

**Direction des bibliothèques**

**AVIS**

Ce document a été numérisé par la Division de la gestion des documents et des archives de l'Université de Montréal.

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

**NOTICE**

This document was digitized by the Records Management & Archives Division of Université de Montréal.

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal

Les principaux modèles de changement conceptuel et l'enseignement  
des sciences au primaire : état de la question

par

Marie-Noël Bêty

Département de didactique

Faculté des sciences de l'éducation

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures  
en vue de l'obtention du grade de Maître ès arts (M. A.)  
en sciences de l'éducation  
option didactique

Avril, 2009

© Marie-Noël Bêty, 2009



Université de Montréal  
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :  
Les principaux modèles de changement conceptuel et l'enseignement  
des sciences au primaire : état de la question

présenté par  
Marie-Noël Bêty

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

France Caron  
présidente-rapporteuse

Marcel Thouin  
directeur de recherche

Patrice Potvin  
membre du jury

## Résumé

L'apprentissage des sciences est parfois ardu pour les élèves, notamment lorsqu'il remet en cause leurs conceptions. À cet effet, une panoplie de recherches ont été réalisées et se réalisent toujours dans le champ de recherche du changement conceptuel. Plusieurs de ces recherches portent sur les modèles de changement conceptuel. Du côté des praticiens que sont les enseignants du primaire, il semble qu'ils possèdent une conception plutôt dogmatique de l'enseignement des sciences et qu'ils se sentent peu à l'aise avec l'enseignement de cette matière. Afin que la pratique d'enseignement puisse bénéficier de la richesse des explications des modèles de changement conceptuel et de leurs indications sous-jacentes, nous proposons d'établir un pont entre la pratique d'enseignement des sciences au primaire et le fécond programme de recherche sur le changement conceptuel à partir des modèles de changement conceptuel suivants : le modèle de Posner, Strike, Hewson et Gertzog (1982), le modèle de Vosniadou (1994), le modèle de diSessa (1993) et le modèle allostérique de Giordan (1989).

Cette recherche théorique, appuyée sur l'analyse de contenu et la synthèse des unités d'analyse collectées, a permis d'explicitier le changement conceptuel de chaque modèle et de mettre en exergue leurs indications pour la pratique d'enseignement.

Comme le changement conceptuel s'inscrit dans le paradigme du constructivisme, certaines indications pour la pratique d'enseignement convergent même si selon une perspective théorique, les modèles divergent. Par exemple, selon les quatre modèles, l'élève est amené à construire ses connaissances et est en interaction avec son environnement ainsi qu'avec son enseignant ou ses pairs. En outre, quelques indications notables présentent un intérêt réel pour l'enseignement des sciences et sont partagées par plusieurs chercheurs malgré leurs divergences théoriques : la conception de la nature des sciences revêt une importance, le changement conceptuel est graduel et nécessite du temps, une sélection réduite de concepts gagnerait à être enseignée, le changement conceptuel est favorisé lorsque des concepts d'un champ global sont abordés les uns à la suite des autres ainsi que lorsqu'un concept est abordé à quelques reprises dans différents contextes et, finalement, la résolution de problème ainsi que la structuration des savoirs sont les activités à privilégier. Un exemple de séquence d'enseignement commentée permet d'illustrer l'applicabilité de ces indications en salle de classe au primaire.

Les indications pour la pratique d'enseignement mises en exergue contribuent à traduire aux enseignants l'applicabilité des modèles de changement conceptuel pour l'enseignement des sciences au primaire. Ces indications pourraient notamment être mises à l'essai dans une éventuelle recherche empirique avec des enseignants au primaire pour évaluer leurs incidences tant chez les élèves, par rapport à leurs apprentissages, que chez les enseignants, par rapport à leur pratique.

Mots-clés : Didactique des sciences, enseignement des sciences au primaire, changement conceptuel, pratique d'enseignement en sciences

## Abstract

Learning science is somewhat difficult for students, particularly when it questions their conceptions. To this end, a variety of research has been carried out and is still realized in the research field of conceptual change. Many of these research focuses particularly on the explanation of conceptual change, developing conceptual change models. As for practitioners, the primary school teachers, it seems they have a rather dogmatic view of science education and are rather uncomfortable with the teaching of that subject.

So that teaching practice can benefit from the value of explanations of conceptual change models and their underlying suggestions, we propose to establish a bridge between the practice of science education in primary schools and prolific research on conceptual change from a selection of conceptual change models (the model of Posner, Strike, Hewson and Gertzog (1982), the model of Vosniadou (1994), the model of diSessa (1993) and the allosteric model of Giordan (1989)).

The research methods used to describe the explanation of conceptual change of each model and to highlight their teaching indications are the content analysis and the synthesis of units collected towards a representative sample of texts.

Since conceptual change belongs to the constructivism paradigm, some suggestions for teaching converge even if in theory, the models differ. Indeed, according to the four models, students are required to build their knowledge and interact with their environment, teacher and peers. In addition, some significant suggestions seem promising for science education and are shared by many researchers despite their theoretical differences : conception of the nature of science is important, conceptual change is gradual and takes time, a small selection of science concepts should be taught, conceptual change is facilitated when the concepts of a conceptual area are addressed one after the other and when a concept is discussed several times in different situations and, finally, problem resolution and knowledge integration are activities to be favoured.

The results of the analysis of these models are a contribution to make teaching of science relevant to primary school teachers by making these available to them. These suggestions could be tested in an empirical research with primary school teachers to assess their possible effects on both students (in regard to their learning) and teachers (in regard to their practice).

**Keywords:** Science education, science teaching at primary level, conceptual change, teaching practice in science

## Table des matières

|  |            |
|--|------------|
| <b>RÉSUMÉ</b> .....  | <b>III</b> |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | <b>IV</b>  |
| <b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....  | <b>V</b>   |
| <b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....  | <b>IX</b>  |
| <b>LISTE DES FIGURES</b> .....   | <b>XI</b>  |
| <b>REMERCIEMENTS</b> .....   | <b>XII</b> |
| <b>INTRODUCTION</b> .....  | <b>1</b>   |
| <b>1. PROBLÉMATIQUE</b> .....  | <b>5</b>   |
| 1.1 L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES AU PRIMAIRE ET LES ÉLÈVES.....   | 5          |
| 1.1.1 Des sciences au curriculum dès le primaire.....  | 5          |
| 1.1.2 Les difficultés éprouvées par les élèves en sciences.....  | 7          |
| 1.1.3 Des recherches sur les conceptions initiales.....  | 8          |
| 1.1.4 Des recherches sur le changement conceptuel.....   | 10         |
| 1.1.4.1 Les modèles de changement conceptuel.....  | 12         |
| 1.1.4.2 Les modèles de changement conceptuel et l'apprentissage en salle de classe 14  |            |
| 1.2 L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES AU PRIMAIRE ET LES ENSEIGNANTS.....  | 16         |
| 1.2.1 Difficultés éprouvées par les enseignants lors de l'enseignement des sciences au primaire.....   | 16         |
| 1.2.2 Jeter un pont entre les recherches sur les modèles de changement conceptuel et la pratique de l'enseignement des sciences au primaire..... | 19         |
| 1.3 OBJECTIFS DE RECHERCHE.....  | 22         |
| <b>2. CADRE THÉORIQUE</b> .....  | <b>24</b>  |
| 2.1 LE CHANGEMENT CONCEPTUEL.....  | 24         |
| 2.1.1 Le changement conceptuel et le constructivisme.....  | 24         |
| 2.1.2 Le changement conceptuel, un processus d'apprentissage en didactique.....  | 25         |
| 2.1.3 L'origine du changement conceptuel.....  | 27         |
| 2.1.4 Le changement conceptuel au sens large.....  | 29         |
| 2.1.5 Les conceptions.....   | 30         |
| 2.1.6 Les concepts.....  | 31         |
| 2.1.7 Le processus de changement conceptuel en tant que tel.....   | 32         |
| 2.1.8 Le changement conceptuel dans le cycle général de l'évolution.....   | 33         |
| 2.1.9 Le changement conceptuel en sciences au primaire.....  | 34         |
| 2.2 MODÈLE.....  | 35         |
| 2.2.1 Définition de modèle.....  | 35         |
| 2.2.2 Fonctions des modèles.....   | 36         |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 2.2.3     | Critères d'appréciation d'un modèle.....  | 37        |
| 2.2.4     | Distinction entre modèle et théorie.....  | 38        |
| 2.3       | LA PRATIQUE D'ENSEIGNEMENT.....   | 39        |
| 2.3.1     | Définition de la pratique d'enseignement.....                                       | 40        |
| 2.3.2     | Les variables de la pratique d'enseignement.....                                    | 42        |
| 2.3.3     | Les liens entre les variables de la pratique d'enseignement et la didactique.....   | 43        |
| 2.3.4     | Séquence d'enseignement.....  | 44        |
| 2.4       | ÉLÉMENTS À CONSIDÉRER POUR L'ANALYSE DES MODÈLES DE CHANGEMENT CONCEPTUEL.....      | 45        |
| 2.5       | QUESTIONS DE RECHERCHE.....   | 46        |
| <b>3.</b> | <b>CADRE MÉTHODOLOGIQUE.....</b>  | <b>48</b> |
| 3.1       | TYPE DE RECHERCHE.....  | 48        |
| 3.2       | MÉTHODES ET TECHNIQUES DE RECHERCHE.....  | 49        |
| 3.2.1     | L'analyse de contenu.....   | 51        |
| 3.2.1.1   | Les étapes de l'analyse de contenu.....   | 52        |
| 3.2.1.1.1 | La constitution du corpus.....  | 52        |
| 3.2.1.1.2 | Définition des catégories d'analyse.....  | 54        |
| 3.2.1.1.3 | Choix des unités d'analyse.....   | 55        |
| 3.2.1.1.4 | Repérage.....   | 56        |
| 3.2.1.1.5 | Classification des éléments d'analyse dans une base de données                      | 58        |
| 3.2.2     | La synthèse.....  | 59        |
| 3.2.2.1   | Synthèse des éléments d'analyse en quatre phases.....                               | 60        |
| 3.3       | EN SYNTHÈSE.....  | 61        |
| <b>4.</b> | <b>ANALYSE ET DISCUSSION.....</b>   | <b>63</b> |
| 4.1       | LE MODÈLE DE CHANGEMENT CONCEPTUEL DE POSNER, STRIKE, HEWSON ET GERTZOG (1982)..... | 65        |
| 4.1.1     | Les entités du modèle de changement conceptuel de Posner et al.....                 | 67        |
| 4.1.2     | Le processus du changement conceptuel selon Posner et al.....                       | 69        |
| 4.1.3     | Indications pour la pratique d'enseignement.....                                    | 72        |
| 4.1.3.1   | Structuration et mise en œuvre des contenus.....                                    | 72        |
| 4.1.3.2   | Processus.....  | 75        |
| 4.1.3.3   | Cadre organisationnel.....  | 78        |
| 4.1.4     | Discussion.....   | 79        |
| 4.1.4.1   | Point de vue didactique sur les indications pour la pratique d'enseignement.....    | 80        |
| 4.1.4.2   | Commentaires.....   | 82        |
| 4.1.4.3   | Fonctions du modèle de Posner et al.....  | 86        |
| 4.2       | LE MODÈLE DE VOSNIADOU.....   | 86        |
| 4.2.1     | Les entités du modèle de changement conceptuel de Vosniadou.....                    | 88        |
| 4.2.2     | Le processus du changement conceptuel selon Vosniadou.....                          | 90        |
| 4.2.3     | Indications pour la pratique d'enseignement.....                                    | 95        |
| 4.2.3.1   | Structuration et mise en œuvre des contenus.....                                    | 95        |
| 4.2.3.2   | Processus.....  | 97        |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 4.2.3.3 | Organisation matérielle et temporelle.....  | 99  |
| 4.2.4   | Discussion.....   | 99  |
| 4.2.4.1 | Point de vue didactique sur les indications pour la pratique<br>d'enseignement.....   | 100 |
| 4.3     | LE MODÈLE DE DISESSA.....   | 102 |
| 4.3.1   | Les entités du modèle de diSessa.....   | 104 |
| 4.3.2   | Le processus du changement conceptuel selon diSessa.....  | 108 |
| 4.3.3   | Indications pour la pratique d'enseignement.....  | 111 |
| 4.3.3.1 | Structuration et mise en œuvre des contenus.....  | 112 |
| 4.3.3.2 | Processus.....  | 112 |
| 4.3.3.3 | Cadre organisationnel.....  | 114 |
| 4.3.4   | Discussion.....   | 115 |
| 4.3.4.1 | Point de vue didactique sur les indications pour la pratique<br>d'enseignement.....   | 116 |
| 4.3.4.2 | Commentaires.....   | 118 |
| 4.3.4.3 | Les fonctions respectives des modèles de diSessa et de Vosniadou<br>121   |     |
| 4.4     | LE MODÈLE ALLOSTÉRIQUE DE GIORDAN.....  | 122 |
| 4.4.1   | Les entités du modèle allostérique.....   | 124 |
| 4.4.2   | Le processus de changement conceptuel selon Giordan.....  | 126 |
| 4.4.3   | Indications pour la pratique d'enseignement.....  | 128 |
| 4.4.3.1 | Processus.....  | 129 |
| 4.4.3.2 | Structuration et mise en œuvre des contenus.....  | 134 |
| 4.4.3.3 | Cadre organisationnel.....  | 137 |
| 4.4.4   | Discussion.....   | 137 |
| 4.4.4.1 | Point de vue didactique sur les indications pour la pratique<br>d'enseignement.....   | 137 |
| 4.4.4.2 | Commentaires.....   | 140 |
| 4.4.4.3 | Les fonctions du modèle allostérique.....   | 141 |
| 4.5     | ANALYSE HORIZONTALE ET DISCUSSION.....  | 141 |
| 4.5.1   | Convergences.....   | 141 |
| 4.5.2   | Divergences.....  | 144 |
| 4.5.3   | Forces des modèles analysés quant aux indications pour la pratique<br>d'enseignement.....   | 145 |
| 4.5.4   | Faiblesses des modèles analysés quant aux indications pour la<br>pratique d'enseignement.....   | 147 |
| 4.5.5   | En somme, deux modèles remarquables.....  | 149 |
| 4.6     | EXEMPLE DE SÉQUENCE COMMENTÉE AVEC LES INDICATIONS PRATIQUES<br>DÉGAGÉES À PARTIR DES MODÈLES DE CHANGEMENT CONCEPTUEL DE POSNER ET<br>AL., DE VOSNIADOU, DE DISESSA ET DE GIORDAN..... | 150 |
| 4.6.1   | Présentation des concepts de la séquence et indications quant à leur<br>structuration.....  | 151 |
| 4.6.2   | La séquence d'enseignement, les indications pratiques et leurs<br>justifications à l'aide des modèles de changement conceptuel.....   | 152 |
| 4.6.3   | Synthèse des indications pour la pratique d'enseignement de cet<br>exemple de séquence d'enseignement.....  | 174 |

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| <b>5. CONCLUSION .....</b>           | <b>176</b> |
| <b>RÉFÉRENCES.....</b>               | <b>180</b> |
| <b>SITES INTERNET CONSULTÉS.....</b> | <b>189</b> |

## Liste des tableaux

|   |     |
|---|-----|
| Tableau I : Fréquences et pourcentages des sujets de recherche de 1998 à 2002<br>( <i>n</i> =802 articles) (Tsai & Wen, 2005, p. 12).....                   | 12  |
| Tableau II : Les critères d'appréciation d'un modèle de changement conceptuel.....  | 38  |
| Tableau III : Composantes du modèle de changement conceptuel de Posner et al. (1982) et relations entre elles .....   | 71  |
| Tableau IV : Composantes du modèle de changement conceptuel de Voaniadou (1994) et relations entre elles .....  | 95  |
| Tableau V : Composantes du modèle de changement conceptuel de diSessa (1993) et relations entre elles .....   | 111 |
| Tableau VI : Métaphore de l'allostérie : analogie entre la protéine allostérique et le modèle allostérique .....  | 123 |
| Tableau VII : Composantes du modèle allostérique et relations entre elles .....   | 128 |
| Tableau VIII : Modalités du cadre organisationnel de l'activité fonctionnelle du tour de table .....  | 154 |
| Tableau IX : Modalités des processus en jeux lors de l'activité fonctionnelle du tour de table.....   | 154 |
| Tableau X : Modalités du cadre organisationnel pour la résolution du problème <i>Les objets lourds tombent-ils plus vite que les objets légers ?</i> .....  | 156 |
| Tableau XI : Modalités des processus en jeux lors de la résolution du problème <i>Les objets lourds tombent-ils plus vite que les objets légers ?</i> ..... | 157 |
| Tableau XII : Modalités du cadre organisationnel de la discussion pour l'institutionnalisation des savoirs.....   | 158 |
| Tableau XIII : Modalités des processus en jeux lors de la discussion pour l'institutionnalisation des savoirs.....  | 158 |
| Tableau XIV : Modalités du cadre organisationnel pour l'activité de structuration <i>Visionnement d'un documentaire et discussion</i> .....                 | 159 |
| Tableau XV : Modalités des processus en jeux lors de l'activité de structuration <i>Visionnement d'un documentaire et discussion</i> .....                  | 160 |

|   |     |
|---|-----|
| Tableau XVI : Modalités du cadre organisationnel pour l'activité fonctionnelle du visionnement d'une vidéo.....                       | 162 |
| Tableau XVII : Modalités des processus en jeux lors de l'activité fonctionnelle du visionnement d'une vidéo.....                      | 162 |
| Tableau XVIII : Modalités du cadre organisationnel pour l'activité fonctionnelle <i>Carte d'exploration</i> .....                     | 163 |
| Tableau XIX : Modalités des processus en jeux lors de l'activité fonctionnelle <i>Carte d'exploration</i> .....                       | 163 |
| Tableau XX : Modalités du cadre organisationnel pour l'activité fonctionnelle <i>Observation</i> .....                                | 165 |
| Tableau XXI : Modalités des processus en jeux lors de l'activité fonctionnelle <i>Observation</i> .....                               | 166 |
| Tableau XXII : Modalités du cadre organisationnel pour la résolution du problème <i>Peut-on ralentir la chute d'un objet ?</i> .....  | 168 |
| Tableau XXIII : Modalités des processus en jeux lors de la résolution du problème <i>Peut-on ralentir la chute d'un objet ?</i> ..... | 169 |
| Tableau XXIV : Modalités du cadre organisationnel pour le concours.....   | 170 |
| Tableau XXV : Modalités des processus en jeux lors de la réalisation du concours .....  | 170 |
| Tableau XXVI : Modalités du cadre organisationnel de la réalisation de l'activité de structuration du dessin commenté.....            | 171 |
| Tableau XXVII : Processus en jeux lors de la réalisation de l'activité de structuration du dessin commenté.....                       | 172 |
| Tableau XXVIII : Modalités du cadre organisationnel pour l'activité de structuration de la discussion synthèse .....                  | 173 |
| Tableau XXIX : Modalités des processus en jeux lors de l'activité de structuration de la discussion synthèse .....                    | 173 |
| Tableau XXX : Résumé des points notables des quatre modèles de changement conceptuel analysés.....                                    | 177 |

## Liste des figures

|   |     |
|---|-----|
| Figure 1 : Le triangle didactique inspiré de Cornu et Vergnioux (1992) .....  | 11  |
| Figure 2 : Le cycle général de l'évolution de Renald Legendre (1983, cité par Potvin, 1998) .....   | 33  |
| Figure 3 : Exemple de fiche d'unité d'analyse dans la base de données <i>Microsoft Access</i> élaborée par Potvin (1998).....   | 59  |
| Figure 4 : Interface d'un regroupement d'unités d'analyse dans <i>Microsoft Access</i> ..   | 61  |
| Figure 5 : Les contingences d'échec et de succès du changement conceptuel par le conflit cognitif par Potvin (1998, p. 159) .....   | 83  |
| Figure 6 : Les modèles mentaux de la Terre (Vosniadou, 1994, p. 53).....  | 92  |
| Figure 7 : Structure hypothétique des éléments de la théorie cadre et de la théorie spécifique sous-jacentes aux modèles mentaux de la Terre chez les enfants (Vosniadou et al., 2008, p. 8)..... | 93  |
| Figure 8 : Le fondement du modèle allostérique de l'apprendre : les conceptions, modelées par les multiples environnements de l'apprenant (Pellaud et al., 2005) .....                            | 125 |
| Figure 9 : Processus de transformation des conceptions (Pellaud et al., 2005, p. 32) .....  | 127 |
| Figure 10 : Environnement didactique favorisant l'apprendre (tiré de la traduction française de Pellaud & Eastes, 2003).....  | 130 |

## Remerciements

Je souhaite d'abord remercier chaleureusement Marcel Thouin pour son soutien inconditionnel et sa confiance tout au long de ma maîtrise. Ses commentaires éclairants et ses encouragements par rapport à mes projets tant académiques que professionnels m'ont motivée et m'ont aidée à persévérer. Sa rigueur, son expertise, sa disponibilité et sa patience ne sont que quelques unes de ses qualités qui font de lui un directeur de recherche exceptionnel.

Je tiens aussi à remercier France Caron pour la pertinence des commentaires qu'elle m'a donnés depuis le tout début de ma maîtrise, dès le séminaire. Son point de vue m'a amenée à porter un regard différent sur ma recherche, notamment sur mon cadre théorique.

Je remercie également Patrice Potvin, généreux et disponible, dont les conseils, d'abord plus techniques au sujet de la méthodologie employée, puis plus théoriques au sujet des modèles de changement conceptuel, ont grandement contribué à enrichir ma recherche.

Pour l'inspiration qu'il insuffle et le suivi qu'il m'a accordé au début de ma maîtrise, je remercie également Renald Legendre.

Je remercie mes collègues de l'université et de l'association étudiante Audrey, Ismaïl, Michel, Mylène, David, Pierre-David, Alexandre, Mélanie et Sébastien qui m'ont encouragée, qui m'ont conseillée et qui ont su me changer les idées lorsque nécessaire. Merci à mes étudiantes qui ont partagé leur séquence d'enseignement avec moi. Merci également à Patrick Charland pour son aide et ses conseils précieux.

Je tiens aussi à remercier du fond du cœur mes proches. Je remercie tout particulièrement Akos pour ses encouragements, son soutien infini, sa compréhension, sa curiosité pour ma recherche, sa foi en moi et ses relectures attentives.

Un merci tout spécial à mes parents Noëlla et Réginald pour leur aide constante ainsi que pour m'avoir inculqué le sens de l'effort et de l'assiduité et à ma sœur Cynthia, pour son support moral.

Enfin, merci au CRSH, au département de didactique et à la Faculté des sciences de l'éducation de l'Université de Montréal pour les bourses qu'ils m'ont attribuées.

## Introduction

Préoccupée par l'apprentissage des sciences au primaire, j'allais *a priori* aborder ce sujet par une recherche empirique. En définitive, il en fut autrement car au fil de mes lectures, j'ai pu faire les constatations suivantes :

1. Les auteurs s'entendent généralement pour dire qu'il faut enseigner à partir des conceptions initiales<sup>1</sup> des enfants, c'est-à-dire à partir des représentations qui leur servent à comprendre le monde au quotidien.
2. Certains auteurs ont donc développé des modèles de *changement conceptuel* pour tenter d'expliquer le passage des conceptions initiales aux conceptions scientifiques en sciences. Ils n'utilisent toutefois pas le même vocabulaire lorsqu'il est question du changement conceptuel et ont différentes visions de ce dernier selon la signification qu'ils donnent à chaque segment du changement conceptuel (les conceptions, les concepts visés, le processus de changement en tant que tel).
3. Enfin, à ce jour, ces travaux théoriques inspirent peu la pratique d'enseignement au primaire.

À partir de ces constatations, la nécessité de faire un état de la question des principaux modèles de changement conceptuel pertinents à l'enseignement des sciences au primaire s'est alors imposée. Cet état de la question permet ensuite de mettre en évidence les indications pratiques pour l'enseignement et l'apprentissage que préconisent les modèles analysés. Une recherche théorique s'avère être le type de recherche indiqué pour atteindre ces objectifs. L'analyse de contenu d'un échantillon représentatif des écrits sur les principaux modèles de changement conceptuel pertinents à l'enseignement des sciences au primaire puis la synthèse des

---

<sup>1</sup> L'expression *conception initiale* regroupe d'autres expressions comme *conception primitive*, *conception non scientifique*, *conception préscientifique*, *conception spontanée*, *misconception*, *conception alternative*, *pré-conception*, *conception naïve*, *représentation*, etc. Dans ce mémoire, l'expression *conception initiale* sera privilégiée.

unités d'analyse collectées sont les moyens méthodologiques employés pour réaliser cette étude.

Le titre qui exprime le mieux les objectifs de recherche va comme suit :

*Les principaux modèles de changement conceptuel et l'enseignement des sciences au primaire : état de la question*

Par *modèle* de changement conceptuel, il est surtout question d'une explication du processus complet de changement conceptuel, des conceptions initiales aux concepts scientifiques. Les *principaux* modèles seront analysés ; c'est-à-dire ceux qui répondent aux concepts présentés dans le cadre théorique et qui sont souvent cités ou commentés par d'autres chercheurs. *Enseignement des sciences au primaire* se veut un indicateur du contexte (seuls les principaux modèles qui conviennent à l'enseignement des sciences au primaire sont analysés) et de la mise en évidence d'applications des modèles analysés. Enfin, un échantillon des documents les plus représentatifs permettra de faire un état de la question.

Dans le *Programme de formation de l'école québécoise — Éducation préscolaire et enseignement primaire*, le mot *science* est utilisé au singulier même s'il inclut les diverses sciences qui portent sur l'*Univers matériel*, l'*Univers vivant* ainsi que sur la *Terre et l'Espace*. Dans la présente recherche, le mot *sciences* est utilisé au pluriel pour indiquer manifestement qu'il est question de plusieurs sciences (la chimie, la physique, l'astronomie, la géologie, la biologie, la météorologie, etc.) (Thouin, 2004a).

Si les sciences ont été choisies comme terrain de recherche, plutôt que les sciences et les technologies, c'est d'abord à cause du degré d'avancement des recherches sur la didactique des sciences et ensuite parce qu'elles portent sur des phénomènes qui font partie de la vie quotidienne et présentent ainsi un caractère sensible. Par ailleurs, du fait de la quotidienneté des phénomènes scientifiques, personne n'est tout à fait ignorant en sciences, chacun ayant des conceptions. Ce choix est fait en toute conscience du fait que la technologie est incluse dans le *Programme de formation de*

*l'école québécoise — Éducation préscolaire et enseignement primaire*, dans le domaine interdisciplinaire de la mathématique, de la science et de la technologie. Les sciences et les technologies sont intimement liées, les unes découlant des autres et vice-versa (Thouin, 2004a), mais les technologies mobilisent des moyens d'apprentissage et d'enseignement qui leur sont propres (Charland, 2008). L'élève apprend sur les techniques et les technologies davantage par l'analyse et la conception technologique pour comprendre et construire des objets techniques (Masson, 2008, p. 50). Comme les modèles de changement conceptuel portent plutôt sur les sciences et de façon moins évidente sur les technologies qui y sont associées, le contexte des sciences, déjà large, sera retenu.

Dans ce mémoire, la problématique débute par une mise en contexte de l'enseignement des sciences par rapport au sujet didactique qu'est l'élève. Cette section aborde aussi les recherches qui portent sur le changement conceptuel. Ensuite, un portrait de l'enseignement des sciences par rapport au sujet didactique qu'est l'enseignant est dressé et le contraste entre cette situation et la richesse du programme de recherche sur les modèles de changement conceptuel est souligné. Enfin, ce chapitre se termine par la présentation des objectifs de recherche.

Le cadre conceptuel présente les concepts qui servent à la constitution du corpus, au repérage d'unités d'analyse dans les écrits ainsi qu'à l'analyse. D'abord, le changement conceptuel est défini et situé par rapport au paradigme du constructivisme, à la didactique, à ses origines. Puis, plusieurs concepts relatifs au changement conceptuel (les conceptions, le processus de changement, les concepts) ainsi que le positionnement du changement conceptuel dans le cycle général de l'évolution (l'évolution d'une situation actuelle, les conceptions initiales, à une situation projetée, les conceptions scientifiques) (R. Legendre, 1983, cité par Potvin, 1998) et à l'ordre d'enseignement du primaire constituent le cœur de ce chapitre. Le concept de modèle est ensuite abordé. Suivent des éléments sur la pratique d'enseignement. Une synthèse des éléments à considérer pour l'analyse des modèles de changement conceptuel boucle le chapitre et constitue une base pour le cadre méthodologique

Le cadre méthodologique présente quelques définitions et l'opérationnalisation de la méthodologie de cette recherche théorique afin que cette dernière soit réalisée avec le plus de transparence possible. L'analyse de contenu et la synthèse sont les deux méthodes choisies pour effectuer cette recherche.

Finalement, le quatrième chapitre présente l'analyse verticale puis horizontale des principaux modèles de changement conceptuel à partir des éléments précisés dans le cadre théorique. L'analyse verticale consiste en l'analyse et la synthèse de chaque modèle ; l'analyse horizontale permet principalement de souligner les convergences et les divergences notées entre les modèles et d'énoncer si un modèle paraît plus utile que les autres pour la pratique d'enseignement des sciences au primaire.

# **1. Problématique**

Ce premier chapitre expose la problématique de notre recherche. En premier lieu, l'enseignement des sciences est abordé du point de vue de l'élève ; le contexte général est présenté, suivi du contexte théorique, soit le changement conceptuel. Suit la présentation de l'enseignement des sciences du point de vue de l'enseignant de façon générale, puis un lien sera établi avec les nombreuses et importantes recherches qui portent sur le changement conceptuel. Enfin, les objets de recherche concluent ce chapitre.

## ***1.1 L'enseignement des sciences au primaire et les élèves***

Les sections qui suivent touchent l'élève comme sujet didactique dans la relation d'apprentissage en sciences. Elles mettent en lumière les raisons pour lesquelles il importe que le curriculum contienne des sciences, discutent des difficultés inhérentes au contenu scientifique que les élèves éprouvent et présentent les travaux relatifs aux conceptions initiales et au changement conceptuel.

### **1.1.1 Des sciences au curriculum dès le primaire**

Plusieurs raisons justifient la présence des sciences dans le curriculum dès le primaire. Au primaire, l'apprentissage des sciences vise une familiarisation scientifique, une initiation à la formation scientifique et la capacité de résoudre des problèmes pour tenter de donner des réponses à un questionnement scientifique (Astolfi, Peterfalvi, & Vérin, 2006). Tout d'abord, comme l'être humain se pose toujours des questions sur la nature et qu'il cherche constamment à comprendre son environnement (Ministère de l'éducation du Québec (MEQ), 2001), l'utilité des sciences ne fait aucun doute. Dans cette optique, l'apprentissage des sciences ne concerne pas que les savants, les scientifiques ou ceux qui souhaitent s'engager dans une formation scientifique : tous les citoyens sont concernés par les sciences pour fonctionner comme individus et comme consommateurs (Duit & Treagust, 2003; OCDE, 2001) et pour être en mesure de prendre position par rapport aux politiques

relatives aux sciences dans la société (Driver et Osborne, 1998, cité par Duit & Treagust, 2003).

De plus, l'apprentissage des sciences ne se limite pas à l'acquisition de savoirs disciplinaires : apprendre les sciences structure la pensée (Conseil de la science et de la technologie (CST), 2004; Potvin, 1998). Selon Astolfi et Develay, enseigner un concept scientifique ne se résume pas seulement à un ajout d'information : « un véritable apprentissage scientifique se définit au moins autant par les transformations conceptuelles qu'il produit chez l'individu que par le produit de savoir qui lui est dispensé » (2002, p. 29).

« Les sciences font partie intégrante de notre quotidien et, à ce titre, l'éducation scientifique tient une place fondamentale dans le débat visant un développement humain harmonieux » (Giordan & Pellaud, 2002, p. 20). En effet, en conformité avec la mission de l'école, l'apprentissage des sciences contribue aux domaines du développement humain. En effet, les sciences stimulent le développement global de l'enfant. Il ne fait pas de doute que les sciences favorisent le développement cognitif de l'élève, car l'élève est sollicité pour faire évoluer ses propres connaissances. En ce qui concerne le développement affectif et social, l'apport des sciences n'est pas aussi évident. Pourtant, le volet social est lui aussi exploité, puisque l'élève apprend en interaction avec ses pairs et avec l'enseignant lorsque, par exemple, il confronte ses conceptions à celles des autres, travaille en équipe, communique ses résultats ou participe à une discussion. Le volet affectif est lui aussi mis à profit en sciences, notamment lors des activités fonctionnelles qui répondent à un besoin intellectuel ou affectif (Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel, & Toussaint, 1997). De plus, l'investissement affectif des idées peut se révéler déterminant pour définir un conflit sociocognitif ou intra-cognitif (Astolfi et al., 2006; Giordan, 2002), pour développer l'intérêt envers les sciences (Duit & Treagust, 2003) et pour une implication personnelle des élèves dans les idées débattues (Astolfi et al., 2006). Le volet affectif des jeunes est facilement rejoint puisque à la base, les élèves aiment les sciences et y accordent une grande valeur (OCDE, 2007). Ces dimensions du développement sont importantes même si elles ne font pas l'objet d'une évaluation en tant que telle.

Aussi, les grands accomplissements que les humains ont réalisés au moyen des sciences méritent d'être soulignés et appris à l'école (Driver & Osborne, 1998, cité par Duit & Treagust, 2003). Comme « l'école est le premier lieu de développement de la culture scientifique et technique et le principal outil de démocratisation de celle-ci » (CST, 2006, p.28), il est normal que l'apprentissage formel des sciences débute dès le primaire. Couture abonde dans le même sens : « Il importe d'initier les jeunes aux sciences et à la technologie afin de les préparer à prendre place dans une société qui mise de plus en plus sur le développement scientifique et technologique » (2002, p. 6). Pour ces raisons utiles, économiques, sociales, éducatives, culturelles et démocratiques, il importe que les sciences fassent partie du curriculum dès l'école primaire.

### **1.1.2 Les difficultés éprouvées par les élèves en sciences**

Les sciences ne posent pas trop de difficulté aux élèves du primaire au Québec (MEQ, 2004), mais ils peuvent tout de même rencontrer des problèmes lors de l'apprentissage de cette matière (Thouin, 2004a). Le vocabulaire scientifique, de même que le caractère abstrait de certaines explications scientifiques (Thouin, 2004a) ainsi que les représentations au moyen desquelles les élèves s'expliquent le monde, présentes avant l'enseignement, peuvent être des obstacles à l'enseignement (Astolfi et al., 1997). En effet, dès le primaire, les élèves ont des représentations, des conceptions initiales à propos des phénomènes scientifiques, qui peuvent rendre l'apprentissage ardu. Par exemple, au troisième cycle du primaire, *les saisons* est un savoir essentiel de l'*Univers Terre et Espace* du *Programme de formation de l'école québécoise – Éducation préscolaire et enseignement primaire* (MEQ, 2001). Il est souhaité que les élèves apprennent que les saisons dépendent de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre, ce qui occasionne que chaque région reçoit les rayons du Soleil de façon plus ou moins directe selon le moment de l'année. Or, il est fréquent les élèves pensent que les saisons dépendent de la distance entre le Soleil et la Terre, qu'il fait plus chaud l'été parce que le Soleil est plus près de nous l'été que pendant l'hiver (Hammer, 1996), puisque quotidiennement, sur la Terre, lorsqu'ils se rapprochent d'une source de chaleur comme un calorifère, ils ont plus chaud que

s'ils s'en éloignent (Thouin, 2008). Certains élèves assimilent le fait que les saisons sont dues à l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre tout en croyant que le fait que la Terre soit inclinée *rapproche* ou *éloigne* les régions de celle-ci par rapport au Soleil, donc en conservant sa conception (Hammer, 1996). De pareilles conceptions existent par rapport aux diverses disciplines scientifiques et elles sont régulièrement qualifiées de résistantes (Astolfi et al., 1997).

### 1.1.3 Des recherches sur les conceptions initiales

L'idée que certains processus d'apprentissage viennent interférer avec un *déjà-là* est classique depuis les travaux de Piaget et Bachelard (Astolfi & Develay, 2002). Une majorité de recherches sur le changement conceptuel traitent essentiellement des conceptions initiales des élèves probablement parce qu'elles doivent être considérées lors de l'enseignement des sciences.

En effet, plusieurs chercheurs ont corroboré le facteur déterminant suivant : « The most important single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him accordingly » (Ausubel, 1968, cité par Duit, 1991, p. 68). Donc l'apprentissage en sciences réussit si l'enseignement tient compte des conceptions initiales des élèves, c'est-à-dire les représentations qui leur permettent de comprendre le monde au quotidien (Astolfi et al., 2006; Duit, Roth, Komorek, & Wilbers, 1998). Cela entraîne que l'élève est le centre organisateur de son apprentissage ; pour ce faire, il doit être conduit à un dépassement intellectuel qui est ancré dans les structures conceptuelles de départ qu'il s'agit de faire évoluer (Astolfi & Develay, 2002).

Les conceptions initiales correspondent à des

systemes de connaissances qu'un sujet mobilise face à une question ou à une thématique, que celle-ci ait fait l'objet d'un enseignement ou pas. Supposer la présence d'un réseau de connaissances est une hypothèse qui va contre l'idée de l'élève arrivant la « tête vide » en cours. En effet, chacun cherche à expliquer le monde qui l'entoure en élaborant des idées et des raisonnements à partir de ce qu'il sait ou de ce qu'il croit savoir. Les connaissances ainsi mobilisées dépendent étroitement du contexte d'interrogation et peuvent se révéler plus ou moins pertinentes au regard des connaissances reconnues dans les sphères « savantes » ou scolaires.

(Reuter, Cohen-Azria, Daunay, Delcambre, & Lahanier-Reuter, 2007, p. 197)

Les conceptions initiales varient d'un individu à l'autre, voire chez un même individu selon le contexte (Reuter et al., 2007). Par exemple, une même personne percevra qu'il est bénéfique de faire du camping en forêt, à l'air pur, vu la végétation présente, mais sera d'avis qu'il ne faut pas laisser des plantes dans la chambre d'un patient à l'hôpital pour laisser à ce dernier de l'oxygène (Reuter et al., 2007). Malgré tout, plusieurs conceptions sont fréquentes et constantes d'un individu à l'autre et elles font l'objet de recueils pour familiariser les enseignants avec ces dernières (Thouin, 2008). En ce sens, un site Internet mexicain<sup>2</sup> répertorie, pour le niveau primaire, 496 conceptions en biologie, 325 conceptions en physique et 90 en chimie. De nombreuses autres recherches portent sur les conceptions initiales : les chercheurs se sont questionnés afin de les décrire, de les définir, de déterminer leur origine, d'interroger les logiques qui peuvent les générer, de leur attribuer un niveau de formulation ou un âge où elles sont plus fréquentes, etc. Diverses façons de déterminer les conceptions des élèves sont aussi proposées (ex. : un dessin, une discussion, une carte conceptuelle) (Astolfi & Develay, 2002).

Cependant, ces recherches n'utilisent pas une terminologie commune (Duit, 1991; Duit & Treagust, 2003; Potvin, 1998; Reuter et al., 2007). En effet, l'expression *conception initiale* n'est pas partagée par tous les chercheurs (voir les termes apparentés à la note en bas de la page 1) et une variété de termes permet de parler de ce qui a été défini en tant que *conception initiale*. Par le fait même, cette expression peut revêtir diverses significations (Reuter et al., 2007) et être utilisée dans diverses disciplines autres que la didactique (en psychologie, par exemple). Toutefois, bien que l'expression *conception initiale* soit polysémique et puisse être exprimée par diverses expressions, cela n'enlève rien à sa valeur et à l'ampleur des travaux effectués au sujet de ces conceptions.

Or, si connaître les conceptions initiales des élèves s'avère être un point de départ, encore faut-il y ancrer un processus de changement, le changement conceptuel, pour

---

<sup>2</sup> <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048/estructura.htm>, site Internet consulté en juillet 2008

que les élèves parviennent aux concepts scientifiques visés au primaire. En effet, un inventaire d'un ensemble de conceptions possibles chez les élèves est certes utile en regard de la pratique d'enseignement. Toutefois, la seule identification des conceptions des élèves en jeu n'indique pas à l'enseignant comment faire en sorte, dans sa pratique, qu'elles évoluent vers les concepts scientifiques visés ni quel angle d'attaque préconiser pour les prendre en compte d'un point de vue didactique ; l'accent gagnerait à être mis sur les modalités de passage (Astolfi & Develay, 2002). Savoir qu'il faut enseigner à partir des conceptions initiales des élèves s'avère être le point de départ du *changement conceptuel*, mais encore faut-il concevoir de quelle manière il est possible de faire progresser l'élève vers l'appropriation de concepts scientifiques visés au primaire, soit de rapprocher ses conceptions de celles reconnues par les scientifiques.

#### **1.1.4 Des recherches sur le changement conceptuel**

Une multitude de recherches portent donc sur le changement conceptuel, lequel est défini comme suit par Duit : « conceptual change denotes learning pathways from students' pre-instructional conceptions to the science concepts to be learned » (1999, cité par Duit & Treagust, 2003, p. 673). Généralement, le changement conceptuel en sciences ne fait pas référence à un processus d'acquisition, mais plutôt à un processus de transformation difficile, contre-intuitif et qui ne va pas de soi (Vosniadou, 2008).

En didactique, le changement conceptuel se situe dans la relation d'apprentissage élève-savoir du triangle didactique. Il passe aussi par la relation enseignant-élève, entre autres selon la pratique d'enseignement que l'enseignant préconise dans la classe, puis il dépend indirectement de la planification des contenus scientifiques par l'enseignant, donc de la relation enseignant-savoir.

Les didacticiens, par leurs travaux, proposent de nombreux principes directeurs qui concernent l'apprentissage et l'enseignement des sciences. Certains de ces concepts de didactique, développés notamment par Astolfi, Darot, Ginsburger-Vogel et Toussaint (1997) en didactique des sciences, peuvent être connexes de près ou de

loin avec le champ du changement conceptuel et peuvent être classés selon les différentes relations du triangle didactique (voir la figure 1, p. 11). La transposition didactique, la trame conceptuelle, les niveaux de formulation, l'élaboration d'aides didactiques appartiennent surtout à la relation enseignant-savoir (qui concerne l'élaboration des contenus). Le contrat didactique et l'emploi d'aides didactiques sont plutôt du ressort de la relation enseignant-élève (qui concerne les interactions didactiques). Enfin, les conceptions, les erreurs, le conflit cognitif, les types d'activités d'une séquence didactique et le changement conceptuel se classent dans la relation élève-savoir (qui concerne les stratégies d'appropriation).

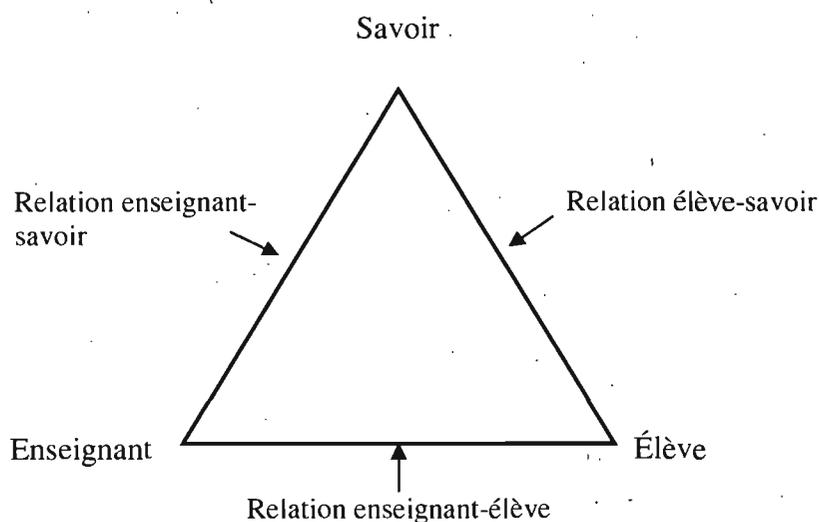


Figure 1 : Le triangle didactique inspiré de Cornu et Vergnioux (1992)

Les travaux en lien avec la relation élève-savoir (ex. : les conceptions des élèves, le changement conceptuel, le conflit cognitif) revêtent une grande importance dans les travaux en didactique (Baudoin & Frieberg, 2001, cité par Reuter et al., 2007). En effet, la majorité des recherches en didactique des sciences porte sur la relation élève-savoir (Tsai & Wen, 2005), dont le champ majeur de recherche est le *changement conceptuel*.

Selon l'analyse de contenu de Tsai et Wen (2005), de 1998 à 2002, 24,7 % des articles des revues *Science Education*, *Journal of Research in Science Teaching* et *International Journal of Science Education* portent sur le sujet *Learning – Students' Conceptions and Conceptual Change (Learning – Conception)* (voir le tableau I).

| <i>Research topic</i>         | <i>1998–2002</i> |
|-------------------------------|------------------|
| Teacher Education             | 56 (7.0%)        |
| Teaching                      | 55 (6.9%)        |
| Learning —<br>Conception      | 198 (24.7%)*     |
| Learning — Contexts           | 144 (17.9%)*     |
| Goals, Policy,<br>Curriculum  | 109 (13.6%)      |
| Culture, Social and<br>Gender | 115 (14.3%)      |
| Philosophy and<br>History     | 68 (8.5%)        |
| Educational<br>Technology     | 27 (3.4%)        |
| Informal Learning             | 30 (3.7%)        |

\*Top two topics.

Tableau I : Fréquences et pourcentages des sujets de recherche de 1998 à 2002 ( $n=802$  articles) (Tsai & Wen, 2005, p. 12)

Toujours par rapport à la quantité de publications, aux mots-clés *conceptual change* correspondent 844 documents dans la seule base de données *ERIC* en juillet 2008. Dans une bibliographie<sup>3</sup> que Duit met à jour chaque année, 380 documents sont trouvés avec les mêmes mots-clés. Ces recherches portent notamment sur le processus en tant que tel du changement conceptuel en sciences et elles sont tant empiriques que théoriques. Parmi ces recherches, on trouve des textes qui portent sur les *modèles de changement conceptuel*, une notion abordée dans la section suivante.

#### **1.1.4.1 Les modèles de changement conceptuel**

Des chercheurs comme Posner, diSessa, Vosniadou et Giordan ont tenté de conceptualiser et d'expliquer le processus d'évolution des conceptions initiales aux conceptions scientifiques visées. Ils ont ainsi développé des modèles de changement conceptuel. Une brève présentation de trois modèles de changement conceptuel en sciences permet de constater que s'ils ont un objet commun, le changement

<sup>3</sup> [http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/download\\_stcse.html](http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/download_stcse.html), site Internet consulté en avril 2009

conceptuel, ils divergent sur certains points. La présentation du modèle de changement conceptuel de Posner, Strike, Hewson et Gertzog (1982) sera suivie de celle des modèles de Vosniadou (1994) et de diSessa (1993).

Posner, Strike, Hewson et Gertzog (1982) sont les chercheurs qui ont transposé les travaux de Kuhn, en philosophie des sciences, et de Piaget, en psychologie, à l'enseignement des sciences, en développant un modèle de changement conceptuel axé sur l'apprentissage en tant qu'activité rationnelle pendant laquelle l'élève doit être soumis à certaines conditions qui permettent l'accommodation, soit le changement conceptuel, pour passer des anciennes conceptions aux nouvelles conceptions. Selon Posner et al. (1982), les conditions à remplir pour que le changement conceptuel puisse se produire vont comme suit :

1. Il doit y avoir une insatisfaction par rapport aux conceptions initiales ;
2. Une nouvelle conception doit paraître intelligible ;
3. Une nouvelle conception doit être plausible ;
4. Une nouvelle conception doit être féconde, c'est-à-dire offrir plus de possibilités que la conception initiale.

Cette approche classique du changement conceptuel (Bélangier, 2008; Vosniadou, 2008), où l'élève est considéré comme un scientifique et l'apprentissage comme une activité rationnelle, a guidé la recherche et l'enseignement des sciences pendant de nombreuses années avec le conflit cognitif comme stratégie principale, puis a essuyé de nombreuses critiques (Vosniadou, 2008).

Une dizaine d'années après les travaux de Posner, Strike, Hewson et Gertzog, Vosniadou (1994) et diSessa (1993) ont développé chacun de leur côté un modèle de changement conceptuel. Ces deux auteurs s'opposent ouvertement quant à la nature et aux causes des conceptions initiales, donc également quant à la façon dont le changement conceptuel se produit. En s'appuyant sur des études empiriques, Vosniadou suppose que les structures sous-jacentes aux conceptions des élèves sont cohérentes, c'est-à-dire que les conceptions, des *modèles mentaux*, selon sa terminologie, découlent d'une organisation des observations, des croyances et des

présuppositions épistémologiques et ontologiques que l'élève a en tête. S'appuyant aussi sur des études empiriques, diSessa soutient au contraire que les conceptions peuvent être décomposées en de petits fragments, en pièces (des *p-prims*), lesquelles sont agencées différemment d'une fois à l'autre selon le contexte ou le phénomène étudié et qui occasionnent les conceptions, qu'elles soient scientifiques ou non. Ces deux auteurs ayant une représentation fort différente de ce que nous appelons *conception initiale*, les processus de changement conceptuel qui en découlent sont aussi fort différents. Ainsi, les auteurs n'utilisent pas la même terminologie lorsqu'il est question du changement conceptuel et que différentes représentations du changement conceptuel coexistent.

#### **1.1.4.2 Les modèles de changement conceptuel et l'apprentissage en salle de classe**

La discontinuité et la disparité des nombreuses recherches sur les modèles de changement conceptuel pourraient inciter à les classer selon diverses perspectives de recherche, comme Eylon et Linn (1988, cité par Duit & Treagust, 1998) ou selon différents modèles d'apprentissage, comme Farnham-Diggory (1994, cité par Duit & Treagust, 1998). Or, dans la vie quotidienne d'une classe, les facettes des divers modèles et perspectives se chevauchent :

Even constructivist approaches, which fall into the « development » category, usually include « training » of certain kinds when, for instance, terms or skills have to be learned. Cognitive apprenticeship approaches unavoidably incorporate issues that fall into the development model as soon as it comes to teaching and learning of certain science concepts and principles. (Duit & Treagust, 1998, p. 7)

Il serait donc avantageux de voir comment les différentes recherches peuvent être imbriquées pour tendre vers une prévision et une explication qui prendraient en compte la complexité de l'apprentissage en salle de classe (Duit & Treagust, 1998) au lieu de tenter de les classer dans des catégories. Même si certains modèles (ex. : le modèle de diSessa et le modèle de Vosniadou) s'opposent véritablement sur le plan conceptuel, il est possible, qu'en salle de classe, diverses perspectives cohabitent (Astolfi et al., 2006; M.-F. Legendre, 2007). En considérant la réalité de la salle de classe, une vision inclusive peut prévaloir.

Selon Renald Legendre, « un modèle ne rend compte que d'une partie de la réalité. Il est donc tout indiqué de conjuguer plusieurs modèles – plusieurs visions – afin de favoriser au mieux la compréhension des phénomènes » (1983, cité par R. Legendre, 2005, p. 893). L'éventualité que les modèles puissent être complémentaires est appuyée par une recherche empirique de Venville et Treagust (1998). Dans cette recherche qui étudie différentes situations en classe sur l'analogie en biologie, les analyses ont été faites selon quatre modèles de changement conceptuel. Il s'avère que les explications selon les quatre modèles étaient toutes valables, donnant diverses perspectives théoriques du phénomène de l'analogie en biologie et permettant donc d'appréhender d'un peu plus près la complexité de l'apprentissage. Duit et Treagust en arrivent à la conclusion suivante :

With regards to the different views of learning, we believe that rival positions emphasise different aspects of the learning process. Further research should not focus on the differences but present an inclusive view of learning and conceptualise the different positions as complementary features that allow researchers to address the complex process of learning more adequately than from a single position. (1998, p. 3)

Ainsi, pour tendre vers une explication du changement conceptuel qui se rapproche de la complexité de la réalité de l'apprentissage des sciences, il vaudrait mieux analyser divers modèles afin de saisir toutes les facettes de la réalité qu'ils permettent d'expliquer, chaque modèle ayant ses limites, mais chacun pouvant peut-être être complémentaire au regard de la pratique d'enseignement. Selon Duit, Treagust et Widodo (2008), la pratique d'enseignement ne bénéficie malheureusement pas des recherches sur le changement conceptuel, alors ils énoncent que les enseignants doivent devenir plus familiers avec les recherches qui portent sur le changement conceptuel pour pouvoir adopter des pratiques d'enseignement en harmonie avec les théories. Cette prospective est une avenue à explorer notamment pour les enseignants du primaire pour qui, comme il en est question dans la prochaine section, l'enseignement des sciences est ardu et pour lesquels il y a moins de recherches en didactique des sciences (Murphy & Alexander, 2008).

## **1.2 L'enseignement des sciences au primaire et les enseignants**

Cette section aborde l'enseignement des sciences du point de vue du sujet didactique qu'est l'enseignant. Les sections qui suivent exposent quelques difficultés que les enseignants vivent par rapport à l'enseignement des sciences et l'attrait de tisser un lien entre les modèles de changement conceptuel et la pratique enseignante en sciences au primaire.

### **1.2.1 Difficultés éprouvées par les enseignants lors de l'enseignement des sciences au primaire**

Il semble que les enseignants du primaire entretiennent une image dogmatique des sciences (CST, 2002), n'enseignent qu'occasionnellement les sciences, maîtrisent mal le contenu scientifique à enseigner et effectuent une mauvaise planification du contenu à enseigner, et ce, depuis plusieurs années (Couture, 2002; Roy, 1995). Citant Martinand (1994), Couture (2002) fait état d'une situation semblable en France. Les enfants apprennent donc peu et pas toujours de la meilleure façon en sciences. Se référant à des sources comme le Conseil supérieur de l'Éducation (1990) et le Conseil de la science et de la technologie (1994), Couture (2002) mentionne que les enseignants manquent de formation, d'encadrement, de soutien pédagogique, de préparation et de ressources pédagogiques pour ce qui est de l'enseignement des sciences. Ces nombreuses lacunes entraîneraient une diminution de confiance en soi, de l'appréhension, de la frustration et un manque d'intérêt à l'égard de l'enseignement des sciences (Roy, 1995) ainsi que de l'insécurité face à cet enseignement (Couture, 2002; Minier & Gauthier, 2006). Minier et Gauthier trouvent que « les enseignants semblent avoir peur de ne pas être en mesure de répondre en temps réel au questionnement des élèves, de se laisser déstabiliser et de perdre le contrôle de la situation d'enseignement » (2006, p.42). Ces lacunes et leurs implications pourraient expliquer pourquoi les enseignants du primaire considèrent les sciences comme une matière secondaire (Lenoir, Larose, Grenon, & Hasni, 2000), même si *Science et technologie* est une matière scolaire obligatoire des deuxième et troisième cycles selon le *Régime pédagogique de l'éducation*

*préscolaire, de l'enseignement primaire et de l'enseignement secondaire* (Gouvernement du Québec, 2005). Il semblerait que la situation telle qu'elle a été décrite par Couture (2002) et Roy (1995) perdure (Association des professeurs de sciences du Québec (APSQ), 2004; CST, 2003; Minier & Gauthier, 2006).

Si les enseignants relèguent les sciences au second plan de leur planification, c'est peut-être parce qu'à la base, ce sont des généralistes qui enseignent une variété de matières scolaires. Cette tâche complexe et pluridisciplinaire contraste avec celle des enseignants du secondaire qui se spécialisent généralement dans l'enseignement d'un seul domaine disciplinaire (ex. : les sciences de la nature, les mathématiques, le français, les sciences humaines) et même dans l'enseignement d'une matière scolaire qui découle d'une discipline précise (ex. : la physique, la chimie, la biologie). L'organisation scolaire du secondaire permet à l'enseignant de se spécialiser et de continuer à développer une spécialité en enseignant une matière scolaire à des élèves d'un ou plusieurs niveaux (Herry, 2000). L'enseignant du primaire doit quant à lui composer avec les aspects contrastés des différents domaines disciplinaires à enseigner (ex. : domaine des langues, français, langue d'enseignement ; domaine de la mathématique, de science et de la technologie ; domaine de l'Univers social) en plus d'avoir à saisir la subtilité des différentes disciplines scientifiques (ex. : biologie, physique, chimie) que touche le *Programme de formation de l'école québécoise*. D'autant plus que les sciences en elles-mêmes ne sont pas nécessairement faciles à comprendre. Duit l'explique ainsi : « Many problems are inherent in the " nature " of science knowledge. Learning science always means learning a totally new point of view » (1991, p. 83). Cela s'ajoute à la complexité de la tâche de l'enseignant du primaire, lui qui doit idéalement être compétent et à l'aise dans toutes les matières scolaires du curriculum.

Dans le *TIMSS 2003 Science report* (Martin, Mullis, Gonzalez, & Chrostowski, 2004), on retrouve quelques données sur les enseignants québécois de la deuxième année du deuxième cycle du primaire. Les pourcentages donnés à propos des enseignants sont calculés à partir des élèves qui ont été des sujets de l'étude. On y note que les enseignants sont peu formés pour enseigner les sciences, ce qu'Herry

avance aussi (2000). Par rapport à la préparation pour enseigner les sciences au primaire, au Québec, seulement 12 % des élèves ont un enseignant qui a une majeure en sciences comme formation ; la plupart (69 %) ont une formation générale, comme un baccalauréat en éducation préscolaire et en enseignement primaire. Les universités qui offrent ce programme de baccalauréat proposent généralement un, parfois deux cours en didactique des sciences, ce qui paraît peu lorsqu'on constate leur inconfort par rapport à l'enseignement de cette matière. Cet inconfort se traduit dans leur sentiment de ne pas se sentir prêt à enseigner les sciences : selon le rapport, pour de nombreux sujets scientifiques, plus de 50 % des élèves du Québec ont un enseignant qui ne se sent pas prêt à enseigner les sciences. Les sujets tels *la reproduction des plantes et des animaux, les circuits électriques et les changements de l'état de la matière* font partie des sujets pour lesquels les enseignants n'ont pas le sentiment d'être prêts à enseigner.

Couture (2002) déplore que lorsque l'enseignement des sciences a lieu dans les salles de classe du primaire, celui-ci soit encore souvent de type transmissif. La mémorisation des concepts (CST, 2002; Thouin, 2004a), les leçons explicatives, la présentation d'information ou d'explication (incluant occasionnellement des démonstrations) (Couture, 2002), les cours magistraux (Minier et Gauthier, 2006) sont des approches qui misent sur la transmission où l'élève est plutôt passif. En effet, les enseignants se basent souvent sur des approches de type transmissif qui ont été utilisées lors de leur propre processus de scolarisation et sur les démarches proposées dans les guides des enseignants qui les sécurisent dans l'exécution du programme (CST, 2002; Minier & Gauthier, 2006). Duit et Treagust (2003), soulèvent l'importance de passer d'une orientation transmissive à une orientation constructiviste. Mais il semble que l'orientation constructiviste, souhaitée depuis plusieurs années (Couture, 2002; Minier & Gauthier, 2006), ne soit pas reflétée par les approches employées par les enseignants du primaire en sciences. Ainsi, les approches que les enseignants utilisent font davantage référence à une conception dogmatique des sciences, selon laquelle le savoir scientifique est présenté comme une vérité irréfutable, qu'à une conception rationaliste des sciences, selon laquelle le savoir scientifique est socialement construit (Thouin, 2004a).

Selon Duit et Treagust, pour dépasser cet enseignement transmissif plus traditionnel, le changement conceptuel peut être une piste de recherche :

Research has shown that conceptual change informed teaching usually is superior to more traditional means of teaching. Hence, conceptual change may still be a powerful frame for improving science teaching and learning. (Duit & Treagust, 2003, p. 683)

Duit et Treagust soulignent l'importance de penser la recherche pour la culture de la pratique lorsqu'on souhaite combler les besoins et les attentes des enseignants (2003, p. 682).

En somme, les enseignants enseignent peu et pas toujours adéquatement les sciences et ressentent de l'insécurité à l'endroit de cet enseignement. Leur tâche pluridisciplinaire et le fait que le régime pédagogique soit vague quant au temps accordé aux sciences n'aident pas leur cause, mais il reste que ce contexte d'organisation scolaire est la réalité des praticiens.

Cette section contraste avec la précédente. En effet, après avoir justifié la pertinence des sciences dans le curriculum, les mauvaises conditions dans lesquelles elles sont enseignées détonnent. Les lacunes de l'enseignement des sciences du point de vue des enseignants tranchent avec les objectifs de l'apprentissage des sciences et avec la richesse et la multitude de recherches qui portent sur le changement conceptuel. Une adéquation entre la pertinence de l'enseignement des sciences du point de vue des élèves et l'enseignement effectif des sciences par les enseignants s'avère nécessaire.

### **1.2.2 Jeter un pont entre les recherches sur les modèles de changement conceptuel et la pratique de l'enseignement des sciences au primaire**

Étant donné l'enseignement des sciences au primaire selon le point de vue de l'élève présenté précédemment, il semble opportun de tenter de tirer bénéfice des travaux de recherche réalisés par rapport à la relation élève-savoir, plus particulièrement des travaux portant sur les modèles de changement conceptuel et ce, dans l'objectif d'outiller les enseignants du primaire dans leur pratique d'enseignement des sciences.

D'ailleurs, selon Duit et Treagust :

it is necessary to close the gap between theory and practice at least to a certain extent [...] it appears to be also necessary to make these theories more simple and describe conceptual change strategies in such way that they may become part of teachers' normal routines. (2003, p. 684)

Lé souhait que cette recherche mette en exergue les indications pratiques des modèles de changement conceptuel pour les enseignants du primaire et qu'elle puisse les stimuler dans leur enseignement des sciences tient au dégagement d'un lien entre les milieux interne (cognitif) et externe (environnement) du changement conceptuel :

what is needed is a bridge between cognitive developmental and science education research. A bridge that can only provide by a theory of learning: a theory of learning that specifies the mechanisms that can take an individual from one level of cognitive performance to the next, and shows how these mechanisms are related to external, environmental factors. (Vosniadou, 1999, p. 9)

Ce pont peut être établi à partir des travaux qui portent sur les modèles de changement conceptuel (Duit, Treagust, Widodo, 2008) ; ces travaux sont porteurs pour l'enseignement et l'apprentissage des sciences et gagneraient à être *transposés* pour les enseignants, comme le contenu scientifique peut l'être pour les programmes d'enseignement, pour qu'ils correspondent aux besoins et aux attentes des enseignants.

Ainsi, cette recherche concernera les modèles de changement conceptuel, expressément pour trouver des indications pour la pratique enseignante en sciences au primaire. Quelques travaux rejoignant les autres relations du triangle didactique sont mis à contribution, sans devenir pour autant l'objet principal de la recherche.

L'intention de cette recherche est donc de combler un écart entre la théorie et la pratique, d'établir un lien entre les modèles de changement conceptuel et la pratique d'enseignement au primaire. Mettre en exergue les applications pratiques des principaux modèles de changement conceptuel pourrait permettre de faire ce lien, d'abord de façon théorique.

En effet, comme l'objet de recherche détermine en partie la méthode de recherche à préconiser (Reuter et al., 2007), dans le cas présent, des modèles de changement conceptuel sont étudiés pour en extraire des indications pour la pratique d'enseignement des sciences au primaire, alors l'analyse de contenu d'articles de recherche et de livres qui portent sur les modèles de changement conceptuel et la synthèse des unités d'analyse collectées s'avèrent des méthodes appropriées. Cette étude, laquelle touche à des fondements de la didactique des sciences, sera donc théorique, ce qui peut être une contribution intéressante et pertinente dans un contexte où la majorité des recherches en didactique des sciences sont empiriques (Tsai & Wen, 2005).

Nous sommes bien conscients que le sujet de l'apprentissage et de l'enseignement des sciences est un sujet sensible pour lequel bien des travaux sont effectués ; loin de nous la prétention de trouver la panacée ou une solution *clé en main* pour l'enseignant, comme diraient Giordan et Pellaud (2002). En effet,

les rapports entre enseigner et apprendre sont complexes et on ne peut les réduire à une relation de cause à effet. Au sein de la même situation peuvent donc s'articuler, se superposer, se croiser... ces deux processus que sont l'enseignement et l'apprentissage. (Reuter et al., 2007, p. 96)

Ainsi, cette recherche pourrait être utile car elle pourrait offrir des pistes de solution et de réflexion à la problématique de l'enseignement des sciences au primaire. Si certaines absences sont pointées dans les écrits, cette recherche pourrait donner une direction aux travaux des didacticiens qui portent sur les aspects plus théoriques du changement conceptuel. De plus, il est possible qu'elle soit une étape préalable à l'élaboration d'une modélisation des modèles de changement conceptuel qui permettrait une appréhension de l'apprentissage dans sa complexité. De même, il est à souhaiter que le produit de cette recherche rende possible l'élaboration de nouvelles méthodes d'apprentissage et d'enseignement efficaces en sciences. Du côté des enseignants, l'analyse réalisée pourrait contribuer à leur formation, voire à faire évoluer leurs conceptions de l'apprentissage des sciences. En effet, une meilleure compréhension de l'évolution des conceptions des élèves leur permettrait possiblement de mieux la susciter efficacement. En ce sens, il est possible que les

indications pratiques issues des modèles les orientent relativement à la chronogénèse et la topogénèse, c'est-à-dire à l'organisation temporelle et spatiale de la relation didactique (Chevallard, 1991).

### **1.3 Objectifs de recherche**

Compte tenu de la problématique énoncée, il y a lieu de rassembler les documents principaux qui portent sur les principaux modèles de changement conceptuel afin d'établir un lien entre ces modèles et la pratique d'enseignement. L'objectif général de cette recherche est de faire l'état de la question des principaux modèles de changement conceptuel pertinents à l'enseignement des sciences au primaire en mettant l'accent sur les applications possibles qui découlent de ces modèles. La réalisation de cet objectif est une étape préalable à l'élaboration d'un lien avec la pratique d'enseignement de façon empirique.

L'état de la question des modèles de changement conceptuel pertinents à l'enseignement des sciences au primaire sera le résultat de l'analyse de contenu d'un échantillon représentatif des écrits sur le sujet et de la synthèse des unités d'analyse collectées (R. Legendre, 2005).

Les objectifs de la recherche sont donc les suivants :

- ❖ Sélectionner les principaux modèles de changement conceptuel pertinents à l'enseignement des sciences au primaire.
- ❖ Analyser l'explication du changement conceptuel des principaux modèles de changement conceptuel sélectionnés.
- ❖ Mettre en exergue les indications pratiques des modèles analysés pour un contexte d'enseignement des sciences au primaire.
- ❖ Comparer les modèles de changement conceptuel analysés par rapport à la terminologie employée pour caractériser leurs entités et par rapport aux indications pour la pratique d'enseignement dégagées.

- ❖ Proposer une application des indications pratiques mises en exergue à partir des modèles de changement conceptuel analysés dans une séquence d'enseignement en sciences au primaire.

Les deux chapitres qui suivent, soit celui du cadre théorique et du cadre méthodologique, apportent les précisions qui s'imposent avant que ne débute l'étude et donnent l'éclairage nécessaire à sa réalisation.

## **2. Cadre théorique**

Vu la diversité des études théoriques sur le changement conceptuel et notre volonté d'analyser un riche échantillon d'écrits qui portent sur des modèles de changement conceptuel, le cadre théorique pose des balises, mais est assez large afin de ne pas trop restreindre l'analyse des différents modèles. L'ouverture du cadre théorique permet de considérer les points explicatifs du changement conceptuel qui sont particuliers à chaque modèle ou communs à plusieurs modèles.

Dans ce chapitre, le changement conceptuel est d'abord présenté. La notion de modèle est ensuite définie. Suit la présentation de la définition et des modalités de la pratique d'enseignement ainsi que la définition d'une séquence d'enseignement. Ce chapitre se termine avec la formulation des questions de recherche.

### ***2.1 Le changement conceptuel***

Dans cette section, le changement conceptuel sera contextualisé et défini afin de circonscrire le choix des principaux modèles et donner un éclairage à l'analyse.

Le changement conceptuel, d'abord inscrit dans le constructivisme et positionné en tant que processus d'apprentissage et par rapport à ses origines, est ensuite défini au sens large. Les entités du changement conceptuel, soit les conceptions et les concepts visés, ainsi que le processus du changement conceptuel en tant que tel sont ensuite définis. Enfin, le changement conceptuel est situé par rapport au cycle général de l'évolution et au primaire.

#### **2.1.1 Le changement conceptuel et le constructivisme**

Le changement conceptuel s'inscrit dans l'épistémologie constructiviste de l'apprentissage (M.-F. Legendre, 2002). Le paradigme du constructivisme fait généralement l'unanimité pour expliquer l'apprentissage et l'enseignement des sciences dans les recherches contemporaines. Au sens large, la conception constructiviste de l'apprentissage signifie que l'élève est placé au cœur de ses apprentissages et qu'il construit ses connaissances. Couture, citant Driver (1995),

souligne « l'importance de l'engagement actif de l'apprenant dans la construction de sens à partir de ses propres connaissances » (2002, p. 44). Le constructivisme peut toutefois désigner diverses notions apparentées (ex. : le socioconstructivisme, le constructivisme radical ou épistémologique, le constructivisme didactique). Les auteurs des modèles de changement conceptuels ont chacun leur propre vision du constructivisme, et cette dernière peut avoir des répercussions sur le modèle de changement conceptuel (Duit & Treagust, 2003). Alors, lors de l'analyse, s'il y a lieu, une attention particulière sera portée au sens donné au paradigme du constructivisme. Ainsi, il est attendu que l'élève joue un rôle actif et est au centre de ses apprentissages dans les modèles de changement conceptuel considérés. Les différentes définitions du constructivisme ne seront toutefois pas présentées dans cette section vu les interprétations variées que peuvent en avoir les auteurs.

### **2.1.2 Le changement conceptuel, un processus d'apprentissage en didactique**

Comme mentionné précédemment, le changement conceptuel, lorsqu'on le considère du point de vue de l'élève, se situe dans la relation élève-savoir du triangle didactique (voir la figure 1, p. 11). Le changement conceptuel est un difficile processus d'apprentissage qui nécessite, comme les termes de ce concept l'indiquent, une transformation, une évolution, des conceptions des élèves. Il ne sera donc pas question des processus d'acquisition, qui constituent un autre volet de l'apprentissage, comme l'indique Renald Legendre dans sa définition de l'apprentissage :

*processus d'acquisition ou de changement*<sup>4</sup>, dynamique et interne à une personne, laquelle, mue par le désir et la volonté de développement, construit de nouvelles représentations explicatives cohérentes et durables de son réel à partir de la perception de matériaux, de stimulations de son environnement, de l'interaction entre les données internes et externes au sujet d'une prise de conscience personnelle. (2005, p. 88)

diSessa et Sherin (1998, p. 1156) distinguent eux aussi deux types d'apprentissage : l'apprentissage qui nécessite un profond changement et l'apprentissage plus habituel

---

<sup>4</sup> Nous avons voulu attirer l'attention du lecteur en mettant quelques mots de cette citation en caractères italiques.

comme la mémorisation ou l'accrétion graduelle de connaissances. Comme eux, nous associons le changement conceptuel à un processus d'apprentissage qui nécessite, comme l'expression l'indique, un changement.

Plus spécifiquement, le changement conceptuel est un concept didactique de l'apprentissage. En effet, la présente recherche sera largement effectuée sous l'angle de la didactique des sciences au primaire. Selon Halté (1992, cité par Astolfi et al., 1997; Jonnaert, 2001), une recherche en didactique se situe normalement dans un des trois registres suivants :

- une *réflexion sur les contenus d'enseignement* qui a une tendance épistémologique ;
- l'étude des *conditions d'appropriation des savoirs des apprenants*, ces conditions portant davantage sur l'élève que sur les contenus, ce qui donne une tendance psychologique à ce registre ;
- l'étude des *interventions didactiques*, qui a une tendance davantage praxéologique vu qu'elle cherche à mettre en application les découvertes des registres précédents.

Ces trois registres rappellent les secteurs du triangle didactique (voir figure 1, p. 11). Dans le même ordre d'idées, Thouin divise la didactique en deux volets : « un volet théorique, qui vise à décrire et à expliquer les phénomènes d'enseignement et d'apprentissage, et un volet pratique, parfois connu sous le nom d'*ingénierie didactique*, qui vise à agir sur le système d'enseignement » (2004a, p. 2).

Ainsi, ce mémoire concerne surtout le registre des *conditions d'appropriation des savoirs des apprenants* puisque le changement conceptuel concerne l'*appropriation* des concepts scientifiques, soit l'évolution vers des conceptions plus performantes en sciences, à partir des conceptions initiales des élèves. D'ailleurs, vu l'intention de mettre en exergue les indications pour la pratique enseignante de chacun des modèles de changement conceptuel étudiés, la recherche touche aussi le registre des *interventions didactiques*. Les volets théorique et pratique de la didactique des

sciences seront donc abordés. Le changement conceptuel en sciences au primaire relève donc bien de la didactique.

Comme le changement conceptuel représente une facette de l'apprentissage des sciences, il importe de considérer la représentation de l'apprentissage en didactique. Pour Reuter et al., la vision de l'apprentissage des didactiques des disciplines est restreinte :

- elles mettent au centre de leur champ d'investigation l'apprentissage qui implique une *situation intentionnelle* d'enseignement, contrairement à l'apprentissage par l'enfant de la langue ou de la marche ;
- elles s'intéressent principalement aux apprentissages de contenus *spécifiés disciplinairement* : l'apprentissage, même scolaire, de ce qui n'est pas référable à une discipline ne relève pas à proprement parler d'une didactique. (2007, p. 17)

Étant donné ces deux contraintes, l'apprentissage est inséparable d'une programmation didactique, déterminé selon l'âge et la logique disciplinaire ; est *a priori* imposé à l'élève ; est organisé dans un système didactique où il y a des contraintes de lieu, de place et de temps ; est formel et en grande partie explicite ; est évalué (Reuter et al., 2007). Ainsi, un modèle dont le processus de changement conceptuel est considéré comme une évolution qui s'effectue de façon spontanée au cours du développement cognitif ne sera pas étudié dans la présente recherche ; nous nous pencherons sur les modèles qui portent sur le changement conceptuel dit « instruction-based » (Inagaki & Hatano, 2008, p. 242).

### 2.1.3 L'origine du changement conceptuel

Le changement conceptuel « a pour origine les travaux de Gaston Bachelard (1938) et de Jean Piaget (1970) » (Thouin, 2004a, p. 89). Ces deux auteurs ont tout deux fait référence aux connaissances antérieures, aux conceptions, dans leurs travaux et ont respectivement développé la notion d'*obstacle épistémologique*, selon laquelle « la connaissance scientifique ne s'établit qu'en rupture avec l'expérience première et la pensée commune » (Astolfi et al., 1997, p. 123) et l'idée du *déséquilibre des structures cognitives*, qui, dans les cas favorables, survient lors d'un conflit entre des niveaux de représentation (un conflit cognitif) dont s'ensuit une rééquilibration

(Astolfi et al., 1997). À la difficulté plutôt épistémologique des obstacles inaugurée par Bachelard répond la difficulté plutôt psychologique développée par Piaget (Astolfi et al., 1997). Dans les deux cas, les connaissances, non sans difficulté, sont élaborées par le sujet. En fait, si on combine les travaux des deux chercheurs, les sujets doivent relever des difficultés à la fois épistémologiques et psychologiques pour apprendre de nouvelles connaissances.

La philosophie des sciences a aussi grandement influencé le champ de recherche du changement conceptuel. Kuhn (1970) a développé les paradigmes *science normale* et *révolution scientifique* pour expliquer l'évolution des sciences dans l'histoire. Selon lui, tant dans les laboratoires contemporains qu'historiquement, la science normale

semble être une tentative pour forcer la nature à se couler dans la boîte préformée et inflexible que fournit le paradigme. La science normale n'a jamais pour but de mettre en lumière des phénomènes d'un genre nouveau ; ceux qui ne cadrent pas avec la boîte passent même souvent inaperçus. (Kuhn, 1970, p. 46)

La science normale constitue donc un paradigme qui encadre les recherches. Ce cadre peut toutefois être contraignant. Il arrive que les problèmes ne peuvent être résolus à l'intérieur du paradigme de la science normale en place, ce qui provoque une crise et une révolution scientifique : « Les révolutions scientifiques sont ici considérées comme des épisodes non cumulatifs de développement, dans lesquels un paradigme plus ancien est remplacé, en totalité ou en partie, par un nouveau paradigme incompatible » (Kuhn, 1970, p. 133). La révolution scientifique a donc lieu quand la science normale ne permet plus de fonctionner de façon satisfaisante.

Kuhn a largement inspiré les chercheurs par rapport au changement conceptuel, notamment Posner et al. (1982) et Carey (1985). La contribution de Kuhn est toujours reconnue de nos jours tant elle a été marquante quant au développement du champ de recherche du changement conceptuel en sciences ; dans son introduction du *International handbook of research on conceptual change* paru en 2008, Vosniadou débute en soulignant que le changement conceptuel prend racine dans les travaux de Kuhn.

Les modèles de changement conceptuels ne prennent pas tous racine dans les concepts développés par Bachelard, Piaget ou Kuhn, mais ils sont toujours positionnés d'une façon ou d'une autre par rapport à certains fondements.

#### **2.1.4 Le changement conceptuel au sens large**

Selon Vosniadou, la définition suivante du changement conceptuel est rassembleuse :

Today, most researchers would agree that research on conceptual change investigates how concepts change with learning and development in specific subject-matter areas or domains of knowledge, focusing more specifically on explaining students' difficulties in learning the more advanced and counter-intuitive concepts in these areas. (2008, p. XV)

Cette définition inclut le changement conceptuel dû au développement, ce que nous ne considérerons pas pour la présente recherche comme mentionné dans la section 2.1.1. Une définition du changement conceptuel qui fait davantage référence à l'apprentissage scolaire a guidé le choix des principaux modèles de changement conceptuel : « conceptual change denotes learning pathways from students' pre-instructional conceptions to the science concepts to be learned » (Duit, 1999, cité par Duit et Treagust, 2003, p. 673). Cette définition sous-entend que le passage des conceptions initiales à l'appropriation des concepts scientifiques n'est pas nécessairement direct et linéaire vu l'utilisation du terme *pathways* (chemins). Ces conceptions initiales occupent la même « niche écologique » que les conceptions scientifiques visées (Astolfi et al., 2006; Posner et al., 1982), ce qui occasionne une certaine interférence, laquelle peut être dépassée par le remplacement des conceptions, l'évolution des conceptions, la réorganisation des conceptions, etc., selon l'explication du modèle de changement conceptuel.

Le changement conceptuel peut être découpé en trois segments : les conceptions initiales et les conceptions scientifiques visées en sciences (les entités du changement conceptuel) ainsi que le processus de changement en tant que tel.

### 2.1.5 Les conceptions

Jean Migne (1970) fut l'un des premiers à introduire la notion de représentation, de conception, dans les travaux de didactique. Il a souligné la distinction entre les deux modes de connaissance que sont le concept scientifique et la conception : le premier est « un nœud de relations définies en termes opératoires [alors que la conception] est un mode de connaissance à prédominance figurative » (Migne, 1970, p. 82). Le processus du changement conceptuel vise l'appropriation des concepts scientifiques pour un développement des conceptions afin qu'elles deviennent plus proches des conceptions partagées par la communauté des chercheurs en sciences.

De façon générale, les conceptions initiales correspondent aux représentations que les élèves peuvent avoir en tête au préalable, avant l'enseignement. Les auteurs donnent différentes définitions des conceptions initiales selon l'explication qu'ils souhaitent fournir par rapport au changement conceptuel et selon les aspects qu'ils considèrent pertinents à son étude. Généralement, en didactique, une conception représente « les systèmes de connaissances qu'un sujet mobilise face à une question ou à une thématique, que celle-ci ait fait l'objet d'un enseignement ou pas » (Reuter et al., 2007, p. 197). Régulièrement, les conceptions initiales sont plus ou moins justes au regard des concepts scientifiques socialement reconnus par la communauté scientifique.

Les conceptions peuvent être associées aux *unités de changement*, une expression reprise de Lorraine Savoie-Zacj dans *Les modèles de changement planifié en éducation* (1993, p. 32), lesquelles varieront de *grosseur* selon la « grosseur » des concepts que le chercheur souhaite expliquer par son modèle. En ce sens, Bélanger (2008) parle de la *granularité* des conceptions, laquelle influence l'analyse de l'évolution des conceptions. Une attention particulière sera donc apportée à la définition des conceptions initiales des modèles analysés.

Évidemment, la définition de *conception* ou d'un terme apparenté que chaque auteur utilise est plutôt générale dans le cadre d'une explication du changement conceptuel. En effet, la définition générale que chaque auteur emploie n'inclut pas

nécessairement de façon explicite la variabilité des conceptions selon le contexte de production ; « selon la situation dans laquelle une question ou un problème est posé, le sujet ne mobilise pas les mêmes modèles explicatifs » (Reuter et al., 2007, p. 198). Le contexte, qui n'est pas directement accessible et reconstruit par le chercheur, est donc important à considérer surtout lorsque des conceptions empiriques sont analysées (Astolfi & Develay, 2002; Reuter et al., 2007).

### 2.1.6 Les concepts

Un concept est une « représentation mentale et générale des traits stables et communs d'une classe d'objets et qui est généralisable à tous les objets présentant les mêmes caractéristiques » (R. Legendre, 2005, p. 266). Selon Migne (1970), il est impossible de communiquer directement un concept : on peut seulement amener quelqu'un à former un concept, par des exemples ou à partir d'autres concepts. Ainsi, pour définir *concept*, Migne, à partir des travaux de Ullmo (1967 et 1969), emploie les concepts de relation répétable, de paramètre, de définition opératoire et d'objet pour formuler qu'un concept correspond à

toutes les relations répétables de même forme où entrent toutes les valeurs possibles des paramètres. Par une généralisation du jugement d'existence, qui s'étend de l'être scientifique particulier à la classe (« la » masse, « la » résistance), on introduit ainsi les concepts (le corps solide, le fil conducteur). (Ullmo, 1969, p. 49, cité par Migne, 1970, p. 75)

Un concept « ne désigne pas un fait brut mais une relation qui peut se retrouver dans des situations diverses » (Astolfi & Develay, 2002). Il constitue « un point de départ pour l'activité intellectuelle, dans la mesure où le concept confère un pouvoir explicatif nouveau à celui qui en maîtrise l'usage » (Astolfi, 1992, cité par Reuter et al., 2007, pp. 37-38).

Les concepts sont organisés entre eux en réseau. Astolfi et Develay (2002) parlent à ce propos de réseau conceptuel, de champ conceptuel ou de trame conceptuelle. Migne situe le concept « comme un nœud, un point d'interconnexions dans le filet des lois, elles-mêmes hiérarchisées par les théories » (1970, p. 76). Les liens qui

relient les concepts entre eux pourraient avoir une influence sur l'explication du changement conceptuel.

Selon Astolfi, les activités scientifiques relèvent d'objectifs qui peuvent être classés selon trois pôles : le pôle de la formation scientifique, le pôle de la résolution de problèmes et le pôle de la familiarisation scientifique (Astolfi et al., 2006). Ces divers pôles impliquent qu'en sciences, les élèves s'approprient divers types de connaissances, lesquelles se distinguent sensiblement des concepts en ce sens qu'elles sont une représentation des concepts scientifiques, qui sont institués, objectivés et dépersonnalisés (Reuter et al., 2007), ce que nous nommons les conceptions scientifiques.

Sous un angle différent, les concepts visés en sciences, considérés comme des contenus à enseigner, peuvent aussi être divisés par matière scolaire (ex : chimie, physique, biologie). Certains modèles seront possiblement spécifiques à une matière et ainsi ne s'appliqueront pas à l'enseignement de toutes les sciences. Toujours dans l'esprit où un concept est un contenu à enseigner, « au cours de la scolarité, dans chaque discipline, un même concept peut être étudié plusieurs fois mais le contenu de savoir n'est pas le même selon les niveaux scolaires » (Reuter et al., 2007, p. 145). Certains auteurs (Astolfi & Develay, 2002 ; Reuter et al., 2007) expriment cette évolution du contenu par paliers *niveau de formulation*, lesquels se distinguent sur trois plans : le plan linguistique, le plan psychogénétique, le plan épistémologique (Astolfi & Develay, 2002). Ce passage d'un niveau de formulation à l'autre peut évoquer le changement conceptuel, le processus de l'évolution des conceptions, lequel est abordé succinctement dans la section suivante.

### **2.1.7 Le processus de changement conceptuel en tant que tel**

L'explication du processus de changement varie d'un modèle de changement conceptuel à l'autre selon la signification accordée aux *conceptions initiales*, aux *concepts scientifiques visés* et selon les fondements, l'axiologie ou les visées du modèle. Il est possible que le processus indique ou sous-entende des modalités conséquentes pour la pratique d'enseignement.

### 2.1.8 Le changement conceptuel dans le cycle général de l'évolution

Le changement conceptuel peut être inscrit dans le cycle de l'évolution de Renald Legendre (1983, cité par Potvin, 1998), lequel est illustré à la figure 2.

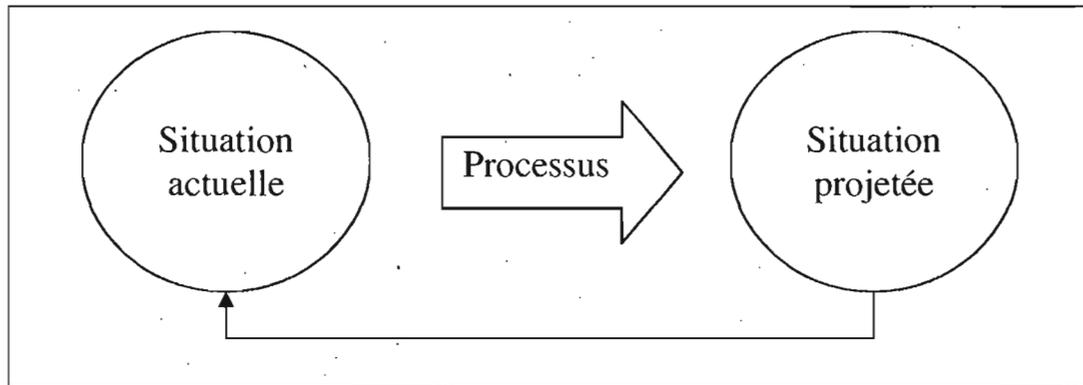


Figure 2 : Le cycle général de l'évolution de Renald Legendre (1983, cité par Potvin, 1998)

En effet, les conceptions initiales correspondent à la situation actuelle, le processus, au processus du changement conceptuel en tant que tel et la situation projetée, aux conceptions scientifiques, lesquelles sont une représentation d'un concept enseigné. Il est à noter que le cycle comporte une boucle de retour afin qu'il soit complété. Selon Potvin,

cette boucle est également conforme à la théorie du changement conceptuel dans la mesure où la science est « construite » et que les connaissances [...] ne cessent de produire des anomalies, des conceptions et des théories aux pouvoirs prédictifs plus grands. La conception performante, par la découverte d'anomalies en son sein, revient alors à la position de la conception primitive [conception initiale] et le cycle se referme. (1998, p. 20)

Ainsi, le changement conceptuel peut être inscrit dans le cycle de l'évolution. Une explication du changement conceptuel qui ne clarifierait pas la situation de départ (la nature des conceptions initiales) ou la situation projetée (la nature des conceptions scientifiques) serait incomplète et probablement vouée à l'échec (Potvin, 1998). De ce fait, lors de l'analyse, une description détaillée des conceptions ainsi que des concepts, puisqu'ils correspondent au contenu vers lequel les conceptions scientifiques tendent, sera effectuée avant de décrire le processus de chacun des modèles de changement conceptuel étudiés.

Enfin, si la nature du concept scientifique visé évoque un niveau de formulation, la boucle de rétroaction peut représenter le fait qu'une certaine conception atteinte devienne un jour le point de départ par rapport à un concept scientifique accepté par la communauté scientifique qui, lui, sera appris ultérieurement par l'élève dans son cheminement scolaire.

### **2.1.9 Le changement conceptuel en sciences au primaire**

Dans le cadre de notre recherche, l'intérêt se porte sur le changement conceptuel qui peut s'appliquer en sciences à l'ordre d'enseignement du primaire. En effet, selon la problématique présentée, il est pertinent de prendre appui sur le riche programme de recherche qui porte sur les modèles de changement conceptuel pour mettre en lumière des indications pour la pratique de l'enseignement des sciences au primaire qui souffre de quelques difficultés.

Pour appuyer le regard didactique de la recherche avec un contenu scientifique et son ancrage dans l'ordre d'enseignement primaire, le *Programme de formation de l'école québécoise – Éducation préscolaire et enseignement primaire* (MEQ, 2001) permet de cibler le contenu en sciences qui est de l'ordre d'enseignement du primaire. Ces contenus seront mis en lien avec les modèles de changement conceptuel analysés lorsque des exemples d'indications pratiques seront donnés et dans la séquence d'enseignement commentée.

Plus spécifiquement, les modèles examinés s'appliquent au changement conceptuel qui a trait aux conceptions initiales qui concernent les concepts scientifiques plutôt que les différentes conceptions des sciences. Par exemple, un modèle de changement conceptuel qui concerne exclusivement le passage de la conception dogmatique des sciences à la conception correctionniste des sciences n'est pas considéré dans la présente recherche, ce genre de modèle relevant plutôt de l'épistémologie, un domaine d'étude qui est passablement éloigné des savoirs scolaires visés au primaire. Un modèle de changement conceptuel à propos de l'évolution des conceptions des élèves en biologie serait quant à lui analysé. La notion de modèle en tant que telle est clarifiée dans la section suivante.

## 2.2 Modèle

Comme cette recherche porte sur des modèles de changement conceptuel, il importe de clarifier le concept de *modèle*. Dans cette notion est d'abord définie. Un survol des fonctions et des critères d'appréciation des modèles suit ; ces éléments seront utiles pour discuter des modèles, pour les caractériser et pour les comparer. Enfin, la distinction entre *modèle* et *théorie* est précisée dans cette section puisque dans le cadre méthodologique, les théories éducationnelles de R. Legendre (2005) sont abordées.

### 2.2.1 Définition de modèle

Selon Charland, « la notion de modèle demeure imprécise » (2008, p. 149) étant donné qu'il n'est pas possible de circonscrire complètement ce concept. Malgré cette difficulté, la notion de *modèle* mérite d'être précisée puisque ce concept est au centre de notre recherche.

Dans sa définition générale de *modèle*, R. Legendre indique qu'il est un « idéal à atteindre par l'imitation d'un être ou d'un objet réel, ou par référence à un ensemble de caractéristiques à acquérir pour s'approcher d'un état de perfection » ainsi qu'un « guide de l'action et de la pensée » (2005, p. 892). Ainsi, selon cette définition, le modèle est à l'origine de l'action, donc un « exemple qui nous donne la marche à suivre » (Charland, 2008, p. 150). De plus, un modèle est une représentation plus ou moins simplifiée d'un objet, d'un processus ou d'un système (Chavez, 2005, cité par Charland, 2008). En d'autres mots, « le modèle est un processus d'abstraction qui, ne retenant que certains paramètres, contribue à représenter une réalité, toujours complexe, d'une façon plus simple ; l'étude, la prise de décision et la prédiction en sont d'autant facilitées » (R. Legendre, 1983, cité par R. Legendre, 2005, p. 893). Un modèle rend compte d'une partie de la réalité et a, par le fait même, une validité circonscrite par rapport à cette dernière (R. Legendre, 2005; Pellaud, Eastès, & Giordan, 2004). Ainsi, un modèle de changement conceptuel est un processus d'abstraction qui contribue à représenter une partie de la réalité de l'action d'apprendre des sciences.

## 2.2.2 Fonctions des modèles

« Un modèle est construit en fonction de la perspective d'utilisation particulière de ce modèle » (R. Legendre, 2005, p. 893). Selon R. Legendre (2005), un modèle présente une hypothèse qui vise la description, l'explication, la prédiction, la prescription ou l'exploration d'une réalité. Charland ajoute que « cette hypothèse globale peut engendrer un ensemble d'hypothèses spécifiques concernant les aspects particuliers (composantes ou relations) de l'objet ou du phénomène étudié » (2008, p. 150). Un modèle de changement conceptuel peut ainsi avoir des fonctions, tout comme ses entités et les relations qu'elles ont entre elles.

En prenant appui sur la philosophie des sciences, un parallèle peut être établi entre les visées de ces dernières et les fonctions des modèles. Les sciences visent la description, l'explication et la prédiction des phénomènes (Thouin, 2004a). Ces trois visées se retrouvent dans l'énumération des fonctions de Legendre.

Pour faire un lien entre les fonctions des modèles et la présente étude, les fonctions sont traduites par rapport au changement conceptuel et à l'apprentissage des sciences étant donné que ce dernier est déjà une abstraction de la réalité de l'apprentissage. Les énoncés qui suivent sont inspirés des définitions que donne Charland (2008), Joshua et Dupin (1999), R. Legendre (2005) et Sauvé (1992, cité par R. Legendre, 2005) pour chacune de ces fonctions.

- Décrire : Le modèle cherche à énumérer et à exposer les aspects caractéristiques des entités du changement conceptuel et à cerner la signification de ce dernier dans l'apprentissage des sciences ;
- Expliquer : Le modèle permet la compréhension des causes du changement conceptuel et des effets qu'il occasionne pour l'apprentissage lorsqu'il se produit ;
- Prédire : Le modèle vise l'anticipation ou la prévision des hypothèses de résultats probables du changement conceptuel et fournit des hypothèses de résultats probables du changement conceptuel chez les élèves
- Prescrire : Le modèle suggère des pistes d'action et d'intervention pour favoriser le changement conceptuel.
- Explorer : ils permettent de générer des hypothèses à propos de l'apprentissage des sciences et de connaître ou comprendre davantage le changement conceptuel et ses entités

Ces énoncés permettront de commenter la ou les fonctions visées par chacun des modèles de changement conceptuel analysé.

### **2.2.3 Critères d'appréciation d'un modèle**

Il peut sembler inapproprié de déterminer des critères d'appréciation afin d'évaluer la validité des modèles de changement conceptuel étant donné que les articles qui les présentent sont souvent rédigés par des chercheurs chevronnés en didactique des sciences. Tout de même, des critères d'appréciation sont énoncés pour permettre de jeter un regard critique sur les modèles de changement conceptuel analysés lorsqu'ils seront commentés.

Selon Joshua et Dupin (1999), un modèle peut être qualifié de scientifique s'il répond aux contraintes suivantes :

- Il est pertinent à son objet, c'est-à-dire qu'il cerne bien l'objet et qu'il est efficace par rapport à l'objet à l'intérieur des limites du modèle ;
- Il répond à des exigences de cohérence interne : le modèle est lié à sa simulation ;
- Il répond à des exigences de cohérence externe : le modèle doit être cohérent avec l'ensemble des autres modèles jugés pertinents pour des objets connexes ou pour le même objet ;
- Il doit se précautionner de toute simplification outrancière : il ne peut pas négliger d'importantes facettes de la réalité ;

Lucie Sauvé a aussi élaboré des critères d'appréciation d'un modèle. Selon elle (1992 cité par R. Legendre, 2005, p. 893), « un modèle est d'abord valide s'il est utile, c'est-à-dire s'il remplit la fonction pour laquelle il est construit » puis s'il répond aux critères suivants :

- La complétude : le modèle doit tenir compte de tous les éléments de l'objet du modèle qui sont pertinents à la fonction du modèle ;
- La cohérence interne ;
- La clarté : un modèle doit être compréhensible.

Les critères d'appréciation de Renald Legendre (2005) vont comme suit :

- La capacité de rendre compte des données de la réalité ;
- La cohérence interne.

Ces derniers recourent clairement ceux de Sauvé.

Dans le cadre de cette recherche, les critères qui permettent d'apprécier un modèle de changement conceptuel sont formulés comme suit, dans le tableau II :

|  |   |
|--|---|
| La cohérence interne du modèle :   | Il y a une cohérence (donc pas de contradictions) entre les fondements du modèle, ses entités, son processus et les indications pour la pratique qui sont dégagées. |
| La cohérence externe du modèle :   | La représentation du changement conceptuel du modèle est cohérente avec la réalité de l'apprentissage des sciences.   |
| La complétude du modèle, sa capacité de rendre compte de la réalité et la pertinence à son objet : | Le modèle tient compte des entités du changement conceptuel et ne simplifie pas démesurément la réalité de l'apprentissage des sciences.                            |
| La clarté :  | Le modèle de changement conceptuel est compréhensible et présenté avec des termes clairs et définis en didactique des sciences.                                     |

Tableau II : Les critères d'appréciation d'un modèle de changement conceptuel

Ces critères concernent la structure interne du modèle et la couverture de la réalité qu'il permet. La réalité est l'antithèse de l'abstraction que peuvent représenter les notions *modèle* et *théorie* qui sous-entendent une organisation de concepts ; ces deux notions sont présentées en parallèle dans la prochaine section.

#### 2.2.4 Distinction entre modèle et théorie

Il importe de distinguer les notions de modèle et de théorie ; la notion de modèle est centrale dans cette étude tandis que la notion de théorie est abordée dans le cadre méthodologique dans la section 3.2.1.1.4.

La définition de modèle gagne à être présentée en parallèle avec celle de théorie. En effet, lorsqu'il est question de modèle et de théorie, la distinction entre les deux concepts peut s'avérer fine puisque le modèle et la théorie évoquent tous les deux

l'abstraction. La théorie est une représentation abstraite et générale d'une grande section de la réalité qui s'applique à un vaste ensemble de savoirs, de situations, d'objets (Johsua & Dupin, 1999; Van der Maren, 1996). Une théorie est une famille de modèles quand plusieurs modèles liés à une théorie entretiennent des liens logiques entre eux afin de représenter une portion d'univers qui inclut divers objets (Johsua & Dupin, 1999). Vu la parenté entre modèle et théorie, Tardif indique que « les théories sont habituellement des modèles à l'aide desquels on analyse un grand nombre de phénomènes concrets » (1996, cité par R. Legendre, 2005, p. 895). En prenant appui sur cet auteur, une théorie peut donc s'avérer être un modèle très global qui explique plusieurs phénomènes, mais ce ne sont pas tous les modèles qui peuvent être considérés comme des théories.

Van der Maren (1996) situe le concept de *modèle* par rapport à celui de *théorie* comme suit : un modèle est soit une opérationnalisation de la théorie, soit une simplification d'un objet en vue de le théoriser. Le modèle est donc une représentation intermédiaire entre l'objet et la théorie. Comme le phénomène à l'étude est le changement conceptuel dans un contexte d'enseignement des sciences au primaire sous un point de vue didactique, la place qu'attribue Van der Maren au modèle selon laquelle le modèle se situe entre la théorie et l'objet est appropriée aux modèles de changement conceptuel analysés lors de cette recherche.

L'objet de cette recherche, le changement conceptuel, est mis en relation avec la pratique d'enseignement pour établir un pont entre les modèles et la pratique de l'enseignement des sciences au primaire. Il est donc naturel que la pratique d'enseignement soit définie dans la section suivante.

### **2.3 La pratique d'enseignement**

La notion de pratique d'enseignement et des variables qui la caractérisent fait l'objet d'une section du cadre théorique pour clarifier l'analyse selon laquelle les indications pour la pratique d'enseignement dégagées des modèles de changement conceptuel sera effectuée. L'appui sur les variables de la pratique d'enseignement

permettra de dégager des modalités par rapport à différentes facettes de la réalité de l'enseignement.

La pratique d'enseignement peut relever de modèles ou de méthodes d'enseignement. Toutefois, la pratique d'enseignement peut varier d'un enseignant à l'autre même quand ils ont un même modèle d'enseignement en tête (Duit & Treagust, 2003). Des termes comme *comportement* ou *stratégie*, des termes consacrés de théories de l'apprentissage, peuvent respectivement évoquer le behaviorisme et le cognitivisme, dont découlent des modèles d'enseignement. Il est à préciser que l'objectif est de donner des pistes tangibles pour les enseignants davantage que de classer les interventions selon une théorie de l'apprentissage ou un modèle d'enseignement en particulier. Ainsi, cette recherche ne sera pas située par rapport à une théorie de l'apprentissage ni par rapport à un modèle d'enseignement en particulier. L'objectif de cette section est de définir la pratique d'enseignement et de déterminer des variables qui illustrent les conditions de cette pratique.

### 2.3.1 Définition de la pratique d'enseignement

On peut définir une pratique comme :

une activité en tant qu'elle est située institutionnellement, spatialement et temporellement, qu'elle est structurée par de multiples dimensions en interaction, qu'elle est formatée par des dispositifs, des outils et des supports, qu'elle est inscrite dans des histoires, sociales, familiales, individuelles. (Reuter et al., 2007, p. 12)

Cette définition de la pratique rejoint les deux sujets didactiques, les enseignants et les élèves, car

si l'on veut pouvoir comprendre ce qui se joue dans les classes, il faut procéder à un rééquilibrage du paradigme didactique et attirer l'attention des chercheurs sur les deux sujets humains, l'enseignant et l'élève, sans perdre de vue qu'ils sont reliés par un enjeu d'apprentissage. (Goigoux, 2002, cité par Reuter et al., 2007, p. 14)

En effet, le regard des chercheurs en didactique se fixe certainement sur l'élève, mais aussi sur l'enseignant, d'où l'importance de considérer les indications des modèles de changement conceptuel pour la pratique d'enseignement.

L'enseignement « consiste à amener le sujet apprenant à une réorganisation intellectuelle, c'est-à-dire à une transformation de ses modes de pensées » (Reuter et al., 2007, p. 197). En sciences, l'enseignement doit chercher à rendre l'élève apte à réfléchir selon le point de vue d'une science donnée (Migne, 1970). La pratique d'enseignement est « l'ensemble des activités de l'enseignant orienté par les savoirs et les compétences de celui-ci ainsi que par les fins et normes de la profession d'enseignant et mis en œuvre dans un milieu pédagogique particulier » (R. Legendre, 2005, p. 1066). Plus spécifiquement, la pratique d'enseignement est une « pratique inhérente à la relation d'enseignement dans le cadre de la situation pédagogique » (R. Legendre, 2005, p. 1066). *Pratique d'enseignement* et *pratique enseignante* sont des expressions synonymes ; les deux expressions sont utilisées dans ce mémoire (R. Legendre, 2005).

Selon Lefeuvre (2005), la pratique d'enseignement est composée de quatre éléments interdépendants : les ressources cognitives et affectives de l'enseignant, la configuration des actes mis en œuvre, les contextes d'actualisation et le contexte sociohistorique. Comme l'intention de ce mémoire est d'outiller l'enseignant pour sa pratique, le volet de la configuration des actes, qui peut se retrouver dans une planification, sera l'élément ciblé dans cette recherche. La configuration des actes mis en œuvre concerne « les modalités didactiques (le choix du contenu à enseigner, le matériel utilisé, etc.) et pédagogiques (le mode de regroupement des élèves dans la classe, les rôles attribués aux élèves, etc.) » (Lefeuvre, 2005, p. 81).

L'étude de la pratique d'enseignement reconnaît la contribution de la didactique (qui concerne la matière enseignée) ainsi que celle de la pédagogie (qui concerne notamment les relations, la gestion et l'organisation de la classe) sans séparer ces deux domaines qui sont dans une relation d'interdépendance lors de la pratique d'enseignement (Bru, 2006). Force est de constater que la frontière entre la didactique et la pédagogie est poreuse lorsque la dimension praxéologique de la didactique est abordée ; la pédagogie y est quelque peu arrimée.

Les pratiques d'enseignement scolaires se déroulent dans un milieu. Pour Guy Brousseau, tout ce avec quoi l'élève interagit fait partie du milieu, « que ce soit des problèmes, des objets ou des individus » (Perrin-Glorian, 1994, p. 107, cité par Reuter et al., 2007, p. 54). Le milieu d'apprentissage regroupe « l'ensemble des éléments spatiaux, humains, matériels et financiers, immédiats ou éloignés, qui forme le cadre au sein duquel se déroulent les situations pédagogiques » (R. Legendre, 2005, p. 888). Le milieu est certes instable et en constante transformation pendant la classe (Chevallard, 1996, cité par Reuter et al., 2007), mais tout de même, l'enseignant joue un rôle de premier plan par rapport au milieu : « le milieu est élaboré par l'enseignant en tant que référence du savoir et des " interactions qu'il détermine " (Brousseau, 1988, p. 321) » (Reuter et al., 2007, p. 56). Ainsi, l'enseignant, lors de sa planification, puis évidemment pendant le temps de la classe, peut agir sur certaines variables de sa pratique pour tenter d'inciter, de provoquer et de stimuler le changement conceptuel chez ses élèves.

### **2.3.2 Les variables de la pratique d'enseignement**

« Les pratiques renvoient à un individu agissant au sein d'un environnement ce qui permet d'envisager trois pôles [...] : un individu, une activité et un environnement » (Marcel, 2002, p. 81). Ces trois pôles se trouvent en interrelation dans les catégories de variables de la pratique d'enseignement qui sont présentées dans cette section.

Les variables qui concernent la pratique d'enseignement servent habituellement à l'observer et à l'évaluer. Dans le cas de la présente recherche, ces variables permettent de donner des pistes d'opérationnalisation des modèles de changement conceptuel et de juger si un modèle est plus utile qu'un autre pour établir un pont avec la pratique d'enseignement. En effet, le fait d'avoir des pistes d'opérationnalisation peut contribuer à la façon dont la pratique se déroule réellement en classe (Bru, 2006).

Selon les travaux de Bru (1991; 2006), les catégories de variables qui décrivent les modalités de la pratique d'enseignement vont comme suit :

1. Structuration et mise en œuvre des contenus : l'organisation des contenus, la sélection des contenus, les activités sur les contenus, le niveau de difficulté des activités ;
2. Processus : rôle de l'enseignant, rôle de l'élève, stratégies, interactions, relations entre les élèves et entre les élèves et l'enseignant, évaluation ;
3. Cadre organisationnel : organisation spatiale, matérielle, temporelle et sociale de la classe.

Les pôles que sont l'individu, l'activité et l'environnement sont bien en interaction dans ces modalités ; pour chaque catégorie, les trois pôles sont mis à contribution, d'une façon plus ou moins prédominante. Ces catégories donnent une idée des variables qui seraient en jeu dans une situation où un modèle de changement conceptuel serait opérationnalisé.

Puisque les modèles de changement conceptuel traitent avant tout de concepts abstraits étant donné leur nature, il est possible qu'il y ait moins d'indications pour la pratique d'enseignement par rapport à la catégorie *cadre organisationnel* que par rapport aux catégories *structure et mise en œuvre des contenus* et *processus*. L'importance de l'ancrage du changement conceptuel dans le contenu scientifique, laisse présumer que de nombreuses indications concerneront la catégorie *structure et mise en œuvre des contenus*.

Il est possible de poser un regard didactique sur ces catégories en faisant des liens avec les concepts qui peuvent être situés dans l'une ou l'autre des relations du triangle didactique (voir la figure 1, p. 11). Dans la section suivante, les liens sont explicités.

### **2.3.3 Les liens entre les variables de la pratique d'enseignement et la didactique**

On retrouve des concepts didactiques pour chacune des trois catégories des variables de la pratique d'enseignement présentée dans la section précédente. Il importe d'explicitier ces liens pour s'assurer que les indications pratiques qui seront dégagées des modèles de changement conceptuel à l'aide des catégories de variables de la

pratique d'enseignement puissent aussi être exprimées avec des concepts didactiques.

Les types d'activités en sciences, soit les activités fonctionnelles, les activités de résolution de problème et les activités de structuration (Astolfi et al., 1997) sont des exemples de concepts didactiques qui rejoignent la première catégorie de variables, laquelle fait référence au contenu.

La deuxième catégorie des variables renvoie aux processus, comme les interactions didactiques ou les stratégies d'appropriation des élèves (Astolfi et al., 1997).

Enfin, la troisième catégorie, qui fait référence à l'organisation, est la catégorie qui s'éloigne le plus de la didactique, en ce sens que les variables renvoient surtout à l'environnement social et matériel, ainsi qu'au temps. Cela étant, les outils ou les aides didactiques (Astolfi et al., 1997) peuvent être des concepts didactiques reliés à cette catégorie.

Comme un lien est établi entre la pratique d'enseignement et la didactique, les indications pour la pratique d'enseignement mises en évidence lors de l'analyse des modèles de changement conceptuel à l'aide des trois catégories de variables susmentionnées seront dans un deuxième temps reformulées d'un point de vue didactique à partir des relations du triangle didactique.

### **2.3.4 Séquence d'enseignement**

Puisque l'enseignant peut agir sur des variables de sa pratique par la planification et par son enseignement (voir la section 2.3.1), il importe de définir la notion de séquence d'enseignement. La pertinence de ce concept réside dans l'illustration de l'applicabilité des indications pratiques dégagées des modèles de changement conceptuel qu'il permettra.

Selon Legendre, une séquence d'enseignement est un « Ensemble continu ou discontinu de séances, articulées entre elles dans le temps et organisées autour d'une ou plusieurs activités en vue d'atteindre des objectifs fixés par les programmes

d'enseignement » (2005, p. 1228). Il s'agit d'un ensemble de séances structurées et planifiées par rapport au temps et à un contenu.

En sciences, les séquences « comportent une ou quelques *activités fonctionnelles*, une ou quelques *activités de résolution de problème* et une ou quelques *activités de structuration* qui portent toutes sur un même thème de sciences et de technologie » (Thouin, 2004a, p. 189). Le contenu est évidemment scientifique et les séances sont composées de différents types d'activités. Les activités fonctionnelles sont des activités de mise en situation et d'amorce qui ont une logique divergente ; elles se situent normalement au début de la séquence (Thouin, 2004a). Les activités de résolution de problème correspondent à des énigmes à résoudre et se trouvent au cœur de la séquence (Thouin, 2004a). Enfin, les activités de structuration visent l'intégration des contenus et ont une logique convergente ; elles se situent normalement après la résolution de problème (Thouin, 2004a).

## **2.4 Éléments à considérer pour l'analyse des modèles de changement conceptuel**

Comme la notion de changement conceptuel s'est développée dans le cadre constructiviste, les modèles analysés s'inscrivent dans ce paradigme. D'ailleurs, une mise en contexte du modèle par rapport à ses fondements ou son axiologie sera incontournable avant de passer à la présentation détaillée de chaque modèle. Les modèles de changement conceptuel dits « instruction-based » (Inagaki & Hatano, 2008, p. 242) seront ciblés plutôt que ceux qui attribuent le changement conceptuel au simple développement cognitif.

Les modèles de changement conceptuel représentent une facette de la réalité de l'apprentissage de sciences qui concerne la transformation des conceptions en sciences. Les modèles de changement conceptuel sont exprimés en fonction des entités qui les composent (les conceptions, les concepts et le processus de changement en tant que tel) et de certains fondements. Ainsi, tant les entités des modèles que le processus de changement conceptuel en tant que tel seront analysés puisque ce dernier est normalement conséquent avec les premières.

Les indications pour la pratique d'enseignement qui découlent des modèles de changement conceptuel seront mises en évidence à l'aide des catégories de variables de la pratique d'enseignement (*structuration et mise en œuvre des contenus, processus* ainsi que *cadre organisationnel*), puis selon les relations du triangle didactique. Ces indications sont précisées pour le contexte de l'enseignement des sciences au primaire en prenant appui notamment sur le *Programme de formation de l'école québécoise – Éducation préscolaire et enseignement primaire* (MEQ, 2001) à propos de concepts portant sur des phénomènes scientifiques. L'analyse détaillée de chaque modèle sera réinvestie dans une discussion et dans une comparaison des modèles analysés. Les entités, les indications pratiques dégagées ainsi que les fonctions et les critères des modèles permettront de les commenter. Enfin, un exemple de séquence d'enseignement en sciences au primaire qui comportera des activités fonctionnelles, des activités de résolution de problème et des activités de structuration permettra d'illustrer une application des indications pour la pratique enseignante dégagées lors de l'analyse des principaux modèles de changement conceptuel.

## **2.5 Questions de recherche**

D'après la problématique et le cadre théorique présentés, les modèles de changement conceptuel rassemblent divers éléments pour parvenir à établir une représentation de l'abstraction d'une facette de la réalité de l'action d'apprendre des sciences qui est valide par rapport à la fonction du modèle. Les entités et le processus de changement conceptuel en tant que tel des modèles font partie des éléments à étudier pour les analyser et un lien avec la pratique d'enseignement est possible par la mise en évidence des indications pratiques qui se dégagent des modèles. En bref, cet état de la question des principaux modèles de changement conceptuel permettra de dresser leur portrait, d'en discuter et de mettre en évidence leurs indications pour la pratique enseignante du primaire.

À la lumière de la problématique, des objectifs de recherche et des concepts explorés dans le cadre théorique, les questions de recherche suivantes sont formulées :

1. En conformité avec la problématique et le cadre théorique, quels sont les principaux modèles de changement conceptuel pertinents à l'enseignement des sciences au primaire ?
2. Selon la définition des entités du changement conceptuel (conceptions, concepts) et la perspective du processus de changement en tant que tel, quelle explication du changement conceptuel chaque modèle donne-t-il ?
3. Selon un point de vue didactique, quelles sont les indications pour la pratique d'enseignement des sciences au primaire qu'on peut dégager de chacun des modèles de changement conceptuel analysé ?
4. Par rapport aux entités, au processus de changement, aux indications pour la pratique d'enseignement et aux fonctions observés, quels sont les points de convergence et de divergence entre les modèles de changement conceptuel analysés ?
5. Comment les indications pour la pratique d'enseignement mises en exergue lors de l'analyse des modèles de changement conceptuel s'illustrent-elles dans une séquence d'enseignement en sciences au primaire ?

### **3. Cadre méthodologique**

La méthodologie et les questions de recherche sont intimement liées. En regard des questions de recherche, il s'agit donc de parcourir les documents les plus représentatifs qui portent sur les principaux modèles de changement conceptuel et de recueillir les données nécessaires.

Ce chapitre permet de définir quelques termes de la méthodologie employée. Des indications quant à l'opérationnalisation de la méthodologie suivent les définitions.

#### **3.1 Type de recherche**

Il existe une diversité de types de recherche en sciences de l'éducation, chacune étant appropriée à un type d'objet d'analyse (Mialaret, 2005).

Dans le présent cas, une recherche *fondamentale* (Ouellet, 1994) s'avère être le type de recherche indiqué pour mener à terme cette étude. Une recherche fondamentale

vise l'acquisition de connaissances nouvelles et la découverte de nouveaux champs d'étude dans un but pratique. [...] exemple : Un chercheur veut comprendre le processus d'apprentissage de la lecture chez les jeunes enfants. Son but n'est pas de trouver des solutions pratiques, mais des éléments pratiques. (Ouellet, 1994, p 94)

Comme dans l'exemple de Ouellet, il est ici question d'un processus d'apprentissage, en sciences (le changement conceptuel), dans le but de mettre en exergue des indications, d'abord théoriques, quant à la pratique enseignante (et non dans le but de trouver une solution « clé en main » pour les praticiens).

Il s'agit aussi d'une recherche théorique puisqu'elle vise l'analyse de modèles (R. Legendre, 2005).

Enfin, cette recherche peut aussi être qualifiée de recherche spéculative, selon la typologie de Van der Maren, puisqu'elle est un « travail de l'esprit produisant des énoncés théoriques à partir et à propos d'autres énoncés théoriques » (1996, p. 134).

Ces types de recherche siéent bien à un *état de la question*, lequel est une « synthèse exhaustive et objective présentant la situation actuelle d'un objet d'études ou d'un domaine de recherche : convergence et divergence des données, sentiers abandonnés, secteurs inexplorés, axes de développement, tendances, etc. » (R. Legendre, 2005, p. 620). Dans le cas de la présente recherche, l'objectif général est de faire un portrait des principaux modèles de changement conceptuel pertinents à l'enseignement des sciences au primaire. Un état de la question est complété à la suite d'une revue exhaustive de la documentation (R. Legendre, 2005), laquelle est effectuée selon l'analyse de contenu et la synthèse des éléments collectés, c'est-à-dire des méthodes appropriées aux types de recherche qui qualifient cette étude. Ces méthodes sont présentées dans la section qui suit.

Avant de passer à la section suivante, il est à souligner que fréquemment, dans les états de la question (par exemple, ceux de Duit (2003), de Smith (2003) et de Vosniadou (1999)), les auteurs n'explicitent pas les méthodes de recherche employées (Landry, 2006). Par souci de transparence, nous prenons le soin de détailler notre méthodologie, comme l'ont fait Charland (2008), Dion (2002), Landry (2006) et Sauvé (1992) dans le cadre de leur recherche théorique respective.

### **3.2 Méthodes et techniques de recherche**

La planification méthodologique de cette recherche rejoint une approche qualitative, ce qui influence l'opérationnalisation de la recherche, c'est-à-dire les choix des méthodes et des techniques de recherche. Une approche qualitative fait notamment référence à des données qui se mesurent difficilement (dans ce cas-ci, des mots) (Karsenti & Savoie-Zajc, 2004). Cette précision n'illustre pas un positionnement quant au débat *qualitatif-quantitatif* qui a lieu entre certains chercheurs (De Ketele & Maroy, 2006) ; l'intention est simplement de situer la recherche de façon générale et de donner une première vue sur la méthodologie de cette recherche.

Les méthodes utilisées pour réaliser cette recherche sont l'analyse de contenu d'un échantillon représentatif (jusqu'à saturation des données) des écrits sur les

principaux modèles de changement conceptuel et la synthèse des unités d'analyse collectées dans les écrits.

L'analyse de contenu effectuée par un chercheur n'échappe pas facilement aux biais liés à la subjectivité de ce dernier (Landry, 2006). En effet, la subjectivité du chercheur joue lors de la constitution du corpus, de la sélection et de la catégorisation des unités d'analyse ainsi que lorsque ces dernières sont qualifiées par une des théories éducationnelles (ces opérations sont expliquées plus loin). D'entrée de jeu, étant donné que l'analyse de contenu et la synthèse ont été effectuées par une seule personne, il est pertinent que les conceptions et les biais soient exposés pour assurer une certaine transparence et donner de la crédibilité à la recherche. À part les expériences personnelles vécues par rapport à l'enseignement des sciences au primaire, les présupposés théoriques auxquels la chercheuse adhère ont été abordés dans le cadre théorique.

Un moyen de minimiser les biais liés à la subjectivité consiste à effectuer une triangulation des méthodes, « qui conduit à recourir à plusieurs modes de collecte des données combinés pour faire ressortir différents aspects d'un phénomène étudié » (Karsenti & Savoie-Zajc, 2004, p. 282), en utilisant, par exemple, le logiciel ALCESTE (*Analyse des Lexèmes Co-occurents dans un Ensemble de Segments de Texte*) (Landry, 2006). Toutefois, dans le cadre de cette recherche, ce logiciel, qui nécessite un grand nombre de pages de texte pour relever adéquatement la structure statistique du texte, ne sera pas utilisé. En effet, chaque modèle de changement conceptuel ne comporte pas un nombre de pages suffisant pour être analysé à l'aide d'ALCESTE.

Pour minimiser les biais, la triangulation des sources sera une stratégie de recherche utilisée. La triangulation des sources est une « stratégie de recherche qui conduit à recourir aux divers points de vue abordés pendant la recherche afin de dégager une vision plus globale du phénomène étudié » (Karsenti & Savoie-Zajc, 2004, p. 282). Quelques textes d'auteurs qui ont expliqué ou critiqué un modèle de changement conceptuel analysé dans la présente recherche font donc partie du corpus.

Dans les sous-divisions qui suivent sont présentées l'analyse de contenu et la synthèse ainsi que les opérations techniques qui leur sont associées.

### 3.2.1 L'analyse de contenu

L'analyse de contenu est une

méthode de recherche qualitative (qui peut inclure des aspects quantitatifs) permettant de décrire, de clarifier, de comprendre ou d'interpréter une réalité, révélant des informations explicitement ou implicitement dans des données scripto-audiovisuelles relatives à cette réalité (documents écrits, registres, bandes sonores ou magnétoscopiques, etc.). (R. Legendre, 2005, p. 63)

Une description objective du contenu manifeste des documents qui portent sur les différents modèles de changement conceptuel est effectuée. Le corpus constitué peut être qualifié de *contrasté* puisqu'il comprend des « énoncés provenant d'auteurs qui ont des options, des préconceptions, des points de vue différents à propos d'une notion ou d'un événement » (Van der Maren, 1996, p. 136). En effet, comme mentionné précédemment, le corpus comporte des documents où les modèles de changement conceptuel sont présentés et des documents dans lesquels ces modèles sont commentés ou critiqués.

Les entités du modèle de changement conceptuel (les conceptions et les concepts), le processus du changement conceptuel en tant que tel et les indications pour la pratique d'enseignement des principaux modèles de changement conceptuel font l'objet d'une description systématique. On peut établir une analogie entre l'analyse de contenu et les deux premières phases de l'ingénierie didactique, soit *l'analyse préalable* puis *la conception et l'analyse a priori* (Artigue, 1988). L'analyse préalable fait référence au deuxième objectif de la recherche. L'opérationnalisation des modèles de changement conceptuel selon les catégories de variables de la pratique d'enseignement prend appui sur cette analyse préalable. Cette opérationnalisation fait référence au troisième objectif de la recherche et s'apparente à la deuxième phase de l'ingénierie didactique. Les phases de l'expérimentation, de l'analyse *a posteriori* et de la validation ne font pas partie de la présente recherche, cette dernière ne comportant pas de volet empirique.

L'analyse de contenu employée dans la présente recherche s'apparente à l'analyse thématique. Selon Paillé,

l'analyse thématique consiste ainsi à procéder systématiquement au repérage des thèmes abordés dans un corpus, et, éventuellement, à leur analyse, qu'il s'agisse d'une transcription d'entretien, d'un document organisationnel ou de notes d'observation » (1996, p. 186).

Tout comme l'analyse de contenu telle que présentée par R. Legendre, l'analyse thématique est très systématique. Dans le cadre de cette recherche, les étapes de l'analyse de contenu selon R. Legendre sont effectuées.

### **3.2.1.1 Les étapes de l'analyse de contenu**

Voici les étapes de l'analyse de contenu selon Renald Legendre (2005) :

- A. Identification du problème (problématique globale) ;
- B. Énoncé des objectifs ;
- C. Constitution du corpus (recension des sources d'information) ;
- D. Définition des catégories d'analyse ;
- E. Choix des unités d'analyse (idées principales sous forme de citation qui se rapportent à une catégorie) ;
- F. Repérage :
  - i. Lecture globale (compréhension du contenu et du contexte) ;
  - ii. Lecture analytique (isoler les idées principales et les classer selon la nature quadripartite du message, laquelle sera abordée plus loin) ;
  - iii. Relation catégorie - unité d'analyse (attribution d'une catégorie à l'unité d'analyse) ;
- G. Classification des éléments d'analyse dans une base de données.

Ce processus d'analyse est itératif. Il n'est pas rare en effet que des objectifs trop larges soient formulés en début de projet et qu'ils soient affinés en cours de recherche, ce qui entraîne une modification des catégories d'analyse et qui a un impact sur les étapes subséquentes.

Les étapes A et B font référence à ce qui a été présenté dans la problématique. Le détail des étapes s'amorce donc par l'étape C, la constitution du corpus.

#### **3.2.1.1.1 La constitution du corpus**

Un corpus est l'« ensemble des documents [...] sur lesquels va porter l'analyse de contenu » (R. Legendre, 2005, p. 298).

Pour constituer le corpus et déterminer les principaux modèles de changement conceptuel, l'utilisation des cotes du *Journal Citations Reports, Social Science Edition* de *Institute for Scientific Information (ISI)* a été envisagée ; toutefois, les cotes, qui concernent les revues par rapport à d'autres revues (et non des articles par rapport à d'autres articles), ne nous auraient pas éclairés quant à la sélection des documents à analyser puisque nous ne ciblons pas exclusivement des revues spécifiques ; des livres et des chapitres de livres qui portent sur le changement conceptuel font partie du corpus à analyser. Nous avons alors tenté d'utiliser *Web of Science (ISI)* et la base de données *ERIC* pour faire une recherche par texte et voir le nombre de fois que chaque texte est cité par d'autres textes subséquents et ainsi déterminer quantitativement un nombre minimal de citations pour qu'un modèle de changement conceptuel soit considéré comme principal. Cependant, ces deux outils n'ont pu être davantage retenus puisque tant *Web of Science (ISI)* que *ERIC* font une compilation sélective d'articles, et encore, seulement parmi ceux de leur propre base de données. Par exemple, l'article phare de Posner, Strike, Hewson et Gertzog (1982) ne serait cité qu'une seule fois selon *Web of Science (ISI)* quand il s'agit d'un article classique très fréquemment cité (Vosniadou, 2008).

Pour déterminer les principaux modèles de changement conceptuel et afin d'assurer une validité des données, diverses tactiques sont employées : les auteurs majeurs dans le domaine du changement conceptuel ainsi que les états de la question sont consultés et seules les recherches valides par rapport à la méthodologie employée sont retenues. Un certain nombre de références comme Bélanger (2008), Masson (2005), Potvin (2002) et Vosniadou (2008) nous permettent d'établir une convergence et de cibler les modèles prototypiques de changement conceptuel qui correspondent aux éléments présentés à la section 2.4 et dont les indications pour la pratique enseignante sont pertinentes pour l'intervention au primaire. À la suite d'une première recherche de documentation, la cascade rétrograde est également utilisée pour trouver des données : « la cascade rétrograde se complétera en examinant quels auteurs, cités dans les travaux trouvés, pourraient être intéressants en les consultant par la suite » (Van der Maren, 1996, p. 374). Enfin, vu le nombre important d'écrits sur les modèles de changement conceptuel, un échantillonnage

stratifié sera pratiqué. Selon R. Legendre, cette méthode « permet d'augmenter la représentativité d'un échantillon de façon à pouvoir faire des généralisations plus justes à la population cible » (2005, p. 469). Elle consiste à prélever un échantillon dans une population préalablement divisée en strates (Dion, 2002). Ces strates peuvent être constituées à partir de critères comme la période de temps, le domaine, le lieu, etc. (Dion, 2002)

Les modèles sélectionnés sont donc analysés par rapport à ce qu'ils sont et aussi par rapport à ce qu'on en dit. Pour un souci de triangulation des sources, les modèles sélectionnés doivent être minimalement discutés dans d'autres textes. Le premier modèle de changement conceptuel, le modèle de changement conceptuel le plus cité, a été publié en 1982 par Posner, Strike, Hewson et Gertzog : « The best known conceptual change model in science education, based on students' epistemologies, originated with Posner, Strike, Hewson and Gertzog (1982) » (Duit & Treagust, 2003, p. 673). Les modèles de changement conceptuels retenus sont donc sélectionnés à partir de 1982.

Pour être accessibles, les documents consultés sont en français et en anglais. Ils proviennent d'Europe ou d'Amérique ; une stratification en ce sens est effectuée. L'accessibilité matérielle des documents est elle aussi essentielle pour l'élaboration du corpus.

### **3.2.1.1.2 Définition des catégories d'analyse**

Les définitions des catégories d'analyse correspondent aux descripteurs qui sont employés pour le codage dans la base de données. Chaque descripteur est l'équivalent d'une catégorie, laquelle est « un sous-ensemble regroupant sans hiérarchie des segments d'information semblables en fonction d'un ou de quelques caractères communs » (R. Legendre, 2005, p. 191). Les termes *descripteurs* et *catégories* seront employés comme des synonymes dans le présent document.

Les descripteurs découlent de la problématique et du cadre théorique présentés précédemment, ainsi que du vocabulaire propre à chaque modèle de changement conceptuel analysé pour ne pas dénaturiser les termes et le sens que les auteurs leur

attribuent. Les descripteurs forment un champ notionnel (R. Legendre, 2005). La liste de départ des descripteurs de cette recherche est la suivante :

- Changement conceptuel
  - o Fondements
  - o Conceptions
  - o Concepts
  - o Processus de changement conceptuel en tant que tel
- Indications pour la pratique d'enseignement
  - o Structuration et mise en œuvre des contenus
  - o Processus
  - o Cadre organisationnel

Cette liste de départ réalisée à partir des concepts de la problématique et du cadre théorique sera bonifiée ou modifiée pendant le codage, qui est mixte, puisqu'il est possible que de nouveaux descripteurs émergent tandis que d'autres disparaissent au cours de l'analyse du corpus (Sauvé, 1992, cité par R. Legendre, 2005). En effet, certains émergent lors de l'analyse et sont en concordance avec la problématique et le cadre conceptuel présentés et d'autres s'avèrent inutiles (Van der Maren, 1996).

Cette liste n'est donc pas finale ; elle est ouverte au cas où d'autres descripteurs pertinents devraient être ajoutés et peut être modifiée pour mieux coller au vocabulaire employé par les différents auteurs des modèles de changement conceptuel. Par exemple, pour employer l'expression de Vosniadou qui a trait au signifié *conception*, l'expression *modèle mental* sera employée comme descripteur des unités d'analyses tirées de Vosniadou (1994).

### **3.2.1.1.3 Choix des unités d'analyse**

Une unité d'analyse est « un segment d'information qui se rapporte à une catégorie » (R. Legendre, 2005, p. 1425). Chaque unité d'analyse est une idée principale ou secondaire d'un document dans le cas de la présente recherche. L'idée n'est pas résumée ni interprétée mais bien citée dans une base de données afin de respecter l'esprit dans lequel les énoncés ont été écrits.

Le choix des unités d'analyse est effectué en fonction des catégories établies et émergentes.

### 3.2.1.1.4 Repérage

Le repérage comporte trois sous étapes :

- i. la lecture globale ;
- ii. la lecture analytique ;
- iii. la relation catégorie – unité d'analyse.

Une première *lecture globale* permet de comprendre le contexte et le contenu du document.

À la seconde lecture, les idées principales et secondaires sont identifiées. Cette *lecture analytique* correspond à l'analyse des unités d'analyse. Sont retenues comme unités d'analyse les idées principales ou secondaires qui correspondent à une (ou plusieurs) catégorie(s) d'analyse. Ensuite,

chacun des énoncés principaux peut être classé selon la nature quadripartite du message ; l'information peut être : 1. formelle (F) ; 2. axiologique (A) ; 3. praxique (P) ; 4. explicative (E) ; cette distinction a pour double but de focaliser la lecture analytique sur des éléments importants, et de faciliter éventuellement la synthèse globale qui se constituera à partir des quatre synthèses particulières. (R. Legendre, 2005, p. 63)

La nature quadripartite du message découle de la typologie de Maccia (1966, cité par R. Legendre, 2005) des théories éducationnelles. Les énoncés, les unités d'analyse, sont classés sous une ou plusieurs théories éducationnelles selon l'idée de la citation. Les quatre types de théories éducationnelles vont comme suit (Charland, 2008 ; Dion, 2002) :

- La théorie formelle (T.F.), qui définit le terme ou l'expression identifiant la catégorie, qui clarifie les concepts et les notions ;
- La théorie axiologique (T.A.), qui traite des finalités, des valeurs, des buts, des objectifs, des principes reliés au terme ou à l'expression identifiant la catégorie ;
- La théorie praxique (T.P.), qui identifie la mise en œuvre de pratiques pédagogiques, la réalisation du terme ou de l'expression identifiant la catégorie ;

- La théorie explicative (T.E.), qui complète les informations recueillies, qui ajoute à la compréhension, qui donne des éclaircissements, qui joint des éléments caractéristiques.

Ainsi, si la citation évoque une définition, une convention ou un modèle, elle sera qualifiée de *formelle*. Si la citation évoque une finalité, une visée, un principe, un besoin ou une valeur, elle sera qualifiée d'*axiologique*. Si la citation évoque une approche, une stratégie, une méthode, une pratique, elle sera qualifiée de *praxique*. Enfin, si la citation évoque une explication, une condition, une justification, une opinion, un jugement, un commentaire, une interprétation et qu'elle répond en quelque sorte à un *pourquoi*, elle sera qualifiée d'*explicative*.

Van der Maren (1996 ; 1999) a élaboré une typologie des discours en éducation. Il propose d'utiliser celle-ci pour déterminer les types de discours auxquels faire appel pour élaborer une problématique, par exemple. Il semble opportun de situer les théories éducationnelles utilisées par R. Legendre dans l'analyse de contenu par rapport aux théories de la typologie de Van der Maren.

La typologie de Van der Maren comprend les théories descriptives ou empiristes, les théories interprétatives ou herméneutiques, les théories prescriptives, les théories stratégiques et les métathéories. Les théories *descriptives*, qui définissent des objets, qui identifient leurs conditions d'apparition, leurs dimensions et les principes de son fonctionnement (Van der Maren, 1999), incluent les théories formelles (définitions), explicatives (conditions) et axiologiques (principes). Les théories *interprétatives ou herméneutiques*

tentent de construire une théorie du « sens » à l'existence, aux événements, aux actions en s'appuyant sur une analyse de leur déroulement ou de leur histoire. Elles complètent les théories descriptives en fournissant des interprétations aux événements provisoirement non expliqués ou non explicables par ces dernières. (Van der Maren, 1999, p. 31)

Comme ces théories complètent les théories descriptives, elles peuvent être apparentées aux théories explicatives, ou elles peuvent être associées aux théories axiologiques si l'idée de *sens* fait référence à une finalité ou une visée. Les théories

*prescriptives* et les théories *stratégiques* portent sur l'action. Les premières sont contraignantes du fait qu'elles indiquent ce qu'il convient de faire, les secondes sont de l'ordre de l'indicatif et ont comme public cible les praticiens que sont les enseignants (Van der Maren, 1999). L'aspect pratique de ces théories peut être mis en parallèle avec les théories praxiques ; ces dernières ne sont toutefois pas nécessairement contraignantes, ni nécessairement adressées aux praticiens. Enfin, les métathéories « sont des énoncés sur les autres théories qui précisent ce qu'elles sont ou ce dont elles parlent » (Van der Maren, 1999, p. 34). Lorsque ces théories apportent une précision, elles peuvent évoquer les théories explicatives. Dans le cas où la précision apportée suggère plutôt une visée, les métathéories peuvent s'apparenter aux théories axiologiques.

Les théories éducationnelles résonnent dans les théories du discours de Van der Maren et se chevauchent par rapport à la définition de certaines d'entre elles. Les théories du discours englobent les théories éducationnelles et peuvent qualifier le ton d'une large section d'un rapport de recherche ; pour un codage des fines unités d'analyse, les théories éducationnelles conviennent.

Enfin, la *relation catégorie – unité d'analyse* est effectuée. Chaque unité d'analyse est donc qualifiée par au moins une des quatre théories éducationnelles et par au moins un descripteur. Ainsi,

chaque unité d'analyse enrichit un des quatre aspects (formel, axiologique, praxique ou explicatif) constitutifs des notions ou des relations qui les unissent dans le réseau ; il arrive parfois qu'une unité d'analyse concerne plus d'un aspect. (R. Legendre, 2005, p. 63)

La saturation des données sera constatée lorsque pour chaque catégorie, l'ajout d'unités d'analyse n'enrichira plus aucun des quatre aspects constitutifs de ladite catégorie et ne modifiera plus les relations qui unissent les notions du réseau.

### **3.2.1.1.5 Classification des éléments d'analyse dans une base de données**

Une fois qu'une catégorie et qu'un (ou des) aspect(s) constitutif(s) des notions sont attribués à l'unité d'analyse, celle-ci est classée dans la base de données.

La base de données a été élaborée dans *Microsoft Access* par Potvin (1998). Charland a utilisé une base de données similaire pour réaliser sa thèse (2008). Un exemple de fiche d'unité d'analyse est présenté à la figure 3.

The screenshot shows a Microsoft Access form window titled "Fiches classées selon leur numéro". On the left, there is a list of units from D1 to D7. Unit D1 is "changement conceptuel" and D2 is "conception". In the center, a large box displays "Numéro d'unité" with the value "109". To the right, there are checkboxes for TF, TE, TP, and TA, and a "Poids" field with the value "10". Below this is a "Citation" field containing the text: "Une conception, c'est en même temps une image mentale et le mode de raisonnement qui l'accompagne et qui, ensemble, permettent à l'individu de donner du sens au monde qui l'entoure. Ces conceptions, qui sont nos propres modèles explicatifs, interviennent souvent comme des « filtres » réducteurs. Dès lors, l'apprenant « interprète » le savoir divulgué, l'adaptant en quelque sorte à sa propre manière de produire du sens." Below the citation is a "Référence" field with the text: "Giordan, Pellaud. Faut-il encore enseigner les sciences? Actualité chimique 2002, p.22". To the right of the reference is a "Notes supp" field. At the bottom, the status bar shows "Enr : 1 sur 32 (Filtré)".

Figure 3 : Exemple de fiche d'unité d'analyse dans la base de données *Microsoft Access* élaborée par Potvin (1998)

Dans cet exemple, la citation est qualifiée de deux descripteurs et contient une idée qui rejoint les théories formelle et praxique. L'interface de *Microsoft Access* ne permet aucune analyse en tant que telle, elle permet le regroupement rapide des unités d'analyse en fonction des descripteurs, donc de faciliter la synthèse, étape suivante de la recherche (Charland, 2008).

### 3.2.2 La synthèse

La synthèse vient compléter l'analyse :

L'analyse et la synthèse sont deux formes de pensée en relation d'interdépendance. La synthèse, sans l'analyse, constitue une démarche privée du sens de l'immédiat, du partiel, alors que l'analyse, sans la synthèse, est une démarche privée du sens du média, de la vision de l'ensemble, du tout. Associer l'analyse et la synthèse, c'est faire progresser la recherche vers le concret, le partiel, le visible, en même temps que vers l'abstrait, le général, l'universel, l'invisible. (Ouellet, 1990, cité par R. Legendre, 2005, p. 75)

R. Legendre définit la synthèse en la situant par rapport à l'analyse de contenu : « suite à l'analyse méthodique d'un contenu, [la synthèse correspond à une] reconstitution du tout par la présentation de ses éléments constitutifs essentiels et des relations qui réunissent les divers sous-ensembles » (2005, p. 1286). Les phases de la synthèse suivent.

### 3.2.2.1 Synthèse des éléments d'analyse en quatre phases

Le contenu manifeste est interprété à cette étape. Des choix sont faits afin de créer un système de relations approprié et inédit entre les unités d'analyse.

La synthèse s'effectue selon quatre phases :

- A. Identification des données qui permettent de faire des liens entre les unités d'analyse d'une même catégorie ;
- B. Précision des relations qui prévalent entre elles ;
- C. Ébauche d'une structure inédite des unités en élaborant des énoncés pour chacune des catégories ;
- D. Arrêt du processus. (Silvern, 1972, cité par Dion, 2002, p. 51)

Les phases sont effectuées de façon itérative pour élaborer un système de relations justes et inédit entre les unités d'analyse. À l'aide de l'interface *Microsoft Access*, il est aisé de regrouper les unités d'analyse en fonction des descripteurs pour ensuite effectuer la première phase de la synthèse, soit l'identification des données qui permettent de faire des liens entre les unités d'analyse par diverses réflexions spéculatives. La figure 4 illustre le regroupement d'unités d'analyse auxquelles le descripteur *environnement didactique* a été attribué en D1. On peut y remarquer les descripteurs (D1, D2, D3, etc.), les théories éducationnelles attribuées, le poids des citations (les citations considérées comme majeures ou importantes ont un plus grand poids), les numéros des fiches, les citations et les auteurs. Lors du codage, la hiérarchie des descripteurs est uniformisée, alors le regroupement à l'aide de l'interface permet bien de tout récupérer.

| D1                       | D2                         | D3                 | D4            | D5        | D6 | D7  | TF                                  | TE                                  | TP                                  | TA                       | Poids | Nur | Citation                 | Référence  |
|--------------------------|----------------------------|--------------------|---------------|-----------|----|-----|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------|-----|--------------------------|------------|
| environnement didactique |                            |                    |               |           |    | mod | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/> | 15    | 205 | The didactic environm    | Pellaud et |
| environnement didactique |                            |                    |               |           |    | mod | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 10    | 198 | Pour aider l'apprenant   | Giordan    |
| environnement didactique |                            |                    |               |           |    | mod | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 15    | 158 | du schéma figure 3       | Eastes, F. |
| environnement didactique | changement conce           | condition          |               |           |    | mod | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 10    | 199 | La probabilité pour qu'  | Giordan    |
| environnement didactique | façons d'apprendre, étapes |                    |               |           |    | mod | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 10    | 197 | a) l'apprenant s'approp  | Giordan    |
| environnement didactique | paramètres                 |                    |               |           |    | mod | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 15    | 206 | The parameters given     | Pellaud et |
| environnement didactique | paramètres                 | élève              | confiance     | clin para |    | mod | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 10    | 209 | If disruption is an idea | Pellaud et |
| environnement didactique | paramètres                 | élève              | être confront |           |    | mod | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 10    | 208 | Confront himself/hers    | Pellaud et |
| environnement didactique | paramètres                 | élève              | mobilisation  |           |    | mod | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 10    | 212 | Be able to mobilise kr   | Pellaud et |
| environnement didactique | paramètres                 | élève              | motivation    |           |    | mod | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 10    | 207 | As a rule, the pupil ha  | Pellaud et |
| environnement didactique | paramètres                 | élèves             | imagination   |           |    | mod | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 10    | 211 | Be able to imagine, dr   | Pellaud et |
| environnement didactique | paramètres                 | élèves             | organisation  |           |    | mod | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 10    | 213 | The required behaviour   | Pellaud et |
| environnement didactique | paramètres                 | rôle de l'enseigna | aides à pens  |           |    | mod | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 10    | 215 | Work up think assista    | Pellaud et |
| environnement didactique | paramètres                 | rôle de l'enseigna | confiance     |           |    | mod | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 10    | 210 | Managing the time for    | Pellaud et |
| environnement didactique | paramètres                 | rôle de l'enseigna | organisation  |           |    | mod | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | 10    | 214 | Thus, it is the teacher  | Pellaud et |

Figure 4 : Interface d'un regroupement d'unités d'analyse dans *Microsoft Access*

Une fois ce regroupement effectué, la lecture attentive des fiches regroupées permet de trouver les relations entre elles, puis d'élaborer sur ces relations. Lorsque toutes les relations possibles ont été élaborées pour un descripteur, le processus de synthèse s'arrête. Plusieurs synthèses spécifiques sont faites au cours de la constitution de la base de données ; après chaque ajout d'une centaine de fiches, des synthèses itératives sont effectuées, ce qui permet de bien regrouper les éléments et de juger de la saturation des données (Charland, 2008).

Une synthèse globale est effectuée pour chacun des modèles de changement conceptuel analysé pour compléter l'analyse verticale de chaque modèle de changement conceptuel retenu pour la recherche. Par la suite, une analyse horizontale des modèles permet une comparaison où quelques points de convergence, de divergence sont notamment mentionnés, ainsi que les forces et les faiblesses de chacun des modèles par rapport à la pratique d'enseignement. Ces quelques remarques de l'analyse horizontale permettent de déterminer si un modèle est plus complet du point de vue théorique et si un modèle est plus utile du point de vue de la pratique.

### 3.3 En synthèse

Compte tenu de la nature de la problématique et des types fondamental, théorique et spéculative de cette recherche, l'analyse de contenu et la synthèse qui s'ensuit sont

des méthodes de recherche pertinentes et rigoureuses pour effectuer l'analyse des données qualitatives du corpus de cette étude. La systématisation des étapes à effectuer, le recours à la triangulation des sources et le fait de recourir à une base de données laisse des traces du travail accompli et accroît la crédibilité et la scientificité de la recherche.

## 4. Analyse et discussion

À la suite de nos recherches documentaires, nous avons sélectionné quatre modèles de changement conceptuel qui sont les principaux modèles qui permettent de rencontrer nos objectifs de recherche. Les unités d'analyse utilisées pour leur analyse proviennent d'une quarantaine de documents (articles, livre et chapitres de livres).

Tout d'abord, le modèle de changement conceptuel de Posner, Strike, Hewson et Gertzog (1982) a été sélectionné. Ce modèle est connu comme l'approche classique du changement conceptuel (Vosniadou, 2008) et a eu un impact majeur sur le programme de recherche sur le changement conceptuel en didactique des sciences (Bélanger, 2008). Les auteurs ont probablement développé le modèle standard de changement rationnel le plus important (diSessa, 2006). Ce modèle, même s'il est désormais fort critiqué, a tout de même inspiré les enseignants de sciences pendant de nombreuses années (diSessa, 2006).

Les modèles de changement conceptuel de Vosniadou (1994) et de diSessa (1993) ont aussi été retenus puisqu'ils sont encore très actuels ; ils font l'objet de discussions, d'études, de recherches et ils sont régulièrement utilisés comme références tant pour des recherches théoriques qu'empiriques (Bélanger, 2008; Masson, 2005; Potvin, 2003). D'ailleurs, ces deux modèles sont les deux premiers chapitres du livre *International handbook of research on conceptual change* publié sous la direction de Vosniadou en 2008. Ces deux modèles détaillent finement les entités du changement conceptuel et ont une rivalité assumée (Bélanger, 2008). Vosniadou et diSessa se distinguent surtout parce que Vosniadou attribue ce que nous appelons les conceptions initiales à des théories et diSessa, à des pièces de savoirs éparses, non organisées. diSessa (1993) propose un modèle plutôt novateur lorsqu'on le compare au modèle de Posner et al. (1982) puisqu'il se déclare pour la continuité plutôt que pour la rupture, pour le *savoir en pièces* plutôt que pour la cohérence. Les modèles de Vosniadou et de diSessa ne sont pas nécessairement reconnus pour les indications pratiques qu'ils sous-tendent ; il sera intéressant de

constater combien ils donnent des pistes pour la pratique enseignante et d'analyser si ces pistes divergent ou convergent malgré la divergence théorique.

Enfin, le dernier modèle sélectionné est celui de Giordan, appelé le modèle allostérique (1989). Les travaux de Giordan sont surtout connus et employés dans la francophonie et en Europe (Astolfi & Develay, 2002; Eastes & Pellaud, 2004). Ce modèle fait notamment partie de la revue des modèles de Potvin (2002). Une raison majeure pour laquelle le modèle allostérique a été retenu est qu'il indique clairement plusieurs stratégies pour l'enseignant. En effet, l'origine européenne de ce modèle de changement conceptuel implique notamment qu'il est plus didactique que les trois autres modèles sélectionnés, d'où l'intérêt d'avoir stratifié notre documentation sur deux continents. Le modèle allostérique ne se concentre pas uniquement sur les processus cognitifs ; il tente de tenir compte de la complexité de l'apprentissage en incluant notamment des aspects qui touchent les dimensions affectives et sociales de l'enfant. En effet, le souhait de Giordan est de proposer un modèle plus pragmatique (Giordan, 1996). L'apprenant et l'interaction contenu-apprenant-situation d'apprentissage sont ainsi au cœur du modèle allostérique (Giordan, 1989). Les membres de l'équipe du LDES (Laboratoire de didactique et d'épistémologie des sciences) de l'Université de Genève qualifient eux-mêmes le modèle allostérique comme « l'un des modèles les plus récents, les plus globaux et les plus opératoires du point de vue de l'enseignant et du médiateur » (Pellaud, Eastes, & Giordan, 2005, p. 28). Ils ne prétendent toutefois pas avoir trouvé la panacée : ils sont bien conscients « qu'en enseignement, des solutions " clé en main " n'existent pas » (Giordan & Pellaud, 2002).

Ainsi, les modèles de Posner, Strike, Hewson et Gertzog (1982), de Vosniadou (1994), de diSessa (1993) et de Giordan (1989), très souvent cités et ayant chacun leurs particularités propres au sujet du changement conceptuel, sont les modèles sélectionnés pour effectuer l'analyse.

Dans le présent chapitre, comme Posner et al. sont les pionniers du changement conceptuel (Vosniadou, 2008), leur modèle est présenté en premier. Suivent les modèles de Vosniadou et de diSessa et enfin, le modèle de Giordan.

Chaque modèle est analysé en cinq temps. D'abord, le modèle est succinctement présenté par rapport à ses origines, son axiologie, ses fondements. Ensuite, les entités du modèle de changement conceptuel que sont les conceptions et les concepts sont définies du point de vue des auteurs. Par la suite, le processus du changement conceptuel est expliqué, toujours selon le point de vue des auteurs. Les indications quant à la pratique d'enseignement du primaire qui découlent du modèle suivent et sont regroupées selon les trois catégories présentées dans le cadre théorique, soit la structuration et la mise en œuvre des contenus, les processus qui sont en jeu lors de la pratique en salle de classe et le cadre organisationnel. Enfin, une discussion boucle l'analyse de chaque modèle. Dans cette discussion, un regard didactique est posé sur les indications pour la pratique d'enseignement, quelques commentaires sont formulés alors que des textes qui discutent du modèle en question sont utilisés et les fonctions du modèle sont abordées.

À la suite de l'analyse verticale de chacun des modèles est présentée une analyse horizontale des quatre modèles de changement conceptuel afin de souligner quelques convergences, divergences, forces et faiblesses des modèles.

Ce chapitre se termine par un exemple de séquence d'enseignement des sciences commentée qui permet d'illustrer le rapprochement entre les modèles de changement conceptuel et la pratique d'enseignement de manière concrète.

#### ***4.1 Le modèle de changement conceptuel de Posner, Strike, Hewson et Gertzog (1982)***

« The work of Posner et al. became the leading paradigm that guided research and practice in science education for many years » (Vosniadou, Vamvakoussi, & Skopeliti, 2008, p. 22). L'article majeur de George J. Posner, Kenneth A. Strike, Peter W. Hewson et William A. Gertzog a été publié en 1982.

Posner et al. (1982) ont été sensibles aux travaux de chercheurs qui ont cherché à identifier les *misconceptions* ou les *alternative frameworks*. Ils trouvaient toutefois qu'il n'y avait pas de théorie qui expliquait ou décrivait les dimensions et le processus selon lesquels les personnes organisent les changements de conceptions à partir de celles déjà présentes qui sont, d'une certaine façon, incompatibles avec celles pour lesquelles elles sont changées (Posner et al., 1982, p. 211). Sans prétendre proposer une nouvelle vision de l'apprentissage, pour développer leur modèle de changement conceptuel, ils se sont appuyés sur l'idée communément acceptée selon laquelle l'enseignement doit tenir compte des conceptions des élèves pour favoriser l'apprentissage.

Le modèle de changement conceptuel de Posner et al. est largement dérivé de la philosophie des sciences, laquelle peut, selon eux, éclairer l'apprentissage (Posner et al., 1982, p. 211). Pour développer leur modèle de changement conceptuel, Posner et al. se sont inspirés des deux phases du progrès scientifique selon les travaux de Kuhn et Lakatos ; la première phase est la science normale (Kuhn, 1970) ou le programme de recherche (Lakatos, 1970) et la deuxième phase est la révolution scientifique (Kuhn, 1970) ou le changement de programme de recherche (Lakatos, 1970) :

We believe there are analogous patterns of conceptual change in learning. Sometimes students use existing concepts to deal with new phenomena. This variant of the first phase of conceptual change we call assimilation. Often, however, the students' current concepts are inadequate to allow him to grasp some new phenomenon successfully. Then the student must replace or reorganize his central concepts. This more radical form of conceptual change we call accommodation.<sup>5</sup>  
(Posner et al., 1982, p. 212)

Le changement conceptuel dont ils discutent dans leur modèle s'apparente plutôt à l'accommodation ; il ne ressemble pas à l'assimilation, qui correspond à l'incorporation de nouveaux éléments à des structures mentales (R. Legendre, 2005). C'est la difficile accommodation qu'ils souhaitent aborder dans leur modèle, surtout en expliquant les conditions pour la favoriser.

---

<sup>5</sup> Les auteurs reconnaissent l'impact des études de Piaget. Ils mentionnent toutefois qu'ils reprennent les termes *accommodation* et *assimilation* de Piaget sans s'engager davantage envers sa théorie (Posner et al., 1982).

À ce positionnement pour un changement conceptuel comme processus d'accommodation s'ajoute une autre prémisse majeure : la considération de l'apprentissage comme une activité rationnelle :

That is, learning is fundamentally coming to comprehend and accept ideas because they are seen as intelligible and rational. Learning is thus a kind of inquiry. The student must make judgments on the basis of available evidence. It does not, of course, follow that motivational or affective variables are unimportant to the learning process. The claim that learning is a rational activity is meant to focus attention on what learning is, not what learning depends on. Learning is concerned with ideas, their structure and the evidence for them. (Posner et al., 1982, p. 212)

Ce modèle, plus épistémologique que psychologique malgré la référence à Piaget (Masson, 2005), fait donc référence au jugement conscient de l'élève lors de l'apprentissage. Même si les auteurs sont conscients que la motivation ou l'aspect affectif de l'élève sont importants dans l'apprentissage, ils se concentrent strictement sur l'aspect cognitif rationnel. D'ailleurs, en ce sens, Astolfi (1997) explique que ce n'est pas parce que les didacticiens ne tiennent pas compte de l'affectivité des élèves qu'ils la méprisent ; c'est plutôt qu'ils ne veulent pas dédoubler le travail d'autres chercheurs comme les psychologues, les sociologues et souhaitent rester concentrés sur le fonctionnement d'une situation scolaire. Or, comme mentionné dans la problématique, l'affectivité est bel et bien un volet que développe l'enfant lors de l'apprentissage. Mais comme Astolfi le mentionne, il n'est pas rare que les didacticiens ne la prennent pas en considération, comme Posner et al. d'ailleurs. Cette considération du changement conceptuel sous l'angle d'une activité rationnelle teinte énormément l'hypothèse de modèle de Posner et al.. Avant de passer à leur représentation du processus de changement, un éclaircissement de leur vision des entités du changement conceptuel s'impose.

#### **4.1.1 Les entités du modèle de changement conceptuel de Posner et al.**

Si les auteurs ont précisé clairement l'axiologie de leur modèle, ils ont peu défini ce qu'ils entendent par *conception* ou *concept*. Selon eux :

The terms *commitments*, *concepts*, and *conceptions* are equivalent. Although these terms (particularly the latter two) refer to differing levels of conceptualization, we do not distinguish among the levels in this article. (Posner et al., 1982, p. 212)

Selon les définitions que nous avons présentées dans le cadre théorique, les auteurs n'utilisent pas de terme précis pour exprimer s'ils parlent bien de conception (dans la tête de l'élève) ou de concept (visé par l'enseignement). Ils utilisent ces mots comme des synonymes, ce qui occasionne un certain flou. Il semble toutefois qu'ils considèrent que la conception est d'un niveau inférieur au concept scientifique étant donné qu'elle est éloignée du concept communément accepté par la communauté scientifique.

Ils ont tout de même le souci de situer ce que nous appelons *conceptions* en indiquant de quoi elles découlent et comment elles sont structurées les unes par rapport aux autres. Selon eux, les conceptions résultent notamment des croyances scientifiques comme des engagements épistémologiques (Posner et al., 1982, p. 219), lesquelles influencent le jugement lors de l'apprentissage. Pour ce qui est des liens que les conceptions entretiennent les unes avec les autres avant le changement conceptuel et lors du processus de changement, Posner et al. mentionnent :

Whenever the learner encounters a new phenomenon, he must rely on his current concepts to organize his investigation. Without such concepts, it is impossible for the learner to ask a question about the phenomenon, to know what would count as an answer to the question, or to distinguish relevant from irrelevant features of the phenomenon. (Posner et al., 1982, p. 212)

Ainsi, selon Posner et al., lors du changement conceptuel, lors de la réorganisation des conceptions entre elles, certaines sont remplacées, mais pas toutes, car certaines sont utiles. Certaines sont en effet plus importantes que d'autres, considérées comme centrales (Posner et al., 1982). Ceci sous-entend qu'ils imaginent les conceptions en réseau, certaines étant plus centrales, certaines étant plus secondaires, voire subordonnées par rapport aux autres.

Pour expliquer la sélection et la réorganisation des conceptions, les auteurs ont précisé des conditions qui favorisent le changement conceptuel et défini une écologie

conceptuelle. Dans le cadre de l'écologie conceptuelle, les auteurs indiquent les déclencheurs possibles des conditions qui favorisent le changement conceptuel. Ces dimensions du processus du changement conceptuel sont définies dans la prochaine section.

#### **4.1.2 Le processus du changement conceptuel selon Posner et al.**

Pour Posner et al., le changement conceptuel, l'accommodation, chez les novices, résulte d'une réorganisation ou du remplacement d'une conception centrale qui se produisent graduellement par plusieurs ajustements (Posner et al., 1982, p. 223).

Dans leur article, Posner et al. ont eu l'objectif de répondre aux deux questions suivantes :

- 1) Under what conditions does one central concept come to be replaced by another ?
- 2) What are the features of a conceptual ecology which govern the selection of new concepts ? (Posner et al., 1982, p. 213)

Posner et al. indiquent quatre conditions pour répondre à leur première question. Ces quatre conditions sont fort connues et citées régulièrement (Bélanger, 2008; Masson, 2005; Potvin, 2002). Elles vont comme suit :

1. L'ancienne conception, la conception initiale, doit être insatisfaisante ;
2. La nouvelle conception, la conception scientifique, doit être intelligible ;
3. La nouvelle conception doit être plausible ;
4. La nouvelle conception doit être féconde.

Selon eux, ces conditions doivent être en place pour que l'élève effectue un changement conceptuel. Comme l'apprentissage est considéré comme une activité rationnelle, ces conditions sont envisagées en ce sens. Les conditions sont elles-mêmes favorisées par certaines caractéristiques de l'écologie conceptuelle qui déterminent la réorganisation et la sélection des nouveaux concepts. L'écologie conceptuelle est en opposition avec l'empirisme dans le sens où les auteurs ne supposent pas une *tête vide* avant l'apprentissage ; ils supposent que l'écologie conceptuelle, l'ensemble des conceptions ou des idées d'un individu, va influencer la

sélection d'un nouveau concept central (Posner et al., 1982, pp. 213-214). Certains paramètres de l'écologie conceptuelle favorisent la mise en place des quatre conditions mentionnées précédemment.

Pour répondre à leur deuxième question, Posner et al. ont mis en évidence les paramètres de l'écologie conceptuelle qui jouent un rôle déterminant dans la sélection des nouveaux concepts. Ces paramètres vont comme suit :

anomalies, analogies and metaphors, epistemological commitments (explanatory ideals, general views about the character of knowledge), metaphysical beliefs and concepts (metaphysical beliefs about science, metaphysical concepts of sciences), other knowledge (knowledge in other fields, competing concepts). (1982, p. 215)

Posner et al. font le lien entre les paramètres de l'écologie conceptuelle et les conditions. Par exemple, la source majeure d'une insatisfaction envers une ancienne conception est la constatation d'anomalies ; les analogies et les métaphores peuvent rendre une nouvelle conception plus intelligible ; la position épistémologique par rapport au caractère général du savoir peut avoir une influence sur la considération d'une nouvelle conception comme plausible ou non ; la nouvelle conception scientifique doit sembler avoir plus de potentiel que l'ancienne. L'accommodation est favorisée par la considération de ces paramètres de l'écologie et de ces conditions.

Selon Posner et al., deux paramètres de l'écologie conceptuelle guident plus que les autres le processus de changement d'une conception à l'autre, soit les idées de base à propos des sciences et du savoir et les anomalies (1982, p. 223). L'importance que l'élève soit conscient de ses idées de base à propos des sciences et du savoir est un paramètre qui découle du fait que l'apprentissage est considéré comme une activité rationnelle. Les anomalies préparent les élèves au conflit cognitif ; Posner et al. indiquent que la condition *insatisfaction* et le paramètre *anomalies* favorisent plus que les autres le processus de changement d'une conception à l'autre. Ainsi, si l'élève constate consciemment une anomalie et devient insatisfait par rapport à son ancienne conception, il y a lieu que se produise un conflit cognitif, une stratégie fort

en lien avec l'idée d'accommodation et avec l'inspiration des auteurs à partir des révolutions scientifiques de Kuhn :

If taken seriously by students, anomalies provide the sort of cognitive conflict (like a Kuhnian state of *crisis*) that prepares the student's conceptual ecology for an accommodation. The more students consider the anomaly to be serious, the more dissatisfied they will be with current concepts, and the more likely they may be ready ultimately to accommodate new ones. (Posner et al., 1982, p. 224)

Le conflit cognitif survient lorsqu'un élève prend conscience d'une inconsistance entre ses conceptions ou entre ses conceptions et les concepts scientifiques (Thouin, 2004a). Posner et al. ne le mentionnent pas, mais le conflit cognitif a comme origine les travaux du développement de l'intelligence de Piaget (Astolfi et al., 1997). Pour eux, le conflit cognitif explique le processus du changement conceptuel, il est une étape préalable à l'accommodation. Nous verrons que Posner et al. considèrent aussi le conflit cognitif comme une stratégie à employer en classe dans la prochaine section malgré le fait qu' « il y a bien des façons de traiter mentalement un conflit cognitif, et elles ne conduisent pas toutes à un progrès intellectuel » (Astolfi et al., 1997, p. 35). Par exemple, les auteurs mentionnent que l'élève peut être tenté d'éviter l'accommodation par l'accrétion des nouvelles conceptions aux anciennes, selon un processus d'assimilation, d'acquisition, au lieu d'effectuer le nécessaire processus d'accommodation, de changement, régulièrement essentiel lors de l'apprentissage des sciences (Posner et al., 1982, p. 219). L'assimilation, plus facile, est plus attrayante que l'accommodation : « il existerait ainsi une tendance psychologique profonde à résoudre les contradictions au moindre coût » (Astolfi et al., 1997, p. 35). Ainsi, ce n'est que lorsque l'assimilation n'est plus satisfaisante que l'accommodation a une chance de se produire.

En quelques mots, les composantes du modèle, les entités, et les relations entre elles représentées par le modèle de changement conceptuel de Posner et al. sont résumées dans le tableau III.

| Composantes   | Relations          |
|---------------|--------------------|
| - Conceptions | - Conflit cognitif |
| - Concepts    | - Accommodation    |

Tableau III : Composantes du modèle de changement conceptuel de Posner et al. (1982) et relations entre elles

Nous avons constaté comment Posner et al. expliquent le changement conceptuel en regard de conditions et de l'écologie conceptuelle. Ils proposent aussi quelques moyens de le favoriser en classe.

### **4.1.3 Indications pour la pratique d'enseignement**

Comme mentionné dans la précédente section, selon le modèle de Posner et al. (1982), quatre conditions doivent être remplies pour que le changement conceptuel s'effectue : l'élève doit être insatisfait quant à son ancienne conception et il doit estimer la nouvelle comme plausible, intelligible et féconde. L'écologie conceptuelle et ses paramètres permettent de remplir ces conditions. Posner et al. suggèrent quelques points pratiques par rapport à l'enseignement qui se basent sur leur modèle de changement conceptuel en considérant toujours ce processus d'apprentissage comme une activité rationnelle chez l'élève.

#### **4.1.3.1 Structuration et mise en œuvre des contenus**

Des quatre conditions de Posner et al. découlent quelques indications quant à la structuration et la mise en œuvre des contenus. Les paramètres de l'écologie conceptuelle donnent plusieurs pistes à cet effet.

D'abord, voici des indications pour la pratique qui ont trait à la condition qui concerne l'insatisfaction quant à l'ancienne conception. Dans la section précédente, le paramètre *anomalie* a été abordé largement. Selon Posner et al., il convient donc de planifier le contenu avec l'intention de confronter les conceptions des élèves : « Thus, before an accommodation will occur, it is reasonable to suppose that an individual must have collected a store of unsolved puzzles or anomalies and lost faith in the capacity of his current concepts to solve these problems » (Posner et al., 1982, p. 214). Ainsi, en classe, un enseignant qui planifie enseigner la flottabilité des objets au deuxième ou au troisième cycle peut prévoir tester des objets dont la flottabilité va à l'encontre des conceptions initiales des élèves. Il est fréquent que les élèves pensent que les objets lourds coulent et que les objets légers flottent ou que les gros objets coulent et que les petits objets flottent (Thouin, 2004a) ; il est donc pertinent de planifier la séquence d'enseignement de façon à ébranler les conceptions

des élèves quant à la flottabilité dans ce cas, en prévoyant de gros objets qui flottent, comme un morceau de bois, ou des petits objets qui coulent, comme une aiguille. Selon Posner et al., les élèves, observant ce qu'il leur semble être des anomalies, ont une possibilité de devenir insatisfaits par rapport à leur ancienne conception. En ce qui a trait à l'observation, Posner et al. suggèrent justement d'enseigner des stratégies d'observation pour sensibiliser l'élève au fait que pour changer sa façon de voir un phénomène, il doit être capable de recueillir des informations qui vont dans le sens de la nouvelle conception pour constater les anomalies de l'ancienne conception. Ces stratégies d'observation correspondent en partie aux savoirs essentiels des sections *Techniques et instrumentation*, *Stratégies d'exploration* et *Stratégies de communication* du programme de formation.

Toujours par rapport à l'insatisfaction, Posner et al. suggèrent d'aborder les *anomalies rétrospectives* surtout quand un lien peut être fait avec l'histoire des sciences. Par exemple, pour l'*Univers Terre et Espace*, le système Soleil-Terre-Lune (MEQ, 2001, p. 159) peut être enseigné en mettant en perspective l'héliocentrisme avec le géocentrisme, ce qui peut rassurer les élèves qui auraient une conception initiale qui s'apparente à une conception qui fut jadis actuelle dans l'histoire.

Tout en organisant le contenu de façon à provoquer une insatisfaction par rapport à l'ancienne conception, l'enseignant doit s'organiser pour que le concept scientifique qu'il aborde soit intelligible. Évidemment, un concept est intelligible si les mots et les symboles qui l'expliquent et le décrivent sont connus et accessibles pour l'élève (Posner et al., 1982, p. 216), mais l'intelligibilité d'un concept requiert davantage ; le concept doit avoir du sens pour l'élève. Pour donner du sens aux concepts scientifiques, les enseignants peuvent faire connaître les possibilités qu'offrent ces concepts enseignés. En ce qui concerne l'accessibilité du concept, la stratégie que Posner et al. proposent est la représentation du contenu en plusieurs modes. Par exemple, un circuit électrique pourrait être représenté par un simple dessin, par les symboles normalisés en électricité et par un montage réel. Posner et al. recommandent de proposer toute métaphore, tout modèle ou toute analogie possible en lien avec la conception scientifique visée afin de la rendre plus intelligible et

plausible (Posner et al., 1982, p. 214). Nous nous permettons de nuancer ce dernier conseil : Bachelard, dans *La formation de l'esprit scientifique* (1938/1977), nous met en garde contre les métaphores et les analogies, qui peuvent devenir des obstacles verbaux lorsqu'un mot remplace une explication. Vaut ainsi mieux être vigilant quant à l'utilisation de métaphores, de modèles et d'analogies et ne pas les exploiter à outrance. Pour baliser l'emploi de l'analogie, pour en saisir les avantages et se prémunir de ses inconvénients, des chercheurs comme Shawn M. Glynn ont développé un modèle d'enseignement par l'analogie, *Teaching-With-Analogy Model*. Glynn met tout de même les enseignants en garde par rapport à l'emploi de l'analogie :

Teachers should keep in mind that an analogy is a double-edged sword. If used carefully, it can make complicated concepts meaningful to students; if used carelessly, however, it can cause students to form misconceptions (e.g., human cells snap together like Lego bricks). Misconceptions can occur in places where the analogy breaks down, so teachers should « head students off at the pass » by pointing out these places to students. (Glynn, 2007, p. 53)

Ainsi, l'enseignant ne doit pas abuser des métaphores et des analogies, mais il peut tout de même en prévoir dans sa planification.

Selon Posner et al., le contenu doit aussi être planifié de manière à être plausible :

Any new concept adopted must at least appear to have the capacity to solve the problems generated by its predecessors. Otherwise, it will not appear a plausible choice. Plausibility is also a result of consistency of the concepts with other knowledge. A new idea in, say, astronomy is less likely to be accepted if it is inconsistent with current physical knowledge or if it simply has no clear physical account. (1982, p. 214)

La plausibilité est ainsi reliée à l'insatisfaction et à l'intelligibilité, qui semblent être des conditions préalables. La nouvelle conception doit avoir du sens pour l'élève et pouvoir résoudre les anomalies qu'il constatait antérieurement pour être plausible (Posner et al., 1982, p. 221). De plus, Posner et al. mentionnent que la nouvelle conception doit être compatible avec les autres concepts reliés et avec les expériences et qu'elle doit pouvoir coller à l'image que l'élève a du monde (1982, p. 218). Concrètement, l'enseignant gagne à enseigner dans une même séquence d'enseignement plusieurs concepts qui touchent un phénomène pour que tout soit

cohérent aux yeux des élèves. Par exemple, en *Univers vivant*, quelques concepts qui concernent les végétaux comme l'anatomie, la respiration, la photosynthèse et la croissance (MEQ, 2001, p. 159-160) peuvent être enseignés dans une même séquence ou bien l'un à la suite de l'autre de façon rapprochée dans le temps. En effet, l'enseignement d'un concept de l'*Univers Terre et Espace* (MEQ, 2001, p. 158) une semaine, puis d'un concept en *Univers vivant* (MEQ, 2001, p. 160) l'autre semaine n'est pas recommandé si on souhaite favoriser la consistance entre les concepts. Nous abordons davantage l'organisation du temps plus loin dans cette section.

Enfin, la nouvelle conception doit paraître féconde pour l'élève (Posner et al., 1982, p. 214). En ce sens, l'enseignant peut mettre l'accent sur l'utilité de la nouvelle conception en planifiant des activités où cette nouvelle conception est utile. Par exemple, une fois que les élèves ont travaillé et saisi quels sont les matériaux conducteurs d'électricité, une activité où les élèves sont invités à faire un circuit, avec les matériaux de leur choix, peut être proposée.

De façon générale, Posner et al. émettent quelques recommandations qui concernent l'organisation du contenu, voire le curriculum, selon le terme qu'ils emploient. Tout d'abord, les auteurs proposent notamment de mettre en valeur le changement conceptuel chez les élèves avec une sélection de concepts plutôt qu'avec une étendue de contenus (Posner et al., 1982, p. 225). Le fait de passer plus de temps, quelques séances, sur un concept majeur et ses concepts associés peut permettre aux enseignants de planifier les conditions et les paramètres de l'écologie conceptuelle à stimuler à plusieurs reprises, ou en différents temps. Ceci laisse supposer que les quatre conditions et les paramètres de l'écologie conceptuelle ont plus de chance d'être rencontrés si plusieurs occasions se présentent.

#### **4.1.3.2 Processus**

Du côté des processus de l'élève, Posner et al. supposent que l'insatisfaction est induite et rationnelle si :

- 1) Students understand why the experimental finding represents an anomaly; -
- 2) Students believe that it is necessary to reconcile the findings with their existing conceptions;
- 3) Students are committed to the reduction of inconsistencies among the beliefs they hold; and
- 4) Attempts to assimilate the findings into the students' existing conceptions are seen not to work. (1982, p. 221)

Ainsi, selon Posner et al., les élèves doivent être conscients du manque occasionné par leur ancienne conception (être insatisfaits) pour pouvoir souhaiter combler, dépasser ce manque. On reconnaît ici la condition de l'insatisfaction quant à l'ancienne conception. Par ailleurs, les quatre conditions du changement conceptuel correspondent purement à ce dont l'élève doit prendre conscience : en plus d'être insatisfait de son ancienne conception, il doit saisir la conception scientifique (la trouver intelligible), pouvoir la relier à d'autres connaissances (la considérer comme plausible) et pouvoir résoudre les anomalies occasionnées par l'ancienne conception (constater sa fécondité) (Posner et al., 1982). Toutes ces conditions font référence à une construction cognitive individualisée (Astolfi et al., 1997) plutôt que collective.

Posner et al. emploient le concept du conflit cognitif à deux égards : d'abord, en tant que processus cognitif, tel que mentionné dans la section précédente, puis, comme stratégie, en le transposant à la situation d'enseignement, comme d'autres auteurs l'ont fait (Astolfi et al., 1997). Toutefois, cette transposition ne réussit pas à tout coup (Astolfi et al., 1997; Potvin, 1998) et Posner et al. en sont conscients.

En effet, Posner et al. savent que face à une anomalie, les élèves peuvent réagir autrement que par une insatisfaction. Le cas échéant, le conflit cognitif et l'accommodation ne se réalisent pas. Plusieurs possibilités permettent à un élève d'éviter un conflit :

1. rejection of the observational theory ;
2. a lack of concern with experimental findings on the grounds that they are irrelevant to one's current conceptions ;
3. a compartmentalization of knowledge to prevent the new information from conflicting with existing beliefs (« Science does not have anything to do with the *real* world ») and ;

4. an attempt to assimilate the new information into existing conceptions (e.g., *Newtonizing* relativistic phenomena). (Posner et al., 1982, p. 221)

Malgré les difficultés possibles, Posner et al. recommandent de chercher à provoquer un conflit cognitif en proposant aux élèves des lectures, des démonstrations, des expérimentations qui permettraient aux élèves de constater des anomalies (Posner et al., 1982, p. 225). Ils suggèrent même de proposer ce type d'activité en devoir, quand cela est possible, afin que l'élève arrive en classe l'esprit préalablement ébranlé.

De plus, les auteurs recommandent aux enseignants d'apprendre à tenir compte des erreurs des élèves qui pourraient interférer avec l'accommodation. L'attention à porter aux erreurs des élèves est aussi proposée par Astolfi, notamment dans *L'erreur, un outil pour enseigner* (Astolfi, 1997). Les erreurs peuvent en effet être révélatrices des conceptions des élèves, d'un progrès, d'une création (Astolfi, 1997). Il est donc souhaitable que l'enseignant développe des stratégies de façon à pouvoir porter attention aux erreurs *in situ*, pas seulement *a posteriori* ; l'erreur ne doit pas être considérée d'office comme une ratée, mais plutôt comme un accès privilégié à ce que l'élève pense, ce qui peut donner une indication du point où se trouve l'élève dans son processus de changement conceptuel. Posner et al. (1982, p. 225) ouvrent sur cette idée en mentionnant qu'idéalement les enseignants devraient développer des techniques d'évaluation pour saisir où en sont les élèves quant au processus du changement conceptuel.

Selon Posner et al., il est essentiel que les enseignants amènent les élèves à être conscients de leurs conceptions par rapport à la nature de la science, à développer une cohérence par rapport à leurs croyances à propos du monde et de la nature et à être sensibles à la fécondité des nouvelles conceptions. Ces considérations rejoignent l'épistémologie et la métacognition. Un enseignant peut avoir l'intention d'aborder l'épistémologie et la métacognition lors de son enseignement, mais il nous paraît qu'avec les élèves du primaire il convienne d'aborder ces sujets avec un contexte ou un prétexte comme un phénomène scientifique plutôt qu'exclusivement sur le plan philosophique. Tout de même, au primaire, la nature de l'activité scientifique peut

être abordée. Par exemple, il est commun que les élèves perçoivent les théories scientifiques comme des vérités absolues ; pour faire évoluer leur conception, plutôt dogmatique, de la nature de l'activité scientifique, l'histoire des sciences peut être mise à contribution (Thouin, 2004a).

Enfin, Posner et al. ont réfléchi sur le rôle de l'enseignant en général et indiquent deux fonctions qu'il devrait assumer pour faciliter l'accommodation. D'abord, Posner et al. souhaitent que soit caduque l'idée selon laquelle l'enseignant a exclusivement le rôle de clarifier les idées, d'expliquer et de transmettre des connaissances, car selon eux, un tel enseignant ne favorise pas l'accommodation, mais seulement l'assimilation. Ils invitent les enseignants à pratiquer le dialogue, comme Socrate, donc à « discuter avec autrui [l'élève], à le laisser exprimer ses propres idées, tout en lui posant des questions sur le sens et la définition des notions qu'il emploie » (Gauthier & Tardif, 2005, pp. 28-29). Ce genre de dialogue peut permettre à l'élève de s'éloigner des prétendues évidences de ses observations, des impressions premières. Une telle pratique ouvre vers une construction cognitive plus collective du fait qu'elle suppose un échange, même s'il n'est que dialogique, d'un à un, entre l'enseignant et l'élève. Cette suggestion est la seule ouverture sociale mentionnée par Posner et al. dans leur article de 1982. Ils ont néanmoins l'obligance de préciser que ce dialogue doit se faire dans un climat agréable et confortable ; il ne doit pas faire en sorte que les élèves se sentent personnellement attaqués. Le deuxième rôle mentionné par Posner et al. soulignent l'importance de la rigueur et de la cohérence de l'enseignant d'un point de vue scientifique ; l'enseignant doit être un modèle en raison de sa pensée scientifique. Les croyances, l'épistémologie et la démarche de l'enseignant ont avantage à être cohérentes avec son enseignement et les sciences.

#### **4.1.3.3 Cadre organisationnel**

D'après les indications pour la pratique enseignante qui concernent la structuration et la mise en œuvre des contenus ainsi que les processus que Posner et al. ont présentées, il est évident qu'ils sont pour d'un environnement matériel varié. En effet, précédemment, nous avons mentionné qu'ils suggèrent de faire faire des

expériences, des démonstrations, des lectures, etc. À part ces implications déduites pour l'organisation matérielle, ils n'apportent rien de plus de ce côté. La salle de classe en tant que telle n'est pas directement abordée.

Le regroupement des élèves n'est pas abordé non plus ; la seule indication sociale concerne le dialogue socratique que l'enseignant peut pratiquer avec l'élève.

L'organisation temporelle est toutefois effleurée quand les auteurs supposent que le changement conceptuel n'est pas instantané, mais probablement graduel. Comme le conflit cognitif, ainsi que l'accommodation qui s'ensuit, ne se produisent pas facilement, les auteurs sont conscients que bien des embûches cognitives peuvent les contrer. C'est peut-être pourquoi ils abordent succinctement le fait que le changement conceptuel n'est pas instantané, même si c'est l'impression que certains chercheurs peuvent en avoir (Vosniadou, 2008). En effet, vers la fin de leur article, Posner et al. soulignent que le changement conceptuel, quoique radical, implique le tâtonnement ainsi que des aller-retour et se déroule fort probablement de façon graduelle :

That an accommodation is a radical change does not, however, entail that it is abrupt. Indeed, there are good reasons to suppose that for students accommodation will be a gradual and piecemeal affair. Students are unlikely to have at the outset a clear or well-developed grasp of any given theory and what it entails about the world. For them, accommodation may be a process of taking an initial step toward a new conception by accepting some of its claims and then gradually modifying other ideas, as they more fully realize the meaning and implication of these new commitments. Accommodation, particularly for the novice, is best thought of as a gradual adjustment in one's conception, each new adjustment laying the groundwork for further adjustments but where the end result is a substantial reorganization or change in one's central concepts. (1982, p. 223)

Selon eux, le changement conceptuel est plutôt complexe et ardu et par conséquent, demande du temps.

#### **4.1.4 Discussion**

Cette discussion se divise en trois parties. En premier lieu, nous effectuons un retour sur les indications pratiques du modèle de Posner et al. d'un point de vue didactique

à partir des relations du triangle didactique (voir la figure 1, p. 11), en deuxième lieu nous présentons quelques critiques de chercheurs du champ de recherche du changement conceptuel ainsi que l'autocritique que Strike et Posner ont publiée en 1992 pour réviser leur modèle, puis en dernier lieu les fonctions visées par le modèle de Posner et al. sont présentées.

#### **4.1.4.1 Point de vue didactique sur les indications pour la pratique d'enseignement**

D'un point de vue didactique, le modèle de Posner et al. (1982) est surtout riche par rapport à la relation élève-savoir du triangle didactique, ce qui semble naturel, puisque le changement conceptuel appartient fondamentalement à cette relation du triangle. En effet, les quatre conditions du changement conceptuel concernent les conceptions que les élèves ont par rapport au savoir ; soit par rapport à leur ancienne conception (l'insatisfaction), soit par rapport à la nouvelle conception (l'intelligibilité, la plausibilité et la fécondité). Posner et al. (1982) mentionnent que les erreurs des élèves peuvent être une manifestation de leurs conceptions. La stratégie majeure mentionnée est le conflit cognitif, avec ses pour et ses contre. Enfin, selon ce modèle, les élèves sont amenés à faire une réflexion épistémologique sur leur conception de la science.

Pour ce qui est de la relation enseignant-savoir, l'enseignant est invité à prévoir dans sa planification une confrontation des conceptions des élèves pour susciter la condition de l'insatisfaction, donc à organiser des démonstrations, des expérimentations ou des présentations de segments de l'histoire des sciences, par exemple, qui sont propices à ébranler les anciennes conceptions des élèves. Par rapport à la trame conceptuelle, selon ce modèle, pour favoriser l'intelligibilité et la plausibilité des concepts, il vaut mieux élaborer l'enseignement avec une sélection de concepts qui sont reliés entre eux par rapport à un domaine conceptuel pour favoriser la cohérence des conceptions, ce qui rejoint le concept didactique de champ notionnel de Vergnaud selon lequel « la connaissance doit être découpée, non en domaines focalisés, mais au contraire assez larges, correspondant chacun à un " espace de situations-problèmes " dont le traitement implique des concepts et des

procédures en étroites connections » (Astolfi & Develay, 2002, p. 62). De plus, l'enseignant est invité à planifier des situations où les concepts sont revus pour que les élèves constatent la fécondité de leur nouvelle conception dans différentes situations (Posner et al., 1982). Astolfi et al. nous mettent toutefois en garde contre la conception « spiralaire » des savoirs qui « se dégrade trop souvent en simples " approches " notionnelles, dont on remet toujours à plus tard et à d'autres la structuration » (2006, p. 215).

La relation enseignant-élève est très légèrement abordée. Par rapport à l'intelligibilité de la nouvelle conception, Posner et al. (1982) proposent d'utiliser des métaphores, des modèles, des analogies ; de représenter le contenu sous différents modes. Un tel souci touche la forme des aides didactiques, un concept qui se classe dans cette relation du triangle didactique, tout comme les techniques d'évaluation que Posner et al. suggèrent de développer pour saisir où en sont les élèves dans le processus de changement conceptuel, selon leurs erreurs. En effet, l'évaluation, formative dans ce cas, permet à l'enseignant de cerner les savoirs de l'élève et de réagir en conséquence, pendant que l'élève prend ses apprentissages au sérieux et fait les efforts nécessaires, ce qui évoque les contrats didactiques que l'enseignant a avec chacun de ses élèves (Thouin, 2004a). Enfin, le fait de prôner le dialogue (Posner et al., 1982) nous paraît aussi une indication qui rejoint la relation enseignant-élève.

En somme, le modèle de Posner et al. donne quelques pistes pour la pratique d'enseignement au primaire. En ce qui concerne le processus du changement conceptuel en tant que tel, il nous semble mettre beaucoup plus l'accent sur l'ébranlement de la conception initiale que sur la construction de la nouvelle conception tant du point de vue théorique que pratique. C'est à se demander si la nouvelle conception peut être acceptée par l'élève si seules les implications pratiques de ce modèle sont exécutées. Cette interrogation est toutefois peu légitime étant donné que les auteurs, en présentant un modèle précurseur de changement conceptuel, n'avaient pas la prétention de prescrire des indications pour la pratique d'enseignement, mais voulaient plutôt proposer un modèle normatif pour tenter une

réponse à la question suivante : « How do learners make a transition from one conception,  $C_1$ , to a successor conception,  $C_2$ ? » (Strike & Posner, 1992, p. 148).

Même si l'exemple que Posner et al. citent dans leur article relève de la physique, à propos du changement conceptuel qui survient entre les concepts de la physique newtonienne et de la relativité restreinte de Einstein (par rapport au temps, plus exactement), le modèle est suffisamment général pour être utilisé avec d'autres concepts, d'autres disciplines scientifiques, à d'autres ordres d'enseignement comme le primaire. D'ailleurs, les indications que les auteurs fournissent par rapport à la pratique enseignante sont très générales, peu contextualisées, donc fort bien généralisables et transférables.

#### 4.1.4.2 Commentaires

Le modèle de Posner et al. a été fort critiqué (Vosniadou et al., 2008; Potvin, 2002), notamment pour son orientation très rationnelle selon laquelle l'activité d'apprentissage des élèves est similaire à celle des scientifiques (Bélanger, 2008; Masson, 2005) et pour son insistance sur le conflit cognitif (Vosniadou, 1999). Certains auteurs (J. Smith, diSessa, & Roschelle, 1993/1994) vont même jusqu'à remettre en question l'appartenance de ce modèle au paradigme du constructivisme tellement l'accent sur l'insatisfaction quant à l'ancienne conception est grand, ce qui, selon ces auteurs va à l'encontre du principe selon lequel l'élève doit élaborer ses connaissances *à partir* de ce qu'il connaît déjà. En fait, Posner et al. expliquent que certaines conceptions majeures doivent être remplacées, mais que certaines doivent rester en place ; tout ce que l'élève a en tête n'a pas à être effacé. De plus, l'idée des conceptions en réseau et l'importance de la cohérence de la nouvelle conception avec celles qui restent en place sont d'autres dimensions du modèle qui font en sorte qu'il semble pouvoir rejoindre le paradigme du constructivisme. Autrement, ce modèle n'aurait pas été retenu pour la présente étude.

Au sujet du conflit cognitif, Posner et al. ont indiqué quelques possibilités d'évitement lorsque les élèves ne sont pas insatisfaits par une anomalie ; Potvin (1998) a élaboré une figure (voir la figure 5 à la page suivante) qui s'apparente au

cycle de l'évolution de la figure 2 (p. 31) et qui illustre les nombreuses occasions qui peuvent faire en sorte que le conflit cognitif ne survienne pas.

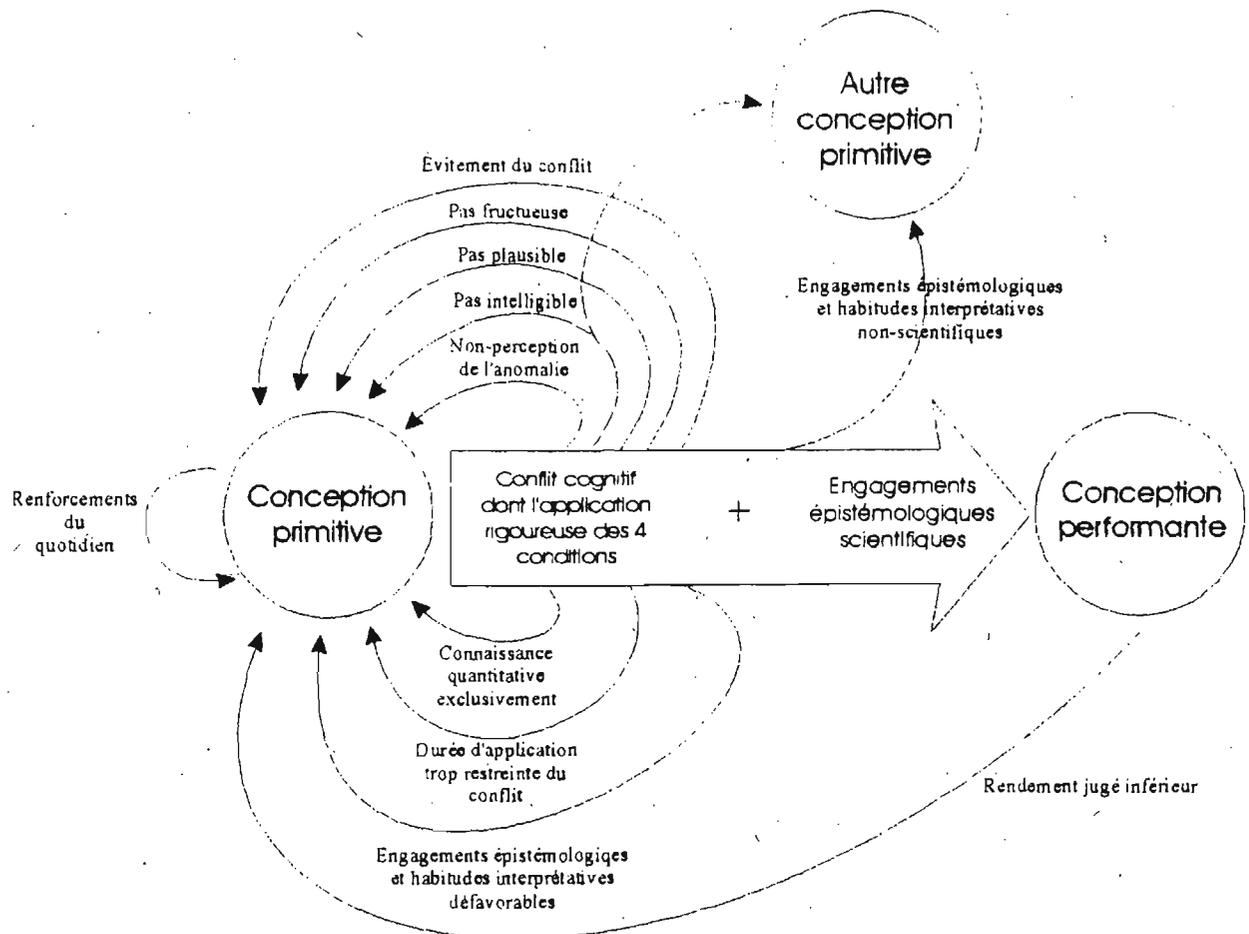


Figure 5 : Les contingences d'échec et de succès du changement conceptuel par le conflit cognitif par Potvin (1998, p. 159)

La figure 5 détaille plusieurs autres contingences d'échec en plus de la non-perception de l'anomalie, dont notamment la non-rencontre des quatre conditions du modèle de Posner et al.. D'ailleurs, selon la figure de Potvin, le conflit cognitif s'opère si les quatre conditions sont appliquées correctement et si les engagements épistémologiques de l'élève sont favorables.

En ce qui a trait à la considération de l'apprentissage comme une activité rationnelle, dans le texte où ils révisent leur modèle de changement conceptuel, Strike et Posner (1992) réitèrent en premier lieu le fondement épistémologique et rationnel de leur

modèle, mais en tempérant un peu, confessant qu'ils ont exagéré la rationalité avec laquelle l'élève peut faire des sciences. Suit l'exemple qu'ils donnent pour nuancer leurs propos antérieurs :

Clearly, for learners, what we assume about classroom events is not all that is going on. For some learners, it may not be what is going on at all. The problem to be solved in the classroom for some learners is that of discovering how to get a good grade. For others the problem may be discovering how to maintain a sense of self-worth in the face of a subject matter that is unintelligible. Or students may conceptualize the task as a piece of academic work instead of a scientific inquiry (Doyle 1983). There are many possibilities. Students may very well approach these classroom problems rationally, but they will not, as a consequence, be engaging in a rational appraisal of a scientific conception. Thus, learners for whom the paramount concern in the class is not the solution of the scientific problem being posed by the teacher may very well elect responses that are rational from the point of view of the learner's problem, but that are irrational from the perspective of solving the scientific problem. (Strike & Posner, 1992, p. 161)

Ainsi, il arrive que les élèves abordent un problème de façon rationnelle, leur souci n'étant toutefois pas la résolution du problème scientifique en soi, mais plutôt l'obtention d'une bonne note. La rationalité est donc relativisée dans cette autocritique. La considération de l'apprentissage comme une activité rationnelle se donc bute à la réalité de l'apprentissage des sciences en classe, ce qui démontre une limite de la cohérence externe du modèle de changement conceptuel de Posner et al. de 1982.

En deuxième lieu, ils élargissent l'écologie conceptuelle, qui était exclusivement épistémologique d'après ses paramètres, à la motivation et au volet social. Par rapport au volet social, ils abondent dans le sens de critiques qu'ils ont reçues ; ils passent à une vision interactionniste du changement conceptuel et abandonnent l'idée selon laquelle le changement conceptuel est essentiellement une construction individualisée et parfois dialogique (Strike & Posner, 1992, p. 169). En effet, l'élève n'est pas qu'un sujet cognitif (Reuter et al., 2007). À nouveau, en confrontant leur modèle avec la réalité, un problème de cohérence externe les pousse à ouvrir à des variables affectives et sociales le changement conceptuel.

Les auteurs reviennent sur les recommandations quant à la confrontation des conceptions ; ils reconnaissent que de plonger les élèves dans une mer d'anomalies n'est pas nécessairement la meilleure stratégie quand les élèves ont peu conscience de leurs conceptions (Strike & Posner, 1992, p. 159). D'autant plus qu'à travers elles, les élèves voient le monde de façon à ce qu'il soit cohérent avec leurs conceptions actuelles: « Concepts are also seen not only as objects of thought but as the tools of thought » (Strike & Posner, 1992, p. 153), ce qui déforme leur perception. De plus, les auteurs ont réalisé que les conceptions sont exprimées selon différents modes, de façon plus ou moins consciente : chez les novices, les conceptions de l'explication d'un phénomène peuvent être présentes sous une forme iconique, comme sous la forme d'une image ou de mouvements (Strike & Posner, 1992, p. 156). Ces problèmes illustrent à nouveau la limite de la cohérence externe entre la réalité et la rationalité de l'apprentissage. Enfin, les conceptions ne sont pas développées sous une forme finie :

It is very likely wrong to assume that misconception are always there in developed or articulated form during science instruction. [...] misconceptions have developmental histories. They are generated by something else in the conceptual ecology. It may be more important for instruction to understand what it is that produces them than it is to understand the character of the misconception itself. (Strike & Posner, 1992, p. 158)

En ce sens, une recherche prospective qu'ils proposent est l'étude des éléments qui supportent ou génèrent les conceptions. Dans les sections 4.2. et 4.3, nous constatons que les auteurs Vosniadou et diSessa ont développé leur modèle en détail par rapport aux structures qui supportent ou génèrent ce que nous appelons *conception*.

Quant aux indications pour la pratique, il nous semble que l'accent est surtout mis sur les moyens qui occasionnent la confrontation des conceptions et l'insatisfaction quant à l'ancienne conception et peu sur les moyens qui favorisent l'acceptation de la nouvelle conception, même si trois des quatre conditions du modèle de Posner et al. (1982) concernent l'acceptation de cette dernière. Pourtant, l'apport de nouvelles informations est indispensable, tout comme les phases de reconstruction telles les activités de structuration (Astolfi et al., 1997, p. 47). Comme Strike et Posner l'ont

reconnu en 1992, l'insistance avec laquelle ils ont recommandé de confronter les élèves avec des anomalies n'en valait pas tant la peine étant donné la faible conscience qu'ont les élèves de leurs conceptions. De plus, comme nous l'avons déjà souligné, le conflit cognitif ne réussit pas à tout coup. Le texte de révision de Strike et Posner (1992) n'a pas été une occasion pour développer outre mesure des implications pour la pratique enseignante, mais plutôt une tribune pour répondre aux critiques, nuancer quelque peu leur modèle et pour donner des perspectives pour le champ de recherche du changement conceptuel.

#### **4.1.4.3 Fonctions du modèle de Posner et al.**

Cette section souligne les fonctions de l'hypothèse globale que représente le modèle de changement conceptuel de Posner et al. ainsi que des hypothèses spécifiques qui le composent. Ce modèle décrit le changement conceptuel (il présente une vision des entités caractéristiques du changement conceptuel) et il l'explique (il tisse des liens de cause à effet en élaborant les conditions qui favorisent le conflit cognitif). Toutefois, il ne vise pas la prédiction, notamment parce que les problèmes de cohérence externe mentionnés limitent cette fonction. Quant à ses composantes, soit les entités que sont les conceptions et les concepts, la fonction de ces dernières est tout juste descriptive. Il n'y a pas de structures ni de liens entre elles qui permettent de les comprendre et de leur donner une fonction d'explication.

## **4.2 Le modèle de Vosniadou**

En 1992, Stella Vosniadou a publié un article sur le changement conceptuel chez les enfants par rapport à l'évolution du concept de la Terre ; en 1994, elle a publié un article qui porte plus spécifiquement sur le changement conceptuel en sciences chez les enfants du primaire et qui est illustré avec de nombreux exemples, dont un qui porte sur l'évolution des conceptions des élèves par rapport au concept de la Terre. Nous basons la majorité de notre analyse du modèle de Vosniadou sur ce second document, plus complet et plus détaillé quant au changement conceptuel, et nous complétons avec des documents plus récents.

Vosniadou reconnaît la contribution de Kuhn (1970) et de Carey (1985) par rapport au changement conceptuel dans un contexte d'apprentissage et d'enseignement en sciences et s'inspire de certains volets de leurs travaux. De Kuhn, on reconnaît l'utilisation du concept de l'incommensurabilité entre deux concepts scientifiques concurrents et de Carey, la présence de théories naïves qui permettent aux enfants de comprendre le monde au quotidien. Comme nous le voyons dans la section sur les entités de son modèle, Vosniadou met un accent sur le contraste et le fossé qui existent entre ce que nous appelons une *conception* et un *concept scientifique*, ce qui fait référence à l'incommensurabilité.

La chercheuse développe beaucoup ses prémisses par rapport à l'hypothèse que les enfants ont des théories naïves en tête, des théories de deux types : la théorie cadre et les théories spécifiques. Selon elle, la théorie cadre en physique est à la base de l'épistémologie et de l'ontologie d'un individu et est construite tôt dans l'enfance. Cette théorie générale contraint le processus d'apprentissage un peu comme le paradigme de la science normale contraint le développement de certaines théories scientifiques selon Kuhn (Vosniadou, 1994). Des présuppositions épistémologiques et ontologiques de la théorie cadre découle la façon dont une personne interprète ses observations du monde et les nouvelles informations qu'elle reçoit à propos de ce dernier ; à partir de l'interprétation de ses observations et de l'information ainsi qu'à partir de ses croyances, la personne construit des théories spécifiques à propos des divers phénomènes du monde physique (Vosniadou, 1994, p. 45). Les théories spécifiques servent à décrire la structure interne d'un domaine conceptuel et sont en fait spécifiques à un phénomène. Elles sont composées d'un ensemble de propositions et de croyances à propos des propriétés et des fonctionnements d'objets physiques particuliers et sont continuellement enrichies et modifiées. Pour distinguer les deux types de théories, Vosniadou donne l'exemple suivant :

The statement « hotness can transfer from one object to another which is less hot by direct contact » is one of the beliefs of a specific theory of heat transfer. This belief is constrained by the underlying presupposition that « hotness is a transferable property of physical objects » that is part of a naive framework theory of physics. (Vosniadou, 1994, p. 48)

Les présuppositions épistémologiques et ontologiques de la théorie cadre étant bien ancrées, un changement conceptuel est particulièrement difficile lorsque certaines présuppositions fondamentales doivent être révisées. D'ailleurs, Vosniadou décrit le changement conceptuel dont elle parle comme une *révision*, qu'elle oppose à un apprentissage où il y a simplement un *enrichissement* des connaissances. Cette distinction entre deux processus d'apprentissage s'apparente à la dichotomie *processus de changement – processus d'acquisition* de R. Legendre (2005) et à celle *accommodation – assimilation* de Posner et al. (1982). Selon Vosniadou :

Enrichment involves the addition of information to existing conceptual structures. Revision may involve changes in individual beliefs or presuppositions or changes in the relational structure of a theory. Revision may happen at the level of the specific theory or at the level of the framework theory. (Vosniadou, 1994, p. 46)

Toujours selon Vosniadou, tant l'enrichissement que la révision sont des processus d'apprentissage qui s'effectuent graduellement, l'enrichissement étant plus aisé et la révision, plus ardue, surtout lorsque la révision a lieu au niveau des présuppositions ontologiques ou épistémologiques parce que ces présuppositions représentent des systèmes d'explication relativement cohérents qui ont été confirmés à de nombreuses reprises au fil des ans (Vosniadou, 1994, p. 68). D'ailleurs, selon Vosniadou, les tentatives de révision des présuppositions épistémologiques et ontologiques sont celles qui risquent le plus de provoquer des *misconceptions*, de mauvaises conceptions. Ces *misconceptions*, ainsi que les autres entités majeures du modèle de Vosniadou sont présentées dans la section suivante.

#### **4.2.1 Les entités du modèle de changement conceptuel de Vosniadou**

Vosniadou, comme Posner et al., a peu défini ce qu'elle entend par concept, mais a décliné ce que nous appelons *conception* en quelques niveaux.

Sans définir exactement la notion de *concept*, Vosniadou laisse entendre que les concepts scientifiques sont *incommensurables* par rapport aux conceptions initiales. Pour le reste du discours de Vosniadou à propos des concepts, il n'est pas clair

qu'elle discute seulement des concepts scientifiques ; il semble que les conceptions soient incluses dans la catégorie *concept* quand elle parle de l'organisation des concepts de façon générale. Selon elle, la relation que les concepts entretiennent entre eux n'est pas due à la similarité qui unit ces concepts, mais plutôt à une théorie cadre explicative dans laquelle les concepts sont enracinés (Vosniadou, 1994, p. 46). Cette position pour les concepts en-réseau selon une théorie cadre est conforme à la prémisse des théories naïves abordées dans la section précédente : la théorie cadre fournit des présuppositions épistémologiques et ontologiques en physique et les théories spécifiques fournissent une explication de la structure interne d'un réseau de concepts d'un phénomène ou d'un domaine particulier.

Cette vision des concepts unis par un cadre explicatif est transposée à la notion de ce que nous appelons les *conceptions*. Vosniadou regroupe les conceptions sous l'appellation *mental models*, soit modèles mentaux, qui ont divers niveaux selon le progrès de l'apprentissage. Selon Vosniadou :

Mental models are dynamic and generative representations which can be manipulated mentally to provide causal explanations of physical phenomena and make predictions about the state of affairs in the physical world. (1994, p. 48)

Elle utilise aussi le terme *representation* pour expliquer la notion de modèle mental, c'est-à-dire pour indiquer que le modèle mental est généré pendant le fonctionnement cognitif et qu'il préserve la structure de l'objet qu'il représente selon les théories cadre et spécifiques qui y sont reliées (Vosniadou, 1994).

Vosniadou travaille sur des nombres définis de modèles mentaux à propos de chaque phénomène (un exemple est donné dans la section suivante), plus exactement sur une suite de modèles mentaux génériques par lesquels les élèves passent pendant la progression de leur apprentissage en physique, sous-entendant un nombre relativement fini de possibilités de modèles mentaux pour un phénomène scientifique donné. Néanmoins, elle mentionne qu'il arrive que les modèles mentaux soient élaborés « on the spot to deal with the demand of specific problem-solving situations » (Vosniadou, 1994, p. 48). Les modèles mentaux résultant des théories naïves, il est sans doute naturel, selon Vosniadou, que les mêmes modèles reviennent

chez plusieurs élèves ou à plusieurs reprises chez un même élève s'ils découlent des mêmes présuppositions. En ce sens, elle mentionne que des modèles mentaux qui ont été utiles et efficaces par le passé pour un élève sont emmagasinés dans la mémoire à long terme et réemployés lorsque nécessaire. Enfin, les résultats de ses recherches empiriques convergent vers seulement quelques modèles mentaux, déclinés en quelques niveaux, pour chaque phénomène scientifique étudié (Vosniadou, 1994).

Le modèle mental qui est simplement basé sur l'expérience de tous les jours et sur des présuppositions épistémologiques et ontologiques de base, qui n'a encore subi aucune influence extérieure scolaire ou culturelle est appelé *modèle initial* (Vosniadou, 1994, p. 52). Il s'agit d'un modèle simple et de base selon lequel un jeune enfant se représente un phénomène. Une fois que l'élève est en contact avec un modèle scientifique culturellement accepté, il développe normalement un *modèle synthétique*. Un modèle synthétique combine des aspects du modèle initial avec des aspects du modèle scientifique culturellement accepté par la communauté scientifique (Vosniadou, 1994, p. 53). Parce que les modèles synthétiques représentent une tentative de réconciliation entre un modèle initial et un modèle scientifique selon les présuppositions de la théorie cadre de l'élève, Vosniadou nomme les modèles synthétiques *misconceptions* (Vosniadou, 1994, p. 64). Comme le modèle scientifique et le modèle initial peuvent être en contradiction sur différentes facettes, différents modèles synthétiques existent par rapport à un objet. Dans la prochaine section, le processus du changement conceptuel est expliqué selon Vosniadou et un exemple permet de saisir les différentes étapes par lesquelles s'effectue la progression des modèles mentaux au cours du changement conceptuel.

#### **4.2.2 Le processus du changement conceptuel selon Vosniadou**

Comme mentionné précédemment, le changement conceptuel qui nécessite une révision est difficile. Selon Vosniadou, dans le cas du processus d'apprentissage du changement conceptuel, il y a risque d'échec surtout quand des présuppositions de la théorie cadre doivent être révisées. Ces échecs se manifestent par des *inconsistances*, des *connaissances inertes* ou des *modèles synthétiques*. Les *inconsistances* sont

produites quand des facettes d'information en conflit sont simplement ajoutées à la structure existante (Vosniadou, 1994, p. 49), ce qui rappelle l'assimilation, plus facile et attrayante, parfois utilisée à tort au lieu de l'accommodation (Posner et al., 1982). Les *connaissances inertes* sont produites quand l'information inconsistante avec la théorie naïve est emmagasinée dans une microstructure à part et utilisée seulement à certaines occasions, pour des tâches scolaires, par exemple, ce qui correspond aux réponses d'élèves qui ont des bons résultats aux examens de sciences mais qui ne peuvent pas qualitativement expliquer un phénomène physique (Viennot, 1979). Finalement, les *modèles synthétiques* sont produits lorsqu'il y a une tentative de fusion entre un modèle initial et un modèle scientifique.

À la manière de Vosniadou, qui les utilise beaucoup, nous recourons à des exemples pour expliquer le processus de changement de son modèle ; nous présentons un exemple avant de présenter une définition du changement conceptuel en lien avec l'axiologie, les entités et les exemples de son modèle de changement conceptuel.

Vosniadou illustre régulièrement son propos avec la Terre en tant qu'objet astronomique comme exemple de contenu scientifique (Vosniadou, 1994; Vosniadou & Brewer, 1992; Vosniadou et al., 2008). Selon ses recherches, les modèles mentaux à propos de la Terre sont ceux de la figure 6.

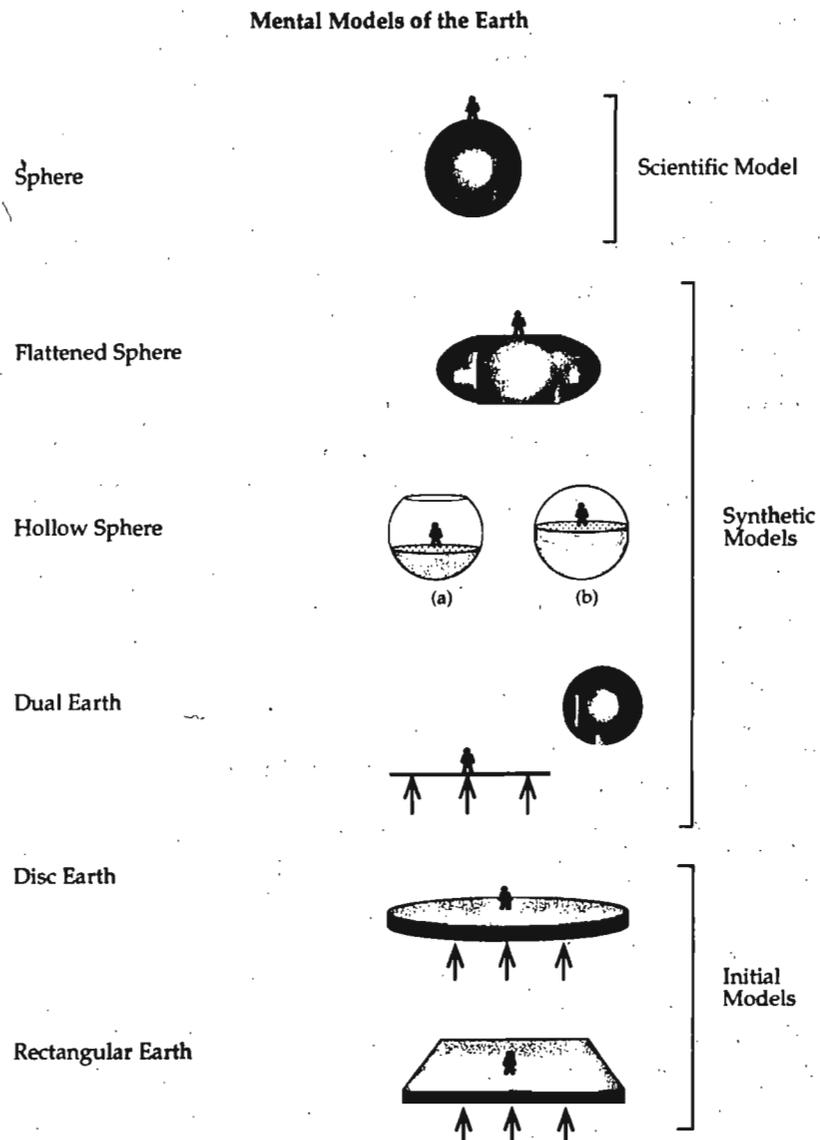


Figure 6 : Les modèles mentaux de la Terre (Vosniadou, 1994, p. 53)

Selon Vosniadou (1994), ce sont les présuppositions épistémologiques et ontologiques ainsi que les croyances et les observations qui occasionnent ces différents modèles selon l'ampleur de leur fusion avec les présuppositions reliées au modèle scientifique culturellement accepté. L'hypothétique structure des éléments de la théorie cadre et de la théorie spécifique sous-jacentes aux modèles mentaux à propos de la Terre chez les enfants est représentée à la figure 7.

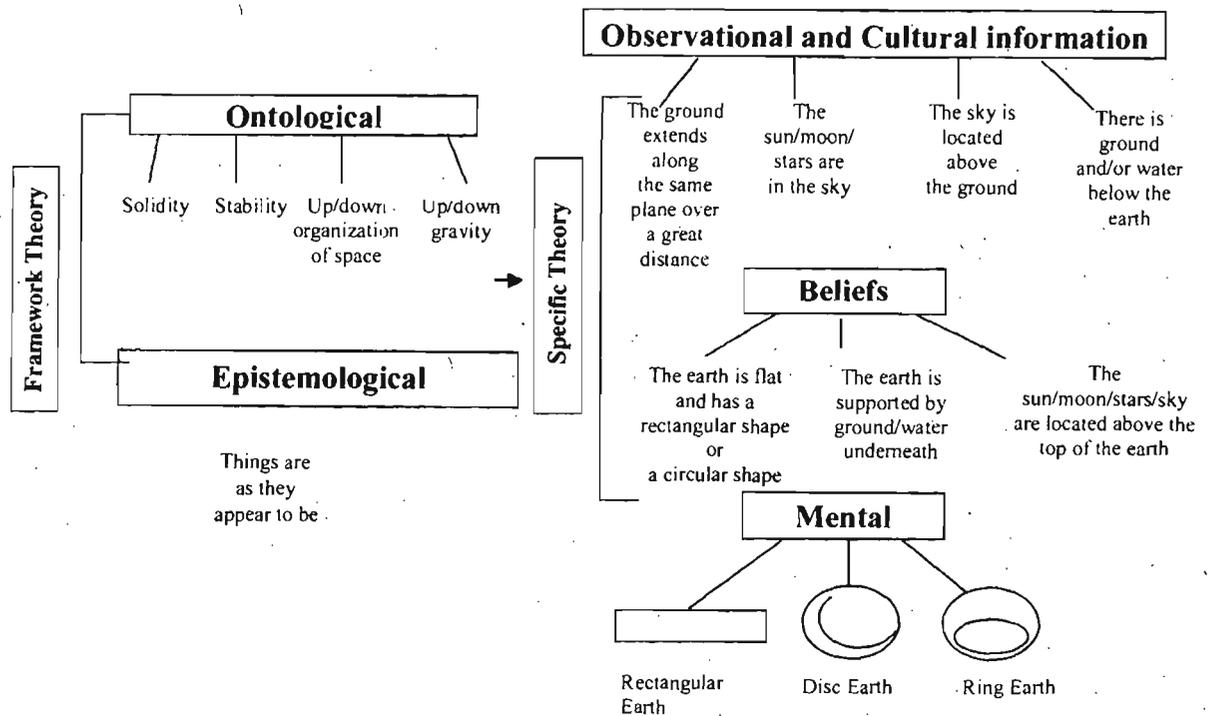


Figure 7 : Structure hypothétique des éléments de la théorie cadre et de la théorie spécifique sous-jacentes aux modèles mentaux de la Terre chez les enfants (Vosniadou et al., 2008, p. 8).

Les deux présuppositions que Vosniadou (1994) présente comme majeures sont : l'espace est organisé selon les directions haut et bas par rapport au sol ; les objets sans support tombent vers le bas. Selon Vosniadou, ces présuppositions sont telles puisque « children seem to start by categorizing the Earth as a physical object - rather than as an astronomical object - and apply to it all the presuppositions that apply to physical objects in general. » (Vosniadou, 1994, p. 54). Le modèle synthétique *dual Earth* (voir la figure 6), la Terre en double, illustre bien comment le modèle scientifique est en conflit avec le modèle initial en tenant toujours compte des présuppositions hypothétiques de la théorie cadre. En effet, selon le modèle synthétique de la Terre en double, l'élève pense que la Terre où il vit est plate et qu'il existe aussi une autre Terre qui est une planète ronde dans l'espace, dans le ciel. Vosniadou explique ce modèle synthétique comme suit :

By forming the dual Earth model students add the scientific information to their existing conceptual structures without changing their underlying beliefs and presuppositions. Models such as the dual Earth one are clear demonstrations of how the mechanism of accretion can produce a

misconception, when the information added to the knowledge base is inconsistent with what is already there. (Vosniadou, 1994, p. 55)

Comme mentionné précédemment, cette assimilation sans révision occasionne une *misconception*. Les modèles *hollow sphere*, sphère creuse, et *flattened sphere*, sphère aplatie, sont aussi qualifiées de *misconceptions* par Vosniadou, mais résultent de changements partiels à propos des croyances et des présuppositions en place ; certaines révisions ont eu lieu, mais elles n'ont pas encore toutes eu lieu.

Vosniadou poursuit son étude avec la rotation de la Terre et le concept du cycle du jour et de la nuit. Elle conclut qu'une condition nécessaire, quoique non suffisante pour acquérir le concept du cycle du jour et de la nuit est d'avoir un modèle sphérique ou à la limite, synthétique, de la Terre ; pas un modèle initial. Ce constat a enrichi sa compréhension du changement conceptuel de deux façons :

First, it showed that there is a sequence in which concepts are acquired in a conceptual domain, such that the acquisition of some concepts (e.g., spherical Earth may be a prerequisite to the acquisition of other concepts (e.g., day/night cycle)). Second, it demonstrated the importance of the mental model itself as a constraint on the knowledge acquisition process. (Vosniadou, 1994, p. 58)

Ainsi, Vosniadou tire de ses travaux des conclusions quant à l'ordre dans lequel les concepts *structure de la Terre* et *cycle du jour et de la nuit* (MEQ, 2001, p. 158-159) devraient être enseignés, ce qui laisse supposer qu'il y a peut-être un ordre idéal dans lequel les concepts de sciences devraient être abordés. Puis, elle explique le côté ardu, difficile du changement conceptuel en indiquant qu'il faut être sensible aux modèles mentaux présents chez l'élève qui peuvent le satisfaire et donc l'empêcher de passer au modèle scientifique.

La seule explication que Vosniadou donne du changement conceptuel en tant que tel, en physique en général, et qui se rapproche d'une définition est : « As in the previous cases, the process of conceptual change appears to proceed through a gradual revision of the presuppositions and beliefs of the specific and framework theories » (Vosniadou, 1994, p. 63). Selon Vosniadou, le changement conceptuel correspond donc à une révision, un changement, des présuppositions, des croyances et des

observations des théories cadre et spécifiques. Selon elle, ce changement conceptuel, quoique radical, s'effectue graduellement, et est détectable selon l'évolution des modèles mentaux. À partir de cette compréhension du processus du changement conceptuel, Vosniadou propose quelques pistes pour la pratique enseignante.

En résumé, le modèle de changement conceptuel de Vosniadou (1994) est élaboré à partir des composantes que sont les entités et de leurs relations présentées dans les deux colonnes indépendantes du tableau IV.

| <b>Composantes</b>  | <b>Relations</b>   |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Théorie cadre               <ul style="list-style-type: none"> <li>o Présuppositions ontologiques</li> <li>o Présuppositions épistémologiques</li> </ul> </li> <li>- Théorie spécifique               <ul style="list-style-type: none"> <li>o Observations</li> <li>o Croyances</li> <li>o Modèle initial</li> </ul> </li> <li>- Modèles mentaux (représentations, conceptions)               <ul style="list-style-type: none"> <li>o Modèle initial</li> <li>o Modèle synthétique</li> <li>o Modèle scientifique</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Organisation des présuppositions et des croyances en théories ;</li> <li>- Révision des présuppositions et des croyances lors du changement conceptuel ;</li> <li>- Les théories naïves que sont les théories cadre et spécifiques occasionnent les modèles mentaux.</li> </ul> |

Tableau IV : Composantes du modèle de changement conceptuel de Voaniadou (1994) et relations entre elles

### 4.2.3 Indications pour la pratique d'enseignement

Le modèle de Vosniadou permet de saisir les possibles étapes du changement conceptuel. Vosniadou déplore qu'il y ait peu de liens entre la pratique et la recherche sur le changement conceptuel (1999). Alors, même si ce modèle détaille profondément ce que sont les entités impliquées dans le changement conceptuel et est fort abstrait, il offre aussi quelques indications pour la pratique enseignante.

#### 4.2.3.1 Structuration et mise en œuvre des contenus

« If strongly held presuppositions and beliefs lie at the roots of misconceptions in science learning and are not going to wither away on their own, it is important to understand them and to take them into consideration in the design of instruction »

(Vosniadou, 1994, p. 66). Vosniadou sous-entend par cette recommandation que l'enseignement devrait tenir compte des présuppositions et les croyances des théories naïves qui occasionnent les modèles mentaux et non sur les conceptions directement.

Pour expliquer son propos, elle donne un exemple à partir du concept de la Terre :

For example, telling a child who believes that people live on flat ground inside a hollow sphere, that the Earth is *not* hollow, will not solve this child's problem with the notion of the spherical Earth. Children believe that the Earth is a hollow sphere because they cannot reconcile their perception of a flat Earth with the idea of roundness and with their presupposition that gravity operates in an up/down fashion. What children need in order to get rid of this misconception is a lesson on gravity and a lesson on how round things can sometimes appear to be flat. Otherwise, one misconception will be followed by another, and the students will remain confused. (Vosniadou, 1994, p. 67)

Il semble que pour suivre cette recommandation de Vosniadou quant à la planification du contenu à partir des présuppositions et des croyances des élèves, à partir de leurs théories naïves, l'accès à un recueil ou à une liste de ces théories naïves serait souhaité. Beaucoup de travaux de ce type ont été réalisés par différents chercheurs comme Duit et Thouin au sujet des conceptions initiales fréquentes ; il n'y a toutefois pas de recueils des présuppositions et des croyances organisées en théories naïves. Dans son article de 1994, Vosniadou présente l'exemple du concept de la Terre ainsi que les théories qui y sont rattachées, ainsi qu'un exemple du changement conceptuel à propos de la chaleur, un à propos du cycle du jour et de la nuit et un autre à propos de la force ; ces exemples fournissent des indications quant aux théories naïves qui occasionnent les modèles mentaux et qui proviennent de son analyse des données empiriques qui portent sur les concepts susmentionnés, mais selon nous, ces quelques théories ont un usage limité quand on considère l'ensemble des savoirs essentiels au programme.

Toujours par rapport aux contenus, Vosniadou et al. (2008) recommandent qu'en planifiant, l'enseignant anticipe les expansions futures d'un concept dans l'objectif de rendre plus aisé un changement conceptuel ultérieur. Par exemple, au premier cycle, lorsque les besoins de la plante (MEQ, 2001, p. 149) sont enseignés, il serait important que les enseignants attirent l'attention des élèves sur le fait qu'elles ont

besoin d'*air*, et ce, même si la photosynthèse n'est pas au programme de ce cycle (afin de faciliter son apprentissage au troisième cycle), l'objectif étant de tenter de prévenir que les élèves aient ultérieurement la conception que l'arbre prend sa masse dans le sol ou l'eau, comme le pensait van Helmont au XVII<sup>e</sup> siècle (Astolfi, 2007).

En ce sens, Vosniadou et al. soulignent que :

The concepts that are considered to be « simpler » are usually the ones closer to children's intuitive understandings. Thus, children's initial theories are confirmed and strengthened through instruction, resulting in cognitive inflexibility that widens the gap between children's current knowledge and the to-be-acquired information, hindering further understanding. (Vosniadou et al., 2008, p. 27)

Cette recommandation va quelque peu à l'encontre d'une planification à long terme où la progression des concepts va du plus simple au plus complexe (Vosniadou et al., 2008). Vosniadou et al. sous-entendent donc qu'il serait peut-être profitable pour les élèves que certains concepts considérés comme difficiles soient au programme plus tôt. Par rapport au concept de la Terre, Vosniadou pense que si le concept de gravité était enseigné plus tôt, les théories naïves seraient déjà en partie révisées, ce qui aiderait à la compréhension au modèle scientifique de la Terre (1994).

Enfin, Vosniadou propose l'enseignement de moyens d'organiser, de structurer, de schématiser et de modéliser les savoirs (Vosniadou et al., 2008). Par exemple, elle suggère d'employer la schématisation, l'usage délibéré d'analogies et la carte conceptuelle.

#### **4.2.3.2 Processus**

Vosniadou souligne l'importance du rôle de l'élève dans son apprentissage. En ce sens, elle souligne l'importance de l'amener à être conscient que ses croyances et présuppositions ne sont pas des vérités, mais des interprétations théoriques sujettes à falsification. (Vosniadou, 1994). Cette position relativement à l'importance du processus de prise de conscience chez l'élève n'est pas sans rappeler la considération de l'apprentissage en tant qu'activité rationnelle par Posner et al. (1982). Vosniadou donne quelques moyens d'aider les élèves dans cette prise de conscience :

- Provide children with situations in which they can engage in the active « doing » of science - present them with problem solving situations that require observation and experimentation and the testing of hypotheses.
- Encourage children to provide verbal explanations of phenomena, to shape these explanations with other students, to defend them against criticism, and to compare them to the explanations of experts.
- Take students' mental models seriously and create environments that allow students to express their representations of situations, to manipulate them, to test them, and to have the experience of revising them successfully. (1994, p. 67)

Selon Vosniadou, cette sensibilité métacognitive (conceptual awareness) s'accompagne d'une flexibilité cognitive, laquelle favorise les expériences de succès en changement conceptuel.

En ce qui a trait au conflit cognitif, Vosniadou l'aborde, mais émet bien des réserves.

Voici une contrindication de Vosniadou :

Instruction based on the presentation of counterintuitive facts (such as the information regarding the shape of the Earth) cannot by definition lead to conceptual change because it does not provide students with all the information they need to have in order to revise their naive theories. Such instruction can only lead to the accretion of inconsistent information in the knowledge base with all the unwanted implications earlier discussed. [...] It is interesting to note that many conceptual conflict producing situations used by science educators confront students' synthetic mental models rather than the presuppositions of the naive framework theory responsible for creating these mental models. (1994, p. 67)

Vosniadou associe le conflit cognitif au modèle classique de Posner et al. et interprète que ces auteurs considèrent que le changement conceptuel se produit rapidement (Vosniadou, 2008), alors elle ne recommande pas le conflit cognitif comme stratégie en 1994. Toutefois, elle revient quelque peu sur sa position en 2008. En effet, dans ce dernier texte, sans encourager l'emploi unique de la stratégie du conflit cognitif, elle propose l'utilisation de cette stratégie si celle-ci est employée de façon ponctuelle sur la longue période de temps durant laquelle le changement conceptuel s'échelonne selon elle (Vosniadou et al., 2008).

### 4.2.3.3 Organisation matérielle et temporelle

Vosniadou propose que les processus de la section précédente se déroulent en groupe. Elle est pour une interaction sociale entre l'enseignant et les élèves ainsi qu'entre les élèves entre eux :

Considerable social support is required for this type of instruction. One way teacher can provide the sociocultural environment to encourage metaconceptual awareness is to ask students to participate in dialogical interaction, which is usually whole-class discussion. (Vosniadou et al., 2008, p. 27)

Selon elle, une discussion a comme premier avantage de permettre aux élèves de comprendre la nécessité de devoir réviser leurs croyances profondément plutôt que de façon superficielle, puis a comme deuxième avantage de pousser les élèves à prendre le temps et de faire l'effort de s'engager consciemment et délibérément dans la révision nécessaire pour le changement conceptuel (Vosniadou et al., 2008).

Selon les moyens que Vosniadou propose pour amener les élèves à devenir de plus en plus conscients de leurs théories naïves, il est clair qu'elle recommande de varier le matériel proposé aux élèves, de les inviter à manipuler, à expérimenter, à leur donner du matériel pour qu'ils puissent représenter leurs modèles mentaux et les tester. Par exemple, en ce sens, un enseignant pourrait inviter les élèves à illustrer la Terre telle qu'ils la perçoivent par un dessin ou une maquette.

Par rapport à l'organisation temporelle, elle soutient qu'il faut planifier l'enseignement des concepts à long terme pour pouvoir avoir une perspective des moments clés où le changement conceptuel risque d'être nécessaire (Vosniadou et al., 2008). Selon elle, une telle planification permet de réduire les écarts entre les différentes théories naïves des élèves.

### 4.2.4 Discussion

Nous présentons d'abord le point de vue didactique des indications pour la pratique d'enseignement à partir des relations du triangle didactique. Nous n'enchaînons toutefois pas avec les critiques et les limites du modèle de Vosniadou dans la

présente section puisque le modèle de Vosniadou est en confrontation avec le modèle de diSessa :

Cette confrontation est peut-être l'une des seules jusqu'à maintenant dans le programme de recherche [qui porte sur changement conceptuel] à répondre aux critères de ce que l'on pourrait appeler une « confrontation authentique » : deux modèles théoriquement et empiriquement élaborés, tentant d'occuper le même espace dans la problématique du changement conceptuel, au moins partiellement incompatibles et ouvertement en opposition. (Bélanger, 2008, p. 79)

Comme diSessa et Vosniadou se critiquent mutuellement, nous présentons des commentaires à propos des deux modèles dans la discussion de la section 4.3.4.

#### **4.2.4.1 Point de vue didactique sur les indications pour la pratique d'enseignement**

En ce qui concerne la relation élève-savoir, Vosniadou nuance énormément l'utilisation du conflit cognitif (1994), mais considère que cette stratégie peut être utilisée de façon ponctuelle (2008). Puis, elle mentionne quelques moyens de stimuler la sensibilité métacognitive des élèves ; elle incite les élèves à avoir une conception de la science non dogmatique, donc rationaliste, par exemple, pour que les élèves ne considèrent pas leurs conceptions, leurs croyances, leurs présuppositions ou les conceptions scientifiques comme des vérités (Vosniadou, 1994). Aussi, Vosniadou propose d'enseigner des moyens d'organiser, de structurer, de schématiser et de modéliser les savoirs. Ce genre d'interventions évoque les activités de structuration, qui permettent l'intégration des nouveaux savoirs (Astolfi et al., 2006). Par ailleurs, quand Vosniadou invite les enseignants à proposer des problèmes aux élèves, les activités de résolution de problème sont abordées. Cependant, il n'y a pas de détails à cet effet pour aider l'enseignant à développer des problèmes. Ce conseil, même s'il est vague, est juste en regard des travaux de chercheurs tels Astolfi et Thouin pour qui proposer un problème aux élèves est essentiel pour qu'ils s'investissent dans leurs apprentissages. Permettre aux élèves d'être actifs en sciences, de les faire manipuler, expérimenter et observer ; encourager les élèves à expliquer les phénomènes et à confronter leurs explications avec leurs pairs et des experts ; prendre les modèles mentaux des élèves au sérieux et

leur permettre de les exprimer ou de les représenter avec du matériel sont autant d'indications pratiques qu'elle donne à cet effet. Il est à noter que ces moments où les élèves s'expriment peuvent être des occasions où l'enseignant peut appréhender quel modèle mental ses élèves ont en tête et tenter d'induire quelles sont les présuppositions qui y sont associées.

Malheureusement, concernant la relation enseignant-élève, Vosniadou n'explique pas de moyens didactiques qui aideraient l'enseignant à saisir les présuppositions des théories naïves des élèves à partir du modèle mental qu'ils emploient. Il est clair que ces présuppositions sont implicites, mais si le souhait est de rejoindre ces présuppositions plutôt que les modèles mentaux, plus superficiels, il aurait été intéressant que des pistes pour la pratique d'enseignement soient données de façon explicite. D'autant plus que Vosniadou accorde à ces dites présuppositions une très grande importance.

En regard de l'élaboration des contenus, une planification à partir des présuppositions et des croyances des élèves est suggérée, ce qui pourrait influencer l'ordre dans lequel les concepts sont enseignés. Comme mentionné précédemment, selon Vosniadou (1994), le concept de gravité devrait être enseigné avant le concept de la Terre en tant qu'objet astronomique sphérique, en tant que planète. Encore par rapport à la planification des concepts, selon elle, les concepts sont idéalement enseignés en tenant compte de leur complexification ultérieure. En effet, au primaire, plusieurs concepts ont subi une grande transposition didactique, sont vulgarisés et peu abordés en profondeur. Par exemple, *effets de l'attraction gravitationnelle sur un objet* est au programme (MEQ, 2001, p. 157), mais pas le concept de la force gravitationnelle en soit, en tant que processus. Vosniadou invite les enseignants à anticiper les apprentissages ultérieurs des élèves en n'hésitant pas à border des concepts plus complexes lorsque nécessaire afin que le changement conceptuel soit plus aisé plus tard, ce qui peut rappeler la boucle de rétroaction du cycle de l'évolution (voir la figure 2, p. 31). Finalement, selon Vosniadou et al. (2008), les concepts plus complexes ont avantage à être abordés avant les concepts simples et,

en conformité avec sa vision du changement conceptuel graduel, elle recommande de planifier passer du temps sur chaque concept enseigné.

Certaines des études de Vosniadou ont été réalisées avec des enfants ; son modèle est ainsi pertinent pour l'enseignement des sciences au primaire. Des concepts en physique, en astronomie et dernièrement en mathématiques (Vosniadou et al., 2008) ont fait l'objet de ses recherches, ce qui valide officieusement son modèle pour ces disciplines.

### **4.3 Le modèle de diSessa**

En 1988, Andrea A. diSessa a publié le chapitre *Knowledge in pieces*, un titre qui en dit long sur l'axiologie de sa pensée au sujet de l'apprentissage en sciences, du changement conceptuel plus exactement. Selon diSessa : « Intuitive physics is a fragmented collection of ideas, loosely connected and reinforcing, having none of the commitment or systematicity that one attributes to theories » (1988, p. 50). diSessa se démarque de Vosniadou à cet égard ; Vosniadou (1994) stipule plutôt que les enfants développent tôt dans l'enfance des théories naïves : une théorie cadre de la physique naïve, laquelle influence les théories spécifiques relatives aux différents domaines conceptuels.

Ainsi donc, diSessa se détache d'un paradigme pour tenter d'en proposer un nouveau. D'abord avec l'idée du savoir en pièces, puis avec l'idée de la continuité. En ce sens, il trouve superficiel d'amener les élèves à changer de *théorie* en les confrontant avec des évidences et des démonstrations ou en argumentant avec eux (diSessa, 1988) ; il propose plutôt de tirer un bénéfice des *pièces*, des fragments que les élèves ont en tête, pour développer la compréhension des sciences : « *Building a new and deeper systematicity is a superior heuristic to the "confrontation" approach many theorists have taken* » (diSessa, 1988, p. 51). Cette idée de la construction d'une systématique ainsi que l'idée du savoir en pièces ont été développées dans de nombreux textes de diSessa, dont *Toward an Epistemology of Physics*, un article phare publié en 1993.

En 1993, au lieu d'utiliser *intuitive physics*, diSessa emploie son expression désormais connue *intuitive sense of mechanism*, qui réfère à un système :

Major claims are that the intuitive sense of mechanism involves many simple elements whose origins are relatively unproblematic, as minimal abstractions of common events. The system as a whole is only weakly organized, and it is subject to a number of constraints including a relative lack of depth in justificatory structure and the inability to resolve conflicts on the basis of knowledge within the system. Despite weak organization, the system exhibits some broadly characteristic traits, a number of which are identified. They include a prominent causal schematization in terms of agents, patients, and interventions (« causal syntax ») ; a tendency to focus on static characterizations of dynamic events, including the global form of trajectories ; and a relatively rich phenomenology of balancing and equilibrium. (diSessa, 1993, p. 105)

Selon diSessa, ce sens de la mécanique permet d'estimer la probabilité d'un événement physique, de faire des prédictions, de donner des explications, des causes et des descriptions d'un événement (1993) : de globalement s'expliquer le monde et la nature. Ce sens de la mécanique est riche, divers, délicat, inarticulé et non systématique (diSessa, 1993), ce qui va dans le sens du savoir en pièces détachées et qui donne une visée à tout son modèle de changement conceptuel.

Le sens de la mécanique naïf a peu de profondeur, n'est pas systématique et est très large, peu compact ; un sens de la mécanique compact qui réussit à tenir compte de la diversité de phénomènes physiques doit être coordonné (diSessa, 1993), c'est-à-dire que les pièces de savoir doivent être agencées, structurées, coordonnées pour tendre vers un sens de la mécanique expert. La voie que ce modèle de changement conceptuel explore est l'établissement d'une continuité entre les explications disparates d'événements et les lois fondamentales ; il prend au pied de la lettre le principe d'Ausubel selon lequel on doit bâtir les nouvelles connaissances à partir des anciennes. Selon diSessa, l'établissement de cette continuité est possible par la réorganisation du savoir intuitif en pièces notamment en réorganisant et priorisant les *p-prims*, les primitives phénoménologiques existantes, lesquelles sont une des entités du modèle de diSessa qui sont présentées dans la prochaine section.

### 4.3.1 Les entités du modèle de diSessa

Les petites pièces du savoir en pièces du modèle de diSessa sont les *p-prims*, les primitives phénoménologiques. Ces entités sont très petites, plus petites que les conceptions (Bélanger, 2008) ; elles permettent de comprendre et d'expliquer la formation des conceptions, scientifiques ou non. Cette section débute avec l'entité plus large et intégratrice du modèle de diSessa, la *classe de coordination*, qui correspond à la notion de concept (diSessa, 2006 ; diSessa & Sherin, 1998), et se poursuit avec les *p-prims*, une composante des classes de coordination.

diSessa a mis beaucoup de soin à définir le contenu qui est visé dans le changement conceptuel, soit les concepts scientifiques. diSessa et Sherin (1998, p. 1188) déplorent que d'autres chercheurs (comme Carey, par exemple) utilisent sans discernement le terme *concept* pour parler d'entités complètement différentes tels *chien*, *nombre* ou *force*, ce qui occasionne selon eux une grave imprécision théorique. Toujours selon diSessa et Sherin : « Without a clear notion of what a concept is, the standard model really only begs the question of what counts as conceptual change » (diSessa & Sherin, 1998, p. 1158). Ils mettent de côté l'idée que dans le cadre du changement conceptuel, un concept renvoie simplement à un mot ou à une phrase, quand on sait que le changement conceptuel concerne un difficile processus de changement. Ils ne réduisent pas leur définition de concept à une structure non plus, telle celle d'un réseau ou d'un filet avec des nœuds (diSessa & Sherin, 1998, p. 1170). Enfin, ils croient que les modèles qui ont comme entités des théories (comme le modèle de Vosniadou, par exemple) ne donnent pas assez de précision sur la nature même des théories qui sont au cœur du modèle, ce qui constitue à leurs yeux un flou qui cause un obstacle à la compréhension et à l'explication du changement conceptuel.

Ils estiment que pour organiser et différencier le processus du changement conceptuel, une définition détaillée et précise de ce qu'ils considèrent un concept s'impose :

Overall, having an articulated model of concept may allow us to organize and differentiate the processes involved in the application of a concept and

in conceptual change. We should be able to localize difficulties students have with a concept and in conceptual change, and we may be able to theoretically identify types or components of change, possibly making connections that might otherwise be surprising. (diSessa & Sherin, 1998, p. 1170)

Ainsi, diSessa exprime très précisément la nature d'un concept dans le but d'être en position de comprendre l'opération de changement des entités de son modèle. Il nomme *classe de coordination* le type de concepts dont il est question dans son modèle de changement conceptuel. Une classe de coordination est : « a systematic collection of strategies for reading a certain type of information out from the world » (diSessa & Sherin, 1998, p. 1155), « an explicit model of a certain kind of concept » (diSessa, 2006, p. 275). Une classe de coordination sert à aller au-delà de la diversité et de la richesse de différentes situations dans différents contextes dans le but de saisir une catégorie d'information. Une classe de coordination est un type de concept en physique plutôt complexe, comme le concept *force* (diSessa & Sherin, 1998). Elle comporte deux composantes structurelles : les stratégies de lecture (*readout strategies*) et le réseau causal (*causal net*).

Les stratégies de lecture servent à traiter la diversité de présentations de l'information ; à déterminer, par exemple, les caractéristiques d'un même concept retrouvées dans différentes situations (diSessa & Sherin, 1998, p. 1176). Les stratégies de lecture ont deux fonctions : l'*intégration* d'observations pour tirer l'information nécessaire dans une situation donnée et l'observation de l'*invariance* d'une même information retrouvée dans différentes situations, dans différents contextes. Les stratégies de lecture servent donc à interpréter les observations ; elles sont ainsi fort utiles à la coordination, à la cohérence, pour tendre vers la compréhension d'un concept.

Le réseau causal correspond aux inférences réalisées à partir de l'information recueillie après observation : « In many instances, the causal net corresponds roughly to what people intuitively expect of causality, especially in the empirical analyse [...]. Causal nets are, roughly, our replacement for the " theories that lie behind observations " » (diSessa & Sherin, 1998, p. 1174). Le réseau causal comprend les

stratégies qui déterminent quand et comment les observations sont reliées à l'information (diSessa & Sherin, 1998, p. 1176). Il peut concerner les quantités en physique, notamment dans les équations. L'équation de la deuxième loi de Newton,  $F = ma$ , où la force « cause » une accélération, est un exemple de réseau causal. Le réseau causal comprend notamment les *p-prims*, les primitives phénoménologiques, qui permettent de faire des liens causals intuitifs entre diverses observations qualitatives ou quantitatives.

Les *p-prims* forment le cœur du système peu organisé qu'est le sens de la mécanique naïf. diSessa présente notamment les *p-prims* en tant qu'éléments et en tant que mécanismes cognitifs.

En tant qu'éléments, les *p-prims* sont décrites comme suit :

P-prims are rather small knowledge structures, typically involving configurations of only a few parts, that act largely by being recognized in a physical system or in the system's behavior or hypothesized behavior. In some particularly important cases, p-prims are themselves behavioral, or necessarily entail behavior, which allows them to serve important roles in explaining physical phenomena. P-prims of this sort may be self-explanatory — something happens « because that's the way things are. » In these cases, p-prims become the intuitive equivalent of physical laws; they may explain other phenomena, but they are not themselves explained within the knowledge system. (diSessa, 1993, pp. 111-112)

Les *p-prims* sont primitives parce qu'elles se passent d'explication et de justification, elles sont comme des évidences, et car elles sont les plus petits éléments, les atomes, du sens de la mécanique naïf (diSessa, 1993). Elles sont nombreuses, isolées et abstraites (diSessa, 2002). Elles sont phénoménologiques parce qu'elles sont normalement des abstractions tirées d'expériences de la vie quotidienne et constituent un vocabulaire réutilisé pour faire des interprétations ultérieures (diSessa, 1993).

En tant que mécanisme cognitif, les *p-prims* se situent entre le niveau des idées, des connaissances et le niveau des sens, de la perception (diSessa, 1993). Elles sont activées ou non selon le contexte et l'interprétation qui en est faite ; diSessa explique cette activation des *p-prims* par deux types de priorités : *cuing priority* (les

contingences d'activation d'une p-prim, comme le contexte ou un élément du sens de la mécanique) et *reliability priority* (une rétroaction potentielle qui renforce ou inhibe l'activation d'une p-prim). diSessa (1993) prend l'exemple de l'élément *tension-et-nervosité* chez une personne pour illustrer les deux types de priorités. Qu'est-ce qui occasionne *tension-et-nervosité* chez quelqu'un ? La proximité de personnes comme dans une foule agitée ou le fait de penser *mon-psychologue-est-en-vacances* peuvent activer *tension-et-nervosité*. Une boucle de rétroaction (*reliability priority*) s'ouvre si la personne se demande *est-ce-que-ma-mère-est-près-de-moi ?*, cette boucle de rétroaction renforçant ou inhibant l'activation de *tension-et-nervosité* selon la constatation de l'absence ou de la présence de la mère. Ainsi, les priorités sont des descriptions qualitatives de relations et de liens entre les différents éléments d'un système (diSessa, 1993, p. 114).

L'exemple paradigmatique des p-prim est la p-prim d'Ohm qui établit une relation entre trois paramètres : un agent agit contre une résistance pour produire un résultat. Cette p-prim est activée lorsque les circonstances incitent à rechercher des proportions et des façons d'expliquer le résultat produit par un agent contre une résistance. Des relations qualitatives comme *plus d'effort donne un meilleur résultat* ou *plus de résistance implique moins de résultats* peuvent être expliquées par l'activation de la p-prim d'Ohm (diSessa, 1993). Cette p-prim incite à croire que le *moteur* (agent) d'un aspirateur allumé dont on *bloque* l'extrémité (résistance) et qui devient plus bruyant *travaille plus fort* (résultat) (diSessa, 1993). Or, le moteur tourne à vide en réalité, rapidement, mais il ne *force* pas, n'ayant plus d'air qui entre. Ainsi, la p-prim d'Ohm permet d'établir un lien causal pour interpréter une situation en physique, pas seulement en électricité, mais elle n'est pas toujours utilisée à bon escient, souvent à l'insu de la personne qui l'utilise, ce qui occasionne ce que nous appelons les *conceptions*. Selon Potvin (2002), une p-prim telle la p-prim d'Ohm a la capacité d'expliquer plusieurs conceptions qui concernent des phénomènes physiques différents. Par exemple, on retrouve la relation illustrée par la p-prim d'Ohm dans les conceptions suivantes : *le son se propage moins bien dans les liquides et les solides que dans l'air ; plus un aimant est gros, plus il est fort ; plus on frappe fort sur un objet, plus le son est haut ; une force est appliquée sur un objet*

*en mouvement à vitesse constante* (Potvin, 2002). Les p-prims, quoique atomiques, ont donc un large pouvoir explicatif par rapport aux conceptions. Elles permettent d'expliquer correctement ou non divers phénomènes (diSessa, 2002).

Les p-prims ne sont toutefois pas des conceptions, elles les provoquent, les causent. Les conceptions résultent des p-prims : « Some misconceptions may be the influence of a particular p-prim (e.g., force as a mover), and some might be the concerted influence of a number of p-prims (e.g., the impetus theory) » (diSessa, 1993, p. 207).

Les p-prims ne sont pas des concepts scientifiques non plus (des classes de coordination, selon l'expression de diSessa (2002)) :

It is worth remarking that p-prims manifestly cannot count, themselves, as coordination classes. [...] Individually, a p-prim is simply too small and isolated to constitute a coordination class. [...] If naive coordination classes exist, undoubtedly multiple p-prims are involved in the causal net, but these p-prims are not sensibly considered to be concepts themselves. (diSessa & Sherin, 1998, pp. 1178-1179)

Dans un sens de la mécanique expert, les p-prims sont des éléments coordonnés au sein d'une classe de coordination, laquelle représente en quelque sorte le but à atteindre, la conception scientifique visée pour un novice.

Maintenant que les entités du modèle de changement conceptuel de diSessa sont présentées, il est naturel de les examiner dans le processus du changement conceptuel. Ces entités, notamment les p-prims, sont à la base du changement conceptuel selon diSessa.

### **4.3.2 Le processus du changement conceptuel selon diSessa**

Nous avons souligné à la section 4.3 l'orientation de diSessa pour la continuité et le savoir en pièces. Ces deux lignes axiologiques influencent évidemment son explication du processus du changement conceptuel.

« Continuity is a fundamental learning principle. Knowledge is complex and difficult to come by. Humans need to build new from old. Yet, I claim, much of an expert's sense of mechanism is reused intuitive knowledge » (diSessa, 1993, pp. 190-191).

Pour diSessa, il y a un continuum entre les interprétations désorganisées à partir d'événements communs et les lois fondamentales applicables à différents événements. Par rapport à cette prise de position, diSessa fait deux affirmations : le sens de la mécanique naïf est loin d'être aussi profond et systématique que le sens de la mécanique de l'expert ; l'apprentissage de la physique se réalise en construisant un pont entre la phénoménologie et le fondamental, soit en réorganisant et en priorisant les phénoménologies existantes (diSessa, 1993, p. 108). Le changement conceptuel selon diSessa implique donc plus qu'un changement, un remplacement ou une évolution de conceptions ; les relations causales intuitives abstraites à partir de la phénoménologie, les p-prim, sont à réorganiser et les stratégies de lecture sont aussi amenées à être modifiées, s'il y a lieu (diSessa & Sherin, 1998).

diSessa et Sherin expliquent le changement conceptuel à partir des stratégies de lecture et du réseau causal. Le but du changement conceptuel est de parvenir à plus de systématisme, pour que les pièces soient organisées dans une classe de coordination :

In particular, the separate changes in readout strategies and in the causal net constitute parameters of conceptual change. For example, it is plausible that no new readout strategies are necessary in learning a new coordination class, but existing ones come to be organized and used differently. On the other hand, sometimes new strategies may be necessary. On the causal net side, the issue is similarly differentiated. In principle, one may have essentially no prior causal net and a new net may need to be built from whole cloth. Or an old causal net may need to be developed and reorganized to varying degrees. (diSessa & Sherin, 1998, p. 1177)

diSessa mentionne que les stratégies de lecture sont aussi en cause dans le changement conceptuel (pour saisir les informations à intégrer et les invariances, notamment), mais il met l'accent sur le réseau causal, sur les p-prim en particulier, lesquelles causent le plus de difficultés dans le changement conceptuel (diSessa & Sherin, 1998). Les p-prim évoluent de trois façons : soit il y en a de nouvelles, soit elles sont réorganisées à partir des priorités, soit elles sont modifiées à l'interne par rapport à leurs paramètres.

Selon diSessa (1993), les nouvelles p-prims sont naturellement créées pour accommoder le développement conceptuel et l'apprentissage de la physique, ce qui ne pose pas problème en soi, mais qui peut maintenir l'élève dans une superficialité de son sens de la mécanique s'il utilise une nouvelle p-prim à chaque fois qu'il voit un même concept physique dans un nouveau contexte.

Essentiellement, les p-prims doivent devenir plus organisées, plus systématiques pour que le sens de la mécanique naïf, peu profond, peu organisé et peu systématique soit dépassé. Le point majeur du processus du changement conceptuel selon diSessa est donc une question de structuration : « What is more interesting is the restructuring of the system of existing elements. Following the theory sketch, I describe these changes as shifting priorities, which may gradually relocate a knowledge element within the knowledge system » (diSessa, 1993, p. 142). Or, on sait que les p-prims s'activent (ou non) en lien avec les priorités d'activation et de rétroaction (*cuing priority* et *reliability priority*) ; ces dernières doivent devenir plus structurées pour favoriser l'organisation des p-prims :

The development from naive to expert physical intuition is hypothesized to occur in the following ways. First, the rather large but relatively unstructured collection of p-prims present in naive individuals gets tuned toward use in instructed physics. Unstructured means cuing and reliability are only established in small neighbourhoods within the network. Priority is local, and there may be no central and dominate elements. There may even be no sense-of-mechanism-based way to decide which of two p-prims actually should apply in a case of conflict. During « tuning toward expertise », the priority of some p-prims becomes greatly enhanced or reduced, and contexts of activation may migrate, expand, or contract, depending on the elements' new roles in the developing physics knowledge system. (diSessa, 1993, p. 114)

Cela signifie qu'il faut par exemple trouver quelle rétroaction ferait en sorte qu'une p-prim mal employée ne soit pas activée tout en activant une autre p-prim (diSessa, 1993, p. 194).

Il peut aussi arriver qu'une p-prim ne soit pas complètement utilisée à tort, mais avec les mauvais paramètres. Dans ce cas, un changement des paramètres à l'intérieur de la p-prim favorise le changement conceptuel, la structuration. Les p-prims doivent

gagner en systématique, transcender les contextes, gagner en généralité. Par exemple, par rapport à la conception *une force est appliquée sur un objet en mouvement à vitesse constante*, si le paramètre *vitesse* est remplacé par *accélération*, la p-prim d'Ohm devient bien employée et reste utilisée.

En résumé, les stratégies de lecture doivent permettre de saisir l'intégration et l'invariance des informations et les p-prim doivent être structurées pour s'organiser en une classe de coordination, laquelle correspond à un concept scientifique comme la force (diSessa, 2002). Le tableau V nomme les entités qui composent ce modèle ainsi que les relations entre elles.

| <b>Composantes</b>  | <b>Relations</b>  |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sens de la mécanique               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Classe de coordination                   <ul style="list-style-type: none"> <li>o Stratégies de lecture                       <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Intégration des informations</li> <li>▪ Invariance des informations</li> </ul> </li> <li>o Réseau causal                       <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ P-prim</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Priorités d'activation ;</li> <li>- Priorité de rétroaction ;</li> <li>- Systématisation et coordination du sens de la mécanique.</li> </ul> |

Tableau V : Composantes du modèle de changement conceptuel de diSessa (1993) et relations entre elles

### 4.3.3 Indications pour la pratique d'enseignement

Par rapport aux implications générales pour l'éducation, diSessa spécifie :

A theory of knowledge and its development ought to be significant for education. Naturally, I do not attempt here to present compelling examples of analysis or instructional design. Instead, I conclude this monograph by roughly locating some areas of implications of knowledge in pieces. (diSessa, 1993, p. 205)

diSessa donne ainsi des pistes très larges, peu concrètes en regard de la pratique d'enseignement dans son texte de 1993. Il en donne très peu dans son article écrit conjointement avec Sherin en 1998, mais dans un chapitre de livre récent, il est un peu plus généreux. Nous avons ainsi consulté d'autres documents pour compléter cette section tels ceux de Hammer (1996), Masson (2005) et Potvin (2002).

### 4.3.3.1 Structuration et mise en œuvre des contenus

diSessa (1993) trouve que l'accent ne devrait pas être mis sur le développement de concepts ou sur la résolution de problème, mais plutôt sur le sens causal d'abord, en lien avec le développement de concepts et la résolution de problème. Le sens de la mécanique doit prédominer. En effet, selon diSessa :

The sense of mechanism can similarly provide a heuristic framework that helps students gradually refine their abilities quickly to develop adequate scientific models of situations. (diSessa, 1993, p. 206)

Dans le même ordre d'idées, diSessa et Sherin (1998) incitent les enseignants à mettre l'accent sur l'interprétation qualitative des phénomènes. Cette affirmation peut entrer en choc avec la culture de l'enseignement des sciences au secondaire puisque rendus à cet ordre d'enseignement, les élèves apprennent à résoudre des problèmes à l'aide d'équations, alors qu'au primaire, ce n'est pas le cas ; il n'y a pas de choc avec une tradition quantitative puisqu'il n'y en a pas. Au primaire, les concepts *machines simples* et *effets d'une force sur la direction d'un objet* (MEQ, 2001, p. 158) sont d'ailleurs au programme (pour une familiarisation qualitative, il va sans dire). Enfin, diSessa stipule que pour un apprentissage profond et réel, l'enseignant doit planifier enseigner plusieurs fois les mêmes relations causales, donc les p-primis, dans différents contextes (diSessa, 2008).

### 4.3.3.2 Processus

diSessa (1993) est pour l'engagement de l'élève à propos du sens de la mécanique :

Perhaps the most devastating implication of ignoring the sense of mechanism in instruction is that building an unwarranted wall between prior knowledge and scientific understanding may alienate students. I am convinced that one of the most problematic parts of current instruction is that students do not feel that they can really participate in physics instruction, that learning physics is a matter of accepting and memorizing counterintuitive, if not meaningless, formulations from experts. (diSessa, 1993, p. 206)

Dans le même ordre d'idées, diSessa (2008) est contre le conflit cognitif, contre l'idée de proposer aux élèves des situations où leurs intuitions sont confrontées parce que selon lui, l'utilisation du conflit cognitif ne relie pas les concepts scientifiques

visés aux intuitions des élèves. Selon lui, la considération de ce que les élèves ont en tête avant l'enseignement signifie qu'il faut amener les élèves à structurer autrement leurs fragments de savoir. En ce sens, il invite les enseignants à se préoccuper des idées des élèves et d'amener les élèves à s'engager par rapport à leurs idées (diSessa, 2008). Selon Potvin : « Il semble également évident que l'étude des p-primis à travers les explicitations des sujets permet d'atteindre le niveau implicite de leur compréhension » (2002, p. 180). Un moyen que Hammer (1996) a employé avec son groupe d'élèves pour cerner les explicitations des élèves est le débat, en grand groupe, à propos de ce principe de Galilée : toute vitesse acquise par un corps sera maintenue tant qu'il n'y aura pas de cause d'accélération ou de décélération. Hammer stipule en fait que pour être sûr d'un principe ou d'une prise de position, il faut considérer sérieusement à tout le moins une autre option : « If you don't seriously consider the other answer, how can you be confident about this answer ? Maybe you just haven't thought it through » (1996, p. 106). Ce souci d'amener les élèves à réfléchir sur diverses options rejoint les travaux de Bélanger (2008), ce dernier énonçant toutefois que les différentes options peuvent être utilisées à différents moments selon le contexte, par exemple. Pour revenir aux explicitations des élèves, diSessa (1993) prévient que les enseignants doivent s'attendre à ce qu'elles varient d'un élève à l'autre. Cette attention permet aussi de mieux tenir compte de possibles difficultés d'apprentissage (diSessa, 1993).

diSessa développe lui aussi une perspective à propos de la nature de la science en lien avec son modèle. Il souligne que son modèle n'équivaut pas à une perspective de la nature de la science, mais il précise : « our theoretical and empirical views of the nature of knowledge, both naïve and expert, and how expert knowledge is produced will strongly influence what we can and should cultivate in our students' views of knowledge » (diSessa, 2008, p. 46). Selon diSessa, l'enseignant doit ainsi être attentif à la conception des sciences qui se dégage de son enseignement

Enfin, les processus des enseignants doivent favoriser la systématité des p-primis pour être cohérents avec le processus de changement conceptuel selon diSessa. Considérant que les p-primis sont en place, mais qu'elles sont mal organisées ou mal

utilisées selon la situation, voici deux options possibles pour que le sens de la mécanique d'un novice tende vers celui d'un expert :

- favoriser la priorité d'une p-prim ou inhiber l'utilisation d'une mauvaise p-prim ;
- modifier les paramètres à l'intérieur d'une p-prim qui a raison d'être employée, mais qui ne fait pas les relations entre les bons éléments.

Dans son étude *Effets de l'utilisation de micromondes historiques sur les processus de changement conceptuel en sciences*, Masson (2005) a donné un exemple des priorités d'activation et de rétroaction reliées à l'emploi des micromondes historiques par rapport au principe d'inertie. Selon sa recherche, la notion de frottement a une forte priorité de rétroaction tant avec la notion d'inertie qu'avec la p-prim d'atténuation. Selon la p-prim d'atténuation, le mouvement d'un objet finit toujours par s'arrêter, peu importe les conditions (avec ou sans frottement). Cette dernière p-prim est désactivée par la notion d'inertie, ce qui occasionne le changement conceptuel, lequel se produit toutefois difficilement du fait que la notion d'inertie et la p-prim d'atténuation ont une faible priorité de rétroaction entre elles (Masson, 2005). Ainsi, dans le cas du changement conceptuel au sujet du principe de l'inertie, l'option où l'emploi d'une p-prim est désactivé est indiquée.

En somme, les enseignants doivent faire en sorte que : « Learning should provide that p-prims are activated in appropriate circumstances, and, in turn, they should help activate other elements according to the contexts they specify » (diSessa, 1993, p. 112). Les enseignants doivent ainsi porter une attention particulière au diagnostic des p-prims que les élèves emploient pour être alertes aux aspects du contexte qui priorisent et activent leurs p-prims.

#### **4.3.3.3 Cadre organisationnel**

diSessa prend la peine de mentionner qu'il est conscient qu'il ne donne pas d'exemples concrets d'application de son modèle et ni de propositions explicites pour le design pédagogique (1993). Il n'est donc pas étonnant de ne pratiquement pas retrouver d'indications quant à l'organisation matérielle dans ses textes. diSessa (2008) mentionne tout de même qu'il trouve efficace l'utilisation de modèles visuels

et manipulables. En 1988, diSessa suggère l'utilisation des ordinateurs : « Computers can be extraordinarily helpful in providing students with experiences that meet their intuitive ideas and develop them toward more integrated and profitable points of view » (diSessa, 1988, p. 68). diSessa indique que les micromondes informatisés représentent un bon moyen de permettre aux élèves d'expérimenter en premier lieu avec des caractéristiques qui rejoignent leur intuition, puis avec des caractéristiques différentes, idéalisées, qui peuvent les aider à voir les choses différemment. Comme mentionné précédemment, Masson (2005) a exploré les micromondes historiques notamment pour évaluer si leur usage permet à des élèves d'organiser et de systématiser leur utilisation de p-primis par rapport au concept d'inertie. Sans pouvoir séparer les effets de l'utilisation de micromondes de ceux de l'histoire des sciences, Masson a tout de même noté une progression de l'organisation et de la structuration des p-primis reliées au concept d'inertie chez les élèves qui ont effectué les tâches proposées. Ainsi, l'utilisation de micromondes historiques adaptés aux élèves, pour une utilisation autonome, par exemple, pourrait être un éventuel moyen à utiliser en classe (Masson, 2005).

Par rapport au temps, il indique qu'un apprentissage réel et profond nécessite du temps : « To draw out useful intuitive ideas and to assemble a good, normative concept, we cannot instructionally escape time and effort » (diSessa, 2008, p. 45).

Enfin, pour l'organisation sociale, il semble que la discussion joue un rôle important (diSessa, 2008; Hammer, 1996; Masson, 2005). Dans sa recherche, Masson a utilisé le dialogue interviewer-interviewé, qui pourrait, par exemple, être transposé à un dialogue enseignant-élève, tandis que Hammer a utilisé la discussion en grand groupe avec ses élèves pour sa recherche.

#### **4.3.4 Discussion**

Comme pour les modèles précédents, cette discussion débute par un point de vue didactique sur les indications pour la pratique d'enseignement à partir des trois relations du triangle didactique. Nous rappelons que comme diSessa et Vosniadou se critiquent mutuellement, nous présentons les commentaires au sujet des deux

modèles ainsi que leurs fonctions dans cette section, le modèle de Vosniadou n'étant pas commenté dans la section 4.2.4.

#### **4.3.4.1 Point de vue didactique sur les indications pour la pratique d'enseignement**

diSessa décrit finement ce que nous appelons les conceptions, mais est plus avare au sujet des stratégies d'appropriation des élèves d'un point de vue pratique. Les élèves doivent être amenés à coordonner, à systématiser leur utilisation des p-prim, mais en ce sens, diSessa ne propose pas explicitement de stratégies comme telles. L'utilisation de micromondes semble être une piste (diSessa, 1988; Masson, 2005). Toujours par rapport aux élèves et leur relation avec le savoir, diSessa souligne l'importance que les élèves s'engagent par rapport à leurs idées, ce qui l'amène à être contre l'utilisation du conflit cognitif. Hammer (1996) a donné le débat comme exemple de moyen pour amener les élèves à s'engager envers leurs idées. Il appert que selon le modèle de diSessa, l'expression des élèves a beaucoup d'importance dans l'apprentissage, d'autant plus qu'il met l'accent sur la compréhension de phénomènes de façon d'abord qualitative. Enfin, diSessa aborde succinctement l'idée de la résolution de problème, la subordonnant toutefois au sens causal.

En ce qui concerne les interactions didactiques, diSessa souligne évidemment l'importance de la préoccupation des enseignants pour les idées de leurs élèves et pour les différences entre les idées d'un élève à l'autre. Selon Potvin, la considération d'outils interprétatifs telles les p-prim, dans un contexte de pédagogies plus ouvertes; laisse « entrevoir des stratégies personnalisées d'accompagnement des élèves et nous détourne des modèles habituels de changement conceptuel où l'enseignant se met systématiquement en guerre contre les conceptions fréquentes » (2007, p. 373). Un apprentissage individualisé est d'ailleurs possible avec l'emploi de micromondes informatisés.

Il semble que les retombées pour la pratique d'enseignement qui proviennent du modèle de diSessa concernent surtout la relation enseignant-savoir du triangle didactique. D'abord, diSessa stipule que l'accent devrait être en premier lieu mis sur

le sens causal, sur le sens de la mécanique, ainsi que sur l'interprétation qualitative des phénomènes plutôt que seulement sur les concepts et la résolution de problème. Par rapport à la planification, diSessa recommande de prévoir enseigner plusieurs fois les mêmes relations causales dans différents contextes. Par exemple, un enseignant qui remarquerait des conceptions tels *les objets lourds tombent plus vite que les objets plus légers ; la période d'un pendule dépend de l'amplitude ou du poids ; les objets légers flottent et les objets lourds coulent ; plus un ballon en caoutchouc contient de l'air, plus il est léger* chez des élèves et qui réfléchirait et analyserait les réponses de ses élèves selon les p-prim pourrait relier ces conceptions à la p-prim d'Ohm (Potvin, 2002, p. 64) et pourrait chercher à travailler les paramètres *agent, résistance* et *résultat* de cette p-prim dans différents contextes. Une planification en ce sens pourrait faciliter la systématité des p-prim chez les élèves.

Ce modèle, d'un point de vue didactique sur les implications pour la pratique d'enseignement, n'est pas particulièrement riche et a un domaine d'application clairement circonscrit et très restreint :

De l'aveu de son auteur, ce modèle est d'autant plus pertinent que le domaine où il est appliqué est phénoménologiquement riche et ancré dans l'expérience (diSessa, 2008, p. 37), ce qui peut expliquer pourquoi il n'a été appliqué de manière aussi convaincante à d'autres domaines que la mécanique. Dans l'espace de la problématique du changement conceptuel, le modèle de diSessa occupe donc un endroit limité (Bélanger, 2008, p. 78).

Ce modèle peut tout de même servir de base théorique pour l'enseignement des sciences au primaire, notamment pour certains concepts de l'*Univers matériel* tels *effets d'une force sur la direction d'un objet, caractéristiques du mouvement, machines simples, la flottabilité* ou *effets de l'attraction gravitationnelle sur un objet* (MEQ, 2001, p. 157-158).

#### 4.3.4.2 Commentaires

Les modèles de diSessa et de Vosniadou s'opposent surtout par rapport aux entités et au processus de changement conceptuel en tant que tel de leur modèle de changement conceptuel respectif.

diSessa dissocie complètement son modèle de celui de Vosniadou et fait une longue argumentation en ce sens dans le chapitre *A bird's-eye view of the pieces vs. coherence controversy (from the pieces side of the fence)* (diSessa, 2008). En résumé, diSessa reproche aux approches de la *cohérence*, comme celle de Vosniadou, de simplifier la complexité de l'apprentissage et du changement conceptuel par la recherche de conceptions faciles à nommer, à étiqueter (diSessa, 2008, p. 50). diSessa se fait insistant sur l'importance de décrire finement les structures impliquées dans le changement conceptuel (diSessa, 2008) ; il se contraint toujours à expliquer en détail les entités sous-jacentes aux conceptions, comme les p-primis, tout comme les classes de coordination, visées par le changement conceptuel, lequel est la systématisation des p-primis et des classes de coordination dans le sens de la mécanique expert. Il reproche d'ailleurs aux autres auteurs de modèles de changement conceptuel de ne pas avoir circonscrit ce qu'ils entendent par ce que nous nommons *concept scientifique* (diSessa, 2002; diSessa & Sherin, 1998). Il est toutefois à souligner que pour ce qui est de la proposition des structures cognitives fines en regard des conceptions, Vosniadou a aussi été fort précise (Bélanger, 2008).

Une différence majeure entre les deux modèles est la considération du conflit cognitif. Le modèle de diSessa s'en détache complètement tandis que Vosniadou considère que le conflit cognitif peut-être employé. L'usage de cette stratégie n'est toutefois pas toujours stable chez Vosniadou ; d'un côté, elle indique un usage très occasionnel et ponctuel du conflit cognitif (il lui arrive de le contraindre) et de l'autre, elle indique d'enseigner des concepts complexes avant d'enseigner des concepts plus simples en considération des apprentissages ultérieurs des élèves. Or, le fait d'enseigner aux élèves un concept complexe avant un concept simple risque de provoquer un conflit cognitif. Cette discordance montre une limite de la cohérence interne des indications pratiques que Vosniadou dégage de son modèle.

Vosniadou fait un parallèle entre les p-prims du modèle de diSessa et les croyances des théories spécifiques de son modèle (Vosniadou, 1994; Vosniadou et al., 2008). Elle souligne d'ailleurs que les deux modèles se rejoignent aussi sur l'idée que l'attention ne doit pas être portée sur les conceptions, mais « on rich knowledge systems composed of many constituent elements » (Vosniadou et al., 2008, p. 23). En fait, la différence majeure que Vosniadou pointe se situe quant à l'organisation de ces éléments, une organisation qu'elle suppose tôt dans l'enfance, à la différence de diSessa :

In our view (and to the extent that knowledge elements such as p-prims could be postulated to operate in our conceptual system), p-prims should become organized in knowledge much earlier than diSessa believes. If this is so, the process of learning science is not one of simply organizing the unstructured p-prims into physics laws but rather one during which they need to be re-organised into a scientific theory. This is a slow, gradual process, precisely because we are dealing with many knowledge elements. (Vosniadou, 2008, p. 23)

Pour déceler les théories naïves sous-jacentes aux modèles mentaux, dans sa méthodologie, Vosniadou demande aux élèves d'expliquer le pourquoi de leurs affirmations, ce qui peut leur faire ressentir un certain poids (Vermersh, 1994, cité par Masson, 2005). À ce sujet, la cohérence interne du modèle de Vosniadou rencontre certaines limites. En effet, le fait de demander aux élèves d'expliquer leurs affirmations peut les inciter à élaborer un modèle mental sur le champ (Vosniadou, 1994). Or, selon le modèle proposé par Vosniadou, les modèles mentaux font partie de l'organisation des théories naïves, ils résultent de cette organisation. L'idée que les modèles mentaux soient élaborés « on the spot » (Vosniadou, 1994) n'est pas donc cohérente avec les théories naïves telles que Vosniadou les explicite. De leur côté, diSessa, Potvin et Masson cherchent plutôt à suivre l'élève dans son raisonnement ; ils demandent à l'élève de simplement décrire ce qu'il fait (et non d'expliquer le pourquoi de ses actions) lors de l'utilisation de micromondes, par exemple.

Le modèle de Vosniadou rencontre aussi une limite de cohérence externe. En effet, lorsque Vosniadou et Ioannides (2002) ont réalisé une étude empirique sur le concept de force, un concept que diSessa utilise énormément dans son modèle à propos du

sens de la mécanique, Vosniadou s'est attiré les foudres de diSessa qui, tentant de réaliser la même expérimentation, selon la méthodologie de Vosniadou et Ioannides, n'est pas arrivé aux mêmes résultats (diSessa, Gillespie, & Esterly, 2004). diSessa (2008, p. 43) reproche aux tenants de la cohérence, comme Vosniadou, de trop croire *a priori* qu'ils trouveront la cohérence dans leurs résultats empiriques ; d'ignorer *le bruit* des données incohérentes avec leur cadre des théories naïves ; de ne pas remettre en question leur cadre des théories naïves ; de ne pas valider explicitement leur cadre non plus et de ne pas considérer décomposer les théories naïves. En fait, diSessa souligne une limite de la cohérence externe du modèle de Vosniadou lorsqu'elle l'emploie pour le concept de force.

Une autre différence notable entre les deux modèles est l'attention que porte Vosniadou à la sensibilité métacognitive (*metaconceptual awareness*), que diSessa n'aborde pas :

diSessa (1993) is correct in pointing out that the concepts novices use lack the systematicity and coherence of the theory of physics used by experts. We would also like to add to this the lack of metaconceptual awareness in novices as compared to experts. In other words, novices are not aware of the nature of their beliefs and presuppositions but, rather, they treat them as facts about the way the physical world operates, facts that are not subject to hypothesis testing and have the possibility of being falsified. (Vosniadou, 1999, pp. 8-9)

En effet, si diSessa propose des structures fines dans son modèle de changement conceptuel ainsi que l'organisation qui s'opère graduellement lors du processus, il ne mentionne pas clairement comment l'élève, par lui-même, prend conscience de ses p-prims pour les systématiser.

Enfin, il est à souligner que le modèle de diSessa a une limite quant au critère de la clarté : son modèle décrit et explique en profondeur le changement conceptuel et ses entités et leurs relations sont définies, mais les nombreux détails qu'il mentionne gênent la clarté du modèle et le rendent parfois lourd et difficile à comprendre ; le lien entre les composantes et leurs relations avec la réalité est complexe.

#### **4.3.4.3 Les fonctions respectives des modèles de diSessa et de Vosniadou**

Le modèle de diSessa décrit le changement conceptuel : il expose en détail les caractéristiques des entités et des relations qui le composent et il cerne l'interprétation qualitative des phénomènes en physique. Ce modèle a aussi une visée explicative puisqu'il permet de comprendre finement comment les p-prims et les autres entités doivent se systématiser pour tendre vers un sens de la mécanique expert. D'ailleurs, chacune des entités et des relations qui composent ce modèle ont une fonction de description et d'explication, ce qui augmente la compréhension en profondeur du changement conceptuel. Aussi, l'attention que porte diSessa sur l'explication des structures du changement conceptuel et de leurs relations donne à ce modèle une fonction d'exploration. En effet, des chercheurs comme Hammer (1996) et Masson (2005) ont utilisé le modèle de diSessa pour étudier l'évolution de raisonnements qualitatifs en physique.

Le modèle de Vosniadou a aussi une fonction de description. Il énumère et présente les caractéristiques des entités et des relations de son hypothèse et cerne les réalités de l'apprentissage des sciences par rapport aux contenus pour lesquels son modèle est utile. Il a aussi une fonction explicative par la compréhension de changement conceptuel qu'il propose. Pour Vosniadou, le changement conceptuel se produit quand les présuppositions et les croyances de théories naïves sont révisées, ce qui occasionne un modèle mental scientifique. Les composantes de son modèle, comme celles du modèle de diSessa, ont des fonctions descriptives et explicatives. Le modèle de Vosniadou vise aussi la prédiction pour certains champs scientifiques bien définis (la force, la Terre, le cycle du jour et de la nuit, la chaleur) puisqu'une hypothèse de l'évolution des modèles mentaux est établie, mais cette fonction est affaiblie pour le concept de force étant donné les problèmes de cohérences mentionnés précédemment. Enfin, avec l'attention portée sur les entités de son modèle, ce dernier peut avoir une fonction d'exploration. Il pourrait être utilisé pour générer de nouvelles hypothèses quant aux théories naïves et aux modèles mentaux de champs conceptuels autres que ceux sur lesquels Vosniadou a travaillé.

#### **4.4 Le modèle allostérique de Giordan**

Le modèle allostérique d'André Giordan a été présenté pour la première fois en 1988, aux rencontres de *International union of biological sciences - Commission on biology education* à Sydney. Deux articles ultérieurs, *Vers un modèle didactique d'apprentissage allostérique*, publié en 1989 et *Learning : beyond constructivism*, publié en 1996, reprennent dans l'ensemble les propos tenus lors de ce congrès. Comme les travaux de Giordan ont été poursuivis par ses collègues et lui-même au *Laboratoire de didactique et d'épistémologie des sciences*, des articles ultérieurs de Giordan et son équipe sont aussi utilisés pour l'analyse du modèle allostérique.

Giordan a développé le modèle allostérique en réaction au constructivisme, qu'il associe presque exclusivement aux travaux de Piaget. Il déplore que l'évolution des conceptions soit essentiellement due à l'idée de maturation, au simple développement cognitif et trouve que l'apprentissage des sciences ne dépend pas seulement de structures cognitives (Giordan, 1996). Toutefois, même si Giordan s'insurge contre le constructivisme génétique associé à Piaget, son modèle appartient, peut-être bien malgré lui, au constructivisme didactique (Astolfi et al., 1997).

Giordan et son équipe ont mis en exergue quatre facteurs essentiels qui sont les piliers du modèle allostérique (Pellaud et al., 2004) :

- L'importance de l'idée de déconstruction des conceptions, des conceptions-obstacles, des concepts issus des travaux de Bachelard ;
- L'influence de l'environnement où se déroulent les apprentissages, un facteur qui s'est traduit par l'environnement didactique que détaille Giordan depuis 1987 ;
- L'aspect systémique, dynamique et non linéaire de la manière dont s'élaborent les savoirs ;
- La considération des différents niveaux impliqués dans le processus d'apprentissage (les niveaux affectif, cognitif et métacognitif).

Les deux éléments essentiels de ces piliers résident en ceci : l'importance de l'apprenant et l'importance de l'interaction contenu-apprenant-situation d'apprentissage.

Le nom *modèle allostérique* prend son origine dans l'analogie que Giordan fait entre son modèle et une protéine. Certaines protéines, les protéines allostériques, comme certaines enzymes et l'hémoglobine, changent de forme en fonction de leur environnement (qui contient des activateurs ou des inhibiteurs) et deviennent actives ou inactives selon l'occupation ou non de leurs sites allostériques ou de leurs sites actifs. Ces protéines sont formées de deux ou plusieurs chaînes polypeptidiques. L'analogie entre la protéine allostérique et le modèle allostérique est présentée dans le tableau VI.

|   | <i>La protéine allostérique</i>  | <i>Le modèle allostérique</i>  |
|---|--|--|
| <i>Le tout :</i>  | ▪ La protéine  | ➤ Le savoir  |
| <i>Les sous-unités :</i>  | ▪ Les chaînes d'acides aminés qui composent la protéine  | ➤ Les concepts   |
| <i>Les interactions et les arrangements entre les sous-unités :</i> | ▪ Les structures primaire, secondaire, tertiaire et quaternaire de la protéine                     | ➤ Le réseau des concepts   |
| <i>Le milieu :</i>  | ▪ L'importance du milieu où se trouve la protéine, qui contient des activateurs ou des inhibiteurs | ➤ L'importance de l'environnement didactique où se déroulent l'enseignement et l'apprentissage |

Tableau VI : Métaphore de l'allostérie : analogie entre la protéine allostérique et le modèle allostérique

Le modèle allostérique implique donc une certaine perspective des conceptions, des savoirs visés et de l'environnement dans lequel se déroule la situation d'apprentissage. De même, « le modèle allostérique permet de prévoir les situations, les outils et les ressources qui facilitent l'apprendre » (Giordan, 2002, p. 23) en spécifiant un ensemble de paramètres à mobiliser pour favoriser l'apprendre. *L'apprendre* est un néologisme qu'a inventé Giordan (1998) pour rendre compte de la complexité de l'apprentissage qui se définit selon lui par l'acquisition de connaissances, mais aussi par leur élaboration, leur compréhension et leur

mobilisation dans un contexte social et personnel. Aux paramètres qui favorisent l'apprendre correspondent diverses interventions didactiques à utiliser dans la pratique pour opérationnaliser le changement conceptuel. Les paramètres sont interreliés entre eux dans l'environnement didactique, un concept majeur du modèle allostérique qui sera abordé dans la section 4.4.3.

#### **4.4.1 Les entités du modèle allostérique**

Dans le modèle allostérique, la dimension *réseau* des savoirs et des conceptions occupe une place importante. Ainsi, lors de l'apprentissage,

l'élaboration des concepts ne peut se réduire à un apprentissage de données isolées. Ce domaine est caractérisé par la multiplicité des relations, la pluralité des organisations et la possibilité de les saisir et de les aborder sous des angles différents. Les processus élémentaires ne peuvent donc rendre compte dans tous les aspects de ce type d'apprentissage, l'accent doit être mis sur les interrelations qui existent entre les concepts. (Giordan, 1989, p. 251)

L'apprentissage, considéré sous cet angle, nécessite donc qu'un accent soit mis sur des structures d'intégration qui permettent de mettre en relations divers concepts parents dans une discipline (Giordan, 1989; Pellaud, Eastes, & Giordan, 2005). Le réseau formé inclut des concepts qui ont divers statuts : certains ont un rôle de carrefour ou d'organisateur, ils sont prioritaires, et les autres sont secondaires (Giordan, 1989). Cette précision sur les concepts nous amène à aborder les conceptions plus en détail.

Les conceptions, qui sont aussi organisées en réseau,

constituent à la fois des briques élémentaires de savoirs [des images mentales] et les fondements de la pensée [les modes de raisonnements], c'est-à-dire l'ensemble des mécanismes qui nous permettent de produire du sens pour mieux appréhender notre environnement et agir sur lui. (Pellaud et al., 2005, p. 29)

Les conceptions ont ainsi deux dimensions : la dimension *savoir* et la dimension *mode de pensée*. Pellaud et al. (2005) illustrent cette structure des conceptions par un iceberg (voir la figure 8).

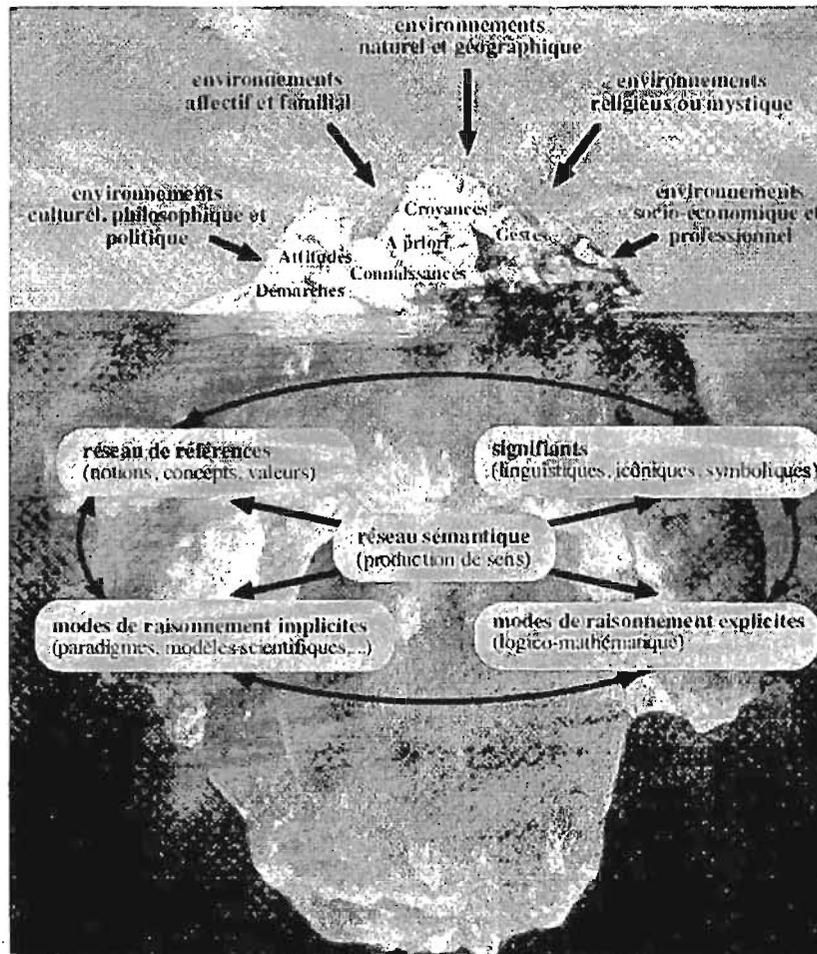


Figure 8 : Le fondement du modèle allostérique de l'apprendre : les conceptions, modelées par les multiples environnements de l'apprenant (Pellaud et al., 2005)

Les conceptions, qui sont à la fois savoir en place (la partie émergée de l'iceberg) et mode de raisonnement (la partie immergée de l'iceberg) sont des outils que l'apprenant maîtrise : c'est à travers les conceptions que l'apprenant donne du sens au monde qui l'entoure (Giordan, 2002; Giordan & Pellaud, 2002). Du coup, les conceptions, les modèles explicatifs de l'apprenant, sont aussi des filtres réducteurs, des « " prisons " intellectuelles qui l'enferment dans une façon de comprendre le monde » (Giordan, 2002, p. 20). Son interprétation de la nature et du monde peut donc être erronée du point de vue d'un scientifique, mais pas du sien. Le savoir scientifique se heurte aux connaissances empiriques, aux conceptions de l'élève (Giordan, 1989).

Les conceptions ont plusieurs facettes et comme les concepts, elles sont organisées en réseau (Giordan, 1989). Du fait qu'une conception est en interaction avec les autres et qu'elle ne fonctionne pas isolément,

il n'est pas évident qu'un savoir préalable se réfute directement. Celui-ci en liaison avec une structure cohérente plus vaste, la pensée de l'apprenant, qui porte en elle sa logique et ses systèmes de signification propres, résiste même à des argumentations très élaborées. (Giordan, 1989, pp. 247-248)

L'ancrage des conceptions incite à les considérer comme des obstacles à l'apprendre (Eastes & Pellaud, 2004), cette considération entraînant que l'on envisage la déconstruction des conceptions. Le fait de considérer les conceptions comme des obstacles n'est pas sans rappeler Bachelard. Or, la déconstruction des conceptions est ardue vu leur rôle de cadre explicatif pour l'apprenant (Giordan, 2002) ; ce dernier doit donc être accompagné pour construire ses nouveaux savoirs. Le processus de transformation des conceptions selon le modèle allostérique tente de concilier ces deux contraintes (les conceptions comme cadre explicatif et les conceptions comme obstacles).

#### **4.4.2 - Le processus de changement conceptuel selon Giordan**

« Successful learning is a change in conceptions, which is never neutral for learners, is never a simple process » (Giordan, 1996, p. 24). La difficulté du passage direct des conceptions initiales aux conceptions scientifiques est illustrée à la figure 9 qui représente une modélisation de la transformation du réseau des conceptions (Pellaud et al., 2005). Dans cette figure, on peut noter que la conception initiale peut dans certains cas être un filtre qui fait obstacle à l'évolution de la conception et que dans d'autres, elle se transforme sans, ou plus souvent, *avec* des interventions didactiques (Eastes & Pellaud, 2004; Pellaud et al., 2005). Les cas où la conception initiale est féconde et qu'elle se transforme sans interventions didactiques sont rares et surviennent pour peu d'élèves (Giordan, 1989). Ces exceptions surviennent lorsque le concept nouveau entre en résonance avec la conception initiale dans la zone proximale de développement de l'élève (Vygotski, cité par Pellaud & Eastes, 2003). Le plus souvent, des interventions didactiques sont nécessaires.

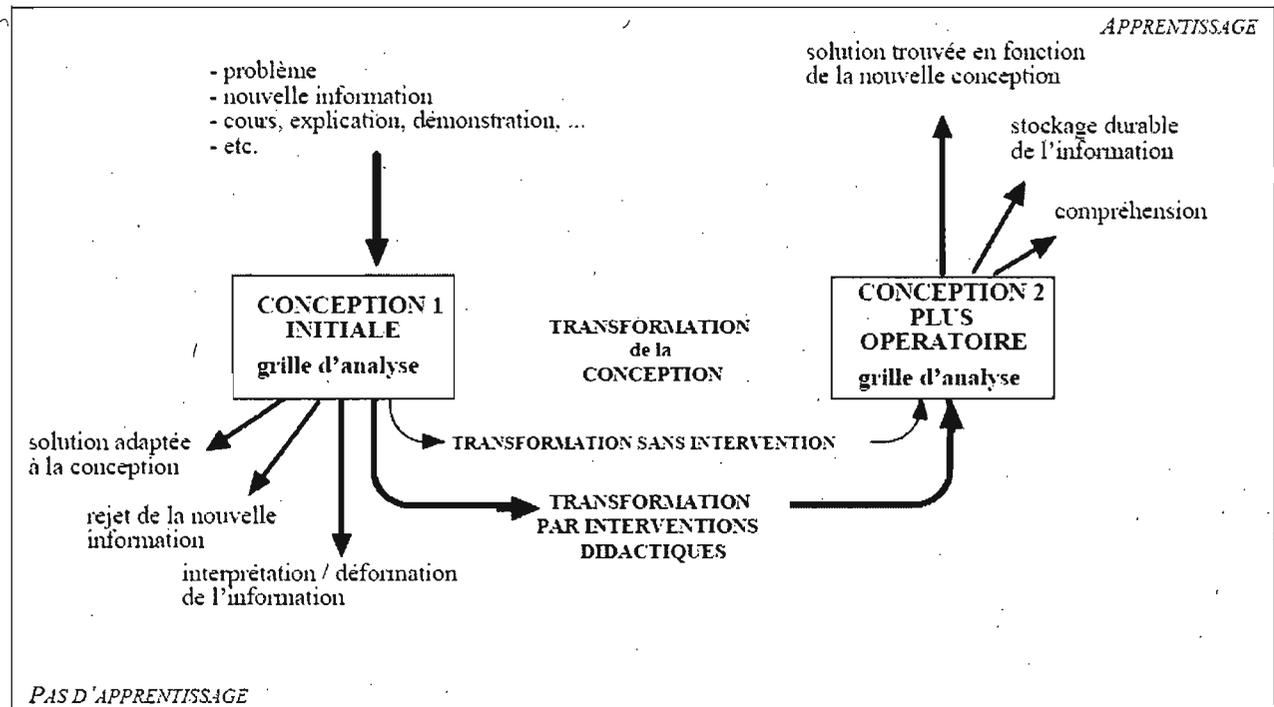


Figure 9 : Processus de transformation des conceptions (Pellaud et al., 2005, p. 32)

Giordan donne les grandes lignes de la transformation des conceptions comme suit :

- a) l'apprenant s'approprie de nouveaux savoirs « au travers de ses conceptions » ;
- b) les activités de conceptualisation nécessitent un certain nombre de conditions de mises en relation nouvelles et de remises en cause permanentes ;
- c) à un moment, ces conceptions lui apparaissent de manière évidente obsolètes, une autre structuration devient fonctionnelle, un nouveau savoir significatif est en place ;
- d) l'apprenant accède progressivement à des niveaux de formulation plus performants par une série d'ajustements, de rectifications, de détours divers (suivant les problèmes) et à travers des reformulations successives (Giordan, 1989, p. 253).

On comprend donc que les flèches de la modélisation de la transformation des conceptions de la figure 9 ne sont pas nécessairement directes, ne vont pas nécessairement dans un seul sens et que le processus de transformation est plus itératif que linéaire.

La figure 9 rappelle la figure 2 du mémoire (voir la page 31), celle du cycle de l'évolution de R. Legendre que Potvin (1998) a associé au changement conceptuel. Il

est aisé de constater que le processus de transformation des conceptions du modèle allostérique s'insère facilement dans le cycle de l'évolution. Seule la boucle de rétroaction du cycle de l'évolution est absente de la figure 9, mais il est possible d'imaginer que *la conception 2* de la figure 9 devienne un jour une *conception 1* par rapport au concept scientifique accepté par la communauté scientifique qui serait appris ultérieurement. En effet, le savoir des élèves ne doit pas devenir dogmatique, il est en constant développement (Giordan, 2002).

Le résumé des composantes et de leurs relations dans le modèle allostérique se trouve dans le tableau VII.

| Composantes  | Relations  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Conception initiale               <ul style="list-style-type: none"> <li>o Modèle explicatif</li> <li>o Filtre réducteur</li> </ul> </li> <li>- Conception plus opératoire</li> <li>- Concepts</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Transformation ;</li> <li>- Faire avec mais aller contre (déconstruction et reconstruction des conceptions).</li> </ul> |

Tableau VII : Composantes du modèle allostérique et relations entre elles

#### 4.4.3 Indications pour la pratique d'enseignement

Toute cette discussion sur la transformation des conceptions nous mène à la fameuse formule paradoxale de Giordan : faire *avec* (les conceptions en tant que cadres explicatifs de l'élève), mais aller *contre* (les conceptions en tant qu'obstacles et filtres). En effet, si les conceptions correspondent à des filtres, elles sont en même temps les seuls outils que l'apprenant possède pour transformer ses conceptions, alors il lui est impossible d'apprendre sans partir d'elles (Pellaud et al., 2005). La consigne *faire avec, mais aller contre* est interprétée par Eastes et Pellaud comme suit :

Il est donc nécessaire de penser la transformation du savoir comme un processus simultané de « déconstruction-reconstruction » des conceptions, où l'ancien savoir serait transformé et ne céderait véritablement la place au nouveau que lorsqu'il apparaîtrait périmé. Dès lors, il importe de chercher à savoir quels peuvent être les paramètres susceptibles de permettre cette déconstruction-reconstruction du réseau de conceptions. (2004, p. 1204)

Ces paramètres, des actions, des états et des attitudes à favoriser chez l'élève, Giordan et son équipe les ont détaillés dans le cadre de l'environnement didactique,

lequel est l'ensemble des méthodes, des moyens et des éléments que l'enseignant met à la disposition des élèves en salle de classe pour tenter de favoriser la transformation des conceptions des élèves (Pellaud & Eastes, 2003). Selon Giordan :

Between learners and the object of knowledge, a system of multiple interrelations must be set up. This is never spontaneous. The probability of a learner being able to « discover » all the elements needed to transform his or her questions or further the construction of networks is practically zero. On the other hand, these approaches can be largely favored by everything what we call « environment, » the learner's disposition not included. (1996, p. 25)

Le modèle allostérique de Giordan, notamment via l'environnement didactique qui sera détaillé sous peu, soumet donc plusieurs indications quant aux processus reliés à la pratique enseignante. Nous débutons avec cette catégorie, pour ensuite poursuivre avec les indications reliées à la structuration et la mise en œuvre des contenus et au cadre organisationnel.

#### **4.4.3.1 Processus**

Dans le cadre de l'environnement didactique, le rôle de l'enseignant est primordial, mais il est second : il reste un organisateur des conditions de l'apprentissage (Giordan, 1989). L'enseignant doit toujours faire attention au filtre que représentent les conceptions des élèves. En effet, les savoirs que véhicule son message ne se transmettent pas tels quels à l'élève ; son message n'est pas nécessairement facilitateur et transparent (Giordan, 1989). En salle de classe, l'élève tente en effet de comprendre le message et les tâches à réaliser à l'aide de son cadre interprétatif. Il est ainsi rare que l'information qu'un enseignant va donner s'insère directement dans les connaissances de l'élève (Eastes & Pellaud, 2004). Il est difficile pour l'enseignant d'être sur la même longueur d'onde que ses élèves étant donné qu'il possède son propre cadre explicatif. Enfin, l'enseignant doit considérer que ses élèves diffèrent les uns des autres : ils n'ont pas tous les mêmes conceptions, les mêmes cadres explicatifs.

La figure 10 présente une modélisation des paramètres à favoriser et des moyens à employer pour tenter de créer le meilleur environnement didactique possible lors de

l'enseignement des sciences. Nous avons choisi de présenter cette modélisation, plus récente (2003), car elle est légèrement augmentée par rapport à la version de 1989 ou de 1996.

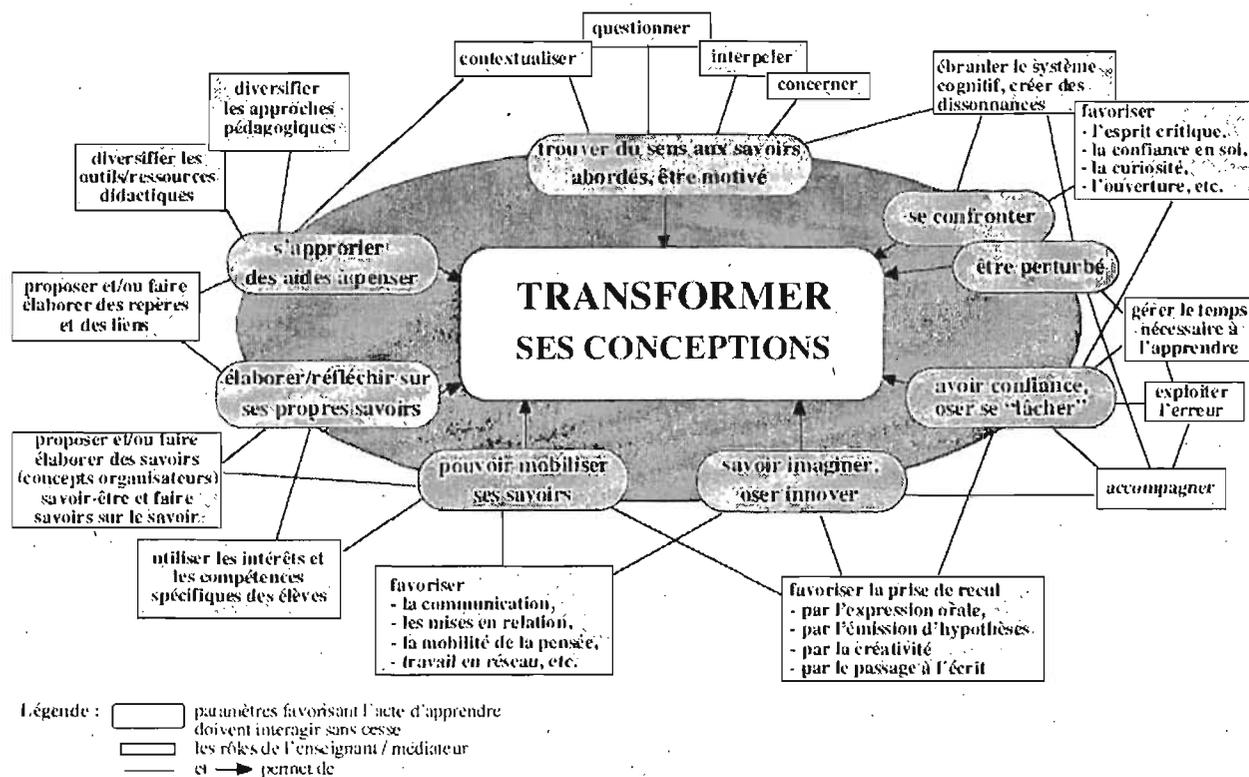


Figure 10 : Environnement didactique favorisant l'apprendre (tiré de la traduction française de Pellaud & Eastes, 2003)

Comme la légende l'indique, les huit paramètres dans les rectangles aux coins arrondis concernent les opportunités que l'élève doit avoir et les rectangles aux angles droits font référence aux rôles de l'enseignant qui stimulent l'élève. Selon Giordan (1998), tous les paramètres doivent être pris en compte dans une séquence d'enseignement, ils sont indispensables. Ils sont en interaction et gagnent à être proposés de façon itérative plutôt que linéairement (Giordan & Pellaud, 2002).

Dans un souci de clarté d'écriture, des propositions d'interventions pour l'enseignant sont regroupées selon les paramètres favorisant l'acte d'apprendre. Certains paramètres concernent surtout les processus ; d'autres concernent davantage la structuration du contenu. Ils sont regroupés en ce sens.

Avant de poursuivre avec les paramètres de l'environnement didactique et les implications pour la pratique d'enseignement, il est à mentionner qu'idéalement, un questionnement ou un problème initial devrait être au centre de l'environnement didactique pour que l'élève mobilise ses cadres interprétatifs et les mette en jeu à l'avance puisque les indications de Giordan vont en ce sens. Le simple fait d'amener un élève à résoudre un problème peut favoriser à lui seul quelques paramètres de l'environnement didactique. En effet, le questionnement occupe une place fondamentale dans la construction du savoir (Giordan & Vecchi, 1987).

*Trouver du sens aux savoirs abordés, être motivé*

L'élève doit se sentir concerné par le sujet traité pour être motivé (Pellaud & Eastes, 2003). La motivation l'aide à passer plus facilement de la conception au concept visé (Eastes & Pellaud, 2004). Selon Giordan, pour apprendre, « l'apprenant doit être intellectuellement et psychologiquement disponible, il doit avoir envie d'apprendre » (Giordan, Guichard, & Guichard, 1997, p. 11). L'importance du sens du savoir pour l'élève n'est pas à négliger : « nombre d'individus ne butent pas sur le savoir lui-même, mais sur l'image qu'ils se font du savoir » (Giordan, 2002, p. 24). Pour que l'élève donne du sens aux savoirs, Giordan (2002) propose qu'il soit amené à prendre conscience de sa structure (par rapport à des concepts organisateurs, par exemple), de son importance et de ce qu'il peut en faire. Ce paramètre se situe beaucoup au niveau du métasavoir (Giordan, 2002) et rejoint la sphère affective de l'enfant (Eastes & Pellaud, 2004).

Pour susciter cette disposition chez l'apprenant, l'enseignant doit faire en sorte qu'il se questionne et est invité à demander à l'élève ce qu'il sait au départ dans le but de l'impliquer et de l'intéresser, notamment en situant le sujet abordé par rapport à des repères qu'il possède ou qui le touchent (Giordan & Pellaud, 2002). Par exemple, une activité fonctionnelle comme une discussion sur des enjeux reliés à l'environnement peut piquer la curiosité d'un élève au sujet de l'effet de serre ; le savoir doit être contextualisé (Giordan & Pellaud, 2002). Selon Pellaud et Eastes (2003), l'enseignant peut aussi faire appel à l'observation, à l'histoire des sciences ou à un documentaire pour motiver l'élève.

### *Se confronter, être perturbé*

Ces paramètres font beaucoup référence à la déconstruction des conceptions dans le sens où Bachelard l'entendait. La confrontation et la perturbation ébranlent l'élève, le sortent de sa zone de confort où ses conceptions fonctionnent et permettent de lui faire comprendre que ses conceptions ont des limites. Pour que l'élève prenne conscience des limites de ses conceptions, divers moyens, qui peuvent exiger du temps; doivent être employés (argumentations, observations, expériences, discussions, etc.) (Giordan, 1996). Selon Giordan (1989), l'élève ne peut saisir la différence entre deux explications que lorsqu'il les connaît toutes deux. La confrontation ou la perturbation ne doivent pas être trop intenses, autrement l'élève se fermera et s'accrochera d'autant plus fort à ses conceptions, étant complètement paralysé (Giordan, 1998, 2002). En ce sens, Giordan (1998) invite à recourir à la perturbation et à la confrontation tout en privilégiant la confiance en soi, l'ouverture et un bon climat de classe qui favorisent la discussion et l'esprit critique chez les élèves.

Selon Giordan et ses collègues, pour favoriser la confrontation et la perturbation, l'enseignant peut souligner les divergences lors d'échanges entre les élèves, lors de la lecture ou du visionnement de documentaires scientifiques ou lors de l'observation de démonstrations qui vont à l'encontre de leurs conceptions. Eastes et Pellaud (2004) ont développé des *expériences contre-intuitives* pour ce dernier type de confrontation. Une expérience contre-intuitive est une expérience qui produit un résultat qui va à l'encontre de celui auquel on s'attend, intuitivement, avant qu'elle ne soit mise en action, ou dont l'interprétation va à l'opposé de l'évidence ou du sens commun (Eastes & Pellaud, 2004). Une question ou un problème est posé au préalable pour que les élèves mettent en œuvre leurs conceptions, pour éviter qu'ils acceptent un résultat sans se poser de questions (Eastes & Pellaud, 2004). Par exemple, ils proposent de demander aux élèves si deux thermomètres placés dans la classe, l'un enroulé dans de la laine et l'autre, dans un papier d'aluminium, donneront la même température. Pour diversifier les moyens de confrontation et de perturbation, l'enseignant peut avoir en tête les combinaisons possibles qui les

occasionnent : élèves-élèves, élève-information, élève-maître, élève-réalité (Giordan, 1989). Enfin, la stratégie du conflit cognitif est un moyen recommandé par Giordan quant à la confrontation et à la perturbation

#### *Avoir confiance*

Ce paramètre est intimement lié à ceux du paragraphe précédent. La confiance en soi est favorisée par un climat de classe adéquat. Les élèves doivent sentir qu'ils ont droit à l'erreur, qu'ils peuvent se prononcer sans crainte d'être jugés personnellement, qu'il est question d'idées (Giordan & Pellaud, 2002). On sait que l'erreur peut être un outil pour l'enseignant (Astolfi, 1997) : le plus souvent, elle est une manifestation d'une conception initiale. Pellaud et Eastes (2003) notent que l'ignorance est aussi un élément de l'apprendre et qu'elle peut être un outil utile pour établir une relation de confiance entre l'enseignant et l'élève, surtout si l'enseignant reconnaît ses limites et apprend de ses élèves lorsque nécessaire.

Le rôle d'accompagnateur, de médiateur (Giordan, 1989), voire de modérateur incombe donc à l'enseignant. L'écoute des idées des élèves correspond à une action type d'un enseignant médiateur. Par ailleurs, une bonne relation avec le groupe ainsi que des relations positives entre les élèves sont souhaitées (Pellaud & Eastes, 2003). L'enseignant doit donc se soucier de l'accueil que les élèves réservent aux paroles de leurs pairs. L'écoute et les échanges sont favorisés dans une optique où le groupe a un objectif commun par rapport à un problème de sciences. Giordan et Pellaud (2002) ajoutent que pour favoriser la confiance en soi, l'évaluation ne doit pas être que sommative ; l'usage d'évaluations formatives et d'auto-évaluations peut s'avérer porteur. Enfin, nous ajoutons que l'enseignant qui connaît bien ses élèves saura amener tout un chacun à s'exprimer : il sera ouvert aux communications orales et écrites, aux dessins, aux schémas, aux gestes, etc.

#### *Savoir imaginer, oser innover*

D'après ce paramètre, l'élève doit avoir la chance de créer, d'imaginer des réponses qui vont possiblement au-delà de ses conceptions. Cette prise de recul est essentielle pour qu'il prenne de la distance par rapport à ses conceptions (Pellaud & Eastes,

2004). L'imagination permet aussi à l'élève de sortir de son cadre explicatif, de se permettre de prendre un autre point de vue pour trouver une solution qui lui paraîtrait inusitée à première vue (Pellaud & Eastes, 2003). Ce paramètre est préférablement ultérieur aux moments de confrontations (Giordan, 1989), et peut gagner à être stimulé dans un deuxième moment, dans une autre période de la journée ou de la semaine.

Pour solliciter l'imagination des élèves, l'encouragement à reformuler le problème et à envisager d'autres relations entre les données est primordial (Giordan, 1989). L'accompagnement et le soutien de l'enseignant sont essentiels pour favoriser l'imagination et l'innovation des élèves. Les solutions originales et créatives sont idéalement les bienvenues selon ce point de vue (Pellaud & Eastes, 2003).

#### **4.4.3.2 Structuration et mise en œuvre des contenus**

Du point de vue de l'enseignant, les autres paramètres de l'environnement didactique rejoignent surtout la structuration des contenus que l'enseignant peut prévoir lors de sa planification.

##### *Pouvoir mobiliser ses savoirs*

Les élèves doivent pouvoir mobiliser les savoirs et savoir les articuler en réseau autour de concepts organisateurs (Pellaud & Eastes, 2003). Il importe de revenir plusieurs fois sur un même contenu, de l'aborder sous différents angles (Giordan, 2002) ; le nouveau savoir peut ainsi apparaître rentable à l'élève (Giordan, 1989). L'élève apprend à différencier les contextes, à noter les similitudes qui lui permettent le réinvestissement : il n'est donc pas simplement question d'un transfert, l'élève discrimine en réinvestissant (Pellaud & Eastes, 2003). L'importance d'amener l'élève à se pencher sur les savoirs par champs globaux plutôt que concept par concept aide ce dernier à organiser les concepts en réseau (Giordan, 1989). L'analogie de la protéine formée d'acides aminés tient toujours.

Les activités de réinvestissement, des activités qui ont un contexte différent, qui sont reliées à une nouvelle question, mais qui portent sur les mêmes savoirs que ceux

travaillés précédemment, s'avèrent un moyen à préconiser (Pellaud & Eastes, 2003). Par exemple, la résolution d'un problème sur le phototropisme peut constituer une activité de réinvestissement qui exploite les éléments d'une situation de résolution d'un problème à propos des éléments dont une plante a besoin pour vivre. Différentes activités, telles l'organisation d'une exposition, l'enseignement à des pairs, le jeu de rôle et la publication d'un article peuvent permettre le réinvestissement (Giordan & Pellaud, 2002). Dans le même ordre d'idées, il nous semble qu'à la suite de diverses activités abordant divers concepts rejoignant un même champ global de savoir, la carte conceptuelle est un moyen pratique de colliger les remarques, les similitudes, les conditions qui réunissent les concepts en réseau. L'enseignant peut demander aux élèves de réaliser une carte conceptuelle en sous-groupes ou de façon individuelle. L'emploi de la carte conceptuelle favorise aussi le paramètre suivant.

#### *Élaborer et réfléchir sur ses savoirs*

Ce paramètre fait référence aux connaissances, mais aussi aux modes de pensée, par analogie avec les conceptions, qui sont à la fois explicites et implicites, comme l'illustre bien l'iceberg de la figure 8. Pour Pellaud et Eastes (2003), quatre niveaux de savoirs que sont les *attitudes*, les *connaissances*, les *savoirs sur le savoir* et les *compétences* s'avèrent absolument interdépendants et doivent se développer simultanément. Ces niveaux peuvent évoquer les types de connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles de Tardif (1992), mais s'en distinguent entre autres sur un point : les attitudes font référence à l'aspect affectif, lequel n'est pas directement considéré par Tardif. Le fait d'amener les élèves à élaborer et à réfléchir sur leurs savoirs les amène à avoir confiance en ces nouveaux savoirs et à les considérer comme fiables. Un bon degré de confiance des élèves en leurs savoirs donne une stabilité à ces derniers (Eastes & Pellaud, 2004) : ils auront moins tendance à revenir à leurs conceptions initiales (Pellaud et al., 2005).

Cet accent mis sur les liens qui unissent divers concepts peut notamment être réalisé à la suite d'une activité de réinvestissement comme celle sur le phototropisme énoncée précédemment. Le formalisme visé par ce paramètre doit être soutenu par

l'enseignant ; par exemple, ce dernier peut fournir une ébauche pour orienter les élèves dans leur organisation des concepts et des relations entre eux (Giordan, 1989), ce qui rejoint visiblement les activités de structuration. Pour amener l'élève à réfléchir, il peut lui proposer de faire une réelle réflexion notamment sur la science et ses enjeux ou sur les implications technologiques reliées au phénomène étudié (Pellaud & Eastes, 2003). Comme il incombe à l'enseignant de proposer des situations qui développent ces divers niveaux de savoirs en tissant notamment des liens entre les attitudes, les connaissances et les images que l'élève se fait du savoir et des méthodes, il est naturel d'aborder les *aides à penser* conjointement avec ce paramètre.

#### *S'approprier des aides à penser*

Les aides à penser sont tout ce que l'enseignant peut proposer à l'élève comme méthodes, comme outils, comme stratégies qui peuvent rendre l'apprendre plus accessible (Pellaud & Eastes, 2003). Selon Eastes et Pellaud (2003), tous les moyens peuvent être bons à employer si l'objectif est de permettre aux élèves d'accéder aux savoirs et de les mobiliser de diverses façons. L'utilisation de diverses aides à penser pour une même situation d'apprentissage est recommandée. La variété des aides à penser gagne à être planifiée avant l'enseignement.

Ainsi, le cours magistral, la démarche expérimentale, le travail de groupe, la visite muséale, la visite d'un scientifique, le projet, la recherche d'informations, le jeu, la création d'un spectacle, les histoires (Pellaud & Eastes, 2003), les analogies, les métaphores, les symboles, les schémas, les modèles sont différents exemples d'aides à penser à proposer aux élèves, lesquelles facilitent la structuration du savoir, sa manipulation et sa mobilisation éventuelle (Giordan, 2002). Giordan nuance toutefois l'apport des analogies ou des métaphores : il peut arriver en effet qu'elles confinent l'élève dans une nouvelle conception qui le bloquera pour des apprentissages futurs (Giordan, 1998). Cette mise en garde rejoint celles de Bachelard et de Glynn cités antérieurement dans ce chapitre. Par exemple, l'analogie entre l'électricité et l'eau dans des petits tuyaux peut aider à comprendre le courant, mais devient un obstacle lorsqu'il est question de la tension dans un circuit en

parallèle. Enfin, Giordan insiste sur la lisibilité et l'adaptation des ressources selon le public (2002).

#### **4.4.3.3 Cadre organisationnel**

Comme les paramètres de l'environnement didactique sont en fait les opportunités que l'élève doit avoir et que Giordan et ses collègues y ont associé des rôles de l'enseignant qui stimulent l'élève, aucun paramètre n'est vraiment explicite quant à l'organisation matérielle. Toutefois, comme les auteurs recommandent de faire des observations, des expériences, des expositions, etc., il est possible d'inférer qu'ils sont pour d'une organisation matérielle particulière en classe, de mettre du matériel à la disposition des élèves pour expérimenter une solution possible, par exemple.

Pour ce qui est de l'organisation temporelle, il faut prendre du temps de classe pour mettre en place les différents paramètres de l'environnement didactique étant donné que pour Giordan la transformation des conceptions n'est pas spontanée (1989).

Enfin, il semble que pour Giordan la construction des savoirs est collective dans l'optique où beaucoup des activités qu'il propose se font en groupe ou en équipe. Les confrontations élèves-élèves en sont un exemple.

#### **4.4.4 Discussion**

La discussion à propos du modèle allostérique se divise aussi en trois parties ; dans la première, un point de vue didactique est porté sur les indications pour la pratique d'enseignement avec le triangle didactique comme référence, dans la deuxième partie, le modèle est commenté et dans la troisième, les fonctions du modèle sont abordées.

##### **4.4.4.1 Point de vue didactique sur les indications pour la pratique d'enseignement**

Selon Giordan et ses collègues, la mobilisation de l'ensemble de ces paramètres favorise l'acte d'apprendre. Il appert que le pont entre la théorie et la pratique est possible à partir du modèle allostérique étant donné que plusieurs indications

pratiques en découlent pour aider à favoriser l'évolution des conceptions, le changement conceptuel.

La relation élève-savoir est considérée d'abord parce que les conceptions sont abordées. Selon les indications pour la pratique périphériques à l'environnement didactique, on constate le fondement que représente le principe *faire avec, mais aller contre* ; il recommande entre autres de confronter les conceptions (aller contre) tout en privilégiant un climat de confiance et en incitant les élèves à s'exprimer, imaginer, innover (faire avec). Le cas échéant, les conceptions doivent ainsi être considérées et sollicitées pour que les élèves et les enseignants s'y appuient. Le droit à l'erreur est revendiqué ; Giordan et ses collègues considèrent aussi l'erreur comme une possible conception ainsi que comme une possibilité pour l'enseignant d'établir une bonne relation avec ses élèves. De plus, par ses paramètres et les rôles de l'enseignant qui en découlent, l'environnement didactique sous-entend d'effectuer les trois types d'activités d'une séquence didactique en sciences, soit les activités fonctionnelles, les activités de résolution de problème et les activités de structuration (Thouin, 2004a). Les auteurs donnent plusieurs suggestions de démarches didactiques à proposer aux élèves : les expériences contre-intuitives, l'argumentation, l'élaboration de cartes conceptuelles en sont quelques exemples. Enfin, non seulement Giordan et ses collègues recommandent d'utiliser un problème ou un questionnement lors de l'enseignement des sciences, ils incitent les enseignants à demander aux élèves de reformuler le problème, ce qui peut les motiver ou les aider à trouver du sens au problème. Cette dernière indication ressemble au premier critère d'évaluation de la compétence *Proposer des explications ou des solutions à des problèmes d'ordre scientifique ou technologique*, soit le critère « description adéquate du problème ou de la problématique d'un point de vue scientifique ou technologique » (MEQ, 2001, p. 151).

La relation enseignant-élève est fortement touchée par les indications qui découlent des paramètres du modèle allostérique. L'évaluation est d'ailleurs évoquée dans le paramètre *avoir confiance* pour que l'élève considère l'évaluation de façon constructive et formative. Il nous semble qu'il s'agit ici de l'évaluation en tant

qu'aide didactique (Astolfi et al., 1997) puisque ce paramètre met beaucoup l'accent sur la relation entre l'enseignant et l'élève. Quant au contrat didactique, Giordan précise que selon son modèle, l'enseignant est un médiateur ; l'élève se doit donc d'être actif et de s'impliquer dans ses apprentissages. Enfin, l'environnement didactique, connexe au modèle allostérique, propose plusieurs moyens à l'enseignant pour varier et planifier ses interactions didactiques : les schémas, la carte conceptuelle, les modèles, l'animation de discussion, l'observation de phénomènes et l'expérimentation en sont quelques exemples. Le paramètre *s'approprier des aides à penser* offre particulièrement beaucoup d'éclairage à cet égard. Il est à remarquer que certaines propositions d'interactions didactiques sont associées à plus d'un paramètre ; il importe donc que l'enseignant soit conscient de son intention, du paramètre qu'il souhaite favoriser, quand il est en interaction avec les élèves : par exemple, lors d'une discussion, vise-t-il la divergence pour permettre aux élèves d'innover et de donner plusieurs réponses possibles, ou vise-t-il plutôt la convergence pour aider les élèves à structurer leurs savoirs ? Cette planification de l'intention est connexe à la relation entre l'enseignant et le savoir, dont il est question dans le prochain paragraphe.

La relation entre l'enseignant et le savoir peut aussi être éclairée par ce modèle. Par rapport à la trame conceptuelle, il appert que les concepts majeurs et secondaires à propos d'un domaine ont avantage à être enseignés par champs globaux plutôt que concept par concept et qu'ils gagnent à être revus pour favoriser une perception de rentabilité des connaissances chez les élèves. Selon Giordan, les différents niveaux de savoirs ont aussi avantage à être prévus dans l'enseignement (les attitudes, les connaissances, les savoirs sur le savoir et les compétences). Finalement, dans l'élaboration de ses activités, l'enseignant est invité à penser aux diverses façons de planifier des confrontations (élèves-élèves, élève-information, élève-maître, élève-réalité); donc aux différentes aides didactiques et aux différentes démarches pédagogiques qui lui permettront d'occasionner une confrontation.

Le modèle allostérique ne se circonscrit pas une discipline scientifique particulière ni ne cible un ordre d'enseignement en particulier. Ses exemples sont toutefois

fréquemment associés à des conceptions d'enfants, ce qui justifie que ce modèle soit pertinent pour le primaire.

#### **4.4.4.2 Commentaires**

Les travaux de Giordan sont largement utilisés (Honorez, 2000; Honorez, Remy, Cahay, Monfort, & Therer, 2001; Pellaud & Eastes, 2003) et cités (Bertrand & Houssaye, 1999; Couture, 2005) mais peu critiqués selon notre recherche documentaire.

La considération de l'apprentissage dans sa complexité semble être un avantage de ce modèle qui dépasse une perspective seulement behavioriste, empiriste ou cognitiviste (Herbé, 1999; Pellaud et al., 2004). Ce modèle de changement conceptuel est le seul des modèles analysés qui s'aventure sur la dimension affective de façon explicite. Selon Potvin (2002), ce modèle est toutefois peu spécifique (il ne produit pas d'énoncés spécifiques pour une discipline). Il se situe en didactique des sciences, sans cibler une science en particulier même si Giordan utilise souvent des exemples en biologie dans ses travaux.

D'un point de vue pratique, un reproche qui est fait au modèle allostérique est sa complexité, sa trop grande sophistication, ainsi que sa lourdeur quant à son application dans tous ses détails (Honorez 2000; 2001). En effet, il peut être ardu de penser aux huit paramètres de l'élève à mobiliser, d'autant plus que les rôles de l'enseignant qui en découlent sont encore plus nombreux, l'environnement didactique proposant de nombreuses possibilités. Ce modèle n'est donc pas élégant, selon l'emploi du qualificatif de Kuhn. Cette complexité limite quelque peu la clarté de ce modèle.

Enfin, selon Potvin, le modèle de Giordan « permet une prise de conscience de l'importance du découpage des conceptions en leurs éléments constitutifs et de l'utilisation de ces éléments dans l'apprentissage » (2002, p. 29). En effet, les entités, du modèle allostérique ne sont pas aussi détaillées que dans les modèles de Vosniadou ou de diSessa.

#### **4.4.4.3 Les fonctions du modèle allostérique**

Le modèle allostérique vise, comme les autres, les fonctions de description et d'explication du changement conceptuel ; il décrit les entités que sont les conceptions et les concepts ainsi que le processus, qu'il qualifie de transformation, et il explique la transformation des conceptions à partir de sa formule *faire avec, mais aller contre*. Giordan mentionne que « le modèle allostérique permet de prédire les situations, les outils et les ressources qui facilitent l'apprendre » (Giordan, 2002, p. 23) ; il parle de *prédire* des actions et non d'hypothétiques résultats du changement conceptuel. Dans ce cas, son modèle a une fonction de prescription étant donné les pistes d'actions indiquées pour planifier la stimulation des paramètres chez l'élève ; nous ne lui attribuons pas une fonction de prédiction puisque le modèle allostérique ne vise pas la prédiction des conceptions qui résultent de la transformation des conceptions lors de l'apprentissage de concepts scientifiques.

Ses composantes ne sont pas abordées en profondeur et peu de liens de cause à effet qualifient leur structure. Dans le modèle allostérique, les conceptions ont ainsi une fonction essentiellement descriptive.

### **4.5 Analyse horizontale et discussion**

Cette section vise à mettre en évidence certaines convergences et divergences qui ressortent d'une analyse transversale des modèles. Nous ne reprenons pas chaque descripteur de l'analyse verticale des modèles de façon systématique ; seuls les liens les plus marquants quant à la convergence et à la divergence des modèles sont abordés, puis certaines de leurs forces et de leurs faiblesses quant à la pratique d'enseignement sont soulignées et commentées.

#### **4.5.1 Convergences**

Certaines convergences entre les modèles sont probablement dues au fait que le changement conceptuel s'inscrit dans le paradigme du constructivisme (M.-F. Legendre, 2007). À cet effet, il n'est pas étonnant de constater que selon les quatre modèles analysés, l'élève est actif et au centre de ses apprentissages ; les auteurs

soulignent l'engagement de l'élève envers ses connaissances et ses idées et, à leur façon, expliquent comment il construit ses connaissances. Cela dit, les explications divergent d'un modèle de changement conceptuel à l'autre. Finalement, le cadre organisationnel, quoique généralement peu développé dans les modèles analysés, permet de constater une convergence vers l'apprentissage avec ses pairs ou son enseignant ainsi qu'avec l'emploi de matériel pour faire des manipulations ou des expériences. Ce constat quant au cadre organisationnel rejoint le socioconstructivisme, selon lequel le développement cognitif des sujets se fait à partir de la vie sociale, et le constructivisme didactique, selon lequel l'élève construit son savoir notamment à partir d'une investigation du réel (Astolfi et al., 1997).

De nombreuses autres convergences sont notées entre les modèles. D'abord, tant Posner et al., que Vosniadou et que diSessa abordent la conception de la nature des sciences, chacun indiquant qu'une conception non dogmatique des sciences qui incite les élèves à ne pas envisager les concepts scientifiques comme des vérités (une conception rationaliste des sciences, par exemple) est souhaitable. À propos des concepts scientifiques, Posner et al. et Giordan ont une référence commune à leur égard ; ils les qualifient tous deux d'erreurs auxquelles une attention particulière doit être portée pour déceler où en sont les élèves dans leur processus de changement conceptuel. Ils envisagent aussi tous deux la conception en tant qu'obstacle, notamment. Cette vision de la conception partagée, il n'est alors pas étonnant que ces auteurs se rejoignent aussi sur quelques points quant au processus du changement conceptuel : Posner et al. cherchent à provoquer une insatisfaction ; Giordan, une confrontation. Conséquemment, l'emploi du conflit cognitif comme moyen de provoquer ces perturbations est proposé par ces auteurs. Vosniadou suggère elle aussi l'emploi du conflit cognitif, mais seulement de façon ponctuelle, et non comme moyen unique qui occasionnerait un changement conceptuel d'un seul coup.

Par ailleurs, tous les auteurs mentionnent de façon plus ou moins explicite que le changement conceptuel demande du temps, qu'il est relativement graduel ; aucun auteur ne prétend proposer un modèle de changement conceptuel qui serait plus

rapide qu'un autre, la difficulté du changement conceptuel étant probablement inhérente à la nature de la science (Duit, 1991).

En ce qui a trait à l'élaboration des contenus, quelques convergences sont à nouveau observées. En effet, selon les indications de Posner et al., de Giordan et de diSessa, il est préférable de revoir plusieurs fois le même concept (pour Posner et al. et Giordan) ou la même relation causale dans différents contextes (pour diSessa); Posner et al. visant la fécondité de la nouvelle conception scientifique, Giordan, un certain formalisme et l'usage des concepts, diSessa, la systématisation de l'emploi d'une relation causale d'après l'intégration et l'invariance des informations des différents contextes. Aussi, autant Posner et al. que diSessa prônent l'enseignement d'une petite sélection de concepts plutôt que la couverture d'une multitude de contenus, ce qui est cohérent avec le fait que le changement conceptuel exige du temps. En effet, ils sous-entendent ainsi qu'il vaut mieux passer plus de temps sur quelques concepts que très peu de temps sur de nombreux concepts. Enfin, toujours au sujet des concepts, plusieurs des auteurs (Giordan, Posner et al. et Vosniadou) s'accordent pour dire que ceux-ci sont organisés en réseau, qu'ils sont liés à d'autres concepts, plus ou moins importants, d'un même domaine conceptuel d'où la mention explicite de Posner et al. et de Giordan de planifier un enseignement par champs globaux de concepts plutôt que par concepts disparates.

Au sujet des types d'activités, diSessa, Giordan et Vosniadou mentionnent la résolution de problème à un certain moment dans leurs indications pour la pratique d'enseignement. En outre, Posner et al., Vosniadou et Giordan proposent quelques moyens de représenter des concepts telles l'analogie, la schématisation, la modélisation, etc., autant de concepts qui peuvent être utiles pour la structuration des contenus, notamment.

Enfin, l'ensemble des modèles analysés se rejoignent quant aux fonctions de description et d'explication du changement conceptuel. De plus, les modèles de Vosniadou et de diSessa, permettent la fonction de l'exploration étant donné que la structure même de leurs composantes qui sont très détaillées et expliquées.

### 4.5.2 Divergences

Évidemment, à partir du champ notionnel selon lequel nous avons analysé les modèles de changement conceptuel, certaines divergences émergent.

Par rapport aux entités, des distinctions majeures sont à souligner. Même si des convergences peuvent être observées lors de la comparaison des conceptions, ces dernières sont, pour la plupart, fort différentes sur plusieurs points de vue. D'abord, si on se penche sur la granularité des modèles (Bélanger, 2008; Duit & Treagust, 2003), on observe que Posner et al. ainsi que Giordan définissent les conceptions de façon grossière en comparaison avec Vosniadou et diSessa, qui les définissent de façon très fine, en allant jusqu'à définir les racines des conceptions, c'est-à-dire les entités sous-jacentes qui les occasionnent (respectivement les théories naïves et les p-prims). La granularité des modèles diffère donc entre ces deux groupes de modèles. Cette granularité fine ou grossière importe (ou non) selon le but visé par le recours au modèle ; si on souhaite comprendre en détail le processus cognitif, les modèles qui ont un grain plus fin (Vosniadou et diSessa) paraissent plus révélateurs tandis que si on souhaite consulter le modèle pour la pratique d'enseignement, les modèles plus superficiels dont le grain est plus gros peuvent convenir amplement.

Si Vosniadou et diSessa décrivent tous deux finement ce que nous appelons les conceptions, seul diSessa s'est contraint à élaborer la notion de concept. Tous les autres auteurs définissent peu ce qu'ils entendent par *concept*. Posner et al. ont d'ailleurs reçu une critique par rapport à cette lacune : « Although Posner's theory is widely accepted by science educators and easy to comprehend and apply to learning activities, [...] it does not delineate what the nature of a scientific concept is, which causes difficulty in learning the concept » (Chiu, Chou, & Liu, 2002, p. 689).

Des divergences quant aux processus de changement conceptuel sont aussi notées, découlant notamment de la définition des entités du modèle. Force est de constater que les modèles de Vosniadou et de diSessa s'opposent quant au processus de changement ; Vosniadou expliquant que le changement conceptuel correspond à une révision des présuppositions au sein des théories naïves, diSessa insistant plutôt sur

une coordination, une structuration, une systématisation des p-prims, lesquelles sont présentes tant chez le novice que chez l'expert, d'une façon plus systématisée dans le sens mécanique de ce dernier. Des divergences quant à l'élaboration des contenus découlent de la différence de l'explication du processus ; Vosniadou insiste sur la prise en compte des présuppositions et des croyances des théories naïves dans la planification de l'enseignement, tandis que diSessa insiste sur un enseignement qui tient compte des relations causales et sur leur emploi dans différents contextes. diSessa est d'ailleurs le seul auteur à s'opposer vivement au conflit cognitif, lequel, selon lui, bafoue les idées des élèves.

Comme mentionné dans la section précédente, la divergence entre Giordan et Posner et al. n'est pas aussi claire étant donné qu'ils s'entendent sur l'idée qu'il faut d'une certaine façon effriter la conception initiale pour occasionner ensuite le changement conceptuel et qu'ils préconisent notamment le conflit cognitif pour ce faire. Giordan met toutefois beaucoup plus l'accent sur les moyens de favoriser l'adoption de la nouvelle conception que Posner et al. ; Posner et al. mentionnent trois conditions qui concernent la nouvelle conception, mais mettent plutôt l'accent sur les paramètres de l'écologie conceptuelle et sur les stratégies qui favorisent la condition *insatisfaction*. De son côté, Giordan donne de nombreux moyens d'inciter les élèves à tendre vers la conception scientifique enseignée dans ses paramètres de l'environnement didactique.

#### **4.5.3 Forces des modèles analysés quant aux indications pour la pratique d'enseignement**

Quelques indications pour la pratique enseignante méritent d'être mises en exergue dans cette section. En effet, même si les modèles ne se valent pas tous en quantité d'indications pour la pratique, comme nous le soulignons dans la section 4.5.5, chaque modèle se démarque par au moins une indication particulière.

Pour leur part, Posner et al., qui misent beaucoup sur l'insatisfaction et sur le paramètre *anomalies*, ont clairement proposé de mettre en perspective les conceptions avec certains faits de l'histoire des sciences. La référence à l'histoire des

sciences présente des avantages (Masson, 2005; Thouin, 2004b); certaines conceptions initiales peuvent être mises en parallèle avec des conceptions historiques.

Vosniadou mentionne que la planification et l'enseignement des concepts devrait être effectuée en considérant les expansions futures d'un concept puisque selon elle, le fait d'enseigner un concept de façon à ce qu'il réponde aux présuppositions des théories naïves de l'élève peut occasionner une difficulté à surmonter ultérieurement. En ce sens, elle invite à considérer l'enseignement de concepts plus difficiles plus tôt, l'enseignement du concept de gravité au primaire, par exemple. Cette vision est notable et nous semble applicable pour ce qui est des savoirs essentiels du *Programme de l'école québécoise* (MEQ, 2001). En ce sens, une réflexion quant à la transposition didactique de certains concepts, quant à la séquence dans laquelle certains concepts gagneraient à être enseignés et quant au moment auquel ils pourraient être enseignés pourrait être entamée.

diSessa privilégie l'interprétation qualitative des phénomènes de la physique mécanique. Cette indication est fort pertinente pour l'enseignement des sciences au primaire, plus particulièrement pour l'enseignement de certains concepts de l'*Univers matériel* du fait que les phénomènes de la physique mécanique comme la chute des corps sont facilement observables en quelques instants en classe (contrairement à certains phénomènes biologiques qui prennent du temps à se produire). En ce sens, diSessa spécifie :

I want to acknowledge that my main concern has been conceptual change in physics. I believe that conceptual change in physics, mechanics in particular, has some special characteristics that may not be true in all domains of conceptual change. In particular, physical intuition is built from a huge and critically important phenomenology – living every day in the physical world and having to negotiate it effectively in order to survive and flourish. (diSessa, 2008, p. 37)

Ainsi, l'ancrage des phénomènes mécaniques dans la réalité quotidienne convient à l'interprétation qualitative que diSessa recommande.

La force du modèle allostérique est sans doute l'environnement didactique qui en découle, lequel lui donne une fonction de prescription. Les indications pour la pratique, les moyens et les stratégies proposés sont nombreux et variés, ce qui va dans le sens de cette citation de Duit, Treagust et Widodo :

Quality of instruction is always due to a certain orchestration (Oser & Baeriswyl, 2001) of various instructional methods and strategies. Hence, conceptual change strategies may only be efficient if they are embedded in a conceptual change supporting learning environment that includes many additional features. (2008, p. 636)

Les paramètres de l'environnement didactique à stimuler pour favoriser le changement conceptuel chez les élèves sont variés et rejoignent non seulement les dimensions cognitive et sociale de l'élève, mais aussi la dimension affective. Ce lien entre l'affectivité et la cognition rebute certains didacticiens qui ne considèrent délibérément pas la dimension affective, dont Astolfi (1997) et Posner et al. (1982). Toutefois, selon une recherche récente, « cognitive and affective perspectives are viewed as equally important with both having to undergo substantial conceptual changes during instruction » (Zembylas, 2005, cité par Duit et al., 2008, p. 641). Cette considération des dimensions cognitive et affective est aussi perceptible par les différents niveaux de savoir (les *attitudes*, les *connaissances*, les *savoirs sur le savoir* et les *compétences*) qu'aborde Giordan par rapport au paramètre *élaborer et réfléchir sur ses savoirs*. Ce dernier paramètre s'inscrit dans les activités de structuration et les paramètres pris dans leur ensemble finissent pas rejoindre l'une ou l'autre des trois types d'activités d'une séquence didactique (Astolfi et al., 1997; Thouin, 2004a), soit les activités fonctionnelles, les activités de résolution de problème et les activités de structuration.

#### **4.5.4 Faiblesses des modèles analysés quant aux indications pour la pratique d'enseignement**

Comme mentionné précédemment, le conflit cognitif, la stratégie majeure du modèle de Posner et al., n'assure pas le succès du changement conceptuel (Duit et al., 2008; Potvin, 1998), ce qui concède une faiblesse à ce modèle. De plus, comme les auteurs l'ont eux-mêmes reconnu en 1992, l'accent sur la rationalité et l'exclusion de la

motivation ou de la dimension sociale n'ont pas été porteurs pour leur modèle développé en 1982.

Si Vosniadou et diSessa ont finement détaillé leur modèle de changement conceptuel en tant que processus cognitif, ils n'ont pas développé substantiellement les indications pour la pratique d'enseignement. Cela semble normal étant donné la nature de leurs travaux, c'est-à-dire l'élaboration d'un *modèle*, mais c'est un handicap, en quelque sorte, vu l'angle de la présente recherche. En effet, Vosniadou ne mentionne pratiquement rien sur la relation enseignant-élève, tout comme diSessa. Cependant, la lacune majeure du modèle de diSessa se situe surtout par rapport à la relation élève-savoir. En effet, diSessa ne propose pas explicitement de stratégies d'apprentissage pour que les élèves coordonnent leur utilisation des p-primis. Ce dernier modèle s'inscrivant dans un paradigme complètement différent (la continuité, le sens de la mécanique), des pistes tangibles, particulières à la systématisation des p-primis aideraient ce modèle à devenir plus concret et utile aux enseignants. La référence aux relations causales proposée par diSessa pourrait aider l'enseignant dans son interprétation des conceptions, ce qui lui demanderait de se familiariser avec les p-primis principales répertoriées. Il y a certainement matière à développer plus d'indications pour la pratique d'enseignement à partir de ce modèle. Dans le même ordre d'idée, les présuppositions des théories naïves, dont Vosniadou demande la prise en compte, gagneraient à être répertoriées pour l'enseignant puisqu'elles sont plus implicites que les conceptions.

Du point de vue des indications pour la pratique, Giordan est fort généreux et explicite. Malgré cela, le cadre organisationnel, par rapport au temps et à l'organisation matérielle et sociale gagnerait à être encore plus développé, cette catégorie des variables pour la pratique d'enseignement étant élaborée de façon moins explicite via les paramètres de l'environnement didactique. De plus, la grande sophistication du modèle gagnerait peut-être à être simplifiée, dans la mesure du possible.

#### 4.5.5 En somme, deux modèles remarquables

Pour conclure, nous tenons à souligner que deux modèles se démarquent suite à notre analyse ; l'un pour la finesse de son explication du changement conceptuel d'un point de vue théorique (les entités du changement conceptuel et le processus du changement conceptuel en tant que tel), l'autre pour le détail des indications pour la pratique d'enseignement au primaire.

Le modèle de changement conceptuel de diSessa est le plus intéressant des modèles analysés pour le soin apporté à la définition des entités et à l'explication du processus du changement conceptuel. Il y explique les racines des conceptions de son point de vue, dans le cadre du sens de la mécanique et précise les concepts auxquels son modèle convient, comme celui de *force*, par exemple.

Le modèle le plus pertinent pour ce qui est des indications pour la pratique est le modèle allostérique de Giordan, pour ses paramètres de l'environnement didactique ainsi que le détail des moyens que les enseignants peuvent employer pour les stimuler.

Chacun de ces deux modèles a toutefois les défauts de ses qualités ; le modèle de diSessa, très fort sur l'abstraction du changement conceptuel, est pauvre quant aux indications pour la pratique et le modèle de Giordan, généreux pour les indications pour la pratique, définit peu les entités de son modèle. En effet, chez Giordan, les concepts sont surtout définis quant à leur structure en réseau et les conceptions, surtout par rapport à leur structure et à leur rôle (comme obstacles et comme cadres explicatifs) plutôt que comme entités cognitives et chez diSessa, les relations élève-savoir et enseignant-élève sont très peu rejointes par les quelques indications proposées pour la pratique.

#### **4.6 Exemple de séquence commentée avec les indications pratiques dégagées à partir des modèles de changement conceptuel de Posner et al., de Vosniadou, de diSessa et de Giordan**

L'objectif de cette section est de présenter un exemple de séquence d'enseignement commentée à partir des indications pour la pratique d'enseignement telles que mises en exergue dans les modèles de changement conceptuel de Posner et al., de Vosniadou, de diSessa et de Giordan.

La séquence, qui s'adresse à des élèves des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> cycles du primaire, comprend deux problèmes qui portent sur les forces et les techniques du mouvement : *Les objets lourds tombent-ils plus vite que les objets légers ?* (Thouin, 2006, p. 53) et *Peut-on ralentir la chute d'un objet ?* (Thouin, 2006, p. 339). Quatre activités portent sur le premier problème et sept portent sur le deuxième. Certaines de ces activités sont tirées du livre de Marcel Thouin et d'autres proviennent d'une situation d'apprentissage élaborée par les étudiantes Stéphanie Bachand, Paola Donoso, Sabrina Héroux et Annick Perbost dans le cadre du cours *Projet en sciences et en mathématiques* à l'Université de Montréal en 2008.

D'abord, une présentation des problèmes et des concepts qui y sont reliés permet d'illustrer quelques indications pour la catégorie des variables de la pratique d'enseignement *structuration des contenus*. Ensuite est présenté l'exemple de séquence d'enseignement améliorée et commentée à l'aide des indications pratiques qui ont trait aux *processus* et au *cadre organisationnel* de la pratique d'enseignement. Enfin, une synthèse permet de souligner, globalement, les actions majeures que l'enseignant peut préconiser dans s'il réalise une séquence d'enseignement de ce type. Les indications pour la pratique d'enseignement utilisées pour commenter la séquence ont été dégagées à partir de l'analyse des modèles de changement conceptuel de Posner et al. (1982), de Vosniadou (1994), de diSessa (1993) et de Giordan (1989).

#### 4.6.1 Présentation des concepts de la séquence et indications quant à leur structuration

Comme l'enseignant a un premier contrôle sur les variables de son enseignement lors de la planification (Reuter et al., 2007), il importe de présenter les concepts scientifiques de la séquence en mettant en lumière quelques indications pratiques de la structuration des contenus qui découlent des modèles de changement conceptuel analysés.

Le premier problème, *Les objets lourds tombent-ils plus vite que les objets légers ?*, concerne la chute libre des corps. Le deuxième problème, *Peut-on ralentir la chute d'un objet ?*, concerne aussi la chute des corps, mais aborde surtout le concept de la résistance de l'air. Ces concepts rejoignent les savoirs essentiels *effet de l'attraction gravitationnelle, caractéristiques du mouvement et conception et fabrication de modèle* de l'*Univers matériel* des deuxième et troisième cycles du *Programme de formation de l'école québécoise* (MEQ, 2001, p. 157-158). La compétence principale développée dans cette séquence est *Proposer des explications ou des solutions à des problèmes d'ordre scientifique ou technologique* (MEQ, 2001, p. 151) puisque les problèmes sont des questions qui invitent l'élève à trouver une solution.

Ces deux problèmes ont été choisis du fait qu'ils abordent une sélection limitée de concepts d'un domaine conceptuel. En effet, selon Posner et al., une séquence de concepts d'un même domaine conceptuel augmente la plausibilité de ceux-ci aux yeux des élèves. Dans cette séquence, le fait d'aborder la résistance de l'air en deuxième lieu aide à rendre intelligible la gravité par rapport à la résistance de l'air. En même temps, cela favorise la fécondité du concept étant donné son utilisation dans deux problèmes différents. Selon Posner et al. et Giordan, le premier concept, la chute libre des corps due à la force gravitationnelle serait le concept central, ou prioritaire, et le concept de la chute ralentie par la résistance de l'air serait le concept secondaire ou subordonné.

Selon diSessa, il importe que l'élève soit appelé à réutiliser les relations causales, les p-primis, dans différents contextes pour que l'élève arrive à discriminer, par

l'utilisation de stratégies de lecture, les moments auxquels les p-prims doivent être activées.

Enfin, selon Vosniadou, le fait d'aborder la force de gravité dans le premier problème correspond à sa recommandation d'enseigner des concepts plus complexes avant des concepts plus simples pour favoriser la modification des présuppositions et des croyances des théories naïves.

Cela étant quant à la structuration des contenus, des indications pour la pratique d'enseignement quant aux processus et au cadre organisationnel suivent dans la prochaine section, où l'exemple de la séquence d'enseignement est présenté.

#### **4.6.2 La séquence d'enseignement, les indications pratiques et leurs justifications à l'aide des modèles de changement conceptuel**

Sont présentés dans cette section les problèmes de la séquence en exemple, les activités ainsi que les indications pour la pratique d'enseignement. Ces indications pour la pratique d'enseignement sont insérées dans chacune des activités dans deux tableaux : l'un présente les modalités du cadre organisationnel et l'autre, les modalités des processus. Les ajouts des indications sont suivis d'une justification à l'aide des modèles de changement conceptuel. Pour orienter le lecteur quant à la provenance de chacune des sections du texte de cette section, le code suivant est utilisé :

- Le texte en *italique* correspond à des citations des problèmes et des activités de Thouin (2006).
- Le texte qui n'est pas en italique correspond aux ajouts effectués. La majorité de ce texte correspond au détail des rôles de l'enseignant et des élèves pour chacune des activités, ainsi qu'aux indications organisationnelles (la durée, le matériel, le regroupement des élèves, etc.).
- Les **encadrés ombragés** contiennent les liens explicites entre les indications pratiques des activités et les modèles de changement conceptuel analysés.

Des informations générales à propos du problème sont d'abord citées, puis les activités commentées suivent.

**Problème 1 :**

**Les objets lourds tombent-ils plus vite que les objets légers ?** (Thouin, 2006, p.53)

**Thème :** Les forces et les mouvements.

**Âge :** 10 et 11 ans.

**Temps :** Environ 80 minutes

**Concept scientifique :** À la surface de la Terre, tous les corps qui opposent une résistance négligeable à l'air tombent avec la même accélération de  $9,8 \text{ m/sec}^2$  étant donné la force de gravité. Toutefois, une plume tombe plus lentement qu'une bille à cause de la résistance de l'air.

**Matériel disponible :**

a) pour chaque élève ou chaque équipe :

- Des billes en verre, des billes en acier, une balle de ping-pong, des plumes d'oiseau, des feuilles de papier, un bouchon de liège, une gomme à effacer, un journal de bord.

b) pour l'ensemble du groupe-classe :

- Un vidéo de la chute d'une plume et d'un marteau sur la Lune, un lecteur DVD et une télévision ou un ordinateur et un projecteur, une caméra vidéo et un magnétoscope ou une webcam et un ordinateur, une balance.

**Savoirs essentiels** (MEQ, 2001, p. 157) :

2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> cycles : L'univers matériel > forces et mouvement > effet de l'attraction gravitationnelle sur un objet.

**Activité fonctionnelle****Tour de table**

Faire un tour de table pour identifier les conceptions des élèves au sujet de la chute d'objets lourds et légers et en discuter.

|                                       |                               |   |
|---------------------------------------|-------------------------------|---|
| <b>Durée</b><br>20 minutes            | <b>Activité</b><br>Discussion | <b>Types de regroupement</b><br>Individuel<br>En grand groupe |
| <b>Matériel</b><br>• Journal de bord. |                               | <b>Sécurité</b><br>• Pas de précaution spéciale à prendre.    |

Tableau VIII : Modalités du cadre organisationnel de l'activité fonctionnelle du tour de table

| Rôle de l'enseignant  | Rôle des élèves  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Demander aux élèves de noter dans leur journal de bord leurs réponses provisoires aux questions suivantes : Pourquoi les objets tombent-ils ? Est-ce que tous les objets tombent à la même vitesse ? Les objets lourds tombent-ils plus vite que les objets légers ?</li> <li>• Demander aux élèves d'exprimer et de justifier leurs idées pendant la discussion.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Noter dans son cahier d'expérience leurs idées de réponses provisoires.</li> <li>• Partager avec les autres élèves leurs conceptions initiales en participant à la discussion lors du tour de table et comparer leurs explications avec celles des autres élèves en argumentant.</li> </ul> |

Tableau IX : Modalités des processus en jeux lors de l'activité fonctionnelle du tour de table

|  |
|--|
| <p><b>Liens avec les modèles de changement conceptuel</b></p> <p>Tout d'abord, selon Vosniadou, diSessa et Giordan, soumettre un problème aux élèves en leur posant une question est tout indiqué pour favoriser le changement conceptuel et invite les élèves à s'engager dans la situation.</p> <p>Ensuite, la mise à l'écrit de leurs réponses provisoires aide les élèves à réfléchir, à se positionner, ce qui favorise le paramètre <i>savoir imaginer, oser innover</i> du modèle de Giordan et qui prépare les élèves à argumenter. Selon Vosniadou, lorsque les élèves qui donnent une explication d'un phénomène, ils ont plus de chance de prendre conscience du fait que leurs croyances et présuppositions ne sont pas des vérités, mais des théories sujettes à la falsification.</p> <p>La discussion en grand groupe donne ensuite l'opportunité aux élèves d'aiguiser leur argumentaire avec leurs pairs et leur enseignant. La participation active à cette discussion peut aussi les amener à prendre conscience de leurs conceptions</p> |
|--|

(*metaconceptual awareness*). La discussion et le débat sont également encouragés par diSessa (on le voit dans les travaux de Hammer, 1996), Giordan (selon le paramètre *se confronter/être perturbé*) et par Posner et al. lorsqu'ils abordent le dialogue socratique.

Comme le mentionne Thouin, « certains élèves pensent que les objets lourds tombent plus vite que les objets légers » (2006, p. 53). Cette conception initiale peut être interprétée de diverses façons selon le modèle de changement conceptuel employé. Selon diSessa, une discussion entre l'enseignant et l'élève est nécessaire pour bien diagnostiquer quelle p-prim l'élève emploie afin de comprendre s'il y a des éléments defectueux à l'intérieur de la p-prim utilisée ou si une autre p-prim serait préférable. diSessa (2008) prend en effet en considération les différences entre les élèves. Posner et al. ainsi que Giordan considèrent plutôt la conception « les objets lourds tombent plus vite que des objets légers » comme une représentation par rapport à laquelle les élèves doivent devenir insatisfaits afin qu'un conflit cognitif se produise. Selon Posner et al., cette conception donne l'occasion de tisser un lien avec l'histoire des sciences ; l'enseignant pourrait dire aux élèves que selon Aristote, les objets plus lourds tombaient plus vite que les objets légers et que selon Galilée, ce n'était pas le cas. Enfin, selon Vosniadou, les enfants des deuxième et troisième cycles ont tendance à croire que les objets lourds ou gros tombent plus vite, car ils considèrent la force comme une propriété interne de l'objet qui varie selon la masse et la grosseur.

### **Résolution du problème *Les objets lourds tombent-ils plus vite que les objets légers ?***

Permettre aux élèves d'expérimenter la chute de divers objets pour résoudre le problème.

| Durée<br>30 minutes  | Activité<br>Expérimentation   | Type de regroupement<br>En équipe de deux |
|--|---|---|
| <p><b>Matériel</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Billes en verre</li> <li>• Billes en acier</li> <li>• Balle de ping-pong</li> <li>• Plumes d'oiseau</li> <li>• Feuilles de papier</li> <li>• Bouchon de liège</li> <li>• Gomme à effacer</li> <li>• Une caméra vidéo et un magnétoscope ou une webcam et un ordinateur</li> <li>• Balance</li> <li>• Journal de bord.</li> </ul> | <p><b>Sécurité</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Veiller à ce que les élèves ne laissent pas tomber d'objets cassants ou très lourds.</li> </ul> |   |

Tableau X : Modalités du cadre organisationnel pour la résolution du problème *Les objets lourds tombent-ils plus vite que les objets légers ?*

| Rôle de l'enseignant  | Rôle des élèves   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Présenter aux élèves le matériel disponible.</li> <li>• Inviter les élèves à noter leurs prédictions quant à la chute de paires d'objets.</li> <li>• Sensibiliser les élèves sur les stratégies d'observation.</li> <li>• Donner le matériel aux équipes</li> <li>• Demander aux élèves de noter les résultats dans un tableau (voir un exemple à la page suivante).</li> <li>• Superviser l'expérimentation pendant que les élèves testent la chute des paires d'objets.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Observer la chute libre d'un objet assez dense (exemple : une bille) et d'un objet qui oppose une grande résistance à l'air (exemples : une plume d'oiseau ou une feuille de papier) lâchés en même temps.</li> <li>• Observer la chute libre de deux objets assez denses (exemple : deux billes) lâchés en même temps.</li> <li>• À l'aide d'une caméra vidéo ou d'une webcam, filmer la chute libre d'un objet assez dense (exemple : une bille) et d'un objet qui oppose une grande résistance à l'air (exemples : une plume d'oiseau ou une feuille de papier) lâchés en même temps.</li> <li>• À l'aide d'une caméra vidéo ou d'une webcam, filmer la chute libre de deux objets assez denses (exemple : deux billes) lâchés en même temps.</li> <li>• Peser les objets testés pour évaluer si la masse a une influence sur la vitesse de chute.</li> <li>• Noter ses prédictions et les résultats</li> </ul> |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>dans son journal de bord.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Expliquer pourquoi les résultats concordent ou non avec leurs prédictions.</li> </ul> |
|--|---|

Tableau XI : Modalités des processus en jeux lors de la résolution du problème *Les objets lourds tombent-ils plus vite que les objets légers ?*

### Liens avec les modèles de changement conceptuel

Avant l'expérimentation, l'enseignant qui sensibilise les élèves sur les stratégies d'observation les aide à être plus sensibles aux variables à observer et à la façon de mener l'expérimentation en effectuant des méthodes et des mesures qui permettent de faire des comparaisons et de tirer des conclusions. Selon Posner et al. (1982), cette sensibilisation aide les élèves à prendre conscience, rationnellement, de leur conception initiale insatisfaisante, ce qui favorise le conflit cognitif. Selon diSessa et Sherin (1998), être alerte par rapport aux stratégies d'observation, aux stratégies de lecture pour employer leur expression, permet d'intégrer les diverses observations que les élèves font pendant l'expérimentation pour ajuster leurs p-primis et en discuter par la suite avec les autres élèves et l'enseignant.

Le moment accordé pour faire une prédiction est une étape préalable essentielle pour donner la chance aux élèves de prendre conscience de leurs croyances pendant ou après l'expérimentation (Vosniadou, 1994). Inciter les élèves à mettre leurs idées par écrit correspond également au paramètre *aide à penser* du modèle de Giordan.

L'expérimentation permet aux élèves de manipuler et de représenter leur modèle mental (Vosniadou, 1994). Pendant l'expérimentation, les élèves ont à nouveau l'occasion de devenir *insatisfaits* (Posner et al., 1982) de leur conception initiale en constatant que deux objets de masses différentes tombent en même temps. Cette anomalie du point de vue de l'élève peut favoriser un conflit cognitif s'il en prend rationnellement conscience et souhaite la corriger en changeant sa conception de la situation.

Du point de vue de diSessa, les observations réalisées peuvent permettre à l'enseignant d'aider les élèves à gérer les priorités d'activation des p-primis. Par

exemple, un élève pourrait se rendre compte que deux objets de la même grosseur tombent en même temps, mais que deux objets de masses semblables et de grosseurs différentes ne tombent pas en même temps à cause de la résistance de l'air et non à cause de la masse. L'activation de la p-prim d'Ohm fonctionne quand la résistance de l'air est à considérer pour un objet avec une grande surface.

**Activités de structuration (institutionnalisation des savoirs) :**

**Discussion**

Discussion sur les observations réalisées lors de l'expérimentation.

| Durée<br>15 minutes   | Activité<br>Discussion | Type de regroupement<br>En grand groupe                   |
|---|------------------------|---|
| <b>Matériel</b><br>• Journal de bord à la portée de la main |                        | <b>Sécurité</b><br>• Pas de précaution spéciale à prendre |

Tableau XII : Modalités du cadre organisationnel de la discussion pour l'institutionnalisation des savoirs

| Rôle de l'enseignant  | Rôle des élèves                             |
|---|---|
| • Demander aux élèves ce qu'ils ont constaté à la suite de l'expérimentation : Leurs prédictions étaient-elles justes ? Comment s'expliquent-ils les observations réalisées ? | • Participer à la discussion et argumenter. |

Tableau XIII : Modalités des processus en jeux lors de la discussion pour l'institutionnalisation des savoirs

**Liens avec les modèles de changement conceptuel**

Cette discussion est une occasion pour les élèves d'*élaborer sur leurs savoirs*, d'après le modèle de Giordan. Aussi, cette activité permet aux élèves d'exprimer, à nouveau, leur représentation de la situation et de développer leur sensibilité métacognitive (Vosniadou, 1994).

En se basant sur les modèles de Giordan et de Posner et al., l'enseignant peut orienter la discussion de façon à souligner les contradictions entre les prédictions des élèves et certaines des observations réalisées. Par exemple, si les élèves ont prédit

que les objets plus lourds tombent plus vite que les objets légers, l'enseignant peut les confronter avec le fait que le bouchon de liège tombe en même temps qu'une gomme à effacer, plus lourde, lorsqu'ils ont une hauteur initiale et un temps de départ identiques étant donné leur résistance à l'air équivalente. L'objectif serait alors de favoriser un conflit cognitif.

En s'appuyant plutôt sur le modèle de diSessa, l'enseignant peut tenter d'orienter la discussion autour des observations qui permettent aux élèves de discriminer, par exemple, si l'emploi de la  $p$ -prim d'Ohm est pertinent ou non comme relation causale de cette situation. L'enseignant peut alors élaborer un argumentaire à propos des éléments de la  $p$ -prim à modifier ou au sujet des priorités d'activation cette dernière.

### ***Visionnement d'un documentaire et discussion***

*Présenter aux élèves un documentaire dans lequel on peut voir un astronaute, sur la Lune, qui laisse tomber une plume et un marteau en même temps, puis en discuter.*

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Durée</b><br>15 minutes  | <b>Activité</b><br>Visionnement d'un documentaire et discussion | <b>Type de regroupement</b><br>En grand groupe   |
| <b>Matériel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Télévision</i></li> <li>• <i>Lecteur DVD</i></li> <li>• <i>Vidéo de la chute libre d'un marteau et d'une plume sur la Lune</i><sup>6</sup></li> </ul> |   | <b>Sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas de précaution spéciale à prendre</li> </ul> |

Tableau XIV : Modalités du cadre organisationnel pour l'activité de structuration *Visionnement d'un documentaire et discussion*

| Rôle de l'enseignant  | Rôle des élèves  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Demander aux élèves ce qu'ils connaissent de la Lune.</li> <li>• Discuter du fait que sur la Lune, il y a une attraction gravitationnelle, mais pas d'atmosphère, donc pas de résistance de l'air ; leur demander leurs prédictions quant à la chute de la plume et du marteau qu'on y laisse</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Participer à la discussion et argumenter.</li> <li>• Faire une prédiction quant au moment où le marteau et la plume toucheront le sol s'ils sont lâchés en même temps.</li> </ul> |

<sup>6</sup> Cette vidéo se trouve notamment sur le site Internet [http://www.youtube.com/watch?v=5C5\\_dOEyAfK](http://www.youtube.com/watch?v=5C5_dOEyAfK) qui a été consulté en avril 2009.

|  |  |
|--|--|
| <p>tomber au même moment : vont-ils toucher le sol en même temps ?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Présenter le film.</li> <li>• Demander aux élèves d'expliquer la raison pour laquelle le marteau et la plume tombent en même temps et les inviter à reconsidérer leurs prédictions.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Regarder le film.</li> <li>• Participer à la discussion et argumenter.</li> </ul> |
|--|--|

Tableau XV : Modalités des processus en jeux lors de l'activité de structuration *Visionnement d'un documentaire et discussion*

|   |
|---|
| <p><b>Liens avec les modèles de changement conceptuel</b></p> <p>Ce documentaire permet de rendre <i>intelligible</i> (Posner et coll., 1982) la conception scientifique selon laquelle deux objets tombent en même temps à cause de l'attraction gravitationnelle, lorsqu'il n'y a pas de résistance de l'air, et ce, même s'il s'agit de deux objets de masse très différente.</p> <p>En adoptant le point de vue de diSessa, la discussion pourrait être orientée sur la stratégie de lecture de l'invariance dans différents contextes ; la gravité cause l'accélération des objets vers le sol sur la Terre et sur la Lune.</p> <p>Enfin, ce film, qui interpelle par l'observation, permet aux élèves de <i>trouver du sens aux savoirs</i>, ce qui favorise ainsi un paramètre du modèle allostérique.</p> |
|---|

**Problème 2 : Peut-on ralentir la chute d'un objet ?** (Thouin, 2008, p. 339)

**Thème :** Les techniques du mouvement.

**Âge :** 6 à 11 ans.

**Temps :** Environ 160 minutes

**Concept scientifique :** Un parachute ralentit la vitesse de chute d'un objet ou d'une personne, car sa grande surface augmente la résistance de l'air. De façon générale, les modèles de parachute efficaces sont faits d'un matériau très léger, ont une grande surface et comportent un assez grand nombre de ficelles assez longues. La forme de la toile n'a pas tellement d'importance.

**Matériel disponible :**

a) pour chaque élève ou chaque équipe :

- Du papier d'aluminium, de petites figurines en plastique, quelques sacs d'épicerie en plastique, quelques sacs de pellicule plastique très mince (comme celle qui est utilisée pour envelopper les vêtements après un nettoyage à sec), du papier de soie, quelques morceaux de divers tissus, de la ficelle blanche, de petits objets à suspendre au parachute, des ciseaux, quelques chronomètres, des feuilles de papier, une gomme à effacer, un bouchon de liège, une plume, des billes, de la colle, du ruban adhésif, un journal de bord.

b) pour l'ensemble du groupe-classe :

- Un ventilateur électrique d'assez grande taille, une télévision et un lecteur DVD ou un ordinateur et un projecteur, un vidéo déclencheur d'une chute libre, un rétroprojecteur, un transparent, un crayon non permanent, un escabeau ou un tabouret.

**Savoirs essentiels** (MEQ, 2001, p. 157-158) :

2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> cycles : *L'univers matériel > forces et mouvements > effets combinés de plusieurs forces sur un objet ; caractéristiques du mouvement.*

2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> cycles : *L'univers matériel > techniques et instrumentation > conception et fabrication de modèles.*

2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> cycles : *L'univers matériel > forces et mouvement > effet de l'attraction gravitationnelle sur un objet.*

**Activités fonctionnelles****Visionnement d'un extrait de film et discussion<sup>7</sup>**

Présenter un extrait du film de Bernard, un ours qui saute d'un avion en détresse et qui tente de ralentir sa chute par divers moyens comme le retrait d'objets lourds de son sac ou l'utilisation d'un parapluie.

---

<sup>7</sup> Cette activité est tirée de la séquence d'enseignement élaborée par Bachand, Donoso, Héroux et Perbost.

|  |   |  |
|--|---|--|
| <b>Durée</b><br>15 minutes   | <b>Activité</b><br>Visionnement d'un film et discussion | <b>Types de regroupement</b><br>En grand groupe<br>Individuel  |
| <b>Matériel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Télévision</li> <li>• Lecteur DVD</li> <li>• Film déclencheur de Bernard <sup>8</sup></li> <li>• Journal de bord</li> </ul> |   | <b>Sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas de précaution spéciale à prendre</li> </ul> |

Tableau XVI : Modalités du cadre organisationnel pour l'activité fonctionnelle du visionnement d'une vidéo

| Rôle de l'enseignant  | Rôle des élèves   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Présenter le film déclencheur</li> <li>• Donner aux élèves une intention en regardant le film : observer la chute de Bernard et les moyens qu'il prend pour tenter de ralentir sa chute.</li> <li>• Demander aux élèves ce qui fait en sorte que Bernard tombe.</li> <li>• S'il y a lieu, faire un retour sur la résolution de problème précédente quant à la chute libre des objets.</li> <li>• Présenter le problème aux élèves : Comment ralentir la chute de Bernard ?</li> <li>• Demander aux élèves de noter dans leur journal de bord leur réponse provisoire à la question précédente (voir un exemple de cahier d'élève à la page suivante).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Écouter les consignes de l'enseignant.</li> <li>• Regarder le film en prêtant attention à la chute libre de Bernard.</li> <li>• Participer à la discussion et justifier ses idées.</li> <li>• Noter ses idées provisoires dans son journal de bord.</li> </ul> |

Tableau XVII : Modalités des processus en jeux lors de l'activité fonctionnelle du visionnement d'une vidéo

### Liens avec les modèles de changement conceptuel

Le film permet aux élèves de s'engager, d'être motivés, ce qui correspond à un des paramètres du modèle allostérique.

La discussion permet aux élèves de se confronter (Giordan, 1989), d'exprimer et de prendre conscience de leurs idées (Vosniadou, 1994) et elle permet à l'enseignant de

<sup>8</sup> Ce film de l'ours Bernard qui tombe d'un avion se trouve notamment sur le site Internet <http://www.youtube.com/watch?v=KxZcfr5yolo&feature=Playlist&p=BC5E9E195F366B15&index=17> qui a été consulté en avril 2009.

décèler chez ses élèves leurs conceptions (Posner et al., 1982 ; Giordan, 1989), leurs modèles mentaux ainsi que leurs présuppositions sous-jacentes (Vosniadou, 1994) ou les p-prims employées (diSessa, 1993).

Encore une fois, proposer un problème est une indication qui ressort de l'analyse des modèles de Vosniadou, de diSessa et de Giordan pour qu'ils s'engagent dans la situation et soient motivés.

Selon Vosniadou et Giordan, il importe de donner l'occasion aux élèves de réfléchir de façon individuelle à leur représentation de la situation, d'où le moment accordé aux élèves pour qu'ils notent leurs idées provisoires dans leur journal de bord.

### **Carte d'exploration**

Faire une carte d'exploration pour identifier les conceptions des élèves et en discuter.

| <b>Durée</b><br>20 minutes   | <b>Activité</b><br>Carte d'exploration   | <b>Type de regroupement</b><br>En grand groupe |
|--|--|--|
| <b>Matériel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rétroprojecteur</li> <li>• Crayon non permanent</li> <li>• Transparent (Acétate)</li> </ul> | <b>Sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas de précaution spéciale à prendre</li> </ul> |  |

Tableau XVIII : Modalités du cadre organisationnel pour l'activité fonctionnelle *Carte d'exploration*

| <b>Rôle de l'enseignant</b>   | <b>Rôle des élèves</b>  |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poser le problème aux élèves : Comment ralentir Bernard ou un objet en chute?</li> <li>• Inciter les élèves à partager ce qu'ils ont écrit dans leur cahier d'expérimentation à la suite du visionnement.</li> <li>• Demander aux élèves de s'exprimer sur le moyen qu'ils devront construire en équipe pour ralentir la chute de Bernard.</li> <li>• Incrire sur le transparent les conceptions des élèves.</li> <li>• Organiser la carte d'exploration.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Partager avec les autres élèves leurs conceptions initiales en participant à la discussion et à la réalisation de la carte d'exploration.</li> <li>• Comparer ses explications avec celles des autres élèves et argumenter.</li> </ul> |

Tableau XIX : Modalités des processus en jeux lors de l'activité fonctionnelle *Carte d'exploration*

### Liens avec les modèles de changement conceptuel

Selon Vosniadou, l'enseignant doit exploiter cette activité pour encourager l'élève à fournir des explications du phénomène de la chute d'un objet ralenti par un moyen technique comme le parachute. Selon Giordan, cette opportunité d'expression peut être associée au paramètre *savoir imaginer, oser innover* puisque les élèves donnent leur propre réponse selon leur compréhension du problème.

Comme mentionné précédemment (voir les pages 154 et 155), Vosniadou insiste sur l'importance de la discussion pour permettre aux élèves d'argumenter et de prendre conscience de leurs croyances et de leurs conceptions ; diSessa y voit une occasion pour diagnostiquer les p-prims employées par les élèves et pour permettre le débat ; Giordan trouve qu'elle favorise la confrontation des idées (en maintenant un bon climat de classe et en ne dévalorisant pas l'erreur) et Posner et al. y voient la possibilité du dialogue socratique.

Pour Posner et al., cette discussion peut être le moment d'aborder des conceptions de moyens utilisés pour ralentir les objets tirées de l'histoire des sciences. Comme l'indique Thouin dans les repères culturels en lien avec le problème, « une forme de parachute composée de deux grands parasols fut utilisée pour la première fois, en France, en 1783, pour sauter du haut d'un arbre » (2006, p. 339). Certains élèves qui pensent ralentir un objet avec un parapluie, comme l'ours Bernard dans l'extrait du film, prennent ainsi confiance en voyant que d'autres ont pensé comme eux jadis, ce qui rejoint aussi le paramètre *avoir confiance* de Giordan.

Pour Vosniadou, les réponses des élèves pendant la discussion peuvent éclairer l'enseignant sur leurs présuppositions : selon elle, certains élèves pensent que la force est une propriété interne de l'objet qui dépend de la masse ou de la grosseur de celui-ci et d'autres s'expriment comme s'il n'y avait pas vraiment de force en jeu puisque personne ne tire ou ne pousse sur l'objet en chute ; les élèves attribuent la force de gravité à l'objet au lieu de la concevoir comme un processus (Ioannides & Vosniadou, 2002). Au contraire de diSessa, Vosniadou invite à détruire la cohérence

de la théorie naïve des élèves pour préparer une restructuration d'une conception plus scientifique.

diSessa, de son côté, avec sa vision du *savoir en pièces*, incite plutôt les enseignants à considérer les relations causales sous-jacentes aux explications des élèves et à amener ces derniers à simplement ajuster les éléments des relations causales employées pour tendre vers plus de cohérence, vers les classes de coordination. Par exemple, un élève qui se représente la chute du parachute avec la p-prim d'Ohm n'aurait pas tout à fait tort de penser comme suit : plus le parachute est gros, moins l'objet tombe vite. L'enseignant devrait toutefois s'assurer que l'emploi de cette relation causale, qui n'illustre pas un raisonnement complet à propos de la situation de la chute, est notamment en cohérence avec la perception qu'a l'élève de la masse et de la force de gravité.

### **Observation**

*Demander aux élèves de laisser tomber divers objets (feuilles de papier, gomme à effacer, plumes, billes, etc.) et de décrire la façon dont ils tombent.*

| Durée<br>20 minutes   | Activité<br>Observation | Types de regroupement<br>Individuel<br>En grand groupe   |
|---|-------------------------|--|
| <b>Matériel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Journal de bord</li> <li>• Feuilles de papier (froissées et non froissées)</li> <li>• Gomme à effacer</li> <li>• Bouchon de liège</li> <li>• Plumes</li> <li>• Billes</li> </ul> |                         | <b>Sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Ne pas laisser tomber d'objets cassants ou très lourds.</i></li> </ul> |

Tableau XX : Modalités du cadre organisationnel pour l'activité fonctionnelle *Observation*

| Rôle de l'enseignant  | Rôle des élèves   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Présenter aux élèves les différents objets.</li> <li>• Demander aux élèves de faire des prédictions quant à la description de la chute des objets dans leur journal de bord.</li> <li>• Inviter des élèves à venir laisser tomber des objets.</li> <li>• Donner le tour de parole aux élèves pour qu'ils décrivent la façon dont chaque objet tombe.</li> <li>• Pour animer la discussion, des questions sur la comparaison des chutes d'objet peuvent être posées.<br/>Exemples : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Lequel de ces deux objets tombe le plus lentement ? Une feuille de papier froissée en petite boule ou une feuille de papier non froissée?</li> <li>○ Que dites-vous de la chute simultanée du bouchon de liège et de la gomme à effacer?</li> </ul> </li> <li>• Demander aux élèves de se remémorer ce qu'ils ont appris lors de la résolution du problème précédent <i>Les objets lourds tombent-ils plus vite que des objets légers ?</i></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Faire une prédiction de la description de la chute des objets en répondant aux questions dans le journal de bord.</li> <li>• Observer la chute des différents objets.</li> <li>• Discuter des descriptions de la chute des objets.</li> <li>• Tenter d'expliquer pourquoi leur prédiction s'est avérée juste ou non.</li> <li>• Se remémorer ce qu'ils ont appris en réalisant les activités du problème précédent.</li> </ul> |

Tableau XXI : Modalités des processus en jeux lors de l'activité fonctionnelle *Observation*

### Liens avec les modèles de changement conceptuel

Cette activité permet un rappel du problème précédent. La discussion permet donc un retour sur les conceptions qui ont pu être évoquées par les élèves auparavant.

Encore une fois, selon Vosniadou, expliquer son hypothèse amène l'élève à prendre conscience de son argumentaire. Il faut le laisser exprimer la conception reliée au sens qu'il attribue à la force (force interne ou force acquise).

La question qui porte sur la distinction entre la chute de la feuille de papier froissée

et la chute de la feuille plane permet de voir l'influence de l'air sur le papier et confirme que c'est la grosseur influence la vitesse de chute, et non la masse. Toutefois, des élèves peuvent alors se créer un modèle synthétique en se disant qu'un changement de forme s'accompagne d'un changement de masse (une conception qui a été observée en salle de classe par Bachand, Donoso, Héroux et Perbost). Selon Vosniadou, Giordan et Posner et al., l'enseignant doit être alerte à une pareille conception dans l'objectif de la détruire (Vosniadou), de la rendre obsolète (Giordan) ou insatisfaisante (Posner et al.). Selon diSessa, il faut plutôt creuser davantage le problème avec l'élève pour diagnostiquer la relation causale en jeu et pour l'aider à peaufiner ses stratégies de lecture, par exemple. En effet, il serait possible qu'une fois que l'élève est sensibilisé sur l'invariance de l'observation de la masse de la feuille dans les deux cas, la relation causale utilisée par l'élève ait du sens:

Malgré ces divergences, en somme, l'objectif de l'enseignant dans cette discussion doit être d'amener les élèves à concevoir que la même force gravitationnelle est exercée sur tous les objets en chute libre et que c'est la résistance de l'air qui change le temps de chute d'un objet à l'autre.

### ***Résolution du problème Peut-on ralentir la chute d'un objet ?***

#### ***Fabrication de parachutes ou d'autres moyens de ralentir la chute d'objets***

*Demander aux élèves de concevoir et fabriquer le meilleur parachute en considérant la forme et matériel de la toile, la grosseur de la surface ainsi que le nombre et la longueur des ficelles. Pour faciliter les comparaisons entre les essais, il est préférable que tous les élèves utilisent le même objet, tel qu'une boule de papier d'aluminium ou une petite figurine en plastique.*

| Durée<br>45 minutes  | Activité<br>Apprentissage par problème  | Type de regroupement<br>Équipe de 2 élèves |
|--|---|--|
| <p><b>Matériel</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chronomètres</li> <li>• Boules de papier d'aluminium ou figurines en plastique de même grosseur pour chaque équipe</li> <li>• Sacs d'épicerie en plastique</li> <li>• Sacs de pellicule plastique très mince (comme celle qui est utilisées pour envelopper les vêtements après un nettoyage à sec)</li> <li>• Papier de soie</li> <li>• Morceaux de divers tissus</li> <li>• Ficelle blanche</li> <li>• Ciseaux</li> <li>• Colle</li> <li>• Ruban adhésif</li> <li>• Journal de bord</li> <li>• Escabeau ou tabouret</li> </ul> | <p><b>Sécurité</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne pas laisser tomber d'objets cassants ou très lourds.</li> <li>• Faire attention en manipulant les ciseaux, les ficelles et les sacs en plastique.</li> </ul> |  |

Tableau XXII : Modalités du cadre organisationnel pour la résolution du problème *Peut-on ralentir la chute d'un objet ?*

| Rôle de l'enseignant   | Rôle des élèves   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Présenter aux élèves le matériel disponible.</li> <li>• Demander aux élèves de noter dans leur journal de bord les caractéristiques (les variables) à considérer selon eux pour fabriquer un bon parachute.</li> <li>• Accompagner les élèves dans la schématisation et la fabrication du parachute.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Discuter en équipe et déterminer les caractéristiques du parachute qui sera fabriqué.</li> <li>• Dessiner le schéma du parachute dans le journal de bord et y inscrire le matériel nécessaire.</li> <li>• Fabriquer le parachute.</li> <li>• Ralentir la chute de l'objet au moyen d'un parachute (ils peuvent essayer divers matériaux).</li> <li>• Ralentir la chute de l'objet au moyen d'un parachute (ils peuvent essayer diverses tailles).</li> <li>• Ralentir la chute de l'objet au moyen d'un parachute (ils peuvent essayer diverses formes : ronds, carrés, rectangulaires, en étoile, etc.).</li> <li>• Ralentir la chute de l'objet au moyen d'un parachute (ils peuvent essayer un nombre plus ou moins grand de</li> </ul> |

|  |  |
|--|--|
|  | <p>ficelles : 4, 6, 8, etc.).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ralentir la chute de l'objet au moyen d'un parachute (ils peuvent essayer des ficelles plus ou moins longues).</li> </ul> <p>Autres solution possibles pour ralentir la chute d'un objet :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ralentir la chute de l'objet en le laissant tomber dans le courant d'air créé par un ventilateur qui souffle directement vers le haut.</li> <li>• Ralentir la chute de l'objet en l'attachant à de longs rubans de papier.</li> <li>• Ralentir la chute de l'objet en l'attachant à un, deux ou plusieurs petits parasols chinois miniatures (principe du premier parachute expérimental).</li> </ul> |
|--|--|

Tableau XXIII : Modalités des processus en jeux lors de la résolution du problème *Peut-on ralentir la chute d'un objet ?*

#### **Liens avec les modèles de changement conceptuel**

Tous les auteurs des modèles de changement conceptuel analysés mentionnent de façon plus ou moins explicite l'importance d'avoir un environnement qui donne la chance aux élèves de manipuler du matériel pour trouver une solution au problème.

Pour Giordan, l'occasion de créer et de fabriquer un parachute permet de *savoir imaginer et oser innover*. De plus, le schéma demandé avant la fabrication du parachute est une proposition d'*aide à penser*.

Pour Vosniadou, cette activité donne l'occasion aux élèves d'exprimer leur représentation d'un parachute, de manipuler et d'expérimenter leur hypothèse quant à la construction d'un bon parachute. Cette activité permet aussi de revisiter les conceptions travaillées précédemment et d'avoir la chance de les expérimenter avec succès (Vosniadou, 1994). Enfin, selon Vosniadou, la réalisation d'un schéma avant la fabrication du parachute est souhaitée pour que les élèves prennent conscience que ce qu'ils construisent est en lien avec ce qu'ils pensent.

Enfin, le fait d'inviter les élèves à isoler les variables et à planifier leur fabrication du parachute en fonction d'elles rappelle l'attention particulière à apporter sur les stratégies d'observation (Posner et al., 1982) ou de lecture (diSessa & Sherin, 1998).

**Activités de structuration (institutionnalisation des savoirs) :**

**Concours**

*Si toutes les équipes utilisent un même objet à accrocher à leur parachute (ou trouvent une autre façon de ralentir l'objet), on peut organiser le concours de l'objet qui descend le plus lentement.*

| Durée<br>20 minutes  | Activité<br>Concours  | Type de regroupement<br>En grand groupe |
|--|---|---|
| <b>Matériel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parachute</li> <li>• Journal de bord</li> <li>• Escabeau ou tabouret</li> <li>• Chronomètres</li> <li>• Boules de papier d'aluminium ou petites figurines en plastique de même grosseur pour chaque équipe</li> </ul> | <b>Sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne pas laisser tomber d'objets cassants ou très lourds.</li> <li>• Prendre garde dans l'escabeau.</li> </ul> |   |

Tableau XXIV : Modalités du cadre organisationnel pour le concours

| Rôle de l'enseignant   | Rôle des élèves   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Demander aux élèves de présenter leur façon de ralentir la chute d'un objet et d'identifier les caractéristiques et variables de leur parachute.</li> <li>• Au tableau, inscrire les caractéristiques de chaque parachute (forme et matériel de la toile, grosseur de la surface, nombre et longueur des ficelles).</li> <li>• Lancer le parachute des équipes du haut de l'escabeau.</li> <li>• Inscrire les temps de chute au tableau.</li> <li>• Demander aux élèves de décrire les meilleurs parachutes.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Décrire les caractéristiques de leur parachute aux autres élèves de la classe et expliquer les avantages de leur parachute.</li> <li>• Comparer les temps de chute des parachutes et participer à la discussion pour déceler quelles sont les meilleures caractéristiques d'un parachute.</li> </ul> |

Tableau XXV : Modalités des processus en jeux lors de la réalisation du concours

### Liens avec les modèles de changement conceptuel

Cette activité, avec son côté ludique et compétitif, favorise la motivation, un des paramètres du modèle allostérique.

L'accent mis sur la description et la comparaison du parachute rejoint à nouveau les stratégies d'observation (Posner et al.) et de lecture (diSessa). Ces stratégies aident les élèves dans leur interprétation du phénomène et dans la comparaison des parachutes par rapport aux diverses variables en jeu (forme et matériel de la toile, grosseur de la surface, nombre et longueur des ficelles). En ce sens, l'attention des élèves peut être attirée sur l'isolement d'une variable à la fois pour permettre la comparaison.

Enfin, pour Vosniadou, cette activité est une occasion de tester leur parachute fabriqué à partir de leur conception du parachute et de le comparer à ceux des autres dans le but de trouver les meilleures caractéristiques d'un parachute.

### Dessin commenté<sup>9</sup>

Inviter les élèves à se dessiner en parachute. Le parachute devra avoir les caractéristiques qualitatives d'un bon parachute. Une courte description ou des mots-clés complètent le dessin.

| Durée<br>20 minutes   | Activité<br>Dessin commenté | Type de regroupement<br>Individuel<br>En équipe de 4 élèves  |
|---|-----------------------------|--|
| <b>Matériel</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Journal de bord</li> <li>• Crayons à colorier</li> </ul> |                             | <b>Sécurité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas de précaution spéciale à prendre</li> </ul> |

Tableau XXVI : Modalités du cadre organisationnel de la réalisation de l'activité de structuration du dessin commenté

<sup>9</sup> Cette activité est tirée de la séquence d'enseignement élaborée par Bachand, Donoso, Héroux et Perbost.

| Rôle de l'enseignant   | Rôle des élèves  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Demander aux élèves de se dessiner en chute avec un parachute ayant les meilleures caractéristiques en plus de rédiger une description ou des commentaires.</li> <li>• Aider les élèves avec leur dessin et la rédaction de la description.</li> <li>• Inviter les élèves à présenter leur dessin à leurs pairs en équipe.</li> <li>• Circuler pour animer la discussion des équipes qui en auraient besoin.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dessiner dans son journal de bord un dessin de soi en parachute tout en respectant les caractéristiques d'un bon parachute</li> <li>• Inscrire en quelques lignes une description du dessin ou inscrire les caractéristiques principales de son parachute.</li> <li>• Présenter son dessin à ses pairs en expliquant les caractéristiques ou les principes qu'il a voulu illustrer.</li> <li>• Réagir aux présentations des autres élèves.</li> </ul> |

Tableau XXVII : Processus en jeux lors de la réalisation de l'activité de structuration du dessin commenté

### Liens avec les modèles de changement conceptuel

Le fait d'illustrer un bon parachute permet aux élèves d'exprimer, à nouveau, leur représentation de la situation et de développer leur sensibilité métacognitive (Vosniadou, 1994). Selon Vosniadou, il importe que les élèves apprennent à organiser et à schématiser leurs savoirs ; il importe que chaque élève réalise son propre dessin commenté pour qu'il réfléchisse sur ses apprentissages avant d'en discuter avec les autres. Dans le même ordre d'idée, pour Giordan, ce dessin est une aide à penser, et pour Posner et al., une représentation du concept sous un différent mode, ce qui favorise la condition de l'intelligibilité. De plus, le fait de se dessiner peut *motiver* l'élève et *d'élaborer sur ses savoirs* (deux paramètres du modèle allostérique).

Enfin, la discussion permet aux élèves d'explicitier leur pensée et de la comparer à celle des autres, ce qui, encore une fois, développe une conscience métaconceptuelle (Vosniadou, 1994) ou permet à l'enseignant de débattre avec ses élèves en fonction des p-primés activées (Hammer, 1996).

### Discussion synthèse

Aborder avec les élèves les deux problèmes résolus par rapport aux forces et aux techniques du mouvement.

|                                      |   |  |
|--------------------------------------|---|--|
| <b>Durée</b><br>20 minutes           | <b>Activité</b><br>Discussion synthèse                    | <b>Type de regroupement</b><br>En grand groupe |
| <b>Matériel</b><br>• Journal de bord | <b>Sécurité</b><br>• Pas de précaution spéciale à prendre |  |

Tableau XXVIII : Modalités du cadre organisationnel pour l'activité de structuration de la discussion synthèse

| Rôle de l'enseignant   | Rôle des élèves  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Demander aux élèves de réfléchir à la chute de Bernard et des objets du premier problème, à la chute des objets sur la Lune, puis à la chute des objets avec les parachutes.</li> <li>• Animer une discussion sur les points qui varient entre les contextes des situations.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Partager avec les autres élèves leurs idées.</li> </ul> |

Tableau XXIX : Modalités des processus en jeux lors de l'activité de structuration de la discussion synthèse

#### Liens avec les modèles de changement conceptuel

Pour diSessa, cette discussion synthèse sur les deux problèmes résolus donne l'occasion de souligner l'invariance à observer dans les deux situations (la force de gravité).

Pour Posner et al., le fait d'aborder la résistance de l'air ainsi que la gravité favorise les conditions de l'intelligibilité et de la plausibilité de l'effet de la force de gravité sur des objets en chute. En effet, les élèves peuvent constater, par exemple, que la chute libre d'un objet n'a pas de rapport avec la masse, que la différence est expliquée par la résistance de l'air. Enfin, le fait d'aborder un même concept dans deux problèmes différents favorise la perception de la fécondité du concept par les élèves.

Pour Vosniadou, cette discussion peut être une occasion d'approfondir le concept de

la force de gravité. En effet, lorsqu'il est question de modifier des présuppositions et croyances de théories naïves, Vosniadou propose de ne pas hésiter à aborder des concepts complexes pour favoriser le changement conceptuel lors d'apprentissages ultérieurs.

Enfin, pour Giordan, le lien avec l'activité précédente *donne du sens aux savoirs* et permet aux élèves d'*élaborer sur leurs savoirs*.

#### **4.6.3 Synthèse des indications pour la pratique d'enseignement de cet exemple de séquence d'enseignement**

Cet exemple a permis de mettre en évidence plusieurs des indications pour la pratique d'enseignement qui découlent des modèles de changement conceptuel analysés. Pour l'ensemble des indications pour la pratique enseignante dégagées des modèles de changement conceptuel analysés, le lecteur peut se référer aux sections 4.1.3 (pour le modèle de Posner et al.), 4.2.3 (pour le modèle de Vosniadou), 4.3.3 (pour le modèle de diSessa) et 4.4.3 (pour le modèle de Giordan).

Globalement, on remarque que la discussion, avec une intention particulière qui varie selon l'auteur, doit occuper une grande place dans une séquence d'enseignement en sciences. Les divergences des auteurs quant à l'intention que l'enseignant doit avoir pendant la discussion sont un point positif pour la pratique d'enseignement ; en effet, selon Astolfi et al. (2006), il est nécessaire de diversifier les actions didactiques, en s'appuyant sur différents modèles. De même, donner la chance à l'élève de réfléchir et d'exprimer ses conceptions de façon individuelle et sous différents modes (à l'écrit, à l'oral, sous la forme d'un schéma, sous la forme de la réalisation d'un modèle, etc.) ainsi que de les expérimenter sont des pratiques importantes à prévoir dans les trois types d'activité (les activités fonctionnelles, les activités de résolution de problème et les activités de structuration).

Toutes ces actions réunies, à propos d'une petite sélection de concepts (l'effet de l'attraction gravitationnelle sur un objet, les caractéristiques du mouvement, conception et fabrication d'un modèle (MEQ, 2001)) d'un même domaine

conceptuel (les forces et les techniques du mouvement dans le contexte de la chute d'objets), exigent du temps. Le fait de passer du temps sur un domaine conceptuel permet de l'approfondir, ce qui va dans le sens des indications de tous les auteurs, qui insistent sur le fait que le changement conceptuel est graduel.

## 5. Conclusion

Le but de cette recherche était de faire un état de la question des principaux modèles de changement conceptuel, d'abord pour présenter leurs entités et leur processus de changement et ensuite pour mettre en exergue les indications pour la pratique d'enseignement que les modèles sous-tendent. L'analyse de contenu et la synthèse des modèles de changement conceptuel de Posner, Strike, Hewson et Gertzog (1982), de Vosniadou (1994), de diSessa (1993) et de Giordan (1989) sont les méthodes qui ont permis de réaliser cet état de la question.

À la page suivante, le tableau XXX résume quelques traits notables des quatre modèles analysés.

| Modèles              | Conceptions   | Concepts   | Processus  | Indications   | Fonctions                                       |
|----------------------|---|--|--|---|---|
| <b>Posner et al.</b> | -Elles ne sont pas justes ;<br>-Elles sont organisées en réseau.  | -Ils sont organisés en réseau ;<br>-Ils sont peu définis et le terme est aussi employé dans le sens de <i>conception</i> .         | -L'accommodation.  | -Favoriser la rencontre des quatre conditions (insatisfaction, intelligibilité, plausibilité, fécondité) par divers moyens.   | -Décrire<br>-Expliquer                          |
| <b>Vosniadou</b>     | -Elles sont des modèles mentaux de différents niveaux qui résultent de théories naïves ;<br>-Les théories naïves regroupent des présuppositions épistémologiques et ontologiques ainsi que des croyances. | -Ils correspondent aux modèles scientifiques.<br>-Ils sont peu définis.  | -La révision des présuppositions et des croyances des théories naïves pour tendre vers le modèle mental scientifique.                | -Engager les élèves pour qu'ils prennent conscience que leurs présuppositions et leurs croyances ne sont pas des vérités.<br>-Donner la chance aux élèves d'exprimer leurs conceptions sous différents modes.                                 | -Décrire<br>-Expliquer<br>-Prédire<br>-Explorer |
| <b>diSessa</b>       | -Elles résultent des p-prims, soit des relations causales abstraites, qui ne sont pas systématisées dans le sens de la mécanique naïf.  | -Ils correspondent aux classes de coordination dans lesquelles les stratégies de lecture et les relations causales sont organisées | -Systématisation des p-prims pour passer d'un sens de la mécanique novice peu profond à un sens de la mécanique expert plus compact. | -Faire des discussions qui amènent les élèves à décrire ce qu'ils font ou ce qu'ils pensent par rapport à un phénomène.<br>-Sensibiliser les élèves aux stratégies de lecture.  | -Décrire<br>-Expliquer<br>-Explorer             |
| <b>Giordan</b>       | -Elles correspondent à la fois à des obstacles et à des cadres explicatifs.   | -Ils sont organisés en réseau ;<br>-Ils sont peu définis.  | -Transformation des conceptions (déconstruction et reconstruction).  | -Favoriser les paramètres de l'environnement didactique ; amener l'élève à trouver du sens aux savoirs, à se confronter, à avoir confiance, à savoir imaginer, à mobiliser et réfléchir sur ses savoirs et à s'approprier des aides à penser. | -Décrire<br>-Expliquer<br>-Prescrire            |

Tableau XXX : Résumé des points notables des quatre modèles de changement conceptuel analysés

Il importe de souligner que même si les modèles de changement conceptuel ont des divergences, ils sont souvent plus semblables qu'ils le prétendent. Certaines ressemblances, comme la convergence de plusieurs des indications pour la pratique d'enseignement mises en exergue, sont plus frappantes que les divergences. Principalement, la résolution de problèmes, la mise de matériel à la disposition des élèves, la discussion, l'emploi de l'analogie, l'enseignement de concepts par champs globaux, la considération du temps que requiert la mise en œuvre du changement conceptuel et le retour sur les concepts déjà enseignés représentent les indications pour la pratique d'enseignement qui reviennent souvent d'un modèle à l'autre et qui pourraient s'avérer les plus utiles pour favoriser le changement conceptuel. Plusieurs de ces indications dégagées des modèles de changement conceptuel étudiés ont été reprises dans l'exemple de la séquence d'enseignement commentée de la section 4.6. pour donner un aperçu de leur applicabilité en l'enseignement des sciences au primaire.

Les indications pour la pratique d'enseignement étant mises en exergue pour ces quatre modèles de changement conceptuel, il est à préciser que leur emploi n'est pas la panacée ; notre objectif n'était pas de donner une méthode ou une recette, mais bien de faire ressortir des pistes pour l'enseignement des sciences au primaire selon un point de vue didactique à partir de ces modèles issus du riche programme de recherche qu'est celui du changement conceptuel.

D'ailleurs, le fait d'avoir eu à effectuer une sélection de modèles est une limite de la recherche ; l'analyse d'un plus grand nombre de modèles de changement conceptuel pourrait peut-être révéler des pistes supplémentaires pour la pratique de l'enseignement des sciences au primaire.

Plusieurs suites peuvent être données à cette recherche. Par exemple, dans le cadre de l'enseignement de concepts ciblés dans un champ global, on pourrait évaluer les impacts de la mise à l'essai d'indications pratiques chez les enseignants du primaire (quant à leurs sentiments à se sentir prêts et compétents en enseignement des sciences, par exemple) et chez les élèves (quant à leur compréhension des concepts

scientifiques, par exemple). Un autre projet pourrait se réaliser à l'aide des technologies et des connaissances émergentes des neurosciences dans le but de tenter d'observer, à l'aide de l'imagerie du cerveau par résonance magnétique, si un modèle de changement conceptuel est cognitivement plus pertinent qu'un autre pour représenter l'apprentissage des sciences au primaire. Enfin, compte tenu des indications pratiques mises en évidence, une recherche en développement pourrait permettre d'élaborer l'ordre idéal dans lequel les concepts scientifiques d'un champ scientifique gagneraient être enseignés pour faire en sorte que le changement conceptuel soit le plus aisé possible lors des apprentissages ultérieurs.

## Références

- Artigue, M. (1988). Ingénierie didactique. In *Recherches en didactique des mathématiques* (Vol. 9/3, pp. 281-308). Grenoble: La pensée sauvage éditions.
- Association des professeurs de sciences du Québec (APSQ). (2004). Avis sur la situation de l'enseignement de la science et de la technologie au Québec, dans le cadre de la réforme au primaire et au secondaire. *Spectre*, 33(3), 11-15.
- Astolfi, J.-P. (1997). *L'erreur, un outil pour enseigner*. Paris: Éditions ESF.
- Astolfi, J.-P. (2007). Enseigner les sciences comme (à) des géants. In P. Potvin, M. Riopel & S. Masson (Eds.), *Regards multiples sur l'enseignement des sciences* (pp. 17-34). Québec: Éditions MultiMondes.
- Astolfi, J.-P., Darot, É., Ginsburger-Vogel, Y., & Toussaint, J. (1997). *Mots-clés de la didactique des sciences : repères, définitions, bibliographies*. Paris Bruxelles: De Boeck.
- Astolfi, J.-P., & Develay, M. (2002). *La didactique des sciences* (6e éd.). Paris: Presses universitaires de France.
- Astolfi, J.-P., Peterfalvi, B., & Vérin, A. (2006). *Comment les enfants apprennent les sciences* (2<sup>e</sup> éd.). Paris: Retz.
- Bachelard, G. (1938/1977). *La formation de l'esprit scientifique : contribution à une psychanalyse de la connaissance objective* (10e éd.). Paris: J. Vrin.
- Bélangier, M. (2008). *Du changement conceptuel à la complexification conceptuelle dans l'apprentissage des sciences*. Thèse de doctorat, Université de Montréal, Montréal.
- Bertrand, Y., & Houssaye, J. (1999). *Pédagogie and didactique: an incestuous relationship*. *Instructional Science*(27), 33-51.
- Bru, M. (1991). *Les variations didactiques dans l'organisation des conditions d'apprentissage*. Toulouse: Éditions Universitaires du Sud.
- Bru, M. (2006). *Les méthodes en pédagogie*. Paris: Presses universitaires de France.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: The Massachusetts Institute of Technology Press.

- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné* (2e éd.). Grenoble: La Pensée sauvage.
- Chiu, M.-H., Chou, C.-C., & Liu, C.-J. (2002). Dynamic processes of conceptual change : analysis of constructing mental models of chemical equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(8), 688-712.
- Conseil de la science et de la technologie (CST). (2002). *La culture scientifique et technique au Québec : Bilan*. Sainte-Foy, Québec: Gouvernement du Québec.
- Conseil de la science et de la technologie (CST). (2003). *La culture scientifique et technique au Québec - Synthèse des consultations*. Sainte-Foy, Québec: Gouvernement du Québec.
- Conseil de la science et de la technologie (CST). (2004). *La culture scientifique et technique. Une interface entre les sciences, la technologie et la société*. Sainte-Foy, Québec: Gouvernement du Québec.
- Conseil de la science et de la technologie (CST). (2006). *Mémoire sur la mise à jour de la politique québécoise de la science et de l'innovation*. Sainte-Foy, Québec: Gouvernement du Québec.
- Cornu, L., & Vergnioux, A. (1992). *La didactique en question*. Paris: Hachette (collection Ressources Formation).
- Couture, C. (2002). *Étude du processus de co-construction d'une intervention en sciences de la nature au primaire par une collaboration praticien-chercheur*. Thèse non publiée, Université du Québec à Chicoutimi et Université du Québec à Montréal, Chicoutimi et Montréal.
- Couture, C. (2005). Repenser l'apprentissage et l'enseignement des sciences à l'école primaire: une coconstruction entre chercheurs et praticiens. *Revue des sciences de l'éducation*, 31(2), 317-334.
- De Ketele, J.-M., & Maroy, C. (2006). Quels critères de qualité pour les recherches en éducation ? In L. Paquay, M. Crahay & J.-M. De Ketele (Eds.), *L'analyse qualitative en éducation* (pp. 219-249). Bruxelles: De Boeck.
- Dion, C. (2002). *L'ergonomie en intervention éducationnelle et sociale : analyse conceptuelle*. Mémoire non publié, Université de Montréal, Montréal.
- diSessa, A. A. (1988). Knowledge in pieces. In G. Förman & P. B. Pufall (Eds.), *Constructivisme in the Computer Age* (pp. 49-70). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- diSessa, A. A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(2 & 3), 105-225.

- diSessa, A. A. (2002). Why "conceptual ecology" is a good idea. In M. Limon & L. Mason (Eds.), *Reconsidering Conceptual Change* (pp. 29-60). Dordrecht, Pays-Bas: Kluwer Academic.
- diSessa, A. A. (2006). A history of conceptual change research. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (pp. 265-281). New York, NY: Cambridge University Press.
- diSessa, A. A. (2008). A bird's-eye view of the "pieces" vs. "coherence" controversy (from the "pieces" side of the fence). In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York, NY: Routledge.
- diSessa, A. A., Gillespie, N. M., & Esterly, J. B. (2004). Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cognitive Science*, 28, 843-900.
- diSessa, A. A., & Sherin, B. L. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education*, 20(10), 1155-1191.
- Duit, R. (1991). Students' conceptual frameworks: consequence for learning science. In S. M. Glynn, R. H. Yeany & B. K. Britton (Eds.), *The psychology of learning science* (pp. 65-85). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Duit, R., Roth, W.-M., Komorek, M., & Wilbers, J. (1998). Conceptual change cum discourse analysis to understand cognition in a unit on chaotic systems: towards an integrative perspective on learning in science. *International Journal of Science Education*, 20(9), 1059-1073.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (1998). Learning in science - from behaviorism towards social constructivism and beyond. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 3-25). Dordrecht, Pays-Bas: Kluwer Academic Publishers.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671-688.
- Duit, R., Treagust, D. F., & Widodo, A. (2008). Teaching science for conceptual change : theory and practice. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 629-646). New York, NY: Routledge.
- Eastes, R.-E., & Pellaud, F. (2004). Un outil pour apprendre : l'expérience contre-intuitive. *Union des professeurs de physique et de chimie*, 98(juillet/août/septembre 2004), 1197-1208.

- Gauthier, C., & Tardif, M. (2005). *La pédagogie, théories et pratiques de l'Antiquité à nos jours* (2<sup>e</sup> éd.). Montréal: Gaëtan Morin éditeur.
- Giordan, A. (1989). Vers un modèle didactique d'apprentissage allostérique. In N. Bednarz & C. Garnier (Eds.), *Construction des savoirs : obstacles et conflits* (pp. 240-257). Montréal: Éditions Agence d'ARC.
- Giordan, A. (1996). Learning : beyond constructivism. In A. Giordan & Y. Girault (Eds.), *The New Learning Models* (pp. 20-37). Nice, France: Z'éditions.
- Giordan, A. (1998). *Apprendre!* Paris: Belin.
- Giordan, A. (2002). Après Piaget, que peut-on dire sur le changement conceptuel. In R. M. J. Toussaint (Ed.), *Changement conceptuel et apprentissage des sciences, recherches et pratiques* (pp. 13-29). Montréal: Éditions Logiques.
- Giordan, A., Guichard, F., & Guichard, J. (1997). *Des idées pour apprendre*. Nice, France: Z'éditions.
- Giordan, A., & Pellaud, F. (2002). Faut-il encore enseigner les sciences? *L'Actualité chimique*(255), 20-23.
- Giordan, A., & Vecchi, G. d. (1987). *Les origines du savoir : des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Neuchâtel: Delachaux & Niestlé.
- Glynn, S. M. (2007). Methods and strategies.: teaching-with-analogy model. *Science and Children*, 44(8), 52-55.
- Gouvernement du Québec. (2005). Régime pédagogique de l'éducation préscolaire, de l'enseignement primaire et de l'enseignement secondaire. *Gazette Officielle*(23).
- Hammer, D. (1996). Misconceptions or p-prims: how may alternative perspectives of cognitive structure influence instructional perceptions and intentions? *The Journal of the Learning Science*, 5(2), 97-127.
- Herbé, L. (1999). (Re)construire les connaissances. *Sciences Humaines*(98), 22-25.
- Herry, Y. (2000). Enseignement et apprentissage des sciences: résultats de la troisième enquête internationale. *Revue des sciences de l'éducation*, XXVI(2), 347-366.
- Honorez, M. (2000). L'acquisition des compétences terminales en sciences, recherche-action sur la construction de séquences didactiques axées sur le modèle allostérique de Giordan. *Informations pédagogiques*(50), 9-28.
- Honorez, M., Remy, F., Cahay, R., Monfort, B., & Therer, J. (2001). L'acquisition des compétences terminales en sciences, recherche-action sur la construction

de séquences didactiques axées sur le modèle allostérique de Giordan. *Informations pédagogiques*(52), 41-57.

- Inagaki, K., & Hatano, G. (2008). Conceptual change in naïve biology. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 240-262). New York, NY: Routledge.
- Ioannides, C., & Vosniadou, S. (2002). The changing meaning of force. *Cognitive Science Quarterly*, 2(1), 5-62.
- Johsua, S., & Dupin, J.-J. (1999). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques* (2e éd.). Paris: Presses universitaires de France.
- Jonnaert, P. (2001). Un recadrage des didactiques contemporaines des disciplines. In P. Jonnaert & S. Laurin (Eds.), *Les didactiques des disciplines, un débat contemporain* (pp. 29-56). Sainte-Foy, Québec: Presses de l'université du Québec.
- Karsenti, T., & Savoie-Zajc, L. (2004). *La recherche en éducation : étapes et approches* (3<sup>e</sup> éd.). Montréal: Éditions du CRP.
- Kuhn, T. S. (1970). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris: Flammarion.
- Landry, N. (2006). *Vers une classification du domaine perceptuel en éducation préprimaire, proposition d'un construit théorique*. Thèse de doctorat non publiée, Université du Québec à Montréal, Montréal.
- Lefevre, G. (2005). L'accès aux pratiques d'enseignement à partir d'une double lecture de l'action. *Journal international sur les représentations sociales*, 2(1), 78-88.
- Legendre, M.-F. (2002). Le rôle du raisonnement qualitatif dans les processus de changement conceptuel et ses implications pour l'enseignement et la formation des enseignants. In R. M. J. Toussaint (Ed.), *Changement conceptuel et apprentissage des sciences: recherches et pratiques* (pp. 177-202). Montréal: Les Éditions Logiques.
- Legendre, M.-F. (2007). Enseigner les sciences dans une double perspective de continuité et de rupture. In P. Potvin, M. Riopel & S. Masson (Eds.), *Regards multiples sur l'enseignement des sciences* (pp. 293-307). Sainte-Foy, Québec: Éditions MultiMondes.
- Legendre, R. (2005). *Dictionnaire actuel de l'éducation* (3e éd.). Montréal: Guérin.
- Lenoir, Y., Larose, F., Grenon, V., & Hasni, A. (2000). La stratification des matières scolaires chez les enseignants du primaire au Québec : évolution ou stabilité des représentations depuis 1981. *Revue des sciences de l'éducation*, XXVII(3), 483-514.

- Marcel, J.-F. (2002). La connaissance de l'action et des pratiques enseignantes. In J.-F. Marcel (Ed.), *Les sciences de l'éducation; des recherches, une discipline* (pp. 79-112). Paris: L'Harmattan.
- Martin, M. O., Mullis, I. V. S., Gonzalez, E. J., & Chrostowski, S. J. (2004). *TIMSS 2003 Science Report Findings From IEA's Trends in International Mathematics and Science Study at the Fourth and Eighth Grades*. Chestnut Hill, MA: TIMSS & PIRLS International Study Center, Boston College.
- Masson, S. (2005). *Effets de l'utilisation de micromondes historiques sur les processus de changement conceptuel en sciences*. Mémoire non publié, Université de Montréal, Montréal.
- Masson, S. (2008). L'analyse technologique et la conception technologique. *Vivre le primaire*, 21(3), 50-51.
- Migne, J. (1970). Pédagogie et représentations. *Éducation permanente*(8).
- Minier, P., & Gauthier, D. (2006). Représentations des activités d'enseignement-apprentissage en sciences et liens avec les stratégies pédagogiques déployées par des enseignants du primaire. *Journal International sur les Représentations Sociales*, 3(1).
- Ministère de l'éducation du Québec (MEQ). (2001). *Programme de formation de l'école québécoise - Éducation préscolaire et enseignement primaire*, : Gouvernement du Québec.
- Ministère de l'Éducation du Québec (MEQ). (2004). *Tendances de l'enquête internationale sur la mathématique et les sciences TEIMS 2003*. Québec: Gouvernement du Québec.
- Murphy, P. K., & Alexander, P. A. (2008). The role of knowledge, beliefs, and interest in the conceptual change process : a synthesis and meta-analysis of the research. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 583-616). New York, NY: Routledge.
- OCDE. (2001). *Connaissances et compétences : des atouts pour la vie – Premiers résultats du programme international de l'OCDE pour le suivi des acquis des élèves (PISA) 2000*. Paris: OCDE.
- OCDE. (2007). *Programme international pour le suivi des acquis des élèves (PISA) 2006 : Les compétences en sciences, un atout pour réussir, volume 1 - Analyse des résultats*. Paris: OCDE.
- Ouellet, A. (1994). *Processus de recherche, une introduction à la méthode de la recherche* (2e éd.). Sainte-Foy: Presses de l'Université du Québec.

- Paillé, P. (1996). De l'analyse qualitative en général et de l'analyse thématique en particulier. *Revue de l'Association pour la recherche qualitative*, 15, 179-194.
- Pellaud, F., & Eastes, R.-E. (2003). *The importance of "presenting" knowledge : the role of the teaching environment in the Allosteric Model*. Paper presented at the Paper presented at the Hawaii International Conference on Social Sciences, Honolulu.
- Pellaud, F., Eastes, R.-E., & Giordan, A. (2004). Des modèles pour comprendre l'apprendre: de l'empirisme au modèle allostérique. *Gymnasium Helveticum* (5), 10-14.
- Pellaud, F., Eastes, R.-E., & Giordan, A. (2005). Un modèle pour comprendre l'apprendre: le modèle allostérique. *Gymnasium Helveticum*(1), 28-34.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gretzog, W. A. (1982). Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Potvin, P. (1998). *État de la question de la problématique du conflit cognitif en sciences au secondaire*. Mémoire non publié, Université du Québec à Montréal, Montréal.
- Potvin, P. (2002). *Regard épistémique sur une évolution conceptuelle en physique au secondaire*. Thèse de doctorat non publiée, Université de Montréal, Montréal.
- Potvin, P. (2007). Enseigner les sciences en considérant le rôle de l'intuition dans l'apprentissage. In P. Potvin, M. Riopel & S. Masson (Eds.), *Regards multiples sur l'enseignement des sciences* (pp. 356-377). Québec, QC: Éditions MultiMondes.
- Reuter, Y., Cohen-Azria, C., Daunay, B., Delcambre, I., & Lahanier-Reuter, D. (2007). *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques*. Bruxelles: De Boeck.
- Roy, J. A. (1995). Représentation du rôle de l'enseignement de sciences telle qu'elle émerge de recherches qualitatives publiées de 1983 à 1993 dans les revues *Sciences Education* et *Journal of Research in Science Teaching*. *Revue des sciences de l'éducation*, XXI(2), 241-262.
- Sauvé, L. (1992). *Éléments d'une théorie du design pédagogique en éducation relative à l'environnement élaboration d'un supramodèle pédagogique*. Montréal: Université du Québec à Montréal.
- Savoie-Zajc, L. (1993). *Les modèles de changement planifié en éducation*. Montréal: Éditions Logiques.

- Smith, C. L. (2003). Conceptual change. In J. W. Guthrie (Ed.), *Encyclopedia of education* (2e éd., Vol. 4, pp. 1427-1431). New York: Macmillan Reference USA.
- Smith, J., diSessa, A. A., & Roschelle, J. (1993/1994). Misconceptions reconceived : a constructivist analysis of knowledge in transition. *The Journal of the Learning Sciences*, 3(2), 115-163.
- Tardif, J. (1992). *Pour un enseignement stratégique : l'apport de la psychologie cognitive*. Montréal: Éditions Logiques.
- Thouin, M. (2004a). *Enseigner les sciences et la technologie au préscolaire et au primaire*. Sainte-Foy, Québec: Éditions MultiMondes.
- Thouin, M. (2004b). *Explorer l'histoire des sciences et des techniques*. Québec, QC: Éditions MultiMondes.
- Thouin, M. (2006). *Résoudre des problèmes scientifiques et technologiques au préscolaire et au primaire*. Sainte-Foy, Québec: Éditions MultiMondes.
- Thouin, M. (2008). *Tester et enrichir sa culture scientifique et technologique*. Sainte-Foy, Québec: Éditions MultiMondes.
- Tsai, C.-C., & Wen, M. L. (2005). Research and trends in science education from 1998 to 2002 : a content analysis of publication in selected journals. *International Journal of Science Education*, 27(1), 3-14.
- Van der Maren, J.-M. (1996). *Méthodes de recherche pour l'éducation* (2e éd.). Montréal: Presses de l'Université de Montréal.
- Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretive framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(9), 1031-1055.
- Viennot, L. (1979). *Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire*. Paris: Hermann.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.
- Vosniadou, S. (1999). Conceptual change research: state of the art and future directions. In W. Schnotz, S. Vosniadou & M. Carretero (Eds.), *New Perspectives on Conceptual Change* (pp. 3-13). Amsterdam, Pays-Bas: Pergamon.
- Vosniadou, S. (2008). Conceptual change research: an introduction. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. xiii-xxviii). New York: Routledge.

- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: a study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24(4), 535-585.
- Vosniadou, S., Vamvakoussi, X., & Skopeliti, I. (2008). The Framework Theory Approach to the Problem of Conceptual Change. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 3-34). New York, NY: Routledge.

## Sites Internet consultés

Ils sont classés selon leur ordre d'apparition dans le texte.

- Bibliographie de Duit :  
<http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>  
consulté en juillet 2008
- Site mexicain sur les conceptions :  
<http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx:2048/estructura.htm>  
consulté en juillet 2008
- Site de la vidéo de la chute du marteau et de la plume sur la Lune :  
[http://www.youtube.com/watch?v=5C5\\_dOEyAfk](http://www.youtube.com/watch?v=5C5_dOEyAfk)  
consulté en avril 2009
- Site de la chute libre de l'ours Bernard :  
<http://www.youtube.com/watch?v=KxZcfr5yolo&feature=PlayList&p=BC5E9E195F366B15&index=17>  
consulté en avril 2009