoir une variété la plus large des hypothèses formulées par les élèves. Une telle activité peut être très appropriée en début d'un processus d'apprentissage.

Si l'objectif consiste à amener les élèves à tester des paramètres de l'expérience qu'ils auront eux-mêmes proposé au préalable dans leur hypothèse, alors il convient de proposer des situations mettant en « lumière » les paramètres en questions. Ce cas de figure peut être recherché pour éviter une trop grande dispersion des hypothèses des élèves lorsque le matériel pour les tester manque, ou encore lorsque l'on recherche un gain de temps en classe. Dans tous les cas, il est important que l'élève propose lui-même ou se positionne sur une hypothèse avant de chercher à tester une hypothèse. Cette situation nous semble appropriée dans le cadre d'une séquence d'apprentissage, une fois l'émergence des représentations effectuée. Dans un premier temps il convient d'interpréter les représentations initiales des élèves afin de repérer les paramètres qu'ils ont utilisés dans leur représentation. Ensuite, il faudrait élaborer des situations « d'évolution de la pensée » à partir des éléments tirés de l'interprétation des représentations initiales. C'est cette méthode qui est utilisée dans ce travail pour tenter de suivre l'évolution de la pensée des élèves de terminale scientifique.

Enfin pour ce qui concerne l'étude menée au niveau de l'échantillon lycée, elle a cherché à caractériser les évolutions de pensée des élèves au cours d'un apprentissage depuis leurs représentations initiales jusqu'à ce qu'ils parviennent à tenir le savoir construit. La méthode élaborée pour ce recueil de données se révèle pertinente car elle nous permet de suivre l'évolution de pensée de tous les élèves de l'échantillon et de dégager de l'exploitation

de ces données des résultats intéressants pour répondre à la question de la fonction structurante de l'hypothèse dans l'apprentissage et plus largement de comprendre l'une des raisons de l'efficacité de la démarche par investigation comparativement à une démarche classique plutôt inductiviste.

A partir de l'exploitation des données à l'échelle classe nous sommes en mesure de dire que les hypothèses formulées montrent que les élèves n'ont pas une tendance naturelle à émettre des hypothèses mais plutôt à « affirmer » comme le souligne de Vecchi (1996).

Nous constatons que toute la classe est parvenue à faire passer les hypothèses au statut de savoir mais pas avec le même rythme, pour certains il n'a fallu que peu d'activités, alors que pour d'autres, plus d'étapes. Cela laisse supposer que tous les élèves sont susceptibles de parvenir au même savoir mais chacun à son rythme et en fonction de son positionnement initiale par rapport au savoir étudié. Ce résultat apparaît également dans l'exploitation de l'échantillon collège. Pour qu'ils parviennent tous au savoir, nous pensons qu'il faudrait:

- partir des représentations initiales des élèves du phénomène étudié.

- leur laisser le temps nécessaire pour qu'ils s'imprègnent de la situation étudiée de manière progressive. Cela leur permet de mener une dialectique tâtonnante entre la pensée et l'expérience ;

- éviter de stigmatiser les représentations qui semblent a priori trop éloignées du savoir. Dans un tel cas de figure il convient d'encourager et d'aider l'élève à mettre en place des situations appropriées pour faire évoluer ses représentations.

- faire éprouver chaque aspect erroné de leur pensée progressivement afin qu'ils s'en débarrassent par eux même.

- observer l'instant où le savoir est atteint : l'élève possède alors une attitude déductive, il devient capable d'anticiper correctement les résultats attendues d'une expérience par exemple.

Nous montrons finalement, qu'une démarche utilisant les hypothèses des élèves les amène avec un réel succès à tenir le savoir scientifique. Eclairés par ces résultats, la méthode employée semble efficace : elle peut nous autoriser à considérer que l'hypothèse exerce un rôle très stratégique dans l'apprentissage. Ainsi son positionnement dans la démarche d'investigation est très probablement l'une des raisons qui explique l'efficacité de cette méthode par rapport à une démarche classique d'autant plus que dans le processus par investigation les élèves sont en autonomie et peuvent « consommer » le temps plus librement.

Le réinvestissement du savoir acquis à l'issue de la démarche d'investigation, consiste à placer l'élève dans un autre contexte afin qu'il utilise de nouveau le savoir construit. Cela a pour conséquence de renforcer le savoir qu'il vient de construire. En effet, plus l'élève va diversifier les contextes dans lesquels il peut utiliser son savoir, plus il va le posséder et sera en mesure de le réinvestir dans un contexte nouveau et de manière spontanée car autrement il peut à nouveau ressortir ses connaissances naïves.

L'exploitation des données à l'échelle individuelle dans le cadre de l'étude comparée des deux cheminements de la pensée nous permet d'observer la progression de la pensée de l'élève et en parallèle la construction du savoir scientifique depuis sa représentation initiale. Elle nous permet d'affirmer que la progression de la pensée de l'élève lui est propre et n'est pas linéaire. L'élève progresse en fonction des hypothèses qu'il formule et des situations qu'il rencontre lui permettant de faire évoluer sa pensée. Chaque situation expérimentale (ou autre) amène l'élève à reconsidérer sa pensée de proche en proche jusqu'à tendre vers une conception scientifique de la situation. A mesure que l'élève « accroche » la représentation scientifique, sa pensée se stabilise. L'élève manifeste alors une certaine satisfaction, celle d'être parvenue à construire le savoir. Il nous semble que chaque élève évolue à son rythme en fonction du cheminement suivi. Il semble exister une certaine corrélation entre le niveau de l'élève dans la discipline et sa rapidité à parvenir le plus rapidement à « tenir le savoir correctement ». Fort de ce résultat, nous pensons que l'une des difficultés rencontrées par les élèves dans la discipline peut provenir du manque de temps qu'ont besoin certains élèves pour franchir les différentes étapes de pensée avant de parvenir au savoir construit. Cependant, nous pensons avoir remarqué que la différence semble se jouer au niveau de la formulation des hypothèses successives : plus l'hypothèse formulée est précise c'est-à-dire qu'elle cible un paramètre de la situation observée, plus le processus de la déconstruction-reconstruction est rapide. L'élève rejette son hypothèse plus facilement si celle-ci est contredite par les résultats de l'activité expérimentale. Lorsque par contre l'hypothèse formulée est globale, l'élève n'abandonne pas sa pensée d'un coup, mais la façonne à mesure de ses observations expérimentales. Ainsi, lorsque le savoir à construire implique l'un des paramètres de la situation étudiée, l'évolution de la pensée qui passe par la formulation d'hypothèses précises semble amener l'élève à parvenir plus rapidement à tenir ce savoir. L'utilisation d'hypothèse globale semble permettre à l'élève de parvenir au savoir plus tardivement car celui-ci doit tâtonner plus longuement. C'est en effet une étape qui nécessite de l'observation, de l'attention, un sens critique et surtout une bonne capacité d'analyse. C'est très probablement à ce niveau que se situe l'écart de « niveau » entre un « bon » élève et un « moins bon » élève.

Nous pensons qu'un « bon » élève est celui qui va plutôt chercher à concevoir des hypothèses que nous avons qualifiées de « précises », par contre un élève « moins bon » sera moins capable de produire des hypothèses « précises ». Il va plutôt proposer des hypothèses plus « globales ». Nous notons cependant que lorsque le temps est suffisant, l'objectif est atteint pour les deux sujets. A l'échelle de l'échantillon classe, on retrouve ces mêmes conclusions. On peut donc considérer que la démarche d'investigation va dans le bon sens puisqu'elle permet aux élèves d'évoluer à leur rythme et surtout de participer activement à la construction de leur savoir, alors qu'un enseignement guidé, de type inductiviste ne prend pas en compte ces considérations, tous les élèves sont censés évoluer en même temps. Nous pensons que la méthode utilisée ne peut donner satisfaction que dans la mesure où seul un savoir précis est ciblé. Dans le cas d'une situation visant un savoir complexe nous pensons que la méthode employée ici devra être revisitée.

Nos résultats montrent qu'une utilisation des hypothèses formulées par l'élève semble efficace pour lui faire apprendre. Nous pensons que c'est une raison (parmi d'autres) qui explique l'efficacité de la méthode par investigation. Nous pensons néanmoins qu'une utilisation de la formulation d'hypothèse peut se faire en dehors de la démarche par investigation par dans des activités orales.

Au terme de cette synthèse des résultats recueillis, il nous semble possible de conclure que l'hypothèse de l'élève constitue un outil efficace de structuration de sa pensée dans la mesure où l'hypothèse est le résultat de l'interaction du sujet avec la situation qu'il étudie pour apprendre. Sa pensée se structure à mesure que l'hypothèse qu'il propose de la situation évolue. L'une des raisons de l'efficacité reconnue de la démarche d'investigation dans l'apprentissage vient très certainement de la présence de l'étape de formulation d'hypothèse dans la structure de celle-ci.

Quelles perspectives pouvons-nous donner à ce travail ?

- Du point de vue de la recherche

Nous pensons que la méthode utilisée ici peut servir à recueillir des données et à inférer les représentations qu'ils expriment avec des chances raisonnables de vraisemblance. Ce type de recueil, utilisé avec le même dispositif mais ailleurs et à un autre moment, est susceptible de récupérer des représentations différentes — seul le dispositif est reproductible. Les fiches utilisées en terminale, notamment, se révèlent pertinentes pour recueillir un matériau suffisamment riche, propre à repérer et à caractériser un processus de pensée.

- Du point de vue de l'enseignement des sciences

Pour atteindre une pleine efficacité de la démarche d'investigation, il nous semble intéressant de reconsidérer le rapport de tous les acteurs de l'apprentissage à l'hypothèse. Plus les élèves formuleront très tôt des hypothèses, plus ils vont appréhender les situations de manière scientifique, en s'impliquant réellement. Plus les enseignants seront conscients du rôle et de l'importance de l'hypothèse dans la démarche, plus ils vont systématiser la formulation d'hypothèse dans les activités en classe. Enfin le savoir devrait être amené avec et à partir des hypothèses de l'élève.

-En faisant varier le contexte utilisant le savoir qui vient d'être acquis, nous pensons que faire émettre des hypothèses peut constituer un moyen rapide pour vérifier l'acquisition d'une connaissance. Ainsi, outre le fait que l'hypothèse constitue un outil d'émergence des représentations, un outil de construction du savoir, elle peut être pour l'enseignant un outil d'évaluation formative des élèves à l'oral ou à l'écrit.

-Nous pensons qu'il faudrait accorder une place plus importante à l'utilisation des situations-problèmes pour aider les élèves à franchir les obstacles. Les situations-problème doivent être tirées de la vie quotidienne et être non simplifiées afin de permettre aux élèves de formuler des hypothèses et de comprendre la nécessité des simplifications et des modélisations. Cette proposition rejoint celle formulée par Robardet (1990) et De Vecchi (1996). Comme le propose De Vecchi, nous considérons que les élèves doivent être familiarisés très tôt avec le concept d'hypothèse à travers par exemple l'utilisation de l'histoire des sciences dans les activités pédagogiques pour montrer que la construction des concepts scientifiques n'est pas linéaire au lieu de donner le savoir « finalisé ».

-Nous pensons que la démarche d'émission d'une hypothèse est à rapprocher de celle de résolution d'un exercice. En effet, dans la résolution d'un exercice, on demande à l'élève de proposer un résultat pour une situation donnée. Dans sa démarche, l'élève utilise les éléments de la situation, ses connaissances. Ainsi, dans le cas d'un exercice d'application directe du cours, on demande à l'élève un résultat sachant que tout est mis en évidence. Dans ce cas de figure, il n'y a pas de difficulté, les solutions données par les élèves sont dans leur majorité bonnes et homogènes au regard du corrigé. A mesure que l'exercice perd son statut d'application directe du cours, les possibilités de

réponses issues de raisonnements différents augmentent. Il y a ainsi une divergence des réponses proposées de plus en plus forte par rapport au corrigé. Pour toutes les réponses qui s'éloignent de celle attendue, on parle alors d'erreur. Cela signifie dès lors qu'il ne devrait pas y avoir de corrigé unique pour la classe mais des corrigés. En effet, donner le même corrigé à tous les élèves de la classe et en particulier à ceux qui n'ont pas réussi signifie que l'on ne prend pas en compte le cheminement de pensée qui a amené chaque élève dans une direction qui n'est pas celle attendue, c'est-à-dire en erreur. Ainsi, il nous semble qu'une séance de correction d'un exercice devrait procéder autrement que ce que nous connaissons actuellement : tout d'abord, la rédaction du corrigé devrait être l'affaire de l'élève qui n'a pas réussi. Le rôle de l'enseignant consisterait à « rentrer » dans le cheminement de pensée de chacun des élèves n'ayant pas réussi afin de leur apporter étape par étape, des situations d'évolution de leur pensée. Il est évident que cette nouvelle approche demandera plus de temps, mais elle aura à notre avis le mérite d'être une séance de correction pleinement efficace ou l'élève en erreur tirerait une réelle satisfaction.

-D'un point de vue plus large

-A un niveau plus large, nous pensons que savoir formuler une hypothèse est une compétence qui prépare l'être humain à appréhender convenablement le monde dans lequel il vit. Quelque soit le champ dans lequel il est amené à exercer sa profession, ou encore son domaine de loisir, de culture..., ou tout simplement dans sa vie privée, il sera sans cesse amené à élaborer des hypothèses. A ce titre il nous semble que l'école est le lieu le plus approprié pour faire acquérir à l'élève cet outil, son « mode d'emploi » et donner du sens à son utilisation, grâce à la richesse de sa diversité disciplinaire.

ANNEXES

Annexe 1 : Questionnaires donnés aux sujets de l'échantillon primaire

Test 1 Première année du cycle 3 (CE2)

SUJET : DU LIQUIDE AU GAZ

Le savoir scientifique en jeu: Transformation de l'eau liquide en vapeur d'eau.

Pré- test

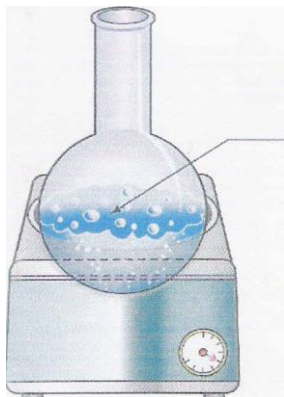
Objectifs:

Comment les enfants s'expliquent t-ils la disparition de l'eau qui boue ?

La consigne:

Lorsque l'eau boue, il y a des bulles qui s'échappent.

1-Qu'est ce qu'il y a dans les bulles.



2-Explique ce qui se passe.

J'explique :

Entraînement intermédiaire

Par expérimentation

Objectif:

Montrer l'existence de l'état gazeux de l'eau.

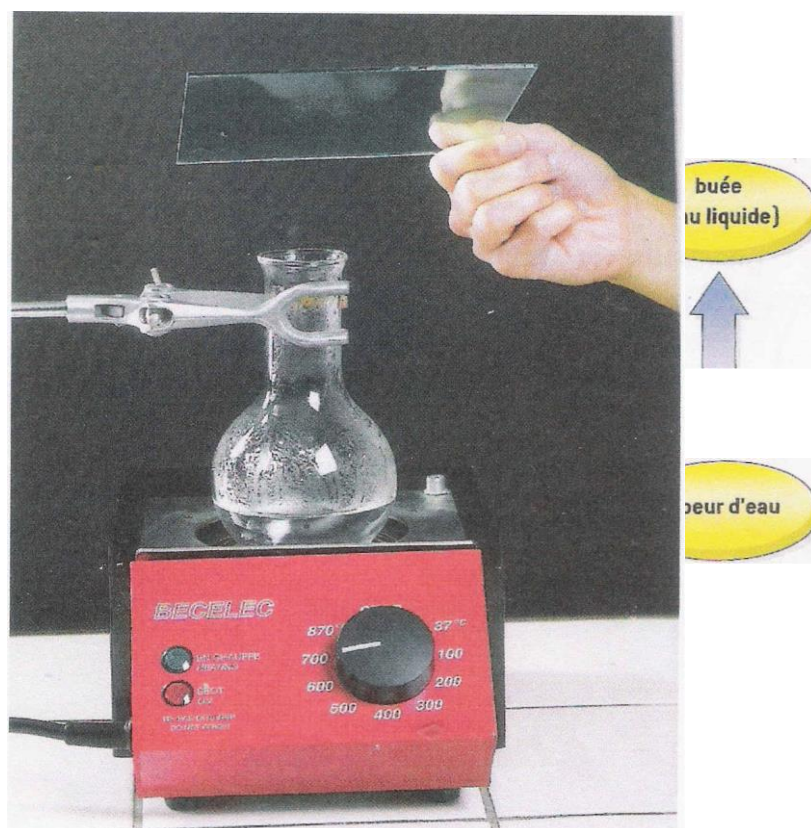
Matériel : récipient contenant de l'eau- dispositif de chauffage- vitre ou couvercle ou soucoupe.

Protocole à réaliser par les élèves.

Noter le niveau de l'eau contenue dans un récipient. Puis faire chauffer l'eau. Laisser bouillir quelques minutes et faire constater que lorsque l'eau boue, il y a des bulles qui s'échappent et que le niveau de l'eau baisse. Donc l'eau « disparaît ». Placer une soucoupe à une certaine distance au dessus de l'ouverture du récipient. On constate que des gouttelettes d'eau liquide se forment sur le couvercle. Donc l'espace entre l'eau et le couvercle est occupé par quelque chose d'invisible.

C'est un gaz que l'on appelle : la vapeur d'eau.

La vapeur d'eau, au contact du couvercle plus froid, redevient liquide.



A l'issue de la manipulation, conclure avec les élèves que lorsqu'on chauffe l'eau, elle passe de l'état liquide à l'état gazeux. Le gaz obtenu s'appelle la vapeur d'eau. Elle est contenue dans l'air. Elle redevient liquide quand elle rencontre une paroi froide.

La leçon sans expérimentation (groupe témoin).

Aucun schéma au tableau. L'information est donnée sous forme de discours.

Elle consistera à dire aux élèves que lorsqu'on chauffe de l'eau, celle-ci change d'aspect pour devenir invisible à l'état de gaz. Ce gaz est appelé vapeur d'eau. Elle se trouve dans l'air.

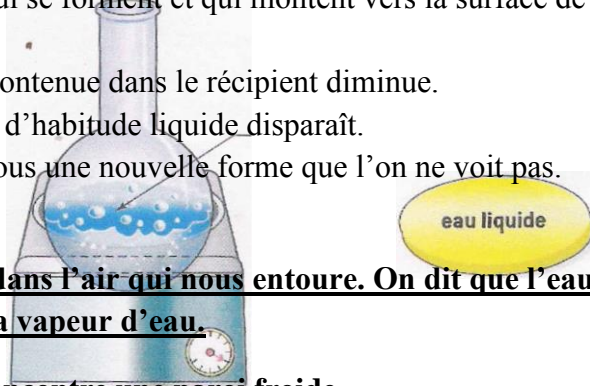
LIQUEFACTION

Vapeur d'eau →

Ne pas faire de schéma au tableau. Le savoir est apporté uniquement sous forme de discours aux élèves.

Dire aux élèves dans l'ordre suivant :

- Quand on chauffe de l'eau dans un récipient, l'eau devient de plus en plus chaude puis elle se met à bouillir lorsque la température est suffisante.
- Lorsqu'elle boue, il y a des bulles qui se forment et qui montent vers la surface de l'eau pour s'échapper dans l'air.
- On constate que le niveau de l'eau contenue dans le récipient diminue.
- Cela signifie que l'eau que l'on voit d'habitude liquide disparaît.
- Elle change d'aspect pour devenir sous une nouvelle forme que l'on ne voit pas.



Elle devient invisible et se trouve dans l'air qui nous entoure. On dit que l'eau est sous forme de gaz. On appelle ce gaz : la vapeur d'eau.

Elle redevient liquide quand elle rencontre une paroi froide

Test intermédiaire:

La consigne :

Explique pourquoi le linge sèche.

J'explique :

Post test :

La consigne :

Explique pourquoi le tableau de la classe sèche après l'avoir essuyé avec une éponge mouillée ?

J'explique :

Test2 Première année du cycle3 (CE2)

SUJET : L'AIR

Objectifs :

Comment les enfants s'expliquent-ils le vide apparent ?

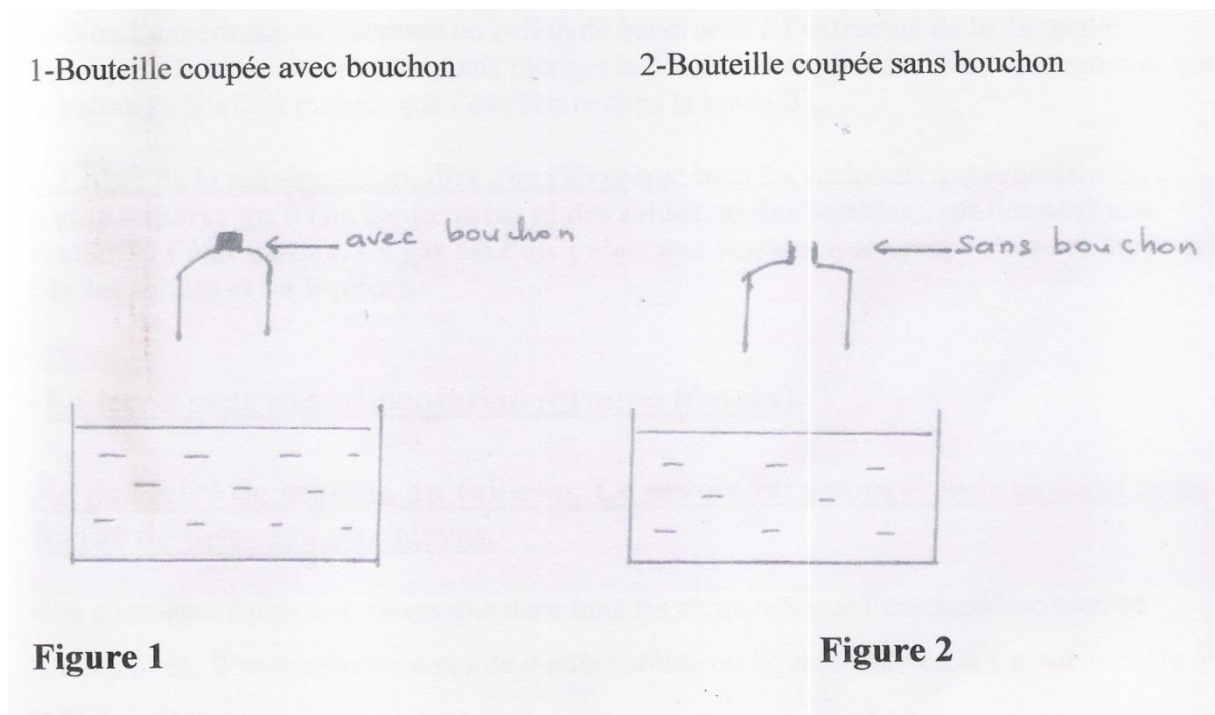
L'air existe-t-il pour eux ?

La consigne :

On a deux cuvettes remplies d'eau.

A ton avis que va-t-il se passer quand on plonge la bouteille plastique coupée dans chaque cas : avec bouchon pour la figure 1 et sans bouchon pour la figure 2 ?

Fais un dessin pour chaque cas et expliques.



Entraînement intermédiaire

Avec expérimentation

Objectif :

Montrer que l'air est une matière

Matériel : cuve en verre- bocal – paille – petit morceau de papier –bouteille plastique – ballon de baudruche.

Protocole à faire réaliser par les élèves

On remplit un bac en verre avec de l'eau. On dépose à la surface de l'eau un petit morceau de papier, puis on plonge le bocal vide verticalement dans l'eau au dessus du papier (l'ouverture

du bocal étant tournée vers le bas). On fait rentrer le bocal dans l'eau. On constate que l'eau ne rentre que très peu dans le bocal car le papier ne pénètre que très peu. On constate aussi que le bocal est repoussé vers le haut. Avec une paille dont l'extrémité se trouve dans le bocal, on aspire avec la bouche. On constate que l'eau monte dans le bocal. Il y a quelque chose que l'on ne voit pas dans le bocal et qui laisse sa place à l'eau : c'est l'air. L'air est un gaz. Refaire l'expérience avec n'importe quel autre récipient.

Refaire l'expérience en adaptant un ballon de baudruche à l'extrémité de la bouteille plastique à la place du bouchon, puis plonger la bouteille coupée dans la cuve et montrer que le ballon se gonfle à mesure que l'eau rentre dans le bouteille.

A l'issue de la manipulation, dire aux élèves que tous les récipients qui semblent être « vide » (parce qu'ils ne contiennent ni solides, ni liquides), contiennent une matière à l'état gazeux. Ce gaz est l'air ; c'est une matière qui occupe l'espace laissé vide par les solides et les liquides.

-La leçon sans expérimentation (groupe témoin)

Ne pas faire de schéma au tableau. Le savoir est apporté uniquement sous forme de discours aux élèves.

Elle consistera à dire aux élèves que dans tous les récipients que l'on considère comme « vides », car ils ne contiennent pas de matière solides ou liquides visibles, il y a une matière que l'on ne voit pas.

Cet état de la matière est appelé gaz. Le gaz qui est contenu dans le bocal c'est l'air. Il remplit l'espace dès que celui-ci est laissé libre par les solides et les liquides.

On présente un exemple aux élèves :

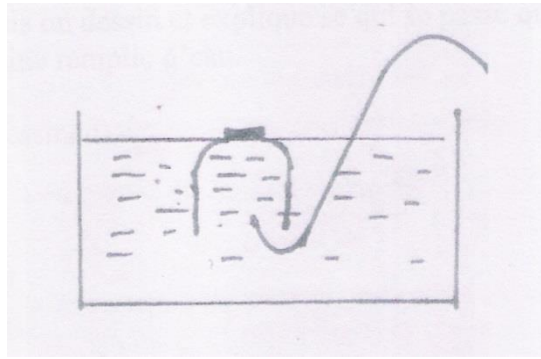
Si l'on vide un sac rempli de sable, celui-ci se remplit d'air à mesure que le sable est vidé. L'air prend la place laissée par le sable.

Dire aux élèves que tous les récipients qui semblent être « vide » (car ne contiennent ni solides, ni liquides), contiennent une matière à l'état gazeux. Ce gaz est l'air ; c'est une matière qui occupe l'espace laissé vide par les solides et les liquides.

Test intermédiaire

La consigne :

Faire le dessin de ce qui se passe si on souffle avec paille dans le verre rempli d'eau dans le bac.



Explique ce qui se passe :

Post test

Consigne :

1-A ton avis, il y a-t-il quelque chose dans une bouteille quand on a finit de boire l'eau quelle contient ?

2-Fais un dessin et explique ce qui se passe quand on plonge une bouteille vide dans une cuvette remplie d'eau.

Je dessine :

J'explique

Test 1 : troisième année du cycle du cycle 3 (CM2)

Sujet : Etat et changements d'état de l'eau

Le savoir scientifique en jeu : Transformation de la vapeur d'eau en eau liquide.

Pré-test

Objectifs :

Comment les enfants s'expliquent-ils l'apparition de l'eau liquide ?

Consigne :

Lorsque l'on sort une bouteille d'eau correctement bouchée du réfrigérateur, on remarque qu'il y a de l'eau qui se forme sur la bouteille.

A ton avis, pourquoi de l'eau apparaît sur la bouteille?

J'explique :

Entraînement intermédiaire

Avec expérimentation

Objectif :

Montrer qu'il existe de la vapeur d'eau dans l'air.

Matériel : un verre –des glaçons –des récipients- élastique.

Protocole :

Mettre des glaçons dans une poche en plastique. Introduire ensuite dans un verre et observer l'apparition des petites gouttelettes d'eau sur le verre. Les gouttelettes grossissent petit à petit pour s'écouler ensuite.

Note les observations et cherche une explication aux observations faites.

Mettre une bouteille de soda au réfrigérateur quelques minutes puis l'enlever ; repérer la position du liquide dans la bouteille à l'aide d'une élastique. On constate qu'il se produit le même phénomène. C'est à dire des gouttelettes d'eau de plus en plus épaisses apparaissent sur la surface de la bouteille.

Dire aux élèves à l'issue de la manipulation :

L'eau qui apparaît sur le verre provient de l'air qui entoure le verre. Elle ne provient pas de l'intérieur de la bouteille, car dans ce cas le liquide sur la surface de la bouteille serait de même couler que celui du liquide à l'intérieur de la bouteille de soda. La vapeur d'eau contenue dans l'air qui entoure le verre, vient se déposer sur le verre qui est froid. Cela fait transformer la vapeur d'eau que l'on ne voit pas en eau liquide.

Avec un objet froid, on transforme l'eau contenue dans l'air à l'état gazeux en eau à l'état liquide.

La leçon sans expérimentation (groupe témoin)

Ne pas faire de schéma au tableau. L'information sera apportée uniquement par le discours.

Elle consistera à dire aux élèves que lorsque l'on introduit des glaçons dans un verre, nous constatons que de l'eau apparaît que le verre. Cette eau ne provient pas du liquide intérieur, car si c'était le cas, lorsque l'on sort une bouteille de soda du réfrigérateur, l'on devrait avoir un liquide coloré. C'est la vapeur d'eau contenue dans l'air qui entoure le verre qui vient se refroidir à la surface du verre et se transforme en eau liquide.

Avec un objet plus froid que l'air, on transforme l'eau contenue dans l'air à l'état gazeux en eau à l'état liquide.

Test intermédiaire

L'enfant souffle sur la vitre froide, on observe l'apparition de buée sur la vitre. Explique pourquoi il y a la buée sur la vitre ?



J'explique :-----

Post –test

Consigne :

Explique pourquoi il y a de l'eau qui apparaît sur le Floup quand il sort du congélateur.

J'explique :-----

Test 2 troisième année du cycle 3 (CM2)

Sujet : Le mouvement apparent d u Soleil et le déplacement des ombres.

Le savoir scientifique en jeu : la position de l'ombre par rapport à celle de la source lumineuse. Le soleil est créateur d'ombre et avec lui et les ombres se déplacent.

Pré test

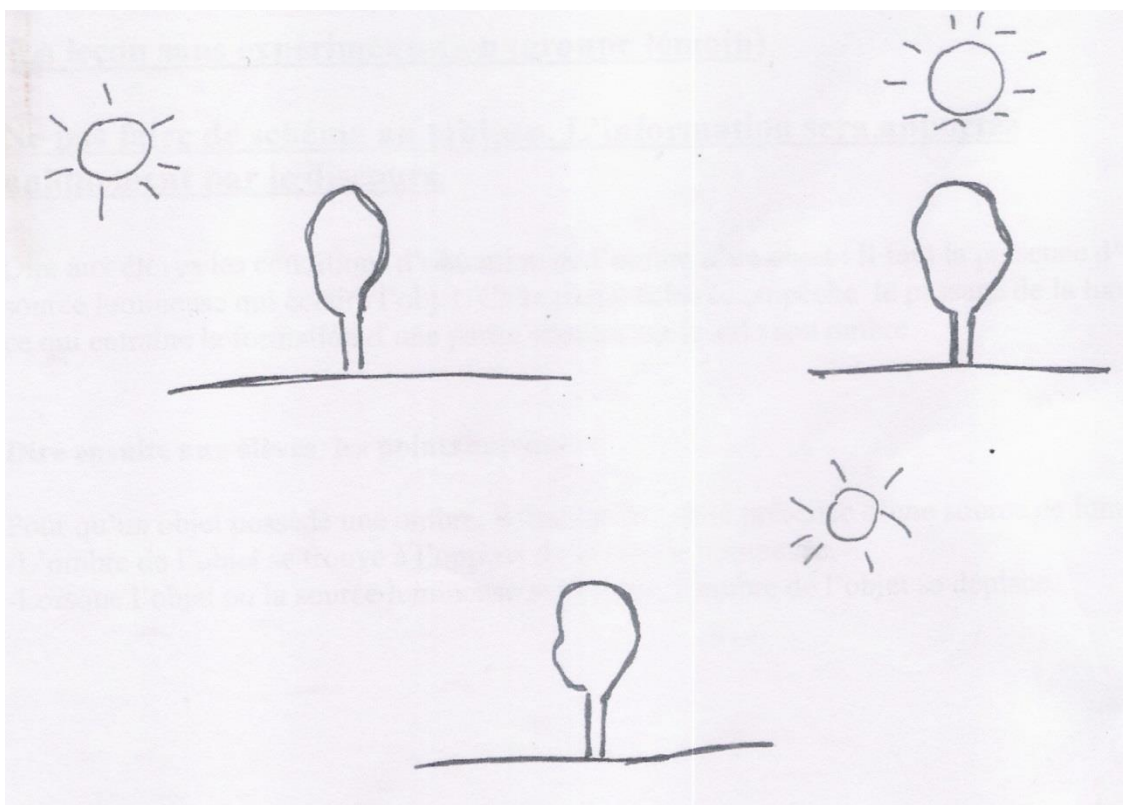
Objectifs :

Comment les enfants s'expliquent-ils la formation de l'ombre d'un objet et sa position par rapport à la source lumineuse (le soleil) ?

Consigne :

1/ A ton avis, pourquoi l'ombre d'un arbre se déplace au cours de la journée ?

2/Dessines l'ombre que donne chaque arbre en expliquant.



Entraînement intermédiaire

Avec expérimentation

Objectif :

Faire construire l'ombre d'un objet et montrer qu'elle se déplace lorsque la source lumineuse change de position ou lorsque l'objet change de position par rapport à la source lumineuse.

Matériel : une source lumineuse- une bouteille (objet)- de la craie.

Protocole :

Avec une lampe, éclaire un objet (une bouteille remplie de sable). Traces avec de la craie les contours de l'ombre de l'objet. Changes la lampe de position puis recommence avec de la craie. Que constates- tu ?

Recommences en gardant la source lumineuse immobile et en déplaçant l'objet. Que constates-tu ?

Note toutes les observations.

Comment se place l'ombre par rapport à la source lumineuse.

Donne une explication à tes observations.

A l'issue de l'expérimentation, dire aux élèves :

-pour qu'un objet possède une ombre, il faut qu'il ait la présence d'une source de lumière.

-l'ombre de l'objet se trouve à l'opposé de la source lumineuse.

-lorsque l'objet ou la source lumineuse se déplace, l'ombre se déplace, l'ombre de l'objet se déplace.

La leçon sans expérimentation (groupe témoin).

Ne pas faire de schéma au tableau. L'information sera apportée uniquement par le discours.

Dire aux élèves les conditions d'obtention de l'ombre d'un objet : il faut la présence d'une source lumineuse qui éclaire l'objet. Cette partie éclairée empêche la passage de la lumière, ce qui entraîne la formation d'une partie sombre sur le sol : son ombre.

Dire ensuite aux élèves les points suivants :

Pour qu'un objet possède une ombre, il faut qu'il y ait la présence d'une source de lumière.

-l'ombre de l'objet se trouve à l'opposé de la source lumineuse.

-lorsque l'objet ou la source lumineuse se déplace, l'ombre de l'objet se déplace.

Test intermédiaire

Voici le dessin d'un arbre le matin avec son ombre.

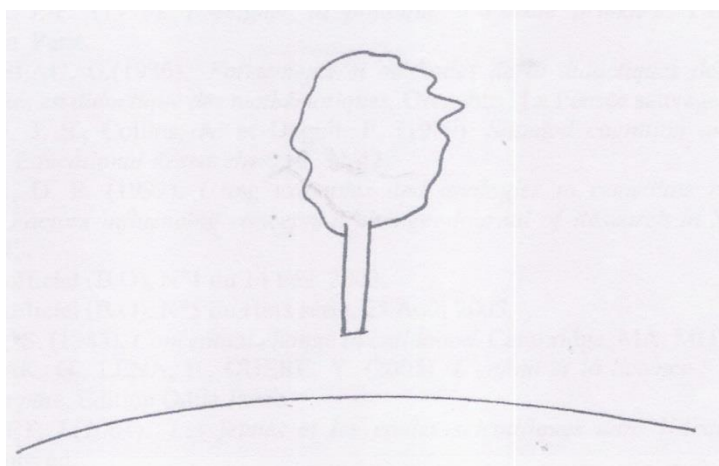


Dessines l'arbre et son ombre l'après midi au moment de la récréation.

Post test

Il est quatre heures, Caroline doit recevoir ses amis pour prendre le goûté à l'ombre du manguier. Elle cherche où elle doit installer la table. Aides- la ?

A ton avis où doit elle placer la table. Complète le dessin.



ANNEXE 2 : Questionnaire donné aux étudiants et étudiants IUFM

I-Répondre aux différentes questions suivantes en étant le plus exhaustif possible dans vos réponses. Vous répondrez dans l'espace laissée libre après chaque question.

1-Qu'est- ce pour vous une démarche scientifique ?

2-Qu'est-ce pour vous une hypothèse ?

3-Dans quelle(s) situation(s) ou à quelle(s) occasion(s) émettez-vous des hypothèses ?

4-Sur quoi vous appuyez vous pour construire vos hypothèses ?

5-Comment formulez- vous vos hypothèses ?

6- Pensez- vous utile l'hypothèse en science ? Pourquoi ?

7-Qu'est ce qui précède l'émission d'une hypothèse pour vous ?

8-Qu'est-ce qui succède l'émission d'une hypothèse ?

9-Avez-vous appris à concevoir et à émettre une hypothèse ? Où et quand ?

10- Qu'est-ce pour vous une bonne et une mauvaise hypothèse ? Doit-on tenir compte d'une mauvaise hypothèse en science ?

11-Quand vous émettez une hypothèse en sciences, pensez-vous nécessaire que celle-ci soit validée ou invalidée pour permettre un apprentissage efficace ?

12- A votre avis est-il important, voire nécessaire ou indispensable que l'apprenant émettent ses hypothèses avant tout apprentissage ? Pourquoi ?

13- D'après vous, pourquoi une hypothèse émise dans une situation donnée peut-elle être fausse ?

14- a) Dans vos situations de tous les jours, émettez vous des hypothèses?

14-b) Si oui, Quel intérêt y trouez-vous ?

14-c) Que faites vous après avoir émis une hypothèse ?

ANNEXE 3 : Questionnaires donnés aux élèves de l'échantillon collège

Classe :

Sexe : F / G

âge :

Situation : Lorsque le cosmonaute se déplace sur la LUNE, il fait des bonds alors que sur la TERRE il fait des pas.

Quelle explication proposes-tu ?

Mes questions :

Dans la situation proposée, je constate que :

Cela me fait penser à :

Je sais que :

Mon explication est :

Classe :

F/G :

âge :

Quand Niels Armstrong était sur la Lune, il ne pouvait pas marcher comme sur la Terre !

Pourquoi ?

*On propose plusieurs hypothèses possibles. Cocher deux hypothèses qui vous semblent possibles.
Attribuer le chiffre 1 pour l'hypothèse la plus probable et 2 pour celle moins probable.*

- ☐ Il n'y a pas d'atmosphère sur la Lune.
- ☐ Le volume de la Lune est plus petit que la terre.
- ☐ Le cosmonaute est trop éloigné de la Terre.
- ☐ Le sol de la Lune est élastique.
- ☐ La masse du cosmonaute diminue sur la Lune.
- ☐ La masse de la Lune est plus petite que celle de la Terre
- ☐ Le cosmonaute est repoussé par une force.

Expliquer votre choix.

Classe :.....

Sexe : F / G

âge :

Situation : A ton avis, pourquoi il y a des gouttelettes d'eau sur la bouteille quand elle sort du réfrigérateur ?

Mes questions :

Dans la situation proposée, je constate que :

Cela me fait penser à :

Je sais que :

Mon explication est :

Classe :

F/G :

âge :

Quand tu achètes un FLOUP, il y a de l'eau qui apparaît dessus !

Expliques pourquoi ?

On propose plusieurs hypothèses possibles. Choisir l'hypothèse qui vous semble possible.

- ☐ C'est l'eau qui du FLOUP !
- ☐ C'est de l'eau contenue dans l'air !
- ☐ C'est de l'eau contenue dans le plastique
- ☐ C'est le froid qui produit de l'eau !

Expliquer alors ce qui se passe sur le floup.

Classe :

Sexe : F / G

âge :

Situation : On prend 3 verres identiques contenant de l'eau au même niveau. On introduit une bille dans chaque verre. On constate que le niveau de l'eau n'est plus le même dans chaque verre !

Quelle explication proposes-tu ?

Mes questions :

Dans la situation proposée, je constate que :

Cela me fait penser à :

Je sais que :

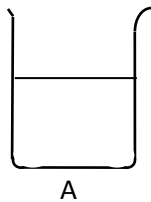
Mon explication est :

Classe :

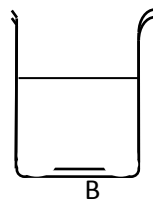
F/G :

âge :

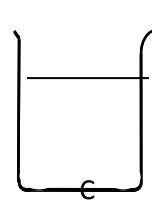
Situation : On prend 3 pots identiques contenant de l'eau au même niveau. On introduit une bille dans chaque verre.



Bille en fer de 20g



Bille en bois de 10g

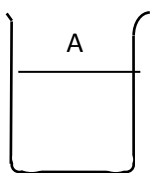


Bille en plastique de 5g

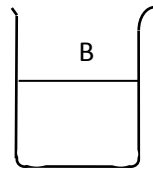
Compléter chaque pot en indiquant le niveau de l'eau après avoir mis les billes dans les pots.

Expliquer votre choix :

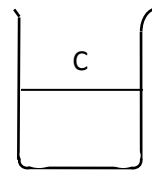
Situation : On prend 3 pots identiques contenant de l'eau au même niveau. On introduit une bille dans chaque verre.



Bille en fer rouge de 10g



Bille en fer noir de 10g

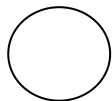
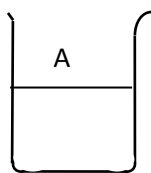


Bille en fer bleu de 5g

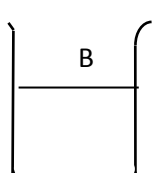
Compléter chaque pot en indiquant le niveau de l'eau après avoir mis les billes dans les pots.

Expliquer votre choix :

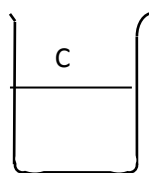
Situation : On prend 3 pots identiques contenant de l'eau au même niveau. On introduit une bille dans chaque verre.



Bille en fer rouge de 5g



Bille en plastique noir de 50g



Bille en bois bleu de 10g

Compléter chaque pot en indiquant le niveau de l'eau après avoir mis les billes dans les pots.

Expliquer votre choix :

Expliquer votre choix.

ANNEXE 4 : Questionnaires donnés aux élèves de l'échantillon lycée

Etude d'une observation familière :

« Rupture du courant d'alimentation d'une chaîne Hi Fi. »

Feuille A

1-Quand on coupe le courant d'alimentation d'une chaîne HI FI quelle observation faites-vous au niveau du voyant lumineux?

Réponse :

2-Comparer cette observation à ce qui se passe quand on appuie sur l'interrupteur pour éteindre la lumière dans une pièce.

Réponse :

3-Proposer une (ou des) hypothèse(s) pour expliquer le résultat de votre comparaison.

Réponse :

Feuille B

Pour apporter une explication à ce que l'on observe, on propose la suite d'expériences suivantes :

Expérience 1 :

Réaliser les montages suivants.

Circuit A

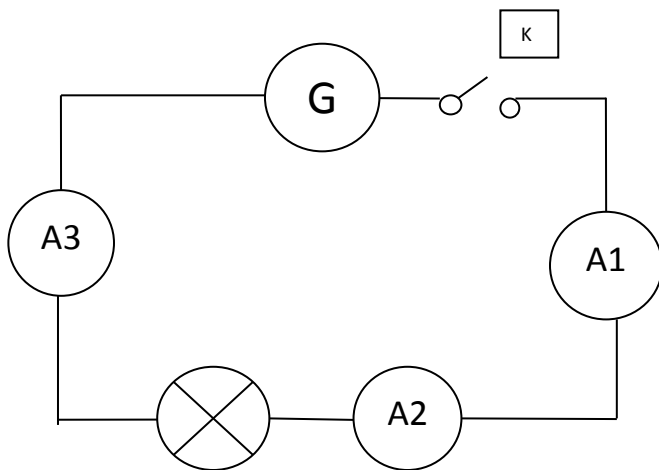


Schéma 1 : Circuit A

Circuit B

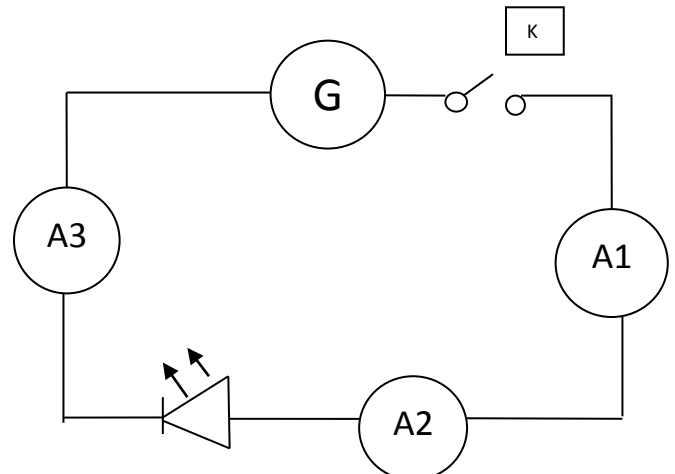


Schéma 2 : Circuit B

B-1.Fermer l'interrupteur dans chaque cas et observer.

Résultat

Résultat

B-2.Quelle observation faites- vous pour le circuit A.

B-3.Quelle observation faites-vous pour le circuit B

B-4.A votre avis quel était l'objectif de cette expérience ?

B-5.Quelle conclusion peut- on tirer de cette expérience ?

B-6.Quelle conséquence ce résultat a-t-il sur votre hypothèse de la feuille A? Si votre hypothèse a évolué, noter sa nouvelle formulation.

Un nouveau dipôle électrique : le condensateur.

Le condensateur est un composant électrique constitué de deux plaques parallèles séparées par un isolant. On le représente dans un circuit électrique par :

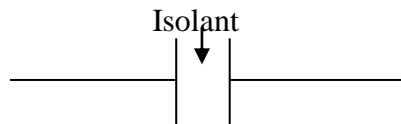
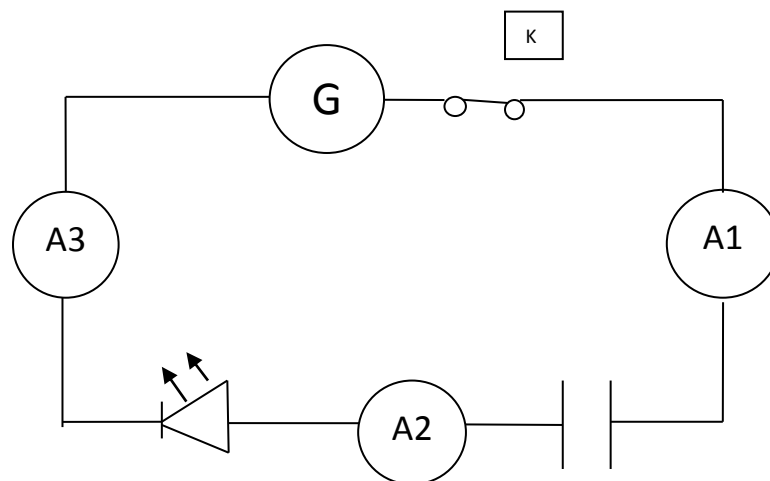


Schéma du condensateur

On le trouve sous des formes très variées.

C-1. A priori qu'évoque pour vous le mot condensateur ?

C-2. Expérience 2 : « Un circuit avec condensateur »



C-3. Formuler une hypothèse sur ce que l'on s'attend à observer à la fermeture de l'interrupteur.

C-4. Réaliser le montage. Quelle observation faites-vous ?

C-6. Le résultat observé est-il en accord avec celui attendu ?

C-7. Quelle hypothèse formulez-vous pour expliquer l'observation faite aux bornes du condensateur ?

Expérience 3 : « autre circuit avec condensateur »

D-1. Réaliser le montage suivant

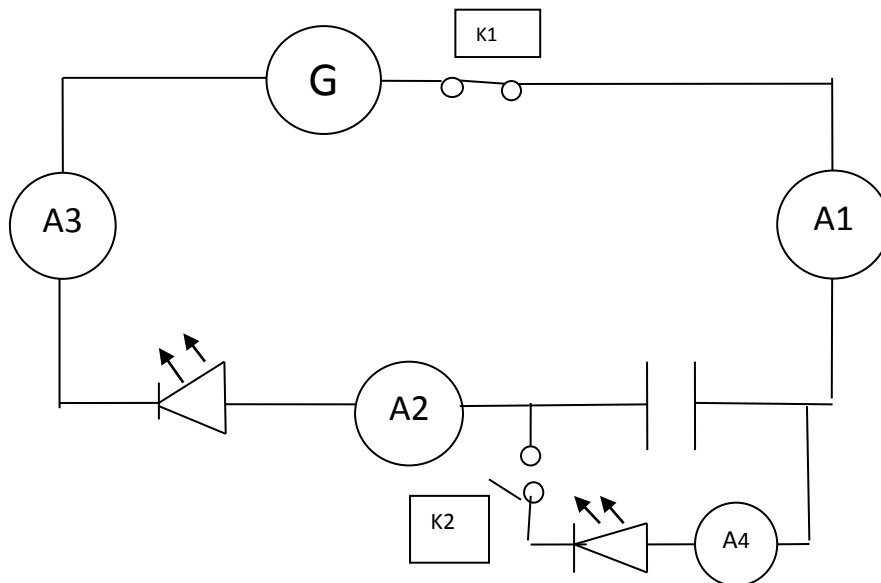


Schéma 5 : Un autre montage avec condensateur

D-2. Fermer l'interrupteur 1, observer puis fermer l'interrupteur 2 :

Noter précisément vos observations.

D-3. Quelle explication proposez-vous pour traduire vos observations ?

D-4. A partir du résultat de cette expérience que devient votre hypothèse proposée en C-7 sur le fonctionnement du condensateur ?

Feuille E

E-1. Réaliser le montage suivant

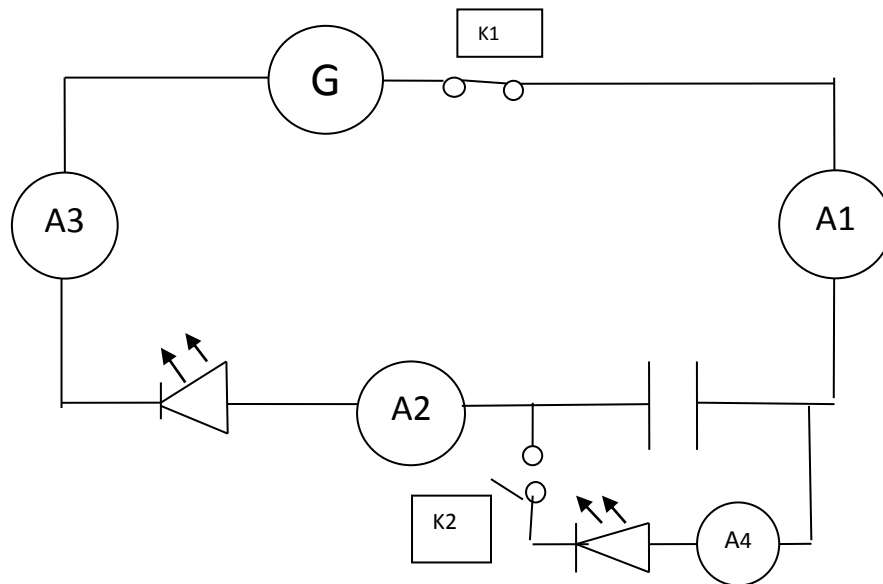


Schéma 6: Un autre montage avec condensateur (bis)

E-2 L'interrupteur k2 est ouvert, k1 est fermé. Attendre ouvrir k1 puis fermer k2.

Noter vos observations.

E-3. A partir du résultat obtenu, que devient votre hypothèse proposée en D-4.

Feuille F :

F-1.-Réaliser le montage suivant

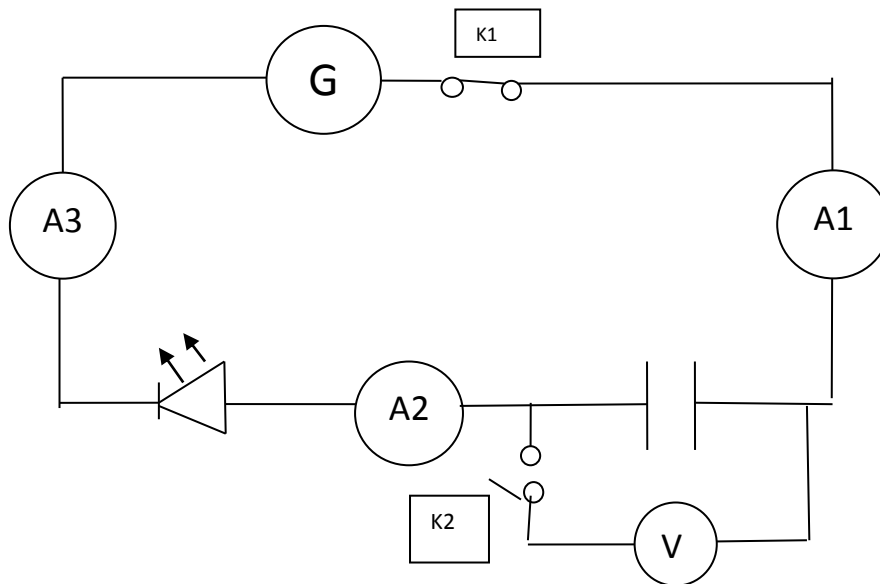


Schéma 6 : Activité expérimentale 5

F-2.K2 est fermé, fermer alors k1 et noter précisément les observations dans le circuit.

F-3.Comment évolue votre hypothèse (en E-3) au regard des observations faites ici ?

F-4.Ouvrir k1 tout en laissant k2 fermé. Que constatez- vous ?

F-5.Quel mot proposeriez- vous pour traduire ce qui se passe au niveau du condensateur ?

Feuille G

Expérience 4

G-1. Réaliser le montage suivant

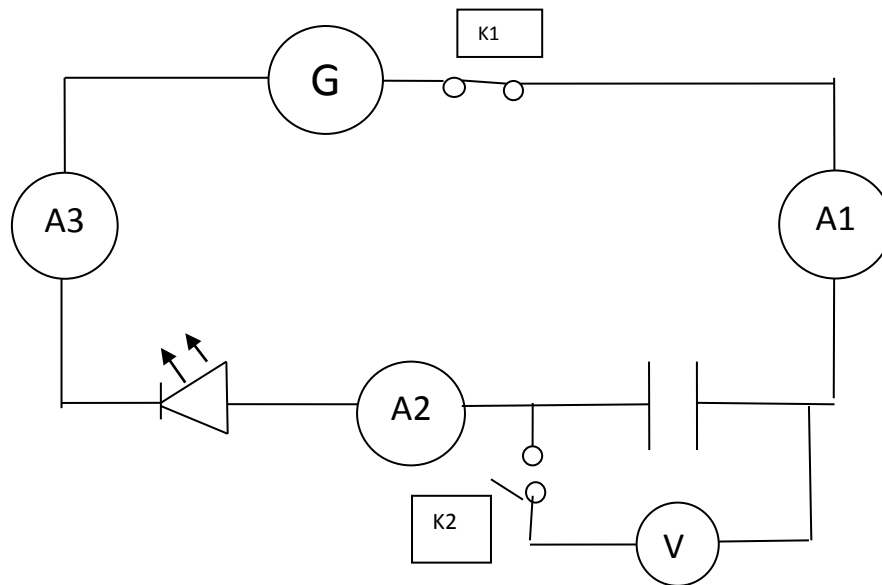


Schéma 6 : Activité expérimentale 5

G-2. Fermer k1. Attendre un court instant puis ouvrir k1.

Fermer alors k2.

-Noter les observations précisément.

G-3. Proposer une hypothèse pour traduire les observations faites.

G-4. Quel mot proposeriez- vous pour traduire ce que vous observez.

Feuille H

H-1. Réaliser le montage suivant

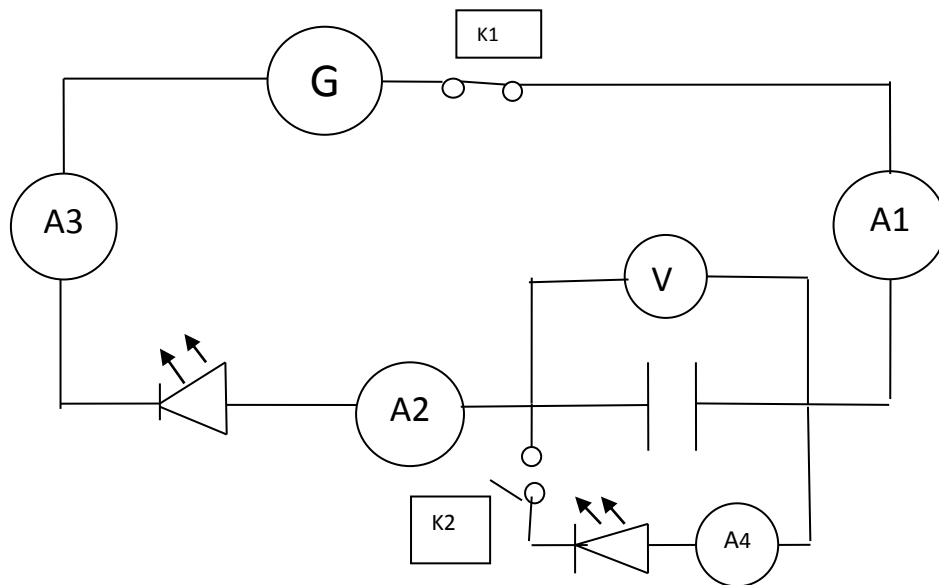


Schéma 7 : Activité expérimentale 6

H-2.Fermer k1. Attendre un court instant, puis ouvrir k1.

Fermer alors k2.

Noter alors précisément les observations.

H-3.Ces observations confirment-elles votre hypothèse ?

Conclusion :

A partir des résultats obtenus, quel est selon vous le fonctionnement du condensateur dans un circuit électrique ?

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIE PRIMAIRE

ASTOLFI J.-P., GIORDAN A., GOHAU G., HOST V., MARTINAND J.-L., RUMELHARD G., ZADOUNAISKY G., "Quelle éducation scientifique pour quelle société?" Paris, PUF, 1978.

ASTOLFI J.-P., « L'erreur, un outil pour enseigner », ESF Editeur, 2001.

ASTOLFI, J.P., PETERFALVI, B., VERIN, A. « Comment les enfants apprennent les sciences ». Paris: Retz., 1998.

BACHELARD G., « Le nouvel esprit scientifique », Paris, PUF, 1934.

BACHELARD, G. (1938). « La formation de l'esprit scientifique. Contribution à une psychanalyse de la connaissance objective ». Paris : Vrin, 1938.

BALPE C., « Les sciences physiques à l'école élémentaire » Paris : Armand Colin, 1991-1995.

BAUDIN J.-B., « Physique TermS obligatoire programme 2002 », Nathan, coll. Sirius, 2006, p. 63-64.

BERBAUM J., « Développer la capacité d'apprendre », 2^e édition, Paris, ESF éditeur, novembre 1991.

BONAN, J.-P. « Enseigner la physique à l'école primaire », Paris : éd. Hachette Education, 1998.

BOYER R. et TIBERGHIE A., « Des opinions de professeurs et d'élèves sur l'enseignement des sciences physiques au lycée », Bulletin de l'union des physiciens, n°712, Paris, UDP, 1989.

BULLETIN OFFICIEL, (B.O) N°5 Hors série, 25 Août 2005.

BULLETIN OFFICIEL, (B.O) N°8, 13 octobre 2001.

CAPELIER C., KLEIN E., COTTET J.-P., « Les jeunes et la science : faire face à la crise des vocations scientifiques », Conseil d'analyse de la société, Paris, 2007.

CAUZINILLE-MARMECHE E., MATHIEU J., WEIL-BARAIS A., « Les savants en herbe », Collection exploration recherches en sciences de l'éducation, éd. Peter Lang SA, Berne 1983.

CHALMERS A. F., « Qu'est ce que la science ? », Paris, La découverte, 1987.

CHARPAK G., LENA P., QUERE Y., « L'enfant et la science : l'aventure de La main à la pâte », Odile Jacob, Paris, 2005, 240 p.

CHARVET, J., « Les jeunes et les études scientifiques dans l'Académie d'Orléans-Tours », sans éd., janvier 2004.

CHAUVEL, D., MICHEL, V., « Les sciences dès la maternelle », Retz, Paris, 1990.

CHEVIGNY C. (coord.), « Faire des sciences physiques et chimiques : dossier », Cahiers pédagogiques, Janvier 2009, 60 p.

COMMISSION EUROPEENNE/DIRECTION GENERALE DE LA RECHERCHE, « Etude qualitative sur l'image de la science et la politique de recherche de l'Union européenne : étude auprès de citoyens des 27 Etats membres : rapport de synthèse », Octobre 2008, 123p. [Rapport en ligne].

COMMISSION EUROPEENNE/DIRECTION GENERALE DE LA RECHERCHE, « Les jeunes et la science : rapport analytique : résumé », octobre 2008, 26p. [Rapport en ligne].

CONVERT, B., La « désaffection » pour les études scientifiques », in *Revue française de sociologie*, 44-3, 2003.

COQUIDE, M., (1998). « Les Pratiques expérimentales : propos d'enseignants et conceptions officielles », Aster, 26. Paris : INRP.

DE VECCHI G., CARMONA-MAGNALDI N., « Faire construire des savoirs », Hachette Livre, Paris, 1996, 263 p.

DE VECCHI G., « Enseigner l'expérimental en classe, pour une véritable éducation scientifique », Hachette livre, Paris, 2006.

DUPUY J.-P., « Aux origines des sciences cognitives », La découverte, Paris, 1994.

EURYDICE, « L'enseignement des sciences dans les établissements scolaires en Europe. Etat des lieux des politiques et de la recherche », Eurydica /Bruxelles, 2006, 92 p.

FOUREZ G., « La construction des sciences », 3^e éd., Bruxelles, De Boeck Université, 1996.

FRANEAU Jacques, « Science expérience et raison », Editions de l'Université de Bruxelles, Bruxelles, 1988.

GANGLOFF Bernard, « Les Fondements méthodologiques du savoir scientifique », Publications des Universités de Rouen et du Havre, Mont Saint-Aignan, 2008, 399 p.

GILLY M., FRAISSE J. et ROUX J.-P., « Résolution de problèmes en dyades et progrès cognitifs chez des enfants de 11 à 13 ans, in A.-N. Perret-Clermont (Ed.), *Interagir et connaître : enjeux et régulations sociales dans le développement cognitif* », Neuchâtel, Delachaux & Niestlé, 1988.

GISPERT H., HULIN N., ROBIC M.-C. (dir.), « Science et enseignement : l'exemple de la grande réforme des programmes du lycée au début du XX^e siècle », Vuibert, Paris, 2007, 360p.

GIORDAN A., « Apprendre ! », Belin, Paris, 1998.

GIORDAN A., « Une didactique pour les sciences expérimentales », Belin, Paris, 1999.

GIORDAN, A., De VECCHI, G., « L'enseignement scientifique, Comment faire pour que "ça marche"? », Delagrave, nouvelle édition augmentée, 2002.

GIORDAN, A., « Partager une science inscrite dans une culture », éditoriale in *Les Cahiers pédagogiques*, N° 443, mai 2006, p.10.

GIUSEPPIN, M., « Recherches sur la communication et l'apprentissage des sciences et des techniques, l'expérimental dans l'enseignement des sciences », De Boeck Université, Paris, Déc. 1996, INRP.

GOFFARD M., WEIL-BARAIS A. (sous la direction de), « Enseigner et apprendre les sciences : recherches et pratiques », Armand Colin/Paris, 2005, 342 p.

Groupe interuniversitaire projet Sophia, « Formation des enseignants : un exemple de recherche-action, Chypre, France, Irlande, République tchèque, Slovaquie : article, Revue internationale d'éducation-Sèvres, N° 51, septembre 2009, 159 p.

GUESNE (E.), TIBERGHIE (A.), DELACOTE (G.), « Méthodes et résultats concernant l'analyse des conceptions des élèves dans différents domaines de la physique. Deux exemples : les notions de chaleur et lumière », Revue Française de Pédagogie, 1978, 45.

HARLEN, W., « Enseigner les sciences : comment faire ? », éd. Le Pommier, 2004.

HAUT CONSEIL DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE, « Avis sur la désaffection des jeunes pour les études scientifiques supérieures », Paris, 2004, 6 p. [rapport en ligne]

JOHSUA S., DUPIN J.-J., « Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques », Paris, PUF, 1993.

LARCHER C., PETERFALVI B., « Diversification des démarches pédagogiques en classe de sciences », BUP N° 886, Vol. 100, Paris, 2006.

LEFEBVRE H., « La présence et l'absence : contribution à la Théorie des représentations », Tournai, Casterman, (Synthèses contemporaines), 1980.

LENA P., HAIGNERE C., BRETON T., et al., « Réussir avec les sciences », SCEREN-CNDP, Albin Michel, Paris, 2003, 118 p.

LE MOIGNE J.-L., « Les épistémologies constructivistes », PUF (Que sais-je ?), Paris, 1995.

Mc QUARRIE/ ROCK, « Chimie générale », trad. P.DEPOVERE, 3° éd., De Boeck Université, Bruxelles, 1992

MEIRIEU P., « Apprendre, oui mais comment ? », ESF, 1988.

MEIRIEU P., DEVELAY M., DURAND C., MARIANI Y., « Le transfert de connaissances en formation initiale et en formation continue », Lyon, CRDP, 1996.

MUGNY G. et al. , « Psychologie sociale du développement cognitif », G. Mugny (Ed.), Berne, Peter Lang, 1985.

OCDE : ORGANISATION DE COOPERATION ET DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE, « Evolution de l'intérêt des jeunes pour les études scientifiques et technologiques : rapport d'orientation », Paris, mai 2006a, 21 p. [rapport en ligne].

OURISSON G., « Désaffection des étudiants pour les études scientifiques », ministère de l'Education nationale, Paris, mars 2002, 54 p.

PIAGET (J.), « Les mécanismes perceptifs », Paris, PUF, 1961.

PIAGET J., « Le structuralisme », Paris, 1968 a.

PIAGET (J.), « Les explications causales », PUF, 1971.

- PIAGET J., CHOMSKY N., « Théories du langage et théories de l'apprentissage », Paris, Seuil, 1979.
- POPPER K., « La Logique de la découverte scientifique », Payot, 1973.
- POPPER K., « Conjectures et réfutations. La croissance du savoir scientifique », Paris, Payot, 1985.
- POPPER K., « L'avenir est ouvert », Paris, Flammarion, coll. « Champs », 1990.
- PORCHET, M., « Les jeunes et les études scientifiques », sans éd., mars 2002.
- PORCHET M., « Attrait et qualité des études scientifiques universitaires : rapport d'orientation de monsieur le ministre de la jeunesse, de l'éducation nationale et de la recherche », mars 2003, 36 p. [rapport en ligne].
- PRIGOGINE I., STENGERS, I., 1979, « La Nouvelle Alliance », Paris, Gallimard.
- ROBARDET G., in B.U.P., Bulletin de l'union des physiciens, « Enseigner les sciences-physiques à partir de situations-problèmes », n°720, janvier 1990.
- ROBARDET G., GUILLAUD J.-C., « Eléments de didactique des sciences physiques », Paris, Puf, 1997, 227 p.
- ROBINE F. (Coord.), « Un renouveau de l'enseignement des sciences : dossier », Revue internationale d'éducation-Sèvres, N° 51, septembre 2009, 159 p.
- ROCARD M. prés ., « L'enseignement scientifique aujourd'hui : une pédagogie renouvelée pour l'avenir de l'Europe », Commission Européenne, Bruxelles, 2007, [rapport en ligne], 22 p. téléchargées du site <http://ec.europa.eu>
- SALLABERRY J.-C., « Dynamique des représentations dans la formation », Paris, l'Harmattan (Cognition et Formation), 1996.
- SALLABERRY J.-C., « Dynamique des représentations et construction des concepts scientifiques, perspectives pour la didactique des sciences physiques », L'Harmattan, Paris, 2004.
- STEVAN J., « Une collaboration internationale au plus haut niveau scientifique : le Cas de l'enseignement des sciences en Serbie : article », Revue internationale d'éducation-Sèvres, N° 51, septembre 2009, 159 p.
- THOUIN Marcel, « Introduction aux sciences de la Nature ; Concepts de base, percées historiques et conceptions fréquentes », Editions Multimondes, Québec, 1996.
- VARELA Francisco J., « Connaître : les sciences cognitives, tendances et perspectives », Paris , Seuil, 1989.
- VARELA F., « Autonomie et connaissance », Seuil, Paris, 1989.
- VARELA F., « Connaissances et représentations », in Dossier : Les Sciences de l'homme, B.I.C. (Bulletin d'Information des Cadres, EDF-GDF) n°27, mars 1995, p.78 à 88.

VENTURINI P., « L'envie d'apprendre les sciences : motivations, attitudes, rapport aux savoirs scientifiques », Fabert, Paris, 2007, 270 p.

TIBERGHIE, A., WEIL-BARAIS, A. (1987), « Les modèles spontanés dans la pensée commune et enfantine », in GIORDAN, A., MARTINAND, J.L. (ed.), « Modèles et simulation », 9^{es} Journées Internationales sur l'Education Scientifique, Université Paris 7.

VERGNAUD (G.), « Didactique et psychologie, problèmes et méthodes », in J.E.S.II, « Approche des processus de construction des concepts en sciences », édité par le C.N.R.S. et l'I.N.R.P., 1980.

VERGNAUD, G., (1985), « Concepts et schémas dans une théorie opératoire de la représentation », *Psychologie française*, 30,245-252.

VERGNAUD, G., « Théories et concepts fondamentaux, in Apprentissages et Didactiques, où en est-on ? », coord. G. Vergnaud, Paris, Hachette, 1995.

VIENNOT L., « L'enseignement des sciences physiques comme objet de recherche » in bulletin de l'union des physiciens, n° 716 juil-aout-sept 1989 p.899-910.

VYGOTSKY Lev S., « Le problème de l'enseignement et du développement mental à l'âge scolaire », in Vygotsky aujourd'hui, s/d Sneyly & Bronckart, Lausanne, Delachaux & Niestlé, 1985.

WEI Yu, « Un programme pilote d'apprentissage par la pratique, la réforme de l'enseignement des sciences en Chine : article », *Revue internationale d'éducation-Sèvres*, N° 51, septembre 2009, 159 p.

WEIL-BARAIS A., « Les apprentissages scolaires », Cahor, Bréal, 2004.

BIBLIOGRAPHIE SECONDAIRE

ANDERSON (J.R.), BOWER (G.), *Human associative memory*, New York, Wiley and Sons, 1973.

ANDERSON, B., "The experiential gestalt of causation: a common core to pupil's preconceptions in science". *European Journal of Science Education*, 8(2), 155-171, 1986.

AUSUBEL (D.P.), SCHIFF (H.M.), "The effect of incidental and experimentally induced experience in the learning of relevant and irrelevant causal relationships by children", *Journal of Genetic Psychology*, 1954, 84, 109-123.

BACHELARD G., « Le rationalisme appliqué », Paris, PUF, 1949.

BERNARD C., « Introduction à l'étude de la médecine expérimentale » (1^{re} éd. 1865), Flammarion, 1984

BLAYE A., « Confrontation sociocognitive et résolution de problème (à propos du produit de deux ensembles) », thèse, Université de Provence, 1988.

BROUSSEAU G., « Problèmes de didactique des décimaux, Recherche en Didactique des Mathématiques »- volume 2 n°3, 1981.

BROWN, J. S., Collins, A. et Duguit, P. (1989), "Situating cognition and the culture of learning", *Educational Researcher*, 18, 32-42.

BROWN, D. E. (1992), "Using examples and analogies to remediate misconceptions in physics: Factors influencing conceptual change", *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 17-34.

CAILLOT (M.), « L'ordinateur comme aide à la résolution de problème », à paraître in J.E.S. IV, édité par le C.N.R.S. et l'I.N.R.P., 1982.

CAREY, S. (1985), "Conceptual change in childhood", Cambridge, MA, MIT Press.

CHALOUHI (E.), « Mécanismes cognitifs utilisés par les élèves et leurs professeurs dans la résolution d'un problème d'électrocinétique ». Thèse de 3^e cycle, Paris VII, 1981.

CHANGEUX J.-P., « L'homme de vérité », Paris, Odile Jacob, 2002.

CHI, M. T. H., SLOTTA, J. D. et de LEEUW, N. (1994), "From things to processes : A theory of conceptual change for learning science concepts", *Learning and Instruction*, 4 (1), 27-43.

CHOURAKI (E.), « Construction d'un modèle particulier de raisonnement par analogie. Communication au colloque « ARC » », Pont-à-Mousson, Avril 1982.

COBERN, W. (2000), « Everyday thoughts about nature », Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

COMTE A., « Philosophie première, Cours de philosophie positive », leçon 1 à 45, Paris, Hermann, 1975.

DESAUTELS J., « Epistémologie et didactique des sciences », Service des publications, Conseil des sciences du Canada, Ottawa, 1987.

DOISE W., « La structuration cognitive des décisions individuelles et collectives d'adultes et d'enfants », *Revue de psychologie et de sciences de l'éducation*, n°8, 1973, 133-146.

DOISE W., MUGNY G. et PERRET-CLERMONT A.N., "Social interaction and the development of cognitive operations", *European Journal of Social Psychology*, vol. 5, 3, 1975, 367-383.

DOISE W., DESCHAMPS J.C., MUGNY G., « Psychologie sociale expérimentale », Paris, Armand Colin, 1978.

DOISE W. et MUGNY G., « Le développement social de l'intelligence », Paris, Inter éditions, 1981.

DRIVER R., GUESNE E., TIBERGHIE A., "Children's ideas in science", Milton Keynes, Philadelphia, Open University Press, 1985.

DUIT, R. et TREAGUST, D. F. (1998), "Learning in science. From behaviourism towards social constructivism and beyond", in B. J. Fraser et K. G. Tobin (Eds), *International handbook of science education* (p. 3-25), Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

DUREY (A.), MESMIN (M.), « Circuits électriques 6^{ème}, Groupe de Travail de la Commission de Renovation de l'enseignement des Sciences Physiques ». Université Paris VII, 1975 (document interne).

DYKSTRA, D. I. (1992), "Studying conceptual change: Constructing new understandings", in

EDELMAN (Gerald M.), 1992, « Biologie de la conscience », tr.fr. Paris, Odile Jacob.

EINSTEIN A., « Conceptions scientifiques, morales et sociales », Paris, Flammarion, 1952.

EVANS, J. (1999), "Building bridges: Reflections on the problem of transfer of learning in mathematics". *Educational Studies in Mathematics*, 39, 22-44.

FAIVRE-DUPAIGNE, « Rapport sur l'enseignement des Sciences physiques et naturelles », *Bulletin de l'Union des physiciens*, janvier 1909.

FAUCONNET (S.), « Etude de résolution de problème : quelques problèmes de même structure en physique », Thèse de 3^{ème} cycle. Laboratoire de didactique de la physique dans l'enseignement supérieur, Université de Paris VII, 1981.

FEYERABEND P., « Contre la méthode : esquisse d'une théorie anarchique de la connaissance », Paris, Seuil, 1979.

FINDLER (N.V.), "Associative networks: Representation and use of knowledge by computers", Academic Press Inc., New York, 1980.

FREINET, C., « L'Ecole moderne française », 1954.

GAGNER M., "The Conditions of Learning", New York, Holt, Rinehart and Winston, 1970.

GILLY M., « La fonction sociale des outils cognitifs, Séminaire sur la représentation », Cirade, université du Québec à Montréal, 1988.

GUTIERREZ R., « Psicologia y aprendizaje de las ciencias. El modelo de Gagné, Enseñanza de las ciencias », vol. 7, 2, 1989, 147-157.

HALBWACHS F., « Séminaires du groupe de recherche en didactique de la physique », non publié, Université de Provence, 1983.

HARLEN W. and DEAKIN CRICK R., "Testing and motivating for learning", *Assessment in Education*, 2003

HAWKINS, J. et Pea, R. D. (1987), "Tools for bridging the cultures of everyday and scientific thinking", *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 181-197.

HEWSON, P. et LEMBERGER, J. (2000), "Status as the hallmark of conceptual learning", in R. H. Millar, J. Leach et J. Osborne (Eds), *Improving science education: The contribution of research* (p. 110-125), Buckingham, UK, Open University Press.

HEWSON P. W., 1981, "A conceptual change approach to learning science", *European Journal of Science Education*, vol. 3, 4, 1981, 383-396.

HIRSCHFELD, L. A. et GELMAN, S. A. (Eds), (1994), "Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture", Cambridge, UK, Cambridge University Press.

HOUDE O., KAYSER D., KOENIG O., PROUST J., RASTIER F., « Vocabulaire de sciences cognitive, Neuroscience, psychologie, intelligence artificielle, linguistique et philosophie », Quadrige/PUF, Paris, 1998.

JACOB F., « Le jeu des possible, essai sur la diversité du vivant », Fayard, 1981.

JACOB F., JACOB O., « La statue intérieure », Seuil, 1987.

JOHSUA S., THESE : « Contribution à la délimitation du contraint et du possible dans l'enseignement de la physique (essai en didactique expérimentale) », 1985.

KOYRE, (1990 a), « Cohérence de la physique aristotélicienne, Aristote. Leçons de physique », Paris, Presses Pocket (1^{re} éd., 1966, dans Etudes galiléennes, Paris, Hermann).

KUHN T. S., « La structure des révolutions scientifiques », Paris, Flammarion, coll. « Champs », 1970.

KUHN, T. S., « La structure des révolutions scientifiques », Paris, Flammarion, 1972.

LABORIT H., « La nouvelle grille. Pour décoder le message humain », Robert Laffont, 1974

LEMKE, J. L. (1990), "Talking science: Language, learning and values", Norwood, New Jersey, Ablex Publishing Corporation.

LE NY (J.F.), « La sémantique psychologique », Paris, PUF, le Psychologue, 1979.

LE NY J.-F., «Comment (se) représenter les représentations.», Psychologie française, n.spé. « les représentations »,1985.

LEVY-LEBLOND, JM & BALIBAR, F., 1984, « Quantique — Rudiments », Paris, Inter Editions et CNRS — rééd. Masson 1997.

MORTIMER, E. et SCOTT, P. (2000), "Analysing discourse in the science classroom", in R. H. Millar, J. Leach et J. Osborne (Eds), *Improving science education: The contribution of research* (p. 126-142), Buckingham, UK, Open University Press.

NEWELL A., SIMON H., "Human problem solving", Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1972.

OSBORNE (R.J.), GILBERT (J.K.), "Exploring the method using the concept of electric current", University of Surrey, 1979.

PEIRCE, Charles. Sanders., 1885, « Ecrits sur le signe », tr. Fr. Paris, Seuil, 1978.

PERRET-CLERMONT A.-N., « La construction de l'intelligence dans l'interaction sociale », Berne, Peter Lang, 1979.

PERRET-CLERMONT A.-N., « Approches psychosociologiques de l'apprentissage en situation collective », Séminaire de psychologie, Université de Neuchâtel, 1981.

POSNER, G. J., STRIKE, K. A., HEWSON, P. W. et GERTZOG, W. A. (1982), "Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change", *Science Education*, 66, 211-227.

RABARDEL P., « Les homes et les technologies. Approche cognitive des instruments contemporains », Armand Colin, Paris, 1995.

RESNICK L., "Instructional Psychology", Learning Research and Development Center, University of Pittsburgh, 1980.

RESNICK L. , "A New Conception of Mathematics' and Science Learning, Learning research and development Center", University of Pittsburgh, 1982.

REUCHLIN M., « Psychologie », Paris, PUF Coll. Fondamental, 1997, in 8 Broché.

- RICHARD (J.F.), « L'attention », Paris, PUF, Le Psychologue, 1980.
- RICHARD (J.F.), de SINGLY (F.), « Analyse du comportement d'identification de concepts unidimensionnels chez les enfants de cinq ans », *Enfance*, 1972, 5, 349-359.
- RICHARD J.-F., « Les activités mentales », Armand Colin, Paris, 1990.
- RICHELLE M., « Pourquoi les psychologues ? », Bruxelles, Mardaga, 1968.
- ROBARDET G., « Didactique des sciences physiques et formation des maîtres : contribution à l'analyse d'un objet, naissant », Thèse de Doctorat d'Université, Grenoble, Université Joseph-Fourier, 1995b.
- ROTH, W. M., McROBBIE, C. J., Lucas, K. B. et Boutonné, S. (1997), "The local production of order in traditional science laboratories: A phenomenological analysis", *Learning and Instruction*, 7 (2), 107-136.
- SANNER M., « Prise en compte des représentations dans les stratégies pédagogiques : perspectives », in J.E.S.II, « Approche des processus de construction des concepts en sciences », édité par le C.N.R.S. et l'I.N.R.P., 1980.
- SCHIELE, B. (1984), « Note pour une analyse de la notion de coupure épistémologique », *Communication Information*, VI (2/3), 42-98.
- SKINNER B. F., « Analyse expérimentale du comportement », Bruxelles, Dessart (édition américaine, 1954), 1971.
- SMOLENSKY P., « IA connexionniste, IA symbolique et cerveau », in introduction aux sciences cognitives, s/d Andler, Paris, Gallimard, 1992.
- STENGERS I., et SCHLANGER J., « Les concepts scientifiques », Paris, Gallimard, « Folio-Essais », 1991, p.133-134.
- STURMAN L., RUDDOCK G., BURGE B., LIN Y. and VAPPULA H." England's Achievement" in TIMSS 2007: national report for England". Slough: NFER, 2008.
- TIBERGHIEU (A.), DELACOTE (G.), « Manipulations et représentations des circuits électriques simples par des enfants de 7 à 12 ans ». *Revue Française de Pédagogie*, 1976, 34.
- TIBERGHIEU (A.), « Un exemple de restructuration de l'organisation conceptuelle à l'occasion d'un enseignement concernant la notion de chaleur », in J.E.S.II, « Approche des processus de construction des concepts en sciences », édité par le C.N.R.S. et l'I.N.R.P., 1980.
- VERGNAUD G., « Quelques orientations théoriques et méthodologiques des recherches françaises en didactique des mathématiques », *Recherches en didactique des Mathématiques*, vol. 2,2 , 1981a, 215-231.
- VIENNOT (L.), *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Thèse d'Etat, Paris VII, 1977.
- VIENNOT, L., (1985), « Analysing student's reasoning in science: a pragmatic view of theoretical problems », *European Journal of Science Education*, 7 (2), 151-162.

VON AUFSCHNAITER, C ; et von Aufschnaiter, S. (soumis), Students' cognitive processes while working on physics tasks.

VOSNIADOU, S. et BREWER, W.F.(1992), "Mental models of the earth :A study of conceptual change in childhood", *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.

VOSNIADOU, S. (1994), "Capturing and modelling the process of conceptual change", *Learning and Instruction*, 4 (1), 45-69

VYGOTSKY L ., (1934-1937), « Pensée et langage », 3^e éd. De la trad. française, Paris, La Dispute, p.111.

VYGOTSKY Lev. S. « Pensée et langage », Paris, Messidor (éd. Orig. 1934), 1985.

WARREN, B., (2001), "Rethinking diversity in learning science: The logic of everyday sense-making", *Journal of Reseach in Science Teaching*, 38 (5), 529-552.

WATSON J. B., « Behaviorism », 1925, édition française, *Le Behaviorisme*, Paris, PUF, 1972.

WEI Y., "Science Education and Creativity" (1), *Journal of Science Education in Primary Schools*, n°1, 2008, pp.1-10.

WEI Y., "Science Education and Creativity" (2), *Journal of Science Education in Primary Schools*, n°2, 2008, pp.4-7.

WEST L.H. FENSHAM J., "Pior knowledge and the learning of science: A review of Ausubel's theory of this process, *Studies in Science Education*" , n°1, 1974, 1-13.

INDEX DES NOMS

ANDERSON	31, 34, 82
ASTOLFI	34, 35, 36, 40, 42, 43, 45, 46, 82, 83, 84, 92
BACHELARD	40, 41, 44, 73, 75, 88, 98, 124, 141, 148, 155, 156, 161
BALPE	34, 37, 82
BERBAUM	55, 56
BLAYE	68
BONAN	39, 98
BOYER	152
BROUSSEAU	124
BROWN	103
CAPELIER	16, 23
CAREY	99
CHALMERS	135, 140
CHANGEUX	78, 79
CHARPAK	22, 23, 87
CHARVET	82
CHAUVEL	92
CHEVIGNY	23
CHI	100, 101
COBERN	99
CONVERT	16, 19, 82
COQUIDE	88
DESAUTELS	154
DE VECCHI	31, 34, 82, 111, 125, 128, 129, 130
DOISE	66, 67, 68
DUIT	99
EDELMAN	88, 89
EINSTEIN	140
EVANS	103
FAIVRE-DUPAIGNE	146
FEYERABEND	142, 146
FOUREZ	141
FRANEAU	111
GAGNER	62
GANGLOFF	112
GILLY	68, 69
GIORDAN	12, 26, 31, 32 à 39, 45, 52, 53, 55, 77, 79, 82 à 90, 96 à 98, 112, 126.
GISPERT	16
GIUSEPPIN	87
GUTIERREZ	63
GOFFARD	23, 31, 34, 83
HALBWACHS	65
HARLEN	28, 32, 33, 86
HAWKINS	103
HEWSON	63, 99
HIRSCHFELD	100

HOUDE	56
JACOB	45
JOHSUA	40, 52, 60, 61, 62, 63, 65, 66, 69, 73, 83, 123
KOYRE	99
KUHN	45, 95, 99, 138, 144, 145
LARCHER	159, 160, 161
LENA	23
LEFEBVRE	90
LE MOIGNE	12, 163
Mc QUARRIE	4, 6, 7
MEIRIEU	43, 75, 124
MUGNY	66, 67, 68
NEWELL	69
OSBORNE	33
OURISSON	23
PERRET-CLERMONT	68
PIAGET	25, 34, 36, 44
POPPER	6, 45, 111, 128, 143
PORCHET	16, 82
POSNER	99, 101
RABARDEL	46
RESNICK	63, 66
REUCHLIN	64
RICHARD	69
ROBARDET	74, 75, 111, 122 à 124, 132 à 147, 151 à 158, 162
ROBINE	21, 23, 22, 24, 26, 27, 33
ROCARD	23
ROTH	102
SALLABERRY	11, 12, 35, 52, 60 à 70, 77, 76, 78, 79 à 96, 103 à 108, 128, 163
SANNER	42
SKINNER	41, 61
SMOLENSKY	70
STENGERS	148
STEVAN	22
STURMAN	28
TIBERGHIE	31, 73, 82, 98
VARELA	70, 76, 141
VENTURINI	16
VERGNAUD	42, 64, 66, 96
VIENNOT	34, 73, 83
VOSNIADOU	100
VYGOTSKY	25, 67, 98, 99, 102
WARREN	103
WATSON	41, 62
WEI	22, 24, 25, 27
WEIL-BARAIS	54, 55, 60, 65
WEST	63

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE	p.3
INTRODUCTION	p.5
PREMIERE PARTIE: OUTILLAGE THEORIQUE.....	p.14
Chapitre premier	
REFORMER L'ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE: UNE PRISE DE CONSCIENCE MONDIALE.	
L'INVESTIGATION PAR LES ELEVES, UNE REPOSE UNIVERSELLE ?	p .17
Introduction	p.18
I- Sciences et enseignement scientifique : représentations et état des lieux.	P.19
1. Sciences et société	p.19
2. Sciences et enseignement	p.20
II- Réformer l'enseignement scientifique : une prise de conscience mondiale.....	P.23
1. Introduction	p.23
2. La mondialisation de l'éducation et ses objectifs.....	P.23
3. Démarches et stratégies communes	p.24
III- La démarche par investigation en science : exemple de piste universelle pour la rénovation pédagogique de l'enseignement scientifique.....	P.25
1. Les raisons d'un enseignement par investigation	P.25
2. Mise en œuvre de la démarche par investigation : effectivité et bilan.	P.28
3. Apprentissage par démarche d'investigation : architecture de la démarche.....	P.30
IV- La formulation d'hypothèse : une étape clé de la démarche d'investigation.	P.33
1. La formulation d'hypothèse : une nécessité pédagogique	p.33
2. La formulation d'hypothèse : une forme d'émergence des représentations initiales de l'apprenant.....	P.36
3. La formulation d'hypothèses : une forme de prise en compte des représentations initiales des apprenants par l'enseignant.	P.39
V- L'erreur, un outil pour enseigner	p.42
1. Le statut de l'erreur	p.42
2. Un autre statut pour l'erreur dans les modèles constructivistes	p.43
3. L'erreur en tant d'indicateur de processus	p.43
4. Erreur et épistémologie.....	p.46
5. L'erreur chez Bachelard et Piaget	p.48
VI- Mon parcours par rapport à l'hypothèse dans l'enseignement scientifique	p.49
1. Retour sur l'hypothèse dans mon parcours d'apprenant (élève et étudiant).....	p.49
2. L'hypothèse dans le « premier temps » de mon métier d'enseignant.....	P.50
3. L'hypothèse dans le « deuxième temps » de mon métier d'enseignant.	P.50

4. Conséquence dans l'évolution de mes pratiques pédagogiques.....	P.50
Conclusion	p.52
Chapitre II	
LES THEORIES DE L'APPRENTISSAGE :	
QUELLE DIDACTIQUE POUR ENSEIGNER LES SCIENCES PHYSIQUES?.....	P.53
Introduction	p.54
I- Apprendre et apprentissage : éléments de définition.	P.54
1. Apprendre et apprentissage selon quelques auteurs	p.54
2. Apprentissage pour les sciences cognitives.....	p.58
II- Théories et modèles des apprentissages : les six paradigmes du 20^e siècle.....	p.62
1. Le paradigme « associationniste ».....	p.62
2. La théorie de la forme — le paradigme « gestaltiste »	p.65
3. La théorie (et le paradigme) opératoire	p.66
4. Le paradigme constructiviste-interactionniste	p.68
5. Paradigme cognitiviste fort.....	p.71
6. Le paradigme connexionniste.....	p.72
III- Quelle didactique pour enseigner les sciences physiques : utilisation des situations problèmes	p.73
Mise en évidence du problème	p.73
1. Utilisation des six paradigmes du XX ^e siècle	p.73
2. Critique du modèle didactique classique inductiviste	p.74
3. Recherche d'une démarche constructiviste du savoir scientifique	p.76
4. La situation-problème : un instrument didactique adapté.	P.77
5. L'apport de Varela.....	p.78
6. L'apport de la théorie des représentations	p.79
7. L'apport de Changeux	p.80
Conclusion	p.82
Chapitre III	
LE CONCEPT DE REPRÉSENTATION DANS L'APPRENTISSAGE ET CATÉGORISATION DES REPRÉSENTATIONS.	
Introduction	p.84
I- Approche de la notion de représentation	p.85
1. Les représentations, terminologie.....	P.85
2. Cas des représentations naïves.	P.85
II- Autre approche de la notion de représentation.....	p.88
1. Acte et représentation.....	p.88
2. Complexité de la notion de représentation	p.91

3.	Proposition de concept	p.92
4.	L'articulation individuel-collectif	p.93
5.	Elaboration d'une représentation.....	p.96
III-	Conséquence en termes de modélisation pour l'éducation.	P.98
1.	La prise en compte des représentations initiales	p.98
2.	Représentations initiales et construction du savoir scientifique	p.100
3.	Les conditions d'évolution des conceptions initiales en savoirs scientifiques	p.104
IV-	Catégorisation des représentations.	P.105
1.	Une catégorie empirique des représentations.	P.105
2.	Dynamique R1, dynamique R2 : comment distinguer R1 et R2?	P.106
3.	Relation entre niveaux d'abstraction et niveaux d'apprentissage.....	P.107
	Conclusion	p.110
Chapitre IV		
	STATUT DE L'HYPOTHESE DANS LA DEMARCHE EXPERIMENTALE	p.111
	Introduction	p.112
I-	Hypothèse : définition(s) et caractéristiques	p.113
1.	Des confusions et des approximations	p.113
2.	Des définitions pour « hypothèse » en didactique des sciences.	P.113
3.	Formulation d'une hypothèse	p.115
4.	Statut « expérimental » et « scientifique » de l'hypothèse.	p.118
II-	L'hypothèse: un prolongement du réel par l'imaginaire vers le savoir.	P.120
1.	Savoir formuler une hypothèse : un état d'esprit nécessaire	p.120
2.	L'hypothèse est une invention.....	p.120
3.	L'imaginaire et la construction du savoir.....	p.122
4.	Réel, imaginaire et savoir	p.123
III-	L'hypothèse dans la démarche expérimentale : interférence question, hypothèse, expérience.	P.124
1.	Critique du modèle didactique classique inductiviste	p.124
2.	Caractéristiques d'une démarche constructrice du savoir scientifique selon Robardet....	p.125
3.	Enseigner à partir de situation problèmes.....	p.125
4.	Interférence question, hypothèse et expérience : place de l'hypothèse dans la méthode scientifique	p.128
IV-	Le rôle pédagogique de l'hypothèse	p.130
1.	L' hypothèse et ses critères de recevabilité	p.130
2.	Intérêt pédagogique de faire formuler des hypothèses	p.130
3.	Le stade hypothético-déductif et l'appropriation de la démarche expérimentale.....	p.131

4. Attitude pédagogique face aux hypothèses	p.132
Conclusion	p.134
Chapitre V	
POINT DE VUE EPISTEMOLOGIQUE ET REFLEXION SUR LA	
METHODE	p.135
Introduction	p.136
I- Epistémologie et enseignement scientifique : quelle interaction ?	p.137
1. Aperçu historique de la démarche scientifique.....	p.138
2. Critique des positions inductivistes	p.142
3. L'inductivisme dans l'enseignement des sciences physiques.	P.148
4. Autres approches épistémologiques pour l'enseignement des sciences physiques	p.156
II- La position épistémologique du chercheur	p.165
1. L'apport de Le Moigne.....	p.165
2. La physique quantique et les inégalités de Heisenberg	p.168
III- Méthode et réflexion sur la méthode	p.168
1. Expérimentations aux niveaux école et collège.....	p.169
2. Expérimentation au niveau lycée.....	p.170
Conclusion	p.172
 DEUXIÈME PARTIE :	
RECUEIL ET EXPLOITATION DES DONNEES	p.173
 Chapitre VI	
IMPACT DE L'EXPERIMENTATION SUR LA TRANSFORMATION DES HYPOTHESES INITIALES EN	
SAVOIR SCIENTIFIQUE: ETUDE COMPAREE	p.174
I- Méthode	p.175
1. Population.....	p.175
2. Recueil des données	p.177
3. Méthode utilisée pour l'analyse des données.	P.184
II- Résultats et analyse des données.	P.186
1. Analyse quantitative.....	p.186
2. Analyse qualitative.	P.197
III- Discussion	p.205
1. Interprétation des résultats du pré-test.....	P.205
2. Interprétation des résultats au post-test1	p.207
3. Interprétation des résultats au post-test2	p.209
Conclusion	p.214

Chapitre VII

LA CONSTRUCTION DE L'HYPOTHESE : LES PARAMETRES

IMPORTANTS.....	p.216
I- Méthode.....	p.217
1. Population.....	p.217
2. Recueil des données	p.217
3. Méthode utilisée pour l'analyse des données.	P.218
II- Résultats.....	p.218
1. Présentation des activités proposées aux élèves.....	p.218
2. Situation-1 : Représentation de la pesanteur	p.220
3. Situation 2 : Représentation de la condensation de la vapeur d'eau sur une paroi froide.	P.231
4. Situation -3 : Représentation de la poussée d'Archimède	p.237
III- Bilan des résultats.....	p.245

Chapitre VIII

CONSTRUCTION D'UN SAVOIR SCIENTIFIQUE EN TERMINALE S. FONCTION STRUCTURANTE DE L'HYPOTHESE DANS L'EVOLUTION DE LA PENSEE. ETUDE A L'ECHELLE CLASSE ET A L'ECHELLE

INDIVIDUELLE.....	P.247
I- Méthode.....	p.248
1. Population.....	p.248
2. Recueil des données	p.248
3. Méthode utilisée pour l'analyse des données.	P.250
II- Etude de l'évolution de la pensée des élèves à l'échelle classe.....	P.251
1. Emergence des états de pensée initiale des élèves.	p.251
2. Etape 1 : Evolution des hypothèses « initiales »	p.255
3. Etape 2 : Evolution des hypothèses du palier de pensée 1.	P.265
4. Etape 3 : Evolution des hypothèses du palier de pensée 2	p.272
5. Etape 4 : Evolution des hypothèses du palier de pensée 3	p.275
6. Etape 5 : Evolution des hypothèses du palier de pensée 4	p.278
7. Etape 6 : Evolution des hypothèses du palier de pensée 5	p.283
III- Exemples de parcours individuel d'évolution de la pensée : repérage comparé.....	p.286
1. Introduction	p.286
2. Présentation des élèves.....	p.286
3. Emergence de l'état de pensée initiale des élèves.	p.286
4. Les différentes étapes d'évolution de la pensée	p.289
5. Conclusion.....	p.295
IV- Discussion.....	p.296

1. Introduction	p.296
2. Interprétation des résultats obtenus dans l'étude de l'évolution de la pensée des élèves à l'échelle de la classe.	P.299
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	p.308
ANNEXES.....	p.318
REFERENCES.....	p.348
INDEX DES NOMS	p.358

LES MOTS CLES

APPRENTISSAGE – CONCEPTION- CONSTRUCTIVISME- HYPOTHESE –
INVESTIGATION - PROCESSUS de PENSEE –REPRESENTATION

RESUME

Apprendre un concept scientifique procède d'un processus de déconstruction-reconstruction. Enseigner signifie aider l'élève dans cette démarche qui lui demande de rejouer, pour lui le parcours d'invention qui a permis l'émergence du concept. C'est justement pour faire face à la crise que traverse l'enseignement scientifique en France et dans le monde et parce que l'on considère que les pratiques pédagogiques habituelles, encore utilisées, en sont pour partie responsables, que la démarche d'investigation est universellement proposée.

Procéder par investigation est une méthode qui demande à l'élève de construire son savoir. Elle est présentée comme étant plus efficace pour apprendre. Une réflexion autour de la raison de cette efficacité nous conduit à nous arrêter au niveau de l'étape de formulation d'hypothèse qui semble constituer le pivot de la démarche.

Des énoncés d'élèves pour lesquels nous inférons qu'ils sont la traduction de leur représentation montrent qu'il est possible d'explorer leur état de pensée dans une situation d'apprentissage et mieux, de suivre des processus de pensée.

Les méthodes élaborées pour cela semblent efficaces puisque nous parvenons à montrer à l'échelle d'une classe que grâce à la formulation d'hypothèses tous les élèves parviennent, à leur rythme, à atteindre le savoir scientifique. Ainsi, nous constatons que l'hypothèse joue un rôle structurant pour le savoir en construction. Elle le façonne à mesure du processus de déconstruction-reconstruction. Ces considérations nous autorisent à penser que l'utilisation de la formulation d'hypothèse contribue à l'efficacité de la démarche par investigation par rapport à une démarche plus classique pour apprendre un savoir scientifique.

