

Université de Montréal

**Traitements didactiques préventifs d'un type de conceptions erronées
en sciences physiques chez des élèves du secondaire**

**par
André Blondin**

**Département de didactique
Sciences de l'éducation**

**Thèse présentée à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Philosophiae Doctor (Ph.D.)
en didactique des sciences**

Mai 1998

© André Blondin 1998



LB
5
U57
1999
U.003

Université de Montréal

Traitements didactiques présentés d'un type de conceptions erronées
en sciences physiques chez des élèves du secondaire

par

André Blouin

Département de didactique
Sciences de l'éducation

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Philosophie Doctor (Ph.D.)
en didactique des sciences

Mai 1998

© André Blouin 1998



Identification du jury

**Université de Montréal
Faculté des études supérieures**

Cette thèse intitulée:

**Traitements didactiques préventifs d'un type de conceptions erronées
en sciences physiques chez des élèves du secondaire**

présenté par:

André Blondin

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes:

*Réal Leroux
Pierre Sauriol
Jean Vaygniez - Abad
André Caillet
Jean-Pierre Marquis*

Thèse acceptée le: _____

14.12.1998

SOMMAIRE

Dans un contexte constructiviste, les connaissances antérieures d'un individu sont essentielles à la construction de nouvelles connaissances. Quelle qu'en soit la source (certaines de ces connaissances ont été élaborées en classe, d'autres ont été élaborées par interaction personnelle de l'individu avec son environnement physique et social), ces connaissances, une fois acquises, constituent les matières premières de l'élaboration des nouvelles conceptions de cet individu. Généralement, cette influence est considérée comme positive. Cependant, dans un milieu scolaire où l'apprentissage de certaines conceptions enchâssées dans un programme d'études et entérinées par l'ensemble d'une communauté est obligatoire, certaines connaissances antérieures peuvent entraver la construction des conceptions exigées par la communauté. La littérature abonde de tels exemples. Cependant, certaines connaissances antérieures, en soi tout à fait conformes à l'Héritage, peuvent aussi, parce qu'utilisées de façon non pertinente, entraver la construction d'une conception exigée par la communauté. Ici, la littérature nous donne peu d'exemples de ce type, mais nous en fournirons quelques-uns dans le cadre théorique, et ce sera un d'entre eux qui servira de base à nos propos.

En effet, une grande proportion d'élèves inscrits à un cours de sciences physiques de la quatrième secondaire, en réponse à un problème déjà solutionné durant l'année et redonné lors d'un examen sommatif, «Pourquoi la Lune nous montre-t-elle toujours la même face?», attribue principalement la cause de ce phénomène à la rotation de la Terre sur son axe. En tant que responsable de l'enseignement de ce programme d'études, plusieurs questions nous sont venues à l'esprit, entre autres, comment, dans un contexte constructiviste, est-il possible de réduire chez un élève, l'impact de cette connaissance antérieure dans l'élaboration de la solution et ainsi prévenir la construction d'une conception erronée?

Nous avons testé nos hypothèses avec la cohorte suivante d'élèves chez qui se répétaient les mêmes conditions d'apprentissage. Nous avons utilisé le design de recherche "posttest only" de Campbell et Stanley. En mai, après le moment prévu dans la planification du programme pour donner le problème aux élèves, nous avons suggéré deux façons différentes de réviser la solution de ce problème. Les élèves du premier groupe expérimental ont révisé sans que soit activée la connaissance antérieure appréhendée de la rotation de la Terre. Les élèves du deuxième groupe expérimental ont été confrontés, par des questions et une simulation, au fait que la rotation de la Terre n'est pas une connaissance pertinente pour résoudre le problème. Les groupes témoins et les groupes expérimentaux ont été choisis au hasard dans le bassin des écoles secondaires de la commission scolaire.

Les analyses démontrent qu'un plus petit nombre d'élèves utilise le concept de rotation de la Terre dans les groupes expérimentaux que dans les groupes témoins. Simultanément, on compte un plus grand nombre de bonnes réponses dans les groupes expérimentaux que dans les groupes témoins. Ces résultats laissent donc entrevoir la possibilité de prévenir l'impact de certaines connaissances antérieures dans la reconstruction des savoirs.

Ainsi, lorsqu'un enseignant appréhende chez une cohorte d'élèves une utilisation non pertinente de certaines connaissances déjà acquises, tout cela étant concevable en se basant sur les résultats antérieurs d'élèves inscrits au même cours, alors, à la lueur de cette recherche et tout en demeurant dans un contexte d'apprentissage constructiviste, cet enseignant pourrait élaborer avec confiance des mises en situation riches en stimulations qui auraient le potentiel de diminuer l'impact de ces connaissances d'élèves ayant réussi à construire correctement la conception à l'étude. Les résultats mettent aussi en évidence l'influence de l'activation des connaissances antérieures autant que de leur non activation dans la construction des savoirs. Enfin, puisque les conceptions erronées sont aussi des connaissances antérieures, cette recherche confirme que malgré la force d'ancrage d'une conception construite, erronée ou non, il est possible d'en réduire l'impact durant l'apprentissage, mais aussi nous amène à considérer une question différente et plus générale que celles des traitements des conceptions erronées. La méthode de prévention la plus efficace ne serait-elle pas d'enseigner aux élèves le «comment discriminer, de l'ensemble de ses connaissances antérieures, les éléments nécessaires et suffisants à la construction d'un savoir?»

MOTS CLÉS

DIDACTIQUE - PRÉVENTION - CONCEPTIONS ERRONÉES -
ENSEIGNEMENT SECONDAIRE - SCIENCES PHYSIQUES

TABLE DES MATIÈRES

IDENTIFICATION DU JURY	iii
SOMMAIRE	iv
TABLE DES MATIÈRES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES FIGURES.....	xii
HOMMAGE À MON DIRECTEUR DE RECHERCHE.....	xiii
DÉDICACE	xiv
1.- INTRODUCTION.....	1
1.1. Contexte et origine de la recherche	2
1.2. But de la recherche	5
1.3. L'objet d'apprentissage qui a fait problème: Pourquoi la Lune nous montre-t-elle toujours la même face?	5
1.3.1. Des réponses étonnantes.....	6
1.3.2. Un phénomène répandu.....	9
1.3.3. Des problèmes.....	10
1.3.4. Un rapprochement intéressant.....	11
1.3.5. Notre problème	11
1.4. La pertinence.....	11
1.5. Organisation de la thèse et formulation des hypothèses.....	14
1.5.1. Hypothèse N° 1.....	15
1.5.2. Hypothèse N° 2.....	15
2.- CADRE THÉORIQUE ET REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	16
2.1. Contexte constructiviste	17
2.1.1. L'individu seul décide d'investir l'énergie nécessaire à ses apprentissages	17
2.1.2. L'individu construit ses savoirs.....	18
2.1.3. La construction dépend des connaissances antérieures de l'individu.....	19
2.1.4. La construction des savoirs est adaptative.....	21
2.1.5. L'individu apprend en interagissant avec l'environnement, il perçoit	22
2.1.6. L'individu apprend en interagissant avec les autres (ses pairs, les autres humains)	23
2.2. La didactique et la prévention dans un contexte constructiviste...	24
2.3. Un modèle synthèse de l'apprentissage et de l'organisation des connaissances antérieures.....	28
2.3.1. Les connaissances antérieures forment un réseau organisé.....	29
2.3.2. L'apprentissage: un processus discontinu	29

2.3.3.	L'apprentissage: un processus irréversible.....	38
2.3.4.	Les connaissances antérieures filtrent et matricent les perceptions, déterminent les actions	40
	Assimilation.....	41
	Accommodation.....	42
2.4.	Les produits d'apprentissage.....	44
2.4.1.	Les percepts.....	45
2.4.2.	Les concepts	45
2.4.3.	Les propositions.....	47
2.4.4.	Les conceptions	48
2.4.5.	Autres conceptions.....	53
2.5.	Définition théorique des conceptions erronées.....	55
2.6.	Définition opérationnelle d'une conception erronée.....	59
2.6.1.	Étapes de la définition opérationnelle.....	59
	Première étape.....	60
	Deuxième étape.....	60
	Troisième étape.....	60
2.6.2.	Les espèces élémentaires de conceptions erronées.....	60
2.6.3.	Espèces combinées de conceptions erronées.....	61
2.6.4.	Origines de la définition opérationnelle.....	63
2.6.5.	Caractéristiques des réseaux utilisés	66
	Un réseau minimal	66
	Un réseau où toutes les relations sont identifiées.....	67
	Un réseau validé	67
2.6.6.	Place dans la littérature	68
2.7.	La détection des conceptions erronées.....	70
2.8.	Exemples des structures élémentaires de conceptions erronées	73
2.8.1.	Exemple correct	73
2.8.2.	Exemple (Ac).....	74
2.8.3.	Exemple (Ar)	74
2.8.4.	Exemple (Cnp)	75
2.8.5.	Exemple (Rnp)	75
2.9	La prise en compte des conceptions erronées	75
2.9.1.	Faut-il les détruire ?.....	77
2.9.2.	Faut-il convaincre cognitivement l'élève?	78
	Faut-il confronter l'élève au réel?.....	79
	Faut-il confronter l'élève à l'Héritage?.....	80
	Faut-il confronter l'élève aux conceptions de ses pairs?	81
	Faut-il confronter l'élève aux conceptions du professeur?.....	82
	Faut-il provoquer un conflit cognitif chez l'élève?	83
2.9.3	Faut-il convaincre affectivement l'élève?.....	85
2.9.4.	Faut-il les ignorer?.....	87
2.10.	La prévention des conceptions erronées	88
2.10.1.	La prévention à court terme	89
2.10.2.	La prévention à moyen et à long termes	91
2.10.3.	La vérification de l'efficacité des traitements préventifs.....	92

2.10.4.	La vérification de l'efficacité d'autres stratégies et traitements	93
	Du domaine de l'enseignement de la lecture	94
	Du domaine de l'enseignement des sciences.....	95
2.11.	La Lune dans la littérature scientifique	95
3.-	RATIONNEL PRÉALABLE À L'EXPÉRIMENTATION	99
3.1.	Préambule	100
3.2.	Traitement EX1	103
3.3.	Traitement EX2	104
4.-	MÉTHODOLOGIE	107
4.1.	La population.....	108
4.2.	L'attribution des écoles	108
4.3.	L'objet d'apprentissage dans le programme.....	109
4.4.	Le guide d'apprentissage	110
4.5.	Le cadre d'évaluation.....	111
	4.5.1. Le contexte d'évaluation.....	111
	4.5.2. Les questions à développement.....	111
4.6.	Les traitements (variables indépendantes)	111
4.7.	La mise en oeuvre des traitements préventifs (procédures).....	112
4.8.	Les effets attendus (variables dépendantes)	112
4.9.	Le design de recherche.....	113
4.10.	Post-test.....	113
4.11.	Le traitement de l'information.....	114
	4.11.1. La prise des mesures et conversions	114
	4.11.2. Les critères de correction	115
	4.11.3. La méthodologie des tests statistiques	115
5.-	RÉSULTATS	118
5.1.	Test d'homogénéité sur la fréquence du concept « rotation de la Terre sur son axe ».....	119
5.2.	Test d'homogénéité sur la fréquence des réponses correctes.....	120
5.3.	Test de contraste sur la fréquence du concept «rotation de la Terre sur son axe».....	124
5.4.	Test de contraste sur la fréquence des réponses correctes	125
5.5.	Conclusion	126
6.-	DISCUSSIONS DES RÉSULTATS	127
6.1	Validité interne	128
	6.1.1. Sélection des groupes.....	128
	6.1.2. Maturation.....	128
	6.1.3. Histoire	128
	6.1.4. La familiarité du sujet.....	130
	6.1.5. Effet du prétest.....	131
	6.1.6. Régression statistique.....	131
	6.1.7. Constance dans l'application du test	131
	6.1.8. Influence de la correction.....	132
	6.1.9. Examen à deux questions, au choix.....	132
	6.1.10. La compétence des enseignants.....	133

6.1.11.	Ambiguïté du mot pourquoi.....	135
6.1.12.	Emploie du mot rotation dans deux sens différents	137
6.2.	Validité externe.....	138
6.2.1.	Interaction personnelle avec les traitement (réactive arrangements).....	138
6.2.2	Généralisation des résultats	138
6.2.3	Interférence des traitements	139
6.3.	Analyse "post hoc"	140
6.3.1.	Considérations préliminaires.....	140
6.3.2.	Présentation des résultats.....	141
7.-	APPORTS ET DÉVELOPPEMENTS DE LA RECHERCHE	145
7.1.	Reconnaître la non pertinence ou développer le sens critique? ...	146
7.2.	Déterminer les connaissances nécessaires et suffisantes	148
7.3.	De la définition opérationnelle à un compendium des conceptions erronées	150
7.4.	De la prévention au constructivisme.....	151
	CONCLUSION	153
	PHOTOGRAPHIE DE LA LUNE AVEC L'IDENTIFICATION DES CRATÈRES DE TYCHO BRAHÉ ET DE KÉPLER.....	155
	ÉPILOGUE	156
	BIBLIOGRAPHIE	158
	ANNEXES	172
	REMERCIEMENTS	201

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	I	- Nombre d'élèves, par école, ayant utilisé le concept de rotation de la Terre, juin 1989.....	10
Tableau	II	- Description des types de conceptions erronées	61
Tableau	III	- Espèces théoriquement possibles de conceptions erronées.....	62
Tableau	IV	- La Lune bouge-t-elle? Montre-moi comment.....	97
Tableau	V	- Distribution des groupes selon les traitements	113
Tableau	VI	- Fréquences observées du concept «rotation de la Terre».....	120
Tableau	VII	- Fréquences théoriques du concept « rotation de la Terre...»	120
Tableau	VIII	- Proportions et variances du concept « rotation de la Terre...»	121
Tableau	IX	- Contrastes d'occurrence du concept « rotation de la Terre...»	121
Tableau	X	- Fréquences des réponses correctes observées	124
Tableau	XI	- Fréquences théoriques des réponses correctes.....	124
Tableau	XII	- Proportions et variances observées de réponses correctes	125
Tableau	XIII	- Contrastes de réponses correctes entre les groupes	125
Tableau	XIV	- Nombre et proportion des principaux concepts non-pertinents dans notre échantillon.....	141
Tableau	XV	- Association des symboles aux éléments de base de la définition opérationnelle	142
Tableau	XVI	- Proportion des réponses d'élèves pour chaque structure développée par la définition opérationnelle appliquée au problème «Pourquoi la Lune nous montre-t-elle toujours la même face?» et chacun des groupes de la recherche.....	142

Tableau XVII	- Liste d'attribution des écoles et proportion de réponses aux questions A et B de l'examen de sciences physiques de juin 1990.....	193
Tableau XVIII	- Fréquences des questions observées	193
Tableau XIX	- Fréquences théoriques des questions.....	195
Tableau XX	- Proportions et variances observées des questions	196
Tableau XXI	- Contrastes des questions A entre les groupes.....	196
Tableau XXII	- Fréquences des réponses correctes (élargies) observées.....	198
Tableau XXIII	- Fréquences théoriques des réponses correctes (élargies).....	198
Tableau XXIV	- Proportions et variances observées de réponses correctes (élargies).....	199
Tableau XXV	- Contrastes de réponses correctes (élargies) entre les groupes	199

LISTE DES FIGURES

Figure 1	- Réseau explicatif, en première approximation, du phénomène de la face cachée de la Lune	8
Figure 2	- Tâche d'apprentissage de Bloom	35
Figure 3	- A concept map drawn from an interview.....	67
Figure 4	- Libration en longitude.....	179
Figure 5	- Libration en latitude	179
Figure 6	- Les cratères de Tycho, Képler et Copernic.....	155

Hommage à mon directeur de recherche

Par ces quelques mots bien sentis, je tiens à rendre hommage M. Pierre Sauriol, Ph.D., professeur de didactique.

Patiemment, avec douceur et fermeté, à la façon d'un bon ange gardien, il m'a accompagné, judicieusement guidé et maintes fois encouragé. Et qui plus est, il m'a offert son temps précieux et sa disponibilité. De tout cela, je lui en serai à jamais reconnaissant.

Dédicace

À ma très chère mère, Rosay Groleau,
À mon défunt père, Gabriel Blondin,
qui m'ont donné l'énergie et la possibilité de réaliser ce rêve.

À deux professeurs extraordinaires pour qui j'ai beaucoup d'admiration:
l'un est devenu, et le demeure,
un modèle depuis les jours où il m'a enseigné les mathématiques,
Clément Charette,
l'autre a été un parrain durant mes études en physique,
et le demeure encore,
Paul Lorrain, Ph.D.

INTRODUCTION

1.1. Contexte et origine de la recherche

Nous inscrivons cette recherche dans le courant constructiviste de l'apprentissage. Six (6) grandes idées caractérisent, à notre avis, ce courant dont nous nous sommes inspiré et que nous développerons dans la partie théorique de l'ouvrage.

- L'individu seul décide d'investir l'énergie nécessaire à ses apprentissages
- L'individu construit ses savoirs
- La construction dépend des connaissances antérieures de l'individu
- La construction des savoirs est adaptative
- L'individu apprend en interagissant avec l'environnement, il perçoit.
- L'individu apprend en interagissant avec les autres (ses pairs, les autres humains)

Dans un contexte constructiviste, les connaissances antérieures d'un individu sont essentielles à la construction des nouvelles connaissances. «...on connaît à la fois "grâce à" (Gagné), "à partir de" (Ausubel), "au travers de" (Piaget) nos savoirs antérieurs et, en même temps, on apprend "contre" (Bachelard) ces derniers. »¹

Quelle qu'en soit la source (certaines de ces connaissances antérieures ont été élaborées en classe, d'autres par interactions personnelles de l'individu avec son environnement physique et social), ces connaissances, une fois acquises, constituent la matière première de l'élaboration des nouvelles conceptions et elles influencent directement la construction des nouveaux savoirs.

¹Giordan, André Vecchi, Gérard de (1990) Les origines du savoir, Delachaux et Niestlé, p. 135.

Dans un milieu scolaire où l'apprentissage de certaines conceptions enchâssées dans un programme d'études et entérinées par l'ensemble d'une communauté est obligatoire, certaines connaissances antérieures, non conformes à l'Héritage donné par les scientifiques et, par le fait même erronées, peuvent entraver la construction des conceptions exigées par la communauté. La littérature abonde de tels exemples comme en témoignent les trois séminaires internationaux organisés sur le sujet par Joseph Novak de l'université Cornell² ainsi que les centaines d'articles écrits sur le sujet. Par ailleurs, nous avons, au cours de notre enseignement, été confronté à plusieurs reprises à ce genre de conceptions énoncées avec conviction par des élèves mais non conformes aux données de la science et ce constat a été fait, de même, lors de nombreuses rencontres et discussions avec nos collègues enseignants et conseillers pédagogiques.

Cependant, certaines connaissances antérieures, en soi tout à fait conformes à l'Héritage, peuvent aussi, parce qu'utilisées de façon non pertinente, contribuer à la construction de conceptions erronées. Ici, la littérature nous donne peu d'exemples de ce type, mais nous en fournirons quelques-uns dans le cadre théorique, et ce sera l'un d'entre eux qui servira de base à notre exposé. En effet, une grande proportion d'élèves inscrits à un cours de sciences physiques de la quatrième secondaire, en réponse à un problème déjà solutionné durant l'année et redonné lors d'un examen sommatif, «Pourquoi la Lune nous montre-t-elle toujours la même face?», attribue principalement la cause de ce phénomène à la rotation de la Terre sur son axe. Comme nous le verrons plus loin, ce concept, en soi on ne peut plus légitime face à la communauté scientifique,

²Novak, Joseph D. (1983, 87, 93). *Proceedings of The I, II, III International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York.

ne joue aucun rôle dans l'explication du phénomène observé. Pourtant, on le retrouvait souvent parmi les conceptions erronées énoncées par les élèves.

En tant que responsable de l'enseignement de ce programme d'études et convaincu qu'il fallait tenir compte des conceptions erronées dans l'enseignement quotidien, nous avons été piqué d'intérêt par ce problème. Plusieurs questions nous sont alors venues à l'esprit dont une centrale: comment, dans un tel cas, tout en demeurant dans un contexte constructiviste, était-il possible de prévenir la construction de telles conceptions erronées?

Parallèlement à notre travail de conseiller pédagogique, une recherche théorique sur les conceptions erronées et les façons d'en tenir compte dans l'enseignement des sciences, recherche effectuée dans le cadre des études de 3ième cycle, nous avait amené à élaborer une définition opérationnelle des conceptions erronées. Cet outil, que nous présenterons dans le cadre théorique, permet d'analyser la structure d'une conception erronée. À notre surprise, les conceptions erronées détectées dans l'analyse de l'examen de sciences physiques, et qui nous causaient problème, correspondaient à plusieurs des structures théoriquement possibles des conceptions erronées, celles qui comprenaient l'utilisation non pertinente d'un concept dans l'élaboration d'une conception. Il n'en fallait pas plus pour aiguïser notre désir d'approfondir ce sujet et de fixer le sujet de notre recherche.

1.2. But de la recherche

Nous nous sommes donc proposé, dans un cadre constructiviste, d'examiner, chez des élèves d'un programme de sciences physiques au secondaire, la possibilité de prévenir la construction de conceptions erronées d'une structure particulière, celles construites en utilisant un concept non pertinent (Cnp). D'où le titre de notre recherche: «Traitements didactiques préventifs d'un type de conceptions erronées en sciences physiques chez des élèves du secondaire.»

1.3. L'objet d'apprentissage qui a fait problème: Pourquoi la Lune nous montre-t-elle toujours la même face?

Ce problème, déjà solutionné durant l'année et redonné lors d'un examen sommatif, concerne le phénomène astronomique suivant: à l'oeil nu, la surface de la Lune est de couleur blanche cendrée et comporte, ici et là, des taches sombres qui apparaissent, à première vue, toujours aux mêmes endroits, peu importe le moment de l'année ou de la nuit qu'on l'observe.^{3,4} On peut décrire ce phénomène d'une autre façon, équivalente à la précédente: de notre poste d'observation sur la Terre, il existe une partie de la surface lunaire qu'il nous est impossible de voir. En fait, il a fallu attendre les premières photographies prises par le satellite russe Lunik III, en 1959, et les autres sondes spatiales lancées depuis pour parvenir à observer « l'autre côté » de la Lune.

³Schatzman, D'Evry (1962), *Encyclopédie de la Pléiade: Astronomie*, Gallimard, p. 1177.

⁴Newton, J., Teece, P. (1988), *The Guide to Amateur Astronomy*, Cambridge University Press, p. 126.

Ce sont les conceptions erronées associées à l'explication de ce phénomène qui sont à l'origine de cette recherche. Le lecteur trouvera, dans la section "méthodologie", une description du programme et la transcription des indices fournis aux élèves pour guider leurs apprentissages. Il s'agit d'une approche constructiviste. Le professeur sollicite l'activation des connaissances antérieures pertinentes (la rotation de la Lune sur son axe, sa révolution autour de la Terre, la durée de chacune de ces rotations), fait discuter les élèves deux à deux autour d'une simulation du phénomène qui met en branle leur vue, leurs sens proprioceptifs et leur imagination. Il demande ensuite d'«assembler» tous ces indices afin d'en donner une explication satisfaisante.

Essentiellement, il s'agit de faire prendre conscience aux élèves que la Lune qui, en première approximation, décrit une orbite circulaire autour de la Terre en environ $27 \frac{1}{3}$ jours, accomplit, durant le même intervalle de temps, une rotation sur elle-même autour de son axe polaire. Par conséquent, lorsqu'elle avance sur son orbite d'une valeur de dix degrés, elle tourne sur elle-même de dix degrés, montrant ainsi à l'observateur toujours la même face. Les deux mouvements de rotation se compensent et ne laissent percevoir, en première approximation, que 50% de la surface entière de la Lune. L'observation fréquente et systématique de la Lune révèle une légère distorsion que nous analysons à l'Annexe B.

1.3.1. Des réponses étonnantes

La révision de la correction de cette question à développement, «Pourquoi la Lune nous montre-t-elle toujours la même face?» qui visait à évaluer la compréhension du phénomène de la face cachée de la Lune, nous a fait remarquer que de nombreux élèves

avaient fourni ou donné une explication erronée. Parmi ceux-ci, un groupe important d'entre eux avaient incorporé, à leur réponse, le concept de "rotation de la Terre sur son axe" qui, dans le problème qui nous concerne, n'est pas pertinent à l'explication. C'est cette particularité de non-pertinence qui a attiré notre attention. Voici quelques exemples de ce type de réponses:

Exemple 1

« Parce que la Lune tourne sur elle-même et que nous aussi nous tournons sur nous-mêmes et à la même vitesse alors lorsque l'on voit la lune elle présente toujours la même face. » (sic)⁵

Exemple 2

« Parce que c'est la terre qui tourne. La terre tourne mais la lune reste toujours pareil elle ne bouge pas. » (sic)⁶

Exemple 3

« Car seule la terre tourne sur elle même, et la lune tourne autour de la terre c'est pourquoi on voit qu'un côté de la lune. » (sic)⁷

Exemple 4

« Explication: parce que la terre tourne, et que la lune tourne, c'est à dire lorsqu'on est la nuit on voit la lune. Le jour on ne la voit pas mais elle est là; le jour la lune tourne selon l'axe de la terre. C'est pourquoi on voit toujours la même face. La terre et la lune tourne simultanément et doivent par conséquent se rejoindre. C'est pourquoi on voit toujours la même face. » (sic)⁸

Les quatre exemples cités ont en commun l'utilisation non pertinente d'un concept qui amène à l'expression d'une conception erronée du phénomène. Entre autres, l'élève, à

⁵Élève 110-01-02 (1989), Examen de Sciences physiques 424.

⁶Élève 110-01-08 (1989), Examen de Sciences physiques 424.

⁷Élève 110-02-01 (1989), Examen de Sciences physiques 424.

⁸Élève 110-02-02 (1989), Examen de Sciences physiques 424.

l'exemple 1, a bien pensé au concept de rotation de la Lune sur elle-même, mais il a omis celui de sa révolution autour de la Terre. Au lieu de répondre par la relation d'équi-temporalité entre ces deux derniers mouvements, comme l'illustre le réseau de la Figure 1, il utilise plutôt le concept de rotation de la Terre sur elle-même et invoque, alors, une relation d'égalité de vitesse entre ces deux rotations, ignorant ou oubliant que celle de la Terre est environ 27 fois plus grande que celle de la Lune.

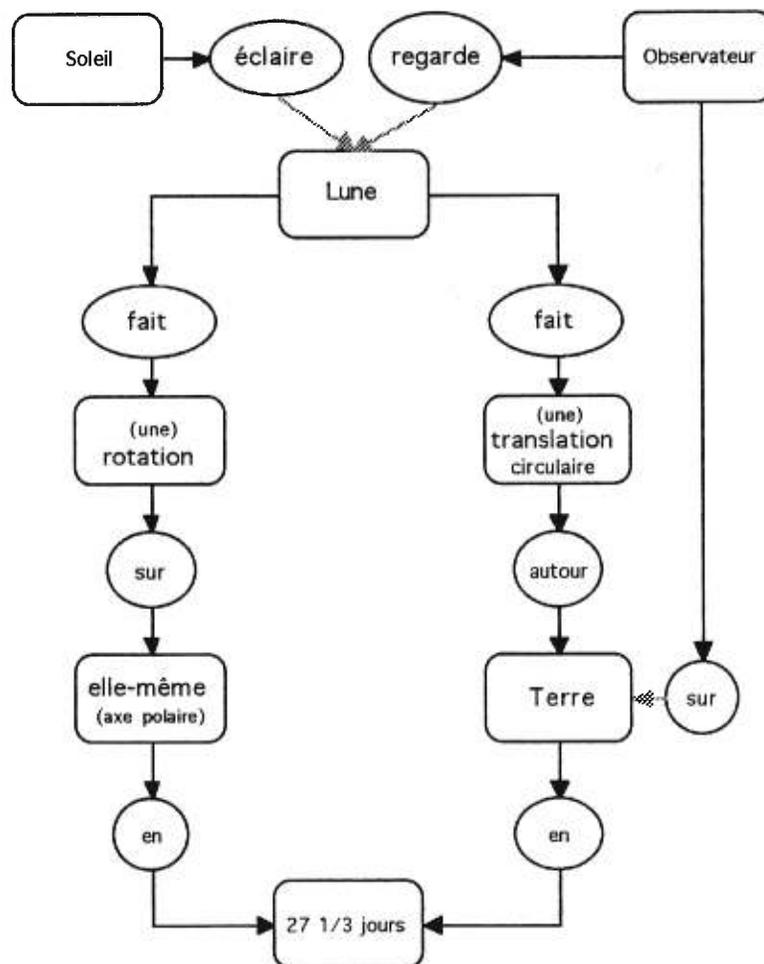


Figure 1 - Réseau explicatif, en première approximation, du phénomène de la face cachée de la Lune⁹

⁹Blondin, André (1985), *Pensons-y!* Activités pour le programme de sciences physiques 424, Maître, 1.4, CECM, p. 96.

Ce réseau de concepts est inspiré de la méthodologie de Novak que nous expliciterons plus avant dans le cadre théorique (section 2.6.4, p.63).

1.3.2. Un phénomène répandu

L'originalité et la fréquence de cette forme de réponse nous ont interpellé. Mais, avant tout, il fallait s'assurer que le phénomène n'était pas local, ni sa détection, le fruit du hasard.

Nous avons alors décidé d'examiner les réponses, à cette même question, de tous les élèves de six écoles choisies au hasard parmi les 20 écoles de la cohorte 1989 qui offraient ce cours.

L'analyse des résultats se révéla plutôt étonnante. En effet, la même singularité a été observée dans chacune des six

écoles, indépendamment des enseignants et cela, dans des proportions allant de 21% à 59% (Tableau I). Dans l'ensemble de cet échantillon, 83 élèves parmi les 245 analysés, soit 34%, avaient utilisé "la rotation de la Terre sur son axe" dans leur réponse.

Tableau I - Nombre d'élèves, par école, ayant utilisé le concept de rotation de la Terre, juin 1989

École ¹⁰	Occurrence ¹¹	Nombre d'élèves	%
101	11	31	35%
118	9	39	23%
108	18	47	38%
110	13	22	59%
112	17	34	50%
116	15	72	21%
	83	245	34%

1.3.3. Des problèmes...

L'utilisation fréquente du concept de rotation de la Terre nous intriguait et méritait donc une attention particulière. Pourquoi tant d'élèves avaient-ils utilisé ce concept dans leur réponse alors qu'il n'a rien à voir avec l'explication cherchée? À cela, plusieurs causes paraissaient possibles; entre autres, le professeur, voire le manuel, a pu fournir une explication confuse en rappelant au passage des concepts accessoires, comme celui de la rotation de la Terre; d'où la connaissance antérieure « rotation de la Terre sur son axe » a pu exercer une attraction telle que les élèves se sont convaincus que ce concept devait bien jouer un rôle dans l'explication du phénomène en question.

¹⁰Le code des écoles est arbitraire afin de sauvegarder l'anonymat des personnes.

¹¹Dans la partie à développement de l'examen, les élèves devaient répondre à une de deux questions posées. On a ici le nombre d'élèves ayant répondu à la question relative au problème étudié, la question "A".

1.3.4. Un rapprochement intéressant

Par ailleurs, comme nous l'avons mentionné précédemment, il s'avéra que ces conceptions erronées possédaient une structure similaire à l'une de celles que nous avions théoriquement prévues grâce à une définition opérationnelle des conceptions erronées que nous nous étions donnée: certaines conceptions erronées sont construites en utilisant un ou plusieurs concepts, en soi tout à fait corrects et en accord avec l'Héritage, mais dont l'utilisation non pertinente engendre une conception qui n'est pas en conformité avec l'Héritage et qui s'avère alors erronée.

1.3.5. Notre problème

Nous avons donc porté notre attention sur la prévention de ce type de conceptions erronées, particulièrement sur celui que nous avons devant nous. Si les enseignants l'avaient su, comment auraient-ils pu prévenir la construction de telles conceptions erronées? En quoi devrait consister un traitement préventif? Et si un traitement était possible, pourrait-on en vérifier l'efficacité?

1.4. La pertinence

L'idée d'un enseignement préventif a déjà été formulée, en 1976, par Kerr et Lester mais n'a pas été réutilisée ni exploitée par la suite.

« Preventive Teaching " refers to instruction that consists of a systematic analysis of potential sources of student difficulties that could appear during instruction, a consideration of alternative ways to facilitate learning of difficult material, and the continuous diagnosis of the extent of student understanding during instruction. »¹²

Aujourd'hui, grâce à notre vision constructiviste de l'apprentissage, cette idée d'enseignement préventif prend du sens. Toujours subordonné aux modèles qu'il s'est donné (en fait, à ses connaissances antérieures, y compris ses valeurs), l'enseignant qui anticipe certaines difficultés que pourrait éprouver l'élève en manipulant les concepts et en les associant entre eux, peut lui proposer des activités qu'il croit capables de modifier l'élaboration de leur pensée, qui préviennent ces accrochages appréhendés sans, pour autant, en connaître d'avance l'efficacité. Rappelons que c'est l'élève qui pose les gestes intérieurs qui construisent le savoir. L'enseignant ne peut qu'escompter l'efficacité du traitement.

La réussite à prévenir l'apparition de conceptions erronées par l'application de traitements appropriés, conséquents à une connaissance poussée des conceptions erronées appréhendées, devrait alors convaincre les enseignants et les conseillers pédagogiques, responsables de l'application et de la diffusion d'une didactique et d'une pédagogie efficaces, d'incorporer cette stratégie à leur démarche quotidienne.

D'autant plus que de nombreux chercheurs s'accordent à reconnaître l'importance, pour les enseignants, d'une connaissance approfondie des conceptions erronées des élèves

¹²Kerr, Donald R., Lester, Frank K. (1976), An Error Analysis Model for Measurement, in Nelson, Doyal, Reys Robert E., Measurement in *School Mathematics*, National Council of Teachers of Mathematics, p. 114.

justement afin de leur permettre de prévoir les réactions de leurs élèves et d'améliorer leur médiation auprès d'eux. Citons Wittrock (1991), Lawson (1994) et Nussbaum (1981).

« Until teachers have available to them effective diagnostic instruments that provide useful information about the number and variety of student models and preconceptions, teachers will have to learn about these models by asking students about them (questions and interviews). »¹³

« When old ideas must be changed before new ones can be assimilated, the more complex and time-consuming process of equilibration must occur. This implies that the truly effective teacher must not only know the subject matter well enough to be able to present all of the puzzle pieces and the patterns that will enable the students to put those pieces together, but must also know the contradictory patterns that the students may bring to class and how to open their minds so that they become willing and able to wrestle successfully with the alternatives and the evidence. Only then will students gain scientifically appropriate conceptual knowledge and the procedural skills to evaluate old and perhaps inappropriate ideas and allow the process of equilibration to proceed. »¹⁴

« The diagnosis of pupils' misconceptions and the identification of reasons for such misconceptions must be considered the prerequisite for helping the pupils to develop correct scientific conceptions. »¹⁵

Pour nous, ce sujet de recherche est donc fort intéressant et prometteur. Il est aussi d'actualité: il renforce et complète les démarches d'apprentissage suggérées par les nouveaux programmes de sciences présentement en début d'application et qui ne se préoccupent des conceptions erronées que par de brèves allusions à l'importance de l'utilisation des connaissances antérieures des élèves. D'autant plus que, présentement, les enseignants sont loin d'avoir à leur disposition un compendium accessible durant la

¹³Wittrock, M. C. (1991), Generative Teaching of Comprehension, *The Elementary School Journal*, 92,2, 181.

¹⁴Lawson, Anton E. (1994), Research on acquisition of science knowledge: epistemological foundations of cognition in Gabel, Dorothy, *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, NSTA, p. 174.

¹⁵Nussbaum, Joseph (1981), Towards the diagnosis by science teachers of pupils' misconceptions: an exercise with student teachers, *European Journal of Science Education*, 3, 3, 159.

phase d'anticipation de leur préparation de cours afin de connaître, d'une manière spécifique, quelles conceptions erronées pourraient être associées aux concepts qu'ils se proposent d'enseigner. Ce recueil donnerait leur genèse et leur structure en spécifiant en quoi elles sont erronées et surtout, il pourrait suggérer des moyens de les prévenir. C'est d'ailleurs ce qui nous avait poussé à étudier, en particulier, les conceptions erronées et qui nous a amené, entre autres choses, à formuler la définition opérationnelle des conceptions erronées que nous présenterons plus loin.

1.5. Organisation de la thèse et formulation des hypothèses

Le cadre théorique de notre recherche qui comprend la revue de la littérature, décrira le contexte constructiviste qui supporte notre travail, un modèle d'apprentissage qui encadre la définition des conceptions erronées et de leur structure générale ainsi que la façon d'en tenir compte et de leur prévention.

Suivront, les raisonnements préalables à l'expérimentation (le rationnel) la méthodologie, la description des résultats, la discussion, un exposé des apports et développements suggérés et la conclusion.

Cette partie expérimentale décrira les traitements auxquels nous avons procédé pour tenter de prévenir, chez les élèves de la cohorte 1990 inscrits au programme de sciences physiques, l'utilisation non pertinente du concept "rotation de la Terre sur son axe". Nous procéderons ensuite à l'analyse des conceptions exprimées par cette cohorte et ce, dans chacun des groupes témoins et expérimentaux. Nous pourrons ainsi vérifier

l'efficacité des traitements administrés. Cette vérification confirmera ou infirmera les deux hypothèses suivantes:

1.5.1. Hypothèse N° 1

La suppression du concept «rotation de la Terre sur son axe» dans le matériel didactique qui décrit les activités devant permettre de comprendre pourquoi la Lune nous montre toujours la même face, favorisera, chez les élèves la prise de conscience que ce concept n'est pas pertinent à l'explication de ce phénomène.

Conséquemment, il y aura diminution de l'utilisation de ce concept non pertinent dans les réponses données lors de l'examen synthèse de juin et, ce faisant, augmentation du nombre de bonnes réponses.

1.5.2. Hypothèse N° 2

L'introduction d'activités de simulation du phénomène dans le matériel didactique qui décrit les activités devant permettre de comprendre pourquoi la Lune nous montre toujours la même face, favorisera, chez les élèves la prise de conscience de la non-pertinence du concept «rotation de la Terre sur son axe» à l'explication de ce phénomène.

Conséquemment, il y aura diminution de l'utilisation de ce concept non pertinent dans les réponses données lors de l'examen synthèse de juin et, ce faisant, augmentation du nombre de bonnes réponses.

CADRE THÉORIQUE ET REVUE DE LA LITTÉRATURE

2.1. Contexte constructiviste

Notre recherche s'insère dans le courant constructiviste de l'apprentissage. De nombreux auteurs, tels Piaget, Ausubel, Feuerstein, Novak, Pines, Wittrock, Giordan, Duit, Steffe et von Glasersfeld, nous ont inspiré et nous leur en sommes redevables.

« La notion de constructivisme tire son origine dans une conception piagétienne du développement des structures cognitives centrée sur les notions "d'assimilation-accommodation" selon lesquelles les nouveaux faits observés modifient les structures mentales (accommodation) qui elles-mêmes permettent d'interpréter les faits observés (assimilation).

Transposées sur le plan didactique cette conception se voit légèrement modifiée dans la mesure où, si elle s'oppose à une pédagogie de transmission - réception centrée sur l'objet, elle s'oppose aussi à une pédagogie centrée uniquement sur l'enfant qui construirait lui-même son savoir à partir de ses besoins et ses intérêts. »¹⁶

Six (6) grandes idées caractérisent, à notre avis, ce courant constructiviste dont nous sommes inspiré. Chacune d'elles représente une facette particulière de ce construit qui a le potentiel de modifier le rôle autant des enseignants que des élèves dans l'exercice de l'apprentissage.

2.1.1. L'individu seul décide d'investir l'énergie nécessaire à ses apprentissages

Ici, l'adage selon lequel «on peut toujours forcer un âne à se rendre à la rivière, mais on ne peut jamais le forcer à boire», parle de lui-même. La loi oblige l'élève d'aller à

¹⁶Equipe de recherche - Aster (1985), *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*, Instaprint, p. 196.

l'école, mais on ne peut le forcer à apprendre. On lui reconnaît, comme à chacun de nous, un libre arbitre qu'il exerce à tout moment. Il doit décider de porter son attention aux événements dans la classe, accepter d'interagir avec ses confrères sur un sujet particulier, etc.. Bref, avant même d'organiser des activités d'apprentissage, l'enseignant doit faire prendre conscience à l'élève de l'importance du savoir à construire, lui faire part des avantages et des inconvénients associés à cet apprentissage et le convaincre de dépenser l'énergie nécessaire à la réalisation de la nouvelle connaissance.¹⁷ Le but ultime de cette opération est d'induire un geste volontaire. N'est-ce pas ce libre arbitre qui est sollicité par les conditions favorisant un changement conceptuel énoncées par Posner: La conception antérieure doit apparaître (à l'élève) comme non satisfaisante tandis que la nouvelle conception doit apparaître (à l'élève) intelligible, réalisable et profitable¹⁸?

2.1.2. L'individu construit ses savoirs

Von Glasersfeld en a fait son premier principe¹⁹: l'individu n'apprend pas passivement en recevant de l'information; plutôt, il élabore activement ses savoirs.

« Il s'agit d'abord de comprendre que la connaissance, c'est-à-dire ce qui est "connu", ne peut être le résultat d'une réception passive, mais constitue au contraire le produit de l'activité d'un sujet. »²⁰

De ce fait, l'individu devient le premier responsable de ses apprentissages.

¹⁷Blondin, A. et Trân, K.,T. (1991), Didactique expérientielle, *Spectre*, mai 1991 et *Dimension*, mai 1991.

¹⁸Posner, George J., Strike, Kenneth A., Hewson, Peter W., Gertzog, William A. (1982), Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change, *Science Education*, 66,2, 211-227.

¹⁹Ernest, Paul (1995), The One and the Many, in Steffe, Leslie P., Gale, Jerry, *Constructivism in Education*, Lawrence Erlbaum Ass. Pub./Hillsdale, New Jersey, p. 461.

²⁰von Glasersfeld, Ernst (1988), *Introduction à un constructivisme radical*, Éditions du Seuil, p. 34.

« En effet, il n'est pas nécessaire d'explorer très profondément la pensée constructiviste pour se rendre compte qu'elle mène inévitablement à l'affirmation que l'être humain - et l'être humain seulement - est responsable de sa pensée, de sa connaissance, et donc de ce qu'il fait. »²¹

Donc, le savoir construit est très personnel, idiosyncrasique peut-on lire dans la littérature sur ce sujet ^{22,23,24}. À chaque activité d'apprentissage, l'élève met en jeu un sous-ensemble de connaissances antérieures qui lui sont propres, issues de ses expériences dont seulement certaines d'entre elles ont pu être partagées avec d'autres. Cela fait donc de lui un être "singulier", caractérisé par une façon particulière d'assimiler les événements et de s'accommoder à d'autres. «The student brings to each task an individual and unique set of prior experiences, prior knowledge, self and task perceptions.»²⁵

2.1.3. La construction dépend des connaissances antérieures de l'individu

Chacun à leur façon, Vico, Ausubel et von Glasersfeld ont explicité l'idée que les matériaux de base de la construction des savoirs sont les connaissances antérieures accumulées par chaque individu.

²¹von Glasersfeld, Ernst (1988), *Introduction à un constructivisme radical*, Éditions du Seuil, p. 20.

²²Pines, Ariel Leon (1977), *Scientific concept learning in Children: the effect of prior knowledge on resulting cognitive structure subsequent to A-T instruction*, p. 20.

²³Jordaan A.S. (1987), Aspects of the understanding and teaching of the laws of science, in Novak, Joseph D., *Proceedings of the second international seminar Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, p. 258.

²⁴Fisher, Kathleen M., Lipson, Joseph Isaac (1986), Twenty questions about student errors, *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 23, No.9, PP 783-803, p. 784.

²⁵Atkins, M.J. (1993), Theories of learning and multimedia applications: an overview, *Research Papers in Education*, Vol. 8, No. 2, p. 257.

«...nous ne pouvons connaître que ce que nous construisons nous-mêmes »²⁶

« Ausubel (1968, 1978) has this epilogue in his book that is at once both simple and profound:

If I had to reduce all of educational psychology to just one principle, I would say this: The most important single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him (sic) accordingly.»²⁷

« Vico est le véritable père du constructivisme. Il a rendu l'idée principale de son épistémologie dans la phrase: L'homme peut connaître seulement ce que l'homme fait. »²⁸

Face à l'apprentissage de nouveaux contenus, les connaissances accumulées dans l'esprit de l'élève fournissent la base nécessaire à l'activation du processus de construction du savoir²⁹. Elles servent à la fois de matériaux nécessaires à la «reconnaissance», à l'assimilation (Piaget) et à l'interprétation des perceptions, et aussi de matériaux participant à l'accommodation (Piaget) et à la construction de nouveaux savoirs.

L'apprentissage exige, en plus, que l'individu ait consciemment utilisé et consolidé une partie de ses connaissances antérieures (Ausubel, 1960)³⁰ et qu'il ait consciemment établi des liens entre le réseau nouvellement présenté, la nouvelle conception enseignée

²⁶von Glasersfeld, Ernst (1988), Introduction à un constructivisme radical, in Watzlawick, Paul *L'invention de la réalité - Contribution au constructivisme*, Éditions du Seuil, p. 30

²⁷Novak, Joseph D. (1980), Learning Theory Applied to the Biology Classroom, *The American Biology Teacher*, Vol. 42, No. 5, p. 284.

²⁸von Glasersfeld, Ernst (1985), *L'approche constructiviste: vers une théorie des représentations*, Université du Québec à Montréal, p. 2.

²⁹Vicenti Missoni, Mathilde in Giordan, André, Henriques, Andrôula, Bang, Vinh (1989), *Psychologie génétique et didactique des sciences*, Peter Lang, p. 128.

³⁰Ausubel, David (1960), The Use of Advance Organizers in The Learning and Retention of Meaningful Verbal Material. *Journal of Educational Psychology*, 51, 267-272.

et son réseau personnel de connaissances, autant cognitif qu'affectif (Wittrock, 1991)³¹.

2.1.4. La construction des savoirs est adaptative

À la nécessité de recourir aux connaissances antérieures pour la construction des nouveaux savoirs, von Glasersfeld ajoute l'idée de leur nécessaire restructuration. Les savoirs s'adaptent donc au sens biologique du terme. Une connaissance apprise est de nature évolutive. Chaque changement conceptuel, plus qu'une simple agrégation, a le potentiel de changer radicalement toute la connaissance antérieure. Giordan qualifie cette transformation de «allostérique»³². Driver explicite bien cette notion.

« Learning is thus seen as an adaptive process, one in which the learners' conceptual schemes are progressively reconstructed so that they are in keeping with a continually wider range of experiences and ideas. It is also seen as an active process of 'sense making' over which the learner has some control. »³³

«... as Piaget stressed, knowing is an adaptive activity. »³⁴

Von Glasersfeld fait de cette affirmation son deuxième principe d'apprentissage qu'il complète en précisant que notre connaissance du réel, pour autant que l'on sache ce que cela veut dire, se limite à la connaissance de l'organisation conceptuelle induite par les activités d'interface et non pas à sa découverte intrinsèque.

³¹Wittrock, M.C. (1991), Generative Teaching of Comprehension, *The Elementary School Journal*, 92,2, 169.

³²Giordan, André (1988), *Apprentissage allostérique et environnement didactique*, UQUAM, p. 9.

³³Driver, Rosalind (1989), Students' conceptions and the learning of science, *International Journal of Science Education*, Vol. 11, no 5, Special Issue, p. 481.

³⁴von Glasersfeld, Ernst (1995), A Constructivist Approach to Teaching, in Steffe, Leslie P., Gale, Jerry, *Constructivism in Education*, Lawrence Erlbaum Ass. Pub./Hillsdale, New Jersey, p. 7.

«...the function of cognition is adaptive and serves the organization of the experiential world, not the discovery of ontological reality »³⁵

« Le constructivisme radical est alors radical parce qu'il rompt avec la convention, et développe une théorie de la connaissance dans laquelle la connaissance ne reflète pas une réalité ontologique "objective", mais concerne exclusivement la mise en ordre et l'organisation d'un monde constitué par notre expérience. Le constructiviste radical a abandonné une fois pour toutes le "réalisme métaphysique", et se trouve en parfait accord avec Piaget quand il dit : "L'intelligence (...) organise le monde en s'organisant elle-même. »³⁶

2.1.5. L'individu apprend en interagissant avec l'environnement, il perçoit.

L'influence de l'environnement physique est indéniable. Rappelons, cependant, que toutes les stimulations sensorielles sont filtrées par les connaissances antérieures. De ce fait, chaque perception provoque un réajustement de ces mêmes connaissances antérieures avant d'être versée dans le réservoir des savoirs accumulés. Les perceptions n'en constituent pas moins d'autres matériaux utilisables à la construction des savoirs. Cette interaction entre l'individu et l'environnement est complétée par une interaction avec lui-même.

« Pour construire leur propre savoir, les élèves ont besoin d'activités d'investigation, d'expériences "pour voir", faisant une large place à des phases d'essais et tâtonnements en situation d'autonomie. »³⁷

³⁵Steffe, Leslie P. (1995), *Alternative Epistemologies: An Educator's Perspective*, in Steffe, Leslie P., Gale, Jerry, *Constructivism in Education*, Lawrence Erlbaum Ass. Pub./Hillsdale, New Jersey, p. 498.

³⁶von Glasersfeld, Ernst (1988), Introduction à un constructivisme radical, in Watzlawick, Paul, *L'invention de la réalité - Contribution au constructivisme*, Éditions du Seuil, p. 27.

³⁷Equipe de recherche - Aster (1985), *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*, Instaprint, p. 213.

« It was possible to advance the notion of an accommodation (or construction) as a product of interacting, of which there are of two basic forms: individual-environment interaction, and those interactions of an individual with him or herself. »³⁸

2.1.6. L'individu apprend en interagissant avec les autres (ses pairs, les autres humains)

À l'école, trois grands types de rapports d'interaction sociales peuvent coexister et fournir un cadre plus ou moins propice à la construction des savoirs d'un individu. Ce sont les interactions entre le professeur et la classe entière, celles entre pairs mais avec l'intervention de l'enseignant et finalement, celles entre pairs sans l'intervention de l'enseignant, ces dernières pouvant se prolonger en dehors du cadre scolaire.³⁹ Ici aussi, chaque intervention est limitée par les connaissances antérieures. Cependant, elle peut provoquer certaines confrontations d'idées très profitables et elle exigera une accommodation et une remise en question profonde de certaines connaissances antérieures, situation qui n'est pas sans rappeler l'apprentissage tel que défini par Piaget.

« To Piaget, learning is essentially an active process in which the learner constructs his knowledge through interaction with the environment and the resolution of the cognitive conflict which may occur between expectations and observations. In fact, it is the need to resolve the cognitive dissonance that provides the intrinsic motivation for learning. »⁴⁰

³⁸Steffe P. Leslie (1995), *Alternative Epistemologies: An Educator's Perspective*, in Steffe, Leslie P., Gale, Jerry, *Constructivism in Education*, Lawrence Erlbaum Ass. Pub./Hillsdale, New Jersey, p. 522.

³⁹Garnier, Catherine, Bednarz, Nadine, Ulanovskaya, Irina (1991), *Après Vygotski et Piaget Perspectives sociale et constructiviste*, Ecoles russe et occidentale., De Boeck-Wesnaels, p. 20.

⁴⁰Driver, Rosalind (1983), *The Pupil as Scientist?*, The Open University Press, p. 52.

2.2. La didactique et la prévention dans un contexte constructiviste

Le contexte constructiviste de notre recherche a influencé les divers concepts pédagogiques que nous avons utilisés. Nous voulons, dans ce paragraphe, préciser le sens de certains d'entre eux, notamment ceux de didactique et de prévention.

D'une manière générale, et selon son libre arbitre, l'individu est le premier responsable de ses apprentissages; son savoir évolue, il apprend au moyen de ses perceptions et par ses interactions avec les autres humains.

Mais si la construction du savoir de l'individu dépend, un tant soit peu, de ses perceptions, la qualité, le nombre, la fréquence, la nature et l'agencement desdites stimulations deviennent tous des paramètres pouvant avoir des conséquences sur la construction effective du savoir.

« Tout apprentissage est la résultante d'une activité d'élaboration d'un apprenant qui met en place des stratégies pour parvenir à relier les informations glanées au fil des activités et à produire des significations nouvelles à partir des conceptions mobilisées. »⁴¹

Pour le didacticien, le professeur, l'enseignant, et même les parents, (dont on peut dire qu'ils sont des observateurs privilégiés), planifier, organiser, agencer ces stimulations devient un moyen possible de modifier la construction d'un savoir. La non-intervention

⁴¹Giordan, André (1988), *Apprentissage allostérique et environnement didactique*, Cirade - Séminaire sur la représentation, UQUAM, p. 11.

revient à laisser les stimulations agir «au hasard» et, à ce compte, il ne faudrait même pas obliger les enfants à aller à l'école.

À l'école, l'élève n'a presque pas le choix des perceptions, des éléments avec lesquels il construira ses connaissances ni des objets d'apprentissage, et il n'a même pas le choix du temps pour les apprendre! C'est l'enseignant qui est le premier responsable du cadre d'apprentissage, et c'est le ministère ainsi que les parents qui en fixent les principaux objectifs. C'est pourquoi l'enseignant planifie, organise des activités, choisit les moments et les manières de présentation. Il impose même des activités extra-scolaires, les devoirs et les leçons, bien qu'ici, l'environnement social de chaque individu vienne nuancer ce travail, sinon le compléter, parfois même le contredire. Hors de l'école, l'élève peut mieux exercer son libre arbitre et choisir de s'investir plus ou moins, et surtout, diriger son attention vers d'autres objets d'apprentissage que ceux qui sont imposés. Ici aussi, les parents apportent des contraintes à ce libre arbitre. L'arrivée de l'internet et l'éclosion des multiples banques d'informations structurées nous libéreront peut-être de l'école, mais jamais de l'organisation de l'information présentée, ce qui nous ramène à notre propos central: la manière de présenter le savoir (choix des contenus, organisation et médiation) influence les apprentissages que fait chaque individu.

Mais voilà, sur quelles bases pédagogiques doit-on établir cette organisation? C'est là l'objet de la didactique. Dans son sens le plus large, la didactique est ce qui vise à instruire⁴². Plus précisément, en se basant sur Morf (1994), nous pourrions la définir

⁴²*Dictionnaire petit Robert.*

comme la science qui fournit à l'enseignant et aux enfants des modèles de la connaissance qui leur permettent, à l'un et à l'autre, d'interpréter et d'agir, à l'enseignant d'agencer l'environnement physique et social, à l'élève de construire de nouvelles conceptions ou d'en modifier des anciennes. En associant les enfants à l'enseignant, nous valorisons davantage l'interaction nécessaire entre ces partenaires.

« La didactique offre un cadre de réflexion sur l'action, un cadre organisé en fonction de concepts cohérents. Dans le cadre de la formation des maîtres, l'ensemble des concepts de la didactique constitue un modèle pour regarder. La connaissance et l'utilisation de ces concepts permettent une analyse fine et structurée des phénomènes (et même la vision des phénomènes). Ces concepts sont utiles préalablement à l'enseignement pour anticiper les effets probables des interventions planifiées et postérieurement, pour analyser le déroulement effectif en vue d'ajuster ses interventions futures. Ils peuvent aussi évidemment venir influencer les décisions prises durant la prestation de l'enseignement. »⁴³

Précisons que l'enseignant n'a pas besoin d'un modèle didactique précis pour anticiper et utiliser un modèle. À la suite de von Glasersfeld (1995) qui affirme que «les conclusions auxquelles arrive un scientifique sont, en toutes circonstances, conditionnées par sa façon de voir, sa façon d'observer et sa façon de lier conceptuellement les éléments qu'il découpe à même son expérience.»⁴⁴, nous sommes tenté d'affirmer, à notre tour, que les observations et les actions de l'enseignant sont conditionnées par sa façon de voir, sa façon d'observer, sa façon de lier conceptuellement les éléments qu'il découpe à même son expérience; bref, qu'il est au moins conditionné par son modèle de l'apprentissage, ses croyances, ses connaissances antérieures, toutes construites par ses expériences.

⁴³Gervais, Colette, René de Cotret, Sophie, Fortin, Nicole (1997), *Guide du stage d'enseignement 2 EDU 4005*, Centre de formation des maîtres, Université de Montréal, p. 39.

⁴⁴Larochelle, Marie, Désautels, Jacques (1992), *Autour de l'idée de science*, Les Presses de l'université Laval, p. 23.

Le professeur doit donc anticiper, d'une certaine façon, certaines opérations mentales que les élèves devront effectuer, en tenant compte de leurs connaissances antérieures probables. Il planifie et organise les stimulations physiques et les interactions sociales qu'il juge à propos et nécessaires pour l'accomplissement de l'apprentissage souhaité. Quant à l'élève, il donne d'abord son assentiment (n'oublions pas son libre arbitre), puis il accueille les nouvelles stimulations et les incorpore à ce qu'il sait déjà, tout en laissant resurgir les souvenirs engendrés par les stimulations. Ces évocations, connaissances antérieures nouvellement éveillées, prennent place à la table de la conscience, à côté de celles déjà présentées, et constituent un ensemble à partir duquel il discrimine, choisit, assemble, compare avec ce qu'il a anticipé ou avec le résultat souhaité par l'enseignant . Ce processus a lieu jusqu'à ce que l'élève ait l'impression d'avoir atteint l'objectif ou d'avoir résolu le problème, d'avoir le sentiment d'avoir atteint ce qu'il avait prévu. Au fur et à mesure de cette construction, il doit accepter de reformuler, dans ses propres mots, de comparer avec ce qu'il savait déjà, avec la formulation de ses collègues et avec les conceptions de l'Héritage, celui-ci étant représenté par l'enseignant. De plus, l'élève doit accepter de modifier certaines compositions. Ici, si le dialogue est établi entre lui et l'enseignant, ce dernier peut intervenir et assurer une médiation profitable.

Dans d'autres cas, l'enseignant pourrait appréhender certaines difficultés d'apprentissage, et, se basant sur son expérience de situations similaires ou sur des résultats antérieurs, et il sera tenté de suggérer certaines activités destinées à aider l'enfant, à influencer son jugement, à attirer son attention sur quelque piège pouvant retarder ou même rendre sa construction difficile, voire impossible. C'est dans ce contexte précis que nous recourons au terme de prévention. Elle trouve son origine

dans l'anticipation de l'enseignant, basée sur ses modèles ou tout autre indice obtenu sur la façon avec laquelle l'élève construit ses savoirs. Cet acte de prévention pourra prendre toutes les formes pédagogiques disponibles, de la simple mise en garde au choc cognitif. La littérature sur le sujet qui suggère de nombreux moyens destinés à tenir compte des conceptions erronées dans l'apprentissage est abondante et éloquente. Nous aurons l'occasion d'y revenir. (section 2.9, p 75).

2.3. Un modèle synthèse de l'apprentissage et de l'organisation des connaissances antérieures

Nous expliciterons maintenant un modèle synthèse de l'apprentissage qui va nous permettre de déduire une définition des conceptions erronées, puis des stratégies susceptibles d'en tenir compte dans l'apprentissage.

Les éléments de notre modèle reprennent certaines caractéristiques communes, du moins implicitement, à certains modèles fréquemment utilisés. Nous pourrions le décrire comme suit: l'apprentissage est un processus qui nécessite une implication personnelle et librement consentie⁴⁵, qui procède par sauts, qui consiste en la transformation irréversible d'un état initial de connaissances antérieures en un autre appelé état final de connaissances antérieures, et qui génère des produits d'apprentissage (les percepts, les concepts, les propositions et les conceptions), le tout formant un réseau organisé et possédant des caractéristiques communes, à savoir qu'ils filtrent les perceptions et conditionnent les actions.

⁴⁵Wittrock, M. C. (1991), Generative Teaching of comprehension, *The Elementary School Journal*, Vol. 92, No 2, p. 175.

2.3.1. Les connaissances antérieures forment un réseau organisé

Nous choisissons ici, à l'instar d'Ausubel⁴⁶, Novak, Ring, Tamir⁴⁷, Gowin⁴⁸, Smith⁴⁹, Giordan⁵⁰, et Herbert⁵¹ de représenter un système de connaissance par un réseau d'éléments imbriqués et reliés les uns aux autres, hiérarchisés ou non; réseau dont on peut transformer l'organisation et auquel il est possible d'ajouter de nouveaux éléments. Nous référons le lecteur aux figures 1 et 3 (p. 8 et p. 65) pour des exemples de tels réseaux.

2.3.2. L'apprentissage: un processus discontinu

Nous proposons, à la suite de Smith (1975) et de Legendre (1988), de concevoir l'apprentissage comme un processus^{52,53} d'acquisition ou de changement⁵⁴, plus explicitement comme le passage d'un état initial des connaissances⁵⁵ d'un individu à un état final des connaissances de cet individu, enrichi d'éléments (concepts, relations) et

⁴⁶Ausubel, David P., Robinson, Floyd G. (1969), *School Learning - An introduction to educational psychology*, HRW., p. 145.

⁴⁷Novak, Joseph D., Ring, Donald G., Tamir, Pinchas (1971), Interpretation of Research Findings in Terms of Ausubel's Theory and Implications for Science Education, *Science Education*, 55 (4): 483-526.

⁴⁸Novak, Joseph D., Gowin D., Bob (1984), *Learning How to Learn*, Cambridge University Press, p. 138.

⁴⁹Smith, Frank (1979), *La compréhension et l'apprentissage*, traduit et adapté par Alain Vézina, HRW, p. 19.

⁵⁰Giordan, André (1988), *Apprentissage allostérique et environnement didactique*, Cirade - Séminaire sur la représentation, UQAM, p. 9.

⁵¹Simon A., Herbert, Craig A., Kaplan in Posner I., Michael (1989), *Foundation of Cognitive science*, The MIT Press, p. 12.

⁵²Apprentissage: "...processus de base qui permet la modification et l'élargissement de la structure cognitive..." Smith F. (1975), *La compréhension et l'apprentissage*, Éditions HRW - Traduction et adaptation d'Alain Vézina, p. 130.

⁵³«L'apprentissage consiste à modifier notre structure cognitive pour donner plus de sens à l'expérience»...«...donner du sens signifie qu'une nouvelle information peut être reliée à ce que nous savons déjà», Smith F. (1975), *La compréhension et l'apprentissage*, Éditions HRW - Traduction et adaptation d'Alain Vézina, p. 251.

⁵⁴«Apprentissage: processus d'acquisition ou de changement, dynamique et interne à une personne, laquelle, mue par le désir et la volonté de développement, construit de nouvelles représentations explicites 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 et d'une prise de conscience personnelle.» Legendre, R. (1993), *Dictionnaire actuel de l'éducation*, Larousse, p. 36.

⁵⁵«Connaissances: savoir, notion, informations qu'on acquiert grâce à l'étude, à l'observation ou à l'expérience.» Legendre R. (1988), *Dictionnaire actuel de l'éducation*, p. 115).

mieux organisé. Précisons que "l'état initial" et "l'état final" sont à prendre au sens de la physique, c'est-à-dire que l'on se réfère à deux moments d'une suite d'événements successifs que l'on isole dans le temps pour mieux caractériser et étudier ce qui les distingue. Ici, le mot "état" renvoie à l'ensemble des caractéristiques d'un système donné⁵⁶, à un moment donné, et renvoie donc à l'ensemble du réseau des connaissances d'un individu à un moment donné.

« Ainsi l'état de connaissance est-il particulièrement complexe, et le problème de l'invention (l'élaboration d'une nouvelle connaissance, qui permettra de passer de l'état X à l'état Y) est d'ordre social autant que d'ordre psychologique. »⁵⁷

Dans ce modèle, chaque état final marque un accroissement du nombre d'éléments appris, ou un accroissement du nombre et/ou de la complexité des liens qui les unissent, et/ou une réorganisation des éléments de l'état initial des connaissances de l'individu^{58,59} une réorganisation qui serait une sorte de transformation spatiale permettant de nouvelles relations.

« L'apprentissage consiste en une interaction entre le monde qui nous entoure et la théorie du monde que nous avons dans la tête »⁶⁰

« Apprendre...implique un changement ou une transformation de ce qui est déjà connu »⁶¹

⁵⁶«État: ensemble des caractères d'un objet de pensée, d'un ensemble abstrait. » Dictionnaire Larousse.

⁵⁷Baudet, Jean C. (1990), Editologie et Scientifique, *Communication & Cognition*, Vol. 23, No. 4 pp. 323-329, p. 325.

⁵⁸Piaget, Jean, Garcia R. (1983), *Psychogenèse et histoire des sciences*, Flammarion, p. 36.

⁵⁹Novak, Joseph D., Gowin D., Bob (1984), *Learning How to Learn*, Cambridge University Press.

⁶⁰Smith, Frank (1979), *La compréhension et l'apprentissage*, traduit et adapté par Alain Vézina, HRW, p. 123.

⁶¹Smith, Frank (1979), *La compréhension et l'apprentissage*, traduit et adapté par Alain Vézina, HRW, p. 10.

De plus, une suite d'apprentissages pourrait se représenter, comme le suggère Kelly (1963)⁶², par une succession de paliers superposés à intervalles plus ou moins réguliers, chaque apprentissage étant caractérisé par deux paliers, le plus bas représentant l'état initial, le plus haut, l'état final. On peut évidemment admettre le raffinement d'un apprentissage en "fractionnant" un intervalle en plusieurs paliers et en délimitant ainsi de plus petits apprentissages.

Cette façon de représenter la construction d'un savoir rappelle certains aspects de plusieurs autres descriptions de l'apprentissage.

En effet, Gagné (1976) définit l'apprentissage comme un processus qui permet à l'être humain et à l'animal de «modifier leur comportement de façon assez rapide et plus ou moins permanente, de telle sorte qu'une même modification ne doive pas se produire à chaque fois que se présente une nouvelle situation»⁶³.

« Regardons de plus près les événements externes et internes qui se manifestent lorsque l'apprentissage a lieu. Il y a, bien entendu, un moment dans le temps où l'état interne de celui-qui-apprend change de "l'état non appris à l'état appris"; nous l'appellerons *l'incident essentiel de l'apprentissage*. »⁶⁴

⁶²«According to Kelley (1963) learning occurs through an infinite series of successive approximations. With each successive level of understanding, some of the previously-held relationships or concepts may be modified, sharpened, or discarded, and some new ones added.» Kelly, G. A.(1963), *A theory of personality: the psychology of personal constructs*, NY, The Norton Library, chap. 1-3, pp. 3-103.»

⁶³Gagné R. (1976), *Les principes fondamentaux de l'apprentissage.*, traduit par Brien ,R. et Paquin ,R., Les éditions HRW, p. 5.

⁶⁴Gagné R. (1976), *Les principes fondamentaux de l'apprentissage*, traduit par Brien, R. et Paquin,R., Les éditions HRW, p. 25.

C'est au cours d'un commentaire relatif à la loi de l'exercice de Thorndike⁶⁵ qu'il propose une caractéristique importante de son modèle que nous avons reprise à notre compte, à savoir: l'apprentissage est un événement qui se produit ou qui ne se produit pas. «La loi de l'exercice de Thorndike a prévalu pendant plusieurs années et elle peut encore s'avérer valide dans certaines conditions. La théorie générale dont ce principe fait partie a aussi duré longtemps. Après nombre d'années, toutefois, l'expérience a démontré que l'apprentissage n'est pas fondamentalement fonction de la force des connexions, mais plutôt un événement qui se produit ou qui ne se produit pas. Ainsi, la plupart des théoriciens favorisent l'idée que la connexion est acquise en une seule occasion (Estes, 1964). Les effets de la répétition pourraient être la production d'un nombre plus grand de connexions simples, mais chacune est apprise ou ne l'est pas.»⁶⁶

Le groupe de recherche Aster (1985) utilise un point de vue de semblable pour décrire les apprentissages initiaux à l'école:

« En somme, les représentations (initiales) correspondraient à des modèles implicites pour les élèves; elles postuleraient l'existence d'un "état de connaissance" préalable à l'action éducative à la fois stable (les enfants peuvent le mettre en oeuvre dans des circonstances diverses) et cohérent (assimilable à un "mécanisme dans des circonstances diverses). ... Ce point de vue, on le sait, a été développé à partir de situations de formation d'étudiants ou d'adultes dans lesquelles on a tenté de vérifier un état initial de connaissances résultant de réminiscences scolaires (pouvant s'être dégradées en stéréotypes) pour y substituer, dans un délai relativement bref, un contenu notionnel limité correspondant à l'objectif de la formation. »⁶⁷.

⁶⁵Gagné R. (1976), *Les principes fondamentaux de l'apprentissage*, traduit par Brien, R. et Paquin,R., Les éditions HRW, p. 13.

⁶⁶Gagné R. (1976), *Les principes fondamentaux de l'apprentissage*, traduit par Brien, R. et Paquin,R., Les éditions HRW, p.13.

⁶⁷Équipe de recherche - Aster (1985), *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*, Instaprint, p. 9.

D'autre part, les mêmes chercheurs se réfèrent au pont cognitif d'Ausubel: «À l'origine, la notion de pont cognitif désigne le rappel d'acquis antérieurs qui sont destinés à être réorganisés dans un champ conceptuel plus globalisant (enrichissement de la structure cognitive). Si l'idée d'obstacle insiste sur l'écart entre les représentations des élèves et le savoir scientifique, l'idée de pont cognitif est centrée sur ce qui favorise l'accession à une idée nouvelle à partir d'un état initial de connaissances.»⁶⁸

Implicitement, un apprentissage particulier limité par des états de connaissance est similaire à la "tâche d'apprentissage" définie par Bloom (1979). Le résultat d'une tâche (état final) est déterminé en partie par l'histoire comportementale de l'apprenant, ses apprentissages antérieurs (état initial) et la qualité de l'enseignement⁶⁹.

⁶⁸Équipe de recherche - Aster (1985), *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*, Instaprint, p. 209.

⁶⁹Bloom, Benjamin S. (1979), *Caractéristiques individuelles et apprentissages scolaires*, traduit de l'américain par Viviane De Landsheere, Fernand Nathan, Paris.

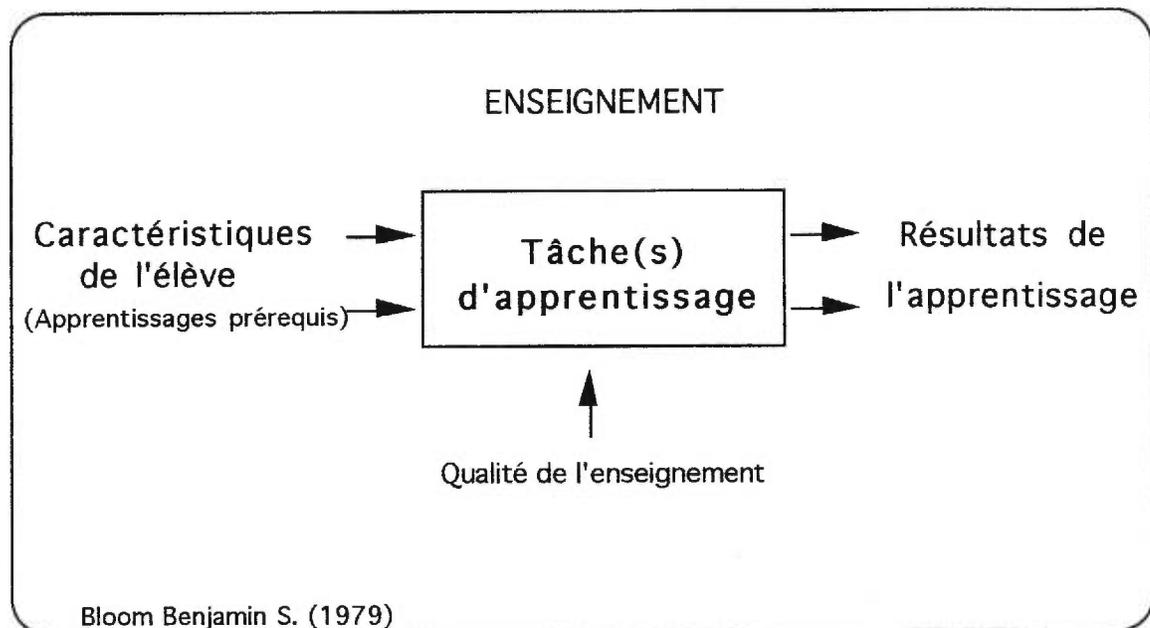


Figure 2 - Tâche d'apprentissage de Bloom

C'est aussi le cas chez Ausubel et Robinson (1969) lorsqu'ils décrivent le travail de l'apprenant par l'intégration de nouveaux concepts au réseau de connaissances existant et la réorganisation du réseau pour aboutir à un nouveau concept ou à une nouvelle proposition, et lorsqu'ils associent la résolution d'un problème à un "saut entre les connaissances antérieures d'un apprenant et les connaissances acquises pour résoudre le problème". Si les nouveaux éléments ne peuvent se greffer sur un ou plusieurs concepts pertinents au réseau initial, Ausubel parle alors de "mémorisation textuelle du concept" ou du "par coeur"⁷⁰ qui peut s'accrocher alors à la partie de l'état initial des connaissances qui supporte les fonctions et éléments du langage.⁷¹

⁷⁰Traduction libre de "rote learning".

⁷¹Ausubel, David P., Robinson, Floyd G. (1969), *School Learning - An introduction to educational psychology*, HRW, pp. 44, 47.

C'est dans cette lignée d'Ausubel que Novak et Gowin⁷² proposent de représenter les connaissances d'un individu relativement à un sujet donné par un réseau de concepts interreliés. Conséquemment, le passage d'un état à un autre peut être représenté par l'ajout de nouveaux concepts reliés aux anciens et/ou la formation de nouveaux liens entre les différents concepts déjà existants chez l'individu.

Chez Piaget, qui différencie l'apprentissage des contenus physiques ou empiriques de la connaissance et l'apprentissage des instruments ou structures logico-mathématiques qui sous-tendent leur acquisition⁷³, cette idée de passage d'un état à l'autre semble implicite. Chacun s'effectue grâce à l'assimilation de nouvelles réalités extérieures par des schèmes préexistants qui mènent à une accommodation, une structure nouvelle, un état final qui marque un progrès dans l'acquisition des connaissances^{74,75}. «Piaget appelle *équilibration* le processus dynamique qui sous-entend le passage d'un état d'*équilibre* à un autre qui lui est supérieur. Ces états d'*équilibre* caractérisent le degré d'achèvement et d'adaptation fonctionnelle des structures de l'*intelligence* aux divers niveaux du développement.»⁷⁶

Pour les psychologues et les éducateurs qui classent les connaissances en deux catégories: déclaratives et procédurales, le passage d'un état initial à un état final pourrait se décrire en termes d'ajouts de connaissances déclaratives, d'élaboration de

⁷²Novak, Joseph D., Gowin D., Bob (1984), *Learning How to Learn*, Cambridge University Press, p. 138.

⁷³Legendre-Bergeron, Marie F. (1980), *Lexique de la psychologie du développement de Jean Piaget*, Gaëtan Morin éditeur, p. 32.

⁷⁴Piaget, Jean (1963), *La construction du réel chez l'enfant*, Delachaux & Niestlé, pp. 191, 309, 336

⁷⁵Piaget, Jean (1964), *Six études de psychologie*, Folio/Essais, Editions Denoël, p. 138.

⁷⁶Legendre-Bergeron, Marie-F. (1980), *Lexique de la psychologie du développement de Jean Piaget*, Gaëtan Morin éditeur, p. 75.

nouvelles procédures ou d'une combinaison des deux formes précédemment énoncées^{77, 78}.

En sciences expérimentales, il est coutumier d'utiliser l'état initial comme repère; ainsi, au cours d'une expérimentation, il sera question d'une élévation ou d'une baisse de température, de pression, de tension, etc., relative à la mesure initiale du paramètre mesuré. De façon similaire, l'état initial des connaissances représente les acquis de l'élève immédiatement avant l'apprentissage, ce que les auteurs nomment "comportements cognitifs et affectifs de départ"⁷⁹, "structures antérieures"⁸⁰, "connaissances antérieures"^{81, 82}, connaissances préalables⁸³, schemata⁸⁴, schèmes d'assimilation⁸⁵ à partir desquels et sur lesquels se grefferont de nouveaux concepts et s'élaboreront de nouvelles habiletés, le tout donnant naissance à l'état final des connaissances à un instant donné.

Cette importance de l'état initial⁸⁶ ne fait que reprendre une idée de Jean Piaget (1967): «On peut appeler "assimilation", en prenant ce terme dans le sens le plus large, l'action de l'organisme sur les objets qui l'entourent, en tant que cette action dépend des

⁷⁷George, Christian (1985), Comment conceptualiser l'apprentissage, *Revue française de pédagogie*, N° 72, juillet-août-septembre 1985, pp. 61-70.

⁷⁸Schacter, Daniel L. (1989), *Memory, in Foundations of cognitive science*, edited by Michael I. Posner, MIT Press, p. 702.

⁷⁹Bloom, Benjamin S. (1979), *Caractéristiques individuelles et apprentissages scolaires*, traduit de l'américain par Viviane De Landsheere, Fernand Nathan, Paris, p. 22.

⁸⁰Piaget, Jean, Garcia, Rolando (1983), *Psychogenèse et histoire des sciences*, Flammarion, p. 297.

⁸¹Bachelard, G. (1987), *Épistémologie*, Paris, Presses universitaires de France.

⁸²Giordan, André, DeVecchi, Gérard (1990), *Les origines du savoir*, Delachaux et Niestlé.

⁸³Larochelle, Marie, Désautels, Jacques (1990), *Développement conceptuel et dérangement épistémologique dans l'enseignement des sciences: théorie et pratique*, UQAM, p. 11.

⁸⁴Neisser, Ulric (1976), *Cognition and Reality*, W.X. Freeman and Co., p. 14.

⁸⁵Legendre-Bergeron, Marie F. (1980), *Lexique de la psychologie du développement de Jean Piaget*, Gaëtan Morin éditeur, p. 32.

⁸⁶«The idea of science learning as a process of knowledge construction, starting necessarily from prior knowledge, appears, more or less explicitly in recent proposals of many authors (Posner et al 1982; Gil 1983; Osborne & Wittrock 1983; Driver 1985; Novak 1987)» Gil-Perez, Daniel, Carrascosa, Jaime (1990), What to do about Science "Misconceptions", *Science Education*, 74(5), p. 533.

conduites antérieures portant sur les mêmes objets ou d'autres analogues.»⁸⁷; La même idée est aussi reprise par Hans Aebli (1963): «Jamais une nouvelle conduite ne surgit ex abrupto et sans préparation; dans tous les domaines de la vie psychique, elle est toujours préparée par une longue série de conduites antérieures, plus primitives, dont elle ne constitue qu'une différenciation et une coordination nouvelles. Toute opération et toute notion ont ainsi leur histoire: l'histoire de leur construction progressive et parfaitement continue à partir d'éléments antérieurs de pensée.»⁸⁸ Mais, dans la pensée de Piaget, il y a plus: les schèmes d'assimilation sont des éléments actifs dans l'apprentissage, ils guident les perceptions et s'enrichissent des nouveaux acquis: «Le schème, en tant que structure d'une action, se caractérise plus particulièrement par le fait qu'il se conserve au cours de ses répétitions, qu'il se consolide par l'exercice et qu'il tend à se généraliser au contact du milieu, donnant ainsi lieu à des différenciations et à des coordinations variées. D'où l'apparition de nouvelles conduites qui s'élaborent à partir des schèmes initiaux et de leurs interactions adaptatives avec le milieu.»⁸⁹

⁸⁷Piaget, Jean (1967), *La Psychologie de l'intelligence*, Armand Colin, p. 14.

⁸⁸Aebli, Hans (1963), *Didactique psychologique*, Delachaux & Niestlé S.A., p. 62.

⁸⁹Legendre-Bergeron, Marie F. (1980), *Lexique de la psychologie du développement de Jean Piaget*, Gaëtan Morin éditeur, p.191.

2.3.3. L'apprentissage: un processus irréversible

Nous considérons, à la suite de Gagné⁹⁰ et Pines⁹¹, que les connaissances antérieures intégrées à un réseau y demeurent de façon permanente et sont emmagasinées dans la mémoire "à long terme".

Cette durabilité est une des caractéristiques des apprentissages significatifs de Giordan⁹². Ces modifications durables sont appelées "changements structuraux" par Feuerstein (1980) parce qu'ils impliquent une modification irréversible de toute la personnalité.

« In the normal course of events, the developing organism undergoes a series of changes. On the one hand, changes of a maturational nature occur, such as the transition from crawling to walking. On the other hand, specific changes may occur as a result of exposure to a given set of circumstances, such as the learning of a particular arithmetic operation or a foreign language. Structural changes, however, refer not to isolated events but to the organism's manner of interacting with, that is, acting on and responding to, sources of information. Thus, a structural change, once set in motion, will determine the future course of an individual's development »⁹³.

« When we say that we know something, we tacitly imply that the knowledge we are referring to has some kind of permanence and is likely to apply not only at the moment but also for some time to come.»⁹⁴

⁹⁰Gagné, R. (1976), *Les principes fondamentaux de l'apprentissage*, traduit par Brien ,R. et Paquin, R., Les éditions HRW, p. 45.

⁹¹Pines, Ariel Leon (1977), *Scientific concept learning in children: the effect of prior knowledge on resulting cognitive structure subsequent to a A-T instruction*, U.M.I. Dissertation Services, p. 25.

⁹²Giordan, André (1987), *L'élève et/ou les connaissances scientifiques*, Peter Lang, p. 36.

⁹³Feuerstein, Reuven, Rand, Ya'acov, Hoffman M.B., Miller R. (1980), *Instrumental enrichment: An intervention program for cognitive modifiability*, University Park Press, p. 9.

⁹⁴von Glasersfeld, Ernst (1995), *Sensory Experience, Abstraction, and Teaching*, in Steffe, Leslie P., Gale, Jerry, *Constructivism in Education*, Lawrence Erlbaum Ass. Pub./Hillsdale, New Jersey, p. 369.

Cette irréversibilité est aussi reconnue implicitement par plusieurs chercheurs; citons Ausubel et Robinson (1969) qui définissent l'oubli (forgetting) comme la diminution de l'accessibilité à un acquis préalable, ce qui laisse sous-entendre que les connaissances antérieures (acquired meaning) existent toujours mais qu'elles sont, à un moment donné et pour une période indéterminée, non accessibles:

«...learning refers to the process of acquiring meanings from the potential meanings presented in the learning material. Once these new meanings are acquired, they are, of course, available to the learner for subsequent additional learning or for recall and utilisation at some later point. Retention refers to the process of maintaining the availability of the new meanings or some part of them. It seems sensible to suggest that the amount of the original meaning that will be retained at any given point in time is a variable quantity. Finally, forgetting represents a decrement in the availability of an acquired meaning. That is, it describes the loss in availability that occurs between the original establishment of the meaning and its later reproduction »⁹⁵

D'ailleurs Ausubel et Robinson⁹⁶ parlent du recouvrement (retrievability) des connaissances antérieures et énumèrent plusieurs facteurs influençant cette capacité de recouvrer (reconnaître ou rappeler) une idée entreposée dans la mémoire. Cette accessibilité est reliée, entre autres facteurs, à la stabilité et la clarté du ou des concepts sur lequel ou lesquels il est "accroché", au genre et au nombre de liens établis avec ces derniers, au temps écoulé depuis l'ancrage initial et à une certaine "barrière d'accessibilité" qui peut être augmentée par l'anxiété, la compétition avec d'autres idées, etc., ou diminuée par d'autres facteurs comme la concentration ou même l'hypnose.

⁹⁵Ausubel David P., Robinson Floyd G. (1969), *School learning : an introduction to educational psychology*, Holt Rinehart and Winston, Inc., p. 105.

⁹⁶Ausubel David P., Robinson Floyd G. (1969), *School learning : an introduction to educational psychology*, Holt Rinehart and Winston, Inc., p. 112.

En d'autres termes, ce qui est appris demeure, bien qu'il soit parfois difficile de le dissocier de certains autres connaissances antérieures avec lesquelles il est lié et qui constituent son état de connaissance.

Nous considérons donc que les changements successifs d'états, les accommodations⁹⁷, amènent des changements qui modifient de façon durable le bagage conceptuel de l'individu, sa façon de percevoir et sa façon d'agir.

2.3.4. Les connaissances antérieures filtrent et matricent⁹⁸ les perceptions, déterminent les actions.

Nous considérons l'apprentissage comme l'absorption par la structure initiale d'unités discrètes, d'éléments de connaissance essentiellement constitués de perceptions plus ou moins complexes qui sont ensuite regroupées en concepts, propositions, conceptions, lesquelles, regroupées en réseau, constituent l'état des connaissances d'un individu à un moment donné. Mais il y a plus qu'une transformation mécanique d'un état initial à un état final à un moment donné. Les travaux de Piaget et ceux de nombreux autres auteurs nous ont démontré une caractéristique tout à fait particulière et remarquable des états de connaissances élaborés par apprentissage: ils ne demeurent pas passifs dans le processus d'acquisition, ils le "conditionnent" en intervenant dans le processus même de l'absorption; ils filtrent les perceptions en n'acceptant que celles pour lesquelles ils sont matricés; plusieurs d'entre eux peuvent se combiner pour reconnaître et assimiler un concept plus complexe; certains seront même transformés, accommodés, afin d'en

⁹⁷Au sens de Piaget, Legendre-Bergeron, Marie-F. (1980), *Lexique de la psychologie du développement de Jean Piaget*, Gaëtan Morin éditeur, p. 25.

⁹⁸«matricer : forger un objet en soumettant le métal porté au rouge à la pression d'une matrice.» (Dictionnaire petit Robert)

reconnaître un nouveau. Les états de connaissances agissent donc comme une matrice qui, après s'être modelée, épouse ces mêmes perceptions du réel, puis ensuite, pour les plus complexes, guide, modèle et motive l'action.

« A central idea in constructivism is that there is a dialectic relationship between conceptions and perceptions. Conceptions guide perceptions, and perceptions develop conceptions. Where the guidance of perceptions by conceptions is concerned, one could say that humans tend to see only what their current conceptions allow them to see.»⁹⁹

« Although perceiving does not change the world, it does change the perceiver. (So does action, of course.) The scheme undergoes what Piaget calls "accommodation", and so does the perceiver. He has become what he is by virtue of what he has perceived (and done) in the past. He further creates and changes himself by what he perceives and does in the present »¹⁰⁰

Avant de laisser Jean Piaget décrire lui-même cette interaction dynamique qui caractérise un apprentissage, rappelons brièvement les termes qu'il emploie:

Assimilation

« L'assimilation désigne l'intégration ou incorporation par le schème de données qui lui sont extérieures, c'est-à-dire son application à des objets ou situations du milieu; par exemple: saisir un objet - classer des objets - sérier des baguettes - établir la proportion en jus dans un mélange composé de jus et d'eau - etc.

Le schème désigne les coordinations d'actions impliquées dans l'acte de préhension (niveau sensori-moteur), dans les activités opératoires que sont la classification, la sériation, la formation de proportion, etc. L'objet saisi, objet auquel le schème de préhension est appliqué, est alors assimilé par le schème.

⁹⁹Duit, Reinders (1995), *The Constructivist View: A Fashionable and Fruitful Paradigm for Science Education Research and Practice*, in Steffe, Leslie P., Gale, Jerry, *Constructivism in Education*, Lawrence Erlbaum Ass. Pub./Hillsdale, New Jersey, p. 280.

¹⁰⁰Neisser Ulric (1976), *Cognition and reality-Principles and implications of cognitive psychology*, W.H. Freeman, p. 53.

Par son activité assimilatrice, un schème confère une signification aux objets auxquels il s'applique: objets saisis - objets regardés - objets classés, etc.

Cette activité assimilatrice pouvant être aussi bien intellectuelle que pratique, Piaget parlera d'assimilation par schèmes conceptuels (ou concepts) ou d'assimilation par schèmes d'action (ou schèmes pratiques). »¹⁰¹

Accommodation

« L'accommodation est une notion fonctionnelle. Elle désigne toute modification des schèmes d'assimilation sous l'influence des objets ou des situations extérieures auxquelles ils s'appliquent. Elle exprime la nécessité, pour tout schème d'assimilation, de s'adapter aux particularités de l'objet qu'il assimile.

Ainsi, lorsqu'un schème - celui de la préhension par exemple - s'applique à un objet quelconque du milieu, il doit s'adapter aux particularités de cet objet (telles sa forme, sa distance, sa position dans l'espace ainsi que sa position par rapport au sujet). C'est donc cette adaptation du schème général (en l'occurrence, celui de la préhension) aux particularités de l'objet assimilé que Piaget appelle accommodation.

L'accommodation conduit le schème à se différencier au contact du milieu. C'est elle, en effet, qui permet à un seul schème, à l'origine global et peu différencié, de se spécifier en fonction de la diversité des objets ou situations du milieu avec lequel il interagit. »¹⁰²

Les deux extraits ci-dessous des écrits de Piaget mettent en évidence cette caractéristique dynamique de la transformation d'un état initial par apprentissage:

«...si l'assimilation du réel aux schèmes du sujet implique une accommodation continue de ceux-ci, l'assimilation ne s'en oppose pas moins à toute accommodation nouvelle, c'est-à-dire à toute différenciation des schèmes en fonction de conditions du milieu non rencontrées jusque-

¹⁰¹Legendre-Bergeron, Marie-F. (1986), *Lexique de la psychologie du développement de Jean Piaget*, Gaëtan Morin éditeur, p. 37.

¹⁰²Legendre-Bergeron, Marie-F. (1986), *Lexique de la psychologie du développement de Jean Piaget*, Gaëtan Morin éditeur, p. 25.

là. Par contre, si l'accommodation l'emporte, c'est-à-dire si le schème se différencie, il marque le départ de nouvelles assimilations.»¹⁰³

«...par le fait même que l'assimilation et l'accommodation vont toujours de pair, le monde extérieur ni le moi ne sont jamais connus indépendamment l'un de l'autre: le milieu est assimilé à l'activité du sujet en même temps que celle-ci s'accommode à celui-là. En d'autres termes, c'est par une construction progressive que les notions du monde physique et du moi intérieur vont s'élaborer en fonction l'une de l'autre, et les processus d'assimilation et d'accommodation ne sont que les instruments de cette construction, sans en jamais représenter le résultat lui-même.»¹⁰⁴

La modification de la structure initiale qui transforme la façon de percevoir et offre de nouvelles possibilités d'apprentissage se retrouve également chez d'autres auteurs:

« Reality, figuratively speaking, is experienced through a conceptual or categorical filter. That is, the cognitive content a group of spoken or written words elicits in the recipient of a message is a highly simplified, abstract, and generalised version both of the actual realities to which they refer in the physical world and of the actual conscious experiences which these realities evoke in the narrator »¹⁰⁵

«...as education transmits new hierarchical structures of ideas to students, these provide him with power to continue his own learning. The new structure becomes part of his information-processing system and is used by him to scan the environment for new information, and provides anchors for new ideas and information as he encounters it. »¹⁰⁶

« In a restricted sense, accommodation to a new situation leads to the differentiation of a previous structure and thus the emergence of new structures. »¹⁰⁷

« Overlooked during these three centuries was the fact that what we see in events occurring in nature is largely a function of the concepts we use to interpret these events.»¹⁰⁸

¹⁰³Piaget, Jean (1963), *La construction du réel chez l'enfant*, Delachaux & Niestlé, p. 309.

¹⁰⁴Piaget, Jean (1977), *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*, Delachaux & Niestlé, p. 124.

¹⁰⁵Ausubel, D.P., Novak, J.D., Hanesian, H, (1978), *Educational psychology - a cognitive view*, HRW, p. 88.

¹⁰⁶Ausubel, P. D. (1967), *Learning theory and Classroom Practice*, The Ontario Institute for Studies in Education, Bulletin No 1, p. 10-11, in Joyce, Bruce, Weil, Marsha (1972), *Models of teaching*, Prentice Hall, Inc., p. 167.

¹⁰⁷Furth Hans G. (1969), *Piaget and Knowledge*, in Joyce, Bruce, Weil, Marsha (1972), *Models of teaching*, Prentice Hall, Inc, p. 182.

¹⁰⁸Novak, Joseph D. (1977), *An Alternative to Piagetian Psychology for Science and Mathematics Education*, *Science Education*, 61(4): 453-477, p. 454.

Donc, nous dirons maintenant que le passage d'un état de connaissance à un autre plus élevé s'effectue par "accommodation" et "assimilation", au sens de Piaget, d'unités distinctes d'éléments de connaissance. Une information venant du milieu est assimilée par un individu. Elle interagit avec la structure initiale de l'individu et la modifie; on dit alors qu'il y a eu accommodation et il en résulte une structure de connaissance plus complexe et mieux adaptée¹⁰⁹.

2.4. Les produits d'apprentissage

Afin d'illustrer les caractéristiques de notre modèle d'apprentissage, nous décrirons successivement quatre des produits d'apprentissage qui s'intègrent aux connaissances antérieures existantes.

Du percept à la conception, en passant par le concept et la proposition, ces produits d'apprentissage s'incorporent aux connaissances antérieures existantes chacun à sa façon, mais chacun partageant les deux mêmes caractéristiques, celle de filtrer la stimulation sensorielle et celle de fédérer les actions subséquentes de l'individu. Ainsi se hiérarchisent les connaissances antérieures d'un individu, chaque produit jouant un rôle essentiel, chaque produit transformant le réseau établi.

¹⁰⁹Driver, Rosalind (1983), *The Pupil as Scientist?*, The Open University Press. p. 52.

2.4.1. Les percepts

La détection et la mémorisation d'une sensation, telle qu'une odeur, une couleur ou un percept¹¹⁰ qui s'incorpore à d'autres déjà existants, pourraient constituer un des acquis les plus simples correspondant à une petite transformation de l'état initial en un autre état plus riche, à un petit saut d'apprentissage d'un état à un autre. Mais il y a plus. Selon Ulric Neisser¹¹¹, cette perception ne pourrait se faire sans la présence d'une structure préalable, le schéma¹¹², qui dirige l'activité contrôlant la perception. Il la compare à un gabarit qui "cherche" certaines sensations plutôt que d'autres, qui dirige les activités exploratoires. Il généralise cette dernière idée par l'affirmation suivante: «La perception est toujours une interaction entre un objet particulier ou un événement particulier et un schéma plus général»¹¹³. Piaget mentionne aussi ce caractère de rétroaction des structures contrôlant les perceptions: «...la perception elle-même ne consiste pas en une simple lecture des données sensorielles, mais elle comporte une organisation active, dans laquelle interviennent des décisions et des préférences et qui est due à l'influence sur la perception comme telle de ce schématisme des actions ou des opérations.»¹¹⁴

2.4.2. Les concepts

La réunion sous un seul vocable du résultat de l'intersection entre plusieurs perceptions¹¹⁵, l'union de plusieurs percepts, la reconnaissance d'une régularité à qui

¹¹⁰Objet de la perception, sans référence à une chose en soi. (Dictionnaire petit Robert).

¹¹¹Neisser, Ulric (1976), *Cognition and reality*, W.X.Freeman and Co., pp. 14,54.

¹¹²Neisser, Ulric (1976), *Cognition and reality*, W.X.Freeman and Co., p. 76 notes.

¹¹³Neisser, Ulric (1976), *Cognition and reality*, W.X.Freeman and Co., p.65, (traduction libre).

¹¹⁴Piaget, Jean (1970), Editions Denoël Gonthier, p. 108.

¹¹⁵Représentation mentale et générale des traits stables et communs à une classe d'objets directement observables, et qui sont généralisables à tous les objets présentant les mêmes caractéristiques, Legendre, R. (1988), *Dictionnaire actuel de l'éducation*, Guérin-Eska, p. 111.

l'on attribue une étiquette^{116, 117}, tous, comme les concepts concrets de Gagné¹¹⁸, constituent des apprentissages plus complexes.

« Dans les sciences, si un concept est une idée abstraite ou un symbole qui n'est pas directement observable ou mesurable, le chercheur doit inventer ou créer des moyens qui lui permettent d'adapter un concept à des fins d'investigation scientifique: pour ce faire, il ajoute de nouvelles dimensions à son concept que l'on désigne sous le nom de concept opératoire, qui implique l'idée d'une opération concrète. Ouellet (1982) »¹¹⁹

Mais c'est encore Piaget, par l'utilisation et la description des schèmes, ces "formes qui servent aux opérations de l'entendement et, notamment, à la formation des concepts"¹²⁰, qui décrit le mieux le rôle joué par les concepts acquis dans l'acquisition de nouvelles connaissances; «...les connaissances ne dérivent jamais exclusivement de la sensation ou de la perception, mais aussi des schèmes d'actions ou des schèmes opératoires de divers niveaux, qui sont les uns et les autres irréductibles à la seule perception.»¹²¹ À sa façon, Ausubel (1968) reprend le même message: "le facteur le plus important dans l'apprentissage est ce que l'apprenant sait déjà"¹²².

¹¹⁶Pines, Ariel, Leon (1977), *Scientific concept learning in Children: the effect of prior knowledge on resulting cognitive structure subsequent to A-T instruction*, U.M.I. Dissertation, Services, p. 9.

¹¹⁷Novak, Joseph D. (1985), *Metalearning and metaknowledge strategies to help students learn how to learn* in West, Leo H.T, Pines, A. Leon, *Cognitive Structure And Conceptual Change*, Academic Press Inc., p. 191.

¹¹⁸«Concepts concrets: classes de qualités d'objets, d'objets et d'événements».Gagné, R. (1976), *Les principes fondamentaux de l'apprentissage*, traduit par Brien, R. et Paquin, R., Les éditions HRW, p. 52.

¹¹⁹ Legendre, R. (1988), *Dictionnaire actuel de l'éducation*, Guérin-Eska, p. 111.

¹²⁰«Le concept général n'est ni un simple signe, ni une idée véritable, eidos: il consiste dans un schème opératoire de notre entendement» (LALANDE) - Cuvillier, A. (1963), *Vocabulaire philosophique*, Armand Colin, p. 165.

¹²¹Piaget, Jean (1970), *Psychologie et épistémologie*, Éditions Denoël Gonthier, p. 108.

¹²²Ausubel, David (1968), *Educational psychology: a cognitive view*, New York, HRW, préface p.vi (traduction libre).

2.4.3. Les propositions

L'établissement d'un lien (de causalité, d'appartenance, etc.) entre deux ou plusieurs concepts altère l'état initial et constitue un autre type d'apprentissage¹²³ qui s'exprime par une proposition. Elle peut être aussi simple que l'affirmation suivante: "cette pomme est verte" et aussi complexe que "au delà d'une certaine température, pour une pression atmosphérique donnée, un liquide passera de la phase liquide à la phase gazeuse." La proposition peut aussi servir à définir «certains concepts d'objets, d'attributs d'objets et de relations qui ne sont pas identifiables en les montrant.»¹²⁴. Ce sont les concepts définis de Gagné (1988).

Certains types de propositions, comme les postulats¹²⁵ et les principes¹²⁶, mettent en relief la propriété active de l'état initial lors d'un apprentissage. Aussitôt appris, le postulat d'Euclide, que l'on peut énoncer comme suit: "deux droites d'un même plan sont définies comme parallèles lorsqu'elles n'ont aucun point commun"¹²⁷, et le principe de Le Châtelier: «si on fait varier les conditions imposées à un système initialement en équilibre, ce dernier se déplace dans un sens qui tend à ramener le système dans ses conditions initiales»¹²⁸, guident la réflexion et le raisonnement puis

¹²³Posner, George J., Strike, Kenneth A., Hewson, Peter W., Gertzog, William A. (1982), Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change, *Science Education*, 66(2), p. 216.

¹²⁴Gagné R. (1976), *Les principes fondamentaux de l'apprentissage*, traduit par Brien R. et Paquin R., Les éditions HRW, p. 53.

¹²⁵Postulat: «proposition qui n'est ni évidente ni démontrable, mais qu'on admet comme principe indispensable d'un système déductif» Cuvillier A. (1963), *Vocabulaire philosophique*, Armand Colin, p. 143.

¹²⁶«Propositions fondamentales d'où originent nécessairement d'autres propositions», «Énoncé d'une proposition première qui constitue un fondement ou une cause initiale et qui permet de normaliser toute action, comportement et jugement» Legendre ,R. (1988), *Dictionnaire actuel de l'éducation*, Larousse, p. 464.

¹²⁷Camap, Rudolf (1973), *Les fondements philosophiques de la physique*, Armand Colin, p. 126.

¹²⁸Pauling, Linus ((1966), *Chimie générale*, Dunod, Paris, p. 314.

orientent l'organisation des concepts. Ils deviennent donc de puissants outils pour la pensée.

2.4.4. Les conceptions

Après ce qui précède, on peut imaginer une agrégation de perceptions, de concepts et de propositions formant un ensemble particulier, une conception, qui croît par acquisitions successives de nouvelles perceptions, par déductions, inductions ou par inventions pures et simples, dont la capacité d'assimilation¹²⁹ augmente le bagage conceptuel de l'individu, sa façon de percevoir et sa façon d'agir.

Giordan (1988) représente ces agrégats de perceptions, de propositions, de règles, de principes, etc., comme de grands îlots de connaissances plus ou moins indépendants, chacun ayant une existence propre, servant de structures d'accueil et de supports aux perceptions et aux nouveaux arrangements.

« Les conceptions de l'apprenant ne correspondent pas uniquement à des images de la réalité; elles ne lui servent pas seulement de support sur lequel viennent se sédimenter d'autres savoirs... »¹³⁰

«...elles constituent des structures d'accueil qui permettent de fédérer de nouvelles informations, de leur donner un sens en fonction des questions en jeu. »¹³¹

« Alors que, dans le cadre de la psychologie cognitive, il est question de la construction de la connaissance, dans celui de la communication stratégique, il est question de la construction de la représentation des personnes, des comportements et des interactions en général. C'est selon cette optique que Watzlawick (1988) présente ses réflexions sur la

¹²⁹Au sens de Piaget, Legendre-Bergeron, Marie-F. (1980), *Lexique de la psychologie du développement de Jean Piaget*, Gaëtan Morin éditeur, p. 37.

¹³⁰Giordan, André (1988), *Vers un modèle didactique d'apprentissage allostérique*, Colloque international: Obstacle épistémologique et conflit socio-cognitif (résumés) Cirade, UQAM, p. 25.

¹³¹Giordan, André (1988), *Apprentissage allostérique et environnement didactique*, Séminaire sur la représentation, Cirade, UQAM, p. 11.

construction et l'invention de la réalité. Dans les deux cas, on se réfère constamment à la personne qui traite activement des informations, qui sélectionne quelques indices dans le réel en sa présence, qui donne un sens à ce réel et le reconstruit à partir de ses connaissances antérieures. Dans le cas du savoir, la base de connaissances de la personne lui permet de donner une signification aux informations présentées et de les associer à ses connaissances antérieures. »¹³²

« Les systèmes de représentation et de croyance de la personne, logés dans sa mémoire à long terme et organisés sous forme de schémas, sont essentiellement les filtres par lesquels elle donne une signification aux personnes, à leurs comportements ainsi qu'à leurs actions. »¹³³

De plus,

«...les conceptions qu'il (l'élève) produit correspondent aux seuls instruments à sa disposition; c'est à travers eux qu'il décode la réalité. Ces conceptions conduisent inévitablement à l'évidence et constituent ainsi un "filtre" de la réalité »^{134, 135}.

Ailleurs, Giordan et De Vecchi (1990) en donnent une définition encore plus concise:

«La conception est une véritable stratégie cognitive que met en place l'apprenant pour sélectionner les informations pertinentes, pour structurer et organiser le réel. »¹³⁶

D'autres auteurs ont décrit la conception de diverses façons plus ou moins semblables. Toutes reprennent une ou plusieurs facettes de la description précédente; elles présentent toutes la caractéristique commune d'avoir été apprises ou conçues, d'être les produits d'un ensemble plus ou moins nombreux de concepts et de propositions

¹³²Tardif, Jacques (1992), *Pour un enseignement stratégique*, Les Éditions LOGIQUES, p. 384.

¹³³Tardif, Jacques (1992), *Pour un enseignement stratégique*, Les Éditions LOGIQUES, p. 385.

¹³⁴Tardif, Jacques (1992), *Pour un enseignement stratégique*, Les Éditions LOGIQUES, p. 385.

¹³⁵Cela s'inscrit dans la ligne de pensée de Kuhn «D'après Kuhn, les hommes de science observent le monde en fonction des théories (paradigmes) qu'ils ont acceptées comme valables», Piaget, Jean, Garcia, Rolando (1983), *Psychogenèse et histoire des sciences*, Flammarion, p. 287.

¹³⁶Giordan, André, De Vecchi, Gérard (1990), *Les origines du savoir*, Delachaux et Niestlé, p. 93.

structurés, capables de filtrer les perceptions et de les interpréter, puis de guider l'action dans un domaine donné, à un moment donné. Hewson (1985) les décrit comme des unités fonctionnelles de la pensée comprenant des aspects de connaissances factuelles et procédurales.¹³⁷ Hoz, les présente comme un système de concepts, de propositions et de procédures¹³⁸.

Les termes suivants expriment aussi la conception "conceptual framework, schema, knowledge structure"¹³⁹, préconception, alternative frameworks¹⁴⁰ et représentation¹⁴¹.

Plusieurs l'associent à une croyance élaborée sans, et même contre, l'intervention scolaire¹⁴². Pour d'autres, elle est associée à des interprétations de phénomènes ou à des ensembles d'idées avec lesquelles l'individu explique le monde et desquelles il n'est pas toujours conscient¹⁴³.

¹³⁷Hewson, Mariana G. A'B. (1985), The role of intellectual environment in the origin of conceptions: an exploratory study, in West, Leo H.T, Pines, A. Leon, *Cognitive structure and conceptual change*, Academic Press Inc., p. 154.

¹³⁸Hoz, Ron (1983), Enhancement and assessment of the Reliability of Instruments for the Measurement of Conceptual Framework, in Novak (1983), *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, p. 172.

¹³⁹Hoz, Ron (1983) Enhancement and assessment of the Reliability of Instruments for the Measurement of Conceptual Framework, in Novak (1983), *Proceedings of the Misconceptions in science and mathematics*, p. 172.

¹⁴⁰Nussbaum, Joseph, Novick, Shimshon (1982), Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: toward a principled teaching strategy, *Instructional Science*, 11, p. 183.

¹⁴¹Giordan, André, De Vecchi, Gérard (1990), *Les origines du savoir*, Delachaux et Niestlé, p. 79.

¹⁴²Strike, Kenneth A., Posner, George J. (1985), in West, Leo H.T, Pines A., Leon, *Cognitive Structure and Conceptual Change*, Academic Press Inc., p. 213.

¹⁴³Johansson, Bengt, Marton, Ference, Svensson, Lennart (1985), An approach to describing learning as change between qualitatively different conceptions, in West, Leo H.T, Pines, A. Leon, *Cognitive Structure and Conceptual Change*, Academic Press, p. 247.

Dans le domaine scientifique, les quatre grandes idées formant la base du modèle corpusculaire de la matière¹⁴⁴ sont un bon exemple d'une conception: un ensemble de propositions qui filtrent les perceptions, génèrent de nouvelles propositions et guident l'action. Pensons à l'image que l'on se fait d'un gaz parfait, de l'influence d'une élévation de température sur la pression, etc.

Cette influence marquée des conceptions sur la perception, la compréhension, l'interprétation des phénomènes et l'agir des individus a été soulevée par de nombreux auteurs^{145, 146} notamment en ce qui a trait à l'enseignement des sciences où l'influence persistante des conceptions naïves (préconceptions, etc.) des élèves pose de nombreuses difficultés, sinon des obstacles, à l'apprentissage. Bachelard, Johsua et Dupin (1987) décrivent bien le phénomène: «Toute la recherche en didactique de cette dernière décennie montre à quel point les représentations naïves des élèves résistent à un tel enseignement "expérimental". De plus, les élèves ne se contentent nullement de conserver par-devers eux des idées "fausses". Ces conceptions servent, au contraire, de base active à leurs raisonnements et à leurs conduites (Driver et Easley, 1978; Driver, 1981). L'obstacle que représente une telle conception (au sens où l'entend

¹⁴⁴1. La matière est constituée d'un ensemble de particules (la matière est discontinue).

2. Il existe des forces de cohésion entre les particules.

3. Les particules sont continuellement en mouvement.

4. Le mouvement de ces particules est en relation avec l'énergie que l'on donne ou qu'on enlève au système.

¹⁴⁵«Our contention that students' conceptions influence their understanding and remembrance of science texts and lecture, their observations, and their interpretations of their observations is also based on observations made during and after administration of the DOE tasks» Champagne, Audrey B., Gunstone, Richard F., Klopfer, Leopold E., Instructional consequences of students' knowledge about physical phenomena, in West, Leo H.T, Pines, A. Leon (1985), *Cognitive Structure and Conceptual Change*, Academic Press Inc., p. 64.

¹⁴⁶«At times, the students' preexisting conceptions are consistent with what is being taught, but at other times, - as Champagne, Klopfer, and Gunstone demonstrate - these preexisting conceptions can be antagonistic to the conception that the teacher is trying to present, and these preexisting conceptions can be extremely difficult to change» Shuell, Thomas J.(1985), Knowledge representation cognitive structure, and school learning: a historical perspective, in West, Leo H.T, Pines, A. Leon (1985), *Cognitive Structure And Conceptual Change*, Academic Press Inc., p. 127.

Bachelard, 1949, par exemple) a donc un versant producteur de sens. On ne peut ni le nier ni le détruire; il faut le dépasser.»¹⁴⁷

Cette persistance des connaissances antérieures, remarquée par plusieurs¹⁴⁸, entre autres par Johsua (1989)¹⁴⁹ et Driver (1983)¹⁵⁰, a fait l'objet d'une étude détaillée par Hashweh (1986)¹⁵¹ qui confirme le caractère "structural" et permanent (très difficile à changer ou à remplacer) des conceptions acquises. Passons en revue quelques-uns des facteurs analysés par Hashweh et d'autres qui causent la persistance des préconceptions ou des perceptions.

- a. Les anciennes conceptions ne sont habituellement pas complètement fausses, elles se limitent à un domaine limité du réel perçu par l'individu et, la plupart du temps, répondent de façon satisfaisante aux besoins immédiats de celui qui les utilise.¹⁵² De nombreux exemples puisés dans l'histoire illustrent bien cette affirmation; pensons au système du monde de Platon et d'Aristote¹⁵³, à l'éther des physiciens du siècle dernier¹⁵⁴ et, plus près de nous, à la chaleur considérée comme un fluide¹⁵⁵.

¹⁴⁷Johsua, Samuel, Dupin, Jean-Jacques (1988), Didactique et acquisition des connaissances scientifiques, La gestion des contradictions dans des processus de modélisation en physique, en situation de classe, *Actes du Colloque de Sèvres - Mai 1987*, Editions La Pensée Vergnaud, Brousseau, Hulin Sauvage Greco Didactique, CNRS, p. 185.

¹⁴⁸Nussbaum Joseph (1983), Classroom conceptual change : the lesson to be learned from the history of science, in Novak (1983), *Proceedings of the Misconceptions in science and mathematics*, p.intro.

¹⁴⁹Johsua Samuel (1989), La perdurance des obstacles épistémologiques ; un révélateur de leur nature, in Bednarz, Nadine, Garnier, Catherine (1989), *Construction des savoirs - Obstacles & conflits*, CIRADE, Agence d'Arc Inc, p. 110.

¹⁵⁰Driver, Rosalind (1983), *The Pupil as Scientist?* The Open University Press. p. 30.

¹⁵¹Hashweh, Maher Z.(1986), Toward an explanation of conceptual change, *European Journal of Science Education*, Vol. 8, N°3, p. 229-249.

¹⁵²Hashweh, Maher Z.(1986), Toward an explanation of conceptual change, *European Journal of Science Education*, Vol. 8, N°3, p. 235.

¹⁵³Taton, René (1957), *Histoire générale des sciences, La science antique et médiévale*, tome 1, PUF, pp. 347-349.

¹⁵⁴Holton, Gerald (1988), *Thematic origins of scientific thought, Kepler to Einstein*, Harvard University Press, p. 282.

¹⁵⁵Hewson, Mariana G. A'B., The role of intellectual environment in the origin of conceptions: an exploratory study, in West, Leo H.T, Pines, A. Leon (1985), *Cognitive Structure And Conceptual Change*, Academic Press Inc., p. 159.

- b. Certaines conceptions sont renforcées par la société tout entière¹⁵⁶. Notons ici qu'il serait très intéressant d'étudier le rôle des grandes institutions religieuses et culturelles, le rôle des journaux, des médias électroniques et celui de personnages prestigieux comme facteurs qui affectent la persistance des conceptions.
- c. Le langage lui-même contribue à faire persister des conceptions; l'expression "le lever du soleil" en est un bon exemple^{157, 158}. Les enseignants de sciences se sentent souvent obligés de faire remarquer les différences entre le sens d'un mot attribué par "le sens commun" et celui donné par la physique. Feynman (1985), dans l'introduction d'une de ses conférences de vulgarisation, illustre bien ce dernier propos¹⁵⁹.

2.4.5. Autres conceptions

D'autres éléments de connaissance, tels les mythes¹⁶⁰, les croyances et les paradigmes¹⁶¹, s'apparentent aux conceptions par leur persistance, leur résistance aux changements, leur propriété de filtrer les perceptions et de guider et de motiver les actions d'un individu. Plusieurs ont influencé et influencent encore le monde des sciences. Mentionnons cette croyance ferme des humains en la permanence de la matière au-delà des perceptions (nous ne croyons pas à la disparition pure et simple des objets matériels ni à leur création spontanée), idée énoncée par Démocrite, et «Rien

¹⁵⁶Atkins et Karplus (1962) in Hashweh (1986), p. 238.

¹⁵⁷Champagne et al. (1982) et Gilbert et Osborne (1980) in Hashweh (1986), p.238.

¹⁵⁸Trellu, Jean-Louis, Toussaint, Jacques (1986), La conservation, un grand principe, *Aster - recherches en didactique des sciences expérimentales*, No 2, p.70.

¹⁵⁹«...he (the physicist) uses ordinary words in a funny way. Physicists often use ordinary words such as "work" or "action" or "energy" or even ..."light" for some technical purpose. Thus, when I talk about "work" in physics, I don't mean the same thing as when I talk about "work" on the street.», Feynman, Richard P. (1985), *QED The strange theory of light and matter*, Princeton University Press. p. 10.

¹⁶⁰«Image simplifiée, souvent illusoire, que des groupes humains élaborent ou acceptent au sujet d'un individu ou d'un fait et qui joue un rôle déterminant dans leur comportement ou leur appréciation. Ex.: Le mythe du flegme britannique», Dictionnaire petit Robert.

¹⁶¹"un corps caractéristique de croyances et de conceptions qui comprennent tous les engagements partagés ("shared commitments") d'un groupe scientifique"., KUHN, "Second Thoughts on Paradigms". Ce travail a été reproduit dans F. SUPPES (ed.), *The Structure of Scientific Theories*, University of Illinois Press, 1977 in Piaget, Jean, Garcia, Rolando (1983), *Psychogénèse et histoire des sciences*, Flammarion, p. 285.

n'est créé à partir de rien»¹⁶², conceptions qui se trouvent englobées aujourd'hui par le principe de conservation de l'énergie¹⁶³.

Dans le même ordre d'idées, il sera utile, pour la suite de ce travail, de noter que plusieurs caractéristiques attribuées jusqu'ici à une conception (produit d'un apprentissage, persistance, filtre des perceptions, guide de l'action) sont celles que l'on attribue à une valeur, telle que la définit Rokeach (1973)¹⁶⁴ et dont les caractéristiques ont été reprises par Trân (1989):

« L'apprentissage des valeurs est avant tout un processus interne d'intégration des aspects affectif et cognitif de l'apprentissage »¹⁶⁵

« En plus de posséder une durabilité, la valeur a aussi d'autres caractéristiques reconnues par plusieurs. (Rokeach, 1973; Smith 1963; Mc Laughin, 1965; Williams, 1968; voir Perron, 1981). On dit que la valeur est cognitive, affective et comportementale »¹⁶⁶.

« La valeur est cognitive dans le sens du savoir. Elle contient des concepts qu'on peut apprendre dans le contexte de relations soi-autrui-environnement »¹⁶⁷.

« La valeur génère l'action. Lorsque la valeur est acquise de façon intégrée, elle mène à un choix d'action. On peut être attiré par elle ou encore poussé par elle à agir. Rokeach (1973) mentionne que les valeurs servent de standards et guident nos comportements de différentes façons. Par exemple: elles permettent de prendre position sur les questions

¹⁶²Farrington, B. (1967), *La science dans l'antiquité*, Petite bibliothèque Payot, Payot, Paris, p. 63.

¹⁶³Weber R.L., Manning K.V., White M.W. (1967), *Physique générale*, McGraw Hill, p. 67.

¹⁶⁴«A value is an enduring belief that a specific mode of conduct or end-state of existence is personally or socially preferable to an opposite or converse mode of conduct or end-state of existence.»Rokeach, Milton (1973), *The Nature of Human Values*, Collier Macmillan, p. 5.

¹⁶⁵Trân Khanh-Thanh (1989), *L'influence de l'éducation confluyente aux valeurs dans le contexte de l'enseignement des sciences au secondaire*, Thèse présentée à l'école des gradués de l'université Laval pour l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.), p. 46.

¹⁶⁶Trân Khanh-Thanh (1989), *L'influence de l'éducation confluyente aux valeurs dans le contexte de l'enseignement des sciences au secondaire*, Thèse présentée à l'école des gradués de l'université Laval pour l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.), p. 46.

¹⁶⁷Trân Khanh-Thanh (1989), *L'influence de l'éducation confluyente aux valeurs dans le contexte de l'enseignement des sciences au secondaire*, Thèse présentée à l'école des gradués de l'université Laval pour l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.), p. 46.

sociales, religieuses et politiques; elles permettent aussi de s'évaluer soi-même ou d'évaluer les autres, de comparer et d'influencer, etc. »¹⁶⁸

En dernier lieu, considérons les affirmations de Strike et Posner (1985) et de Rokeach (1973) qui font émerger une caractéristique commune à la conception et à la valeur, l'appétence¹⁶⁹, la tendance qui porte l'individu vers ce qui peut satisfaire ses besoins:

« A person becomes committed to a conception because it helps interpret experiences, solve problems, and, in certain cases, meet spiritual or emotional needs. »¹⁷⁰

« French and Kahn (1962) point out that in some respects the properties of a value and of a need are similar. A person may want to do something but also feel that he ought to do it. Since a value is not only a belief about what he ought to do but also a desire to do it. »¹⁷¹

« Values are the cognitive representation not only of individual needs but also of societal and institutional demands. »¹⁷²

2.5. Définition théorique des conceptions erronées

À chaque instant, un individu est stimulé par de nouvelles perceptions qu'il reconnaît ou ne reconnaît pas. Par "reconnaître", nous entendons que la nouvelle perception engendre des sensations ou des images déjà apprises¹⁷³. Dans le premier cas, chaque stimulus est assimilé par un schème faisant partie de son réseau initial. Dans le

¹⁶⁸Trần Khanh-Thanh (1989), *L'influence de l'éducation confluente aux valeurs dans le contexte de l'enseignement des sciences au secondaire*, Thèse présentée à l'école des gradués de l'université Laval pour l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.), p. 46.

¹⁶⁹Tendance qui porte l'être vers ce qui peut satisfaire ses besoins, ses instincts, ses penchants naturels. (*Dictionnaire petit Robert*).

¹⁷⁰Strike, Kenneth A., Posner, George J. (1985), A conceptual change view of learning and understanding, in West, Leo H.T, Pines A., Leon(1985), *Cognitive Structure And Conceptual Change*, Academic Press Inc., p. 220.

¹⁷¹Rokeach, Milton (1973), *The Nature of Human Values*, Collier Macmillan, p.19.

¹⁷²Rokeach, Milton (1973), *The Nature of Human Values*, Collier Macmillan, p. 20.

¹⁷³Reconnaître: "Penser (un objet présent) comme ayant déjà été saisi par la pensée" (*Dictionnaire petit Robert*).

deuxième cas, et c'est ce qui nous intéresse pour le moment, ces perceptions excitent une partie du réseau de connaissances d'une manière différente de ce qui a déjà été appris antérieurement. Ces anomalies, pour reprendre les propos de Mischel (1971)¹⁷⁴, Posner et al. (1982)¹⁷⁵, peuvent provoquer des conflits cognitifs¹⁷⁶ capables d'inciter l'individu à lever cette contradiction et à faire un nouvel apprentissage, s'il en ressent la nécessité et s'il se sent capable d'entreprendre les activités d'apprentissage nécessaires. En d'autres mots, et comme le suggèrent Posner et al. (1982)¹⁷⁷, s'il juge son état présent insatisfaisant, si la connaissance antérieure lui semble plausible, s'il se sent capable de l'atteindre, s'il lui est compréhensible et s'il considère la future connaissance comme plus utile.

D'un point de vue extérieur à un individu, par exemple celui d'un enseignant ou d'une communauté, qui a colligé dans des traditions orales ou dans des manuscrits un ensemble de conceptions que nous nommerons Héritage culturel^{178,179}, certaines parties

¹⁷⁴Mischel, Theodore (1971), *Cognitive Development and Epistemology*, Academic Press Inc., p. 332.

¹⁷⁵Posner, George J., Strike, Kenneth A., Hewson, Peter W., Gertzog, William A. (1982), Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change, *Science Education*, 66, 2, 224.

¹⁷⁶«Following Dewey (1910) it is generally agreed that accommodation necessitates first of all recognition by the learner of a problem and his inability to solve it with his existing conceptions. The result of this first step is a feeling of dissatisfaction. If it is strong enough it may build up to a psychological state variously called "disequilibrium" by Piaget (1964) (in the context of cognitive development), "cognitive dissonance" by Festinger (1957) (in the context of attitudes and beliefs) and "conceptual conflict" by Berlyne (1965) (in the context of teaching). These psychologists hold that human beings have an innate need to reduce dissonance, incongruity or conflict between two cognitions. Berlyne (1965) used the term "epistemic curiosity" to describe the motivational drive to seek more knowledge in order to relieve such a conflict. This "epistemic curiosity" when spurred by conceptual conflict, may lead to accommodation of one's conceptions or beliefs. Berlyne (1965). Ausubel (1978) and Novak (1977) advocated inducing "cognitive dissonance" in school settings in order to arouse motivation and attention and to create the need for accommodation» in Nussbaum, Joseph, Novick, Shimshon (1982), Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: toward a principled teaching strategy, *Instructional Science*, 11, p. 186.

¹⁷⁷Posner, George J., Strike, Kenneth A., Hewson, Peter W., Gertzog, William A. (1982), Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change, *Science Education*, 66, 2, 213.

¹⁷⁸L'Héritage constitue le repère reconnu, l'état des connaissances de l'humanité à une époque donnée. On peut aussi, à l'instar d'Ausubel, l'appeler "culture": «The proposition that every man must discover for himself every bit of knowledge that he really wishes to possess is, in essence, a repudiation of the very concept of culture. For perhaps the most unique attribute of human culture, which distinguishes it from every other kind of social organization in the animal kingdom, is precisely the fact that the accumulated discoveries of millennia can be transmitted to each succeeding generation in the course of childhood and youth, and need not be discovered anew by each generation.» Ausubel, David P. (1961), *Learning by*

des connaissances de l'individu, différentes de cet Héritage, peuvent engendrer le même genre de confrontations. Pour un individu, toute perception non congruente avec son état de connaissance provoque un conflit. Et inversement, pour un observateur extérieur, toute conception de l'individu non congruente avec l'Héritage est dite erronée, primitive, alternative ou naïve selon les auteurs^{180,181}. Il est à noter que certains auteurs utilisent l'expression "conception naïve" ou "théorie naïve" pour désigner la vision personnelle du monde que se fait un enfant¹⁸². Notons que Novak¹⁸³ a suggéré en 1983 un acronyme (LIPH, i.e., Limited or Inappropriate Propositional Hierarchies) qui engloberait toutes les nuances que l'on peut apporter à ce concept. Il semble qu'à ce jour, les chercheurs américains, sans faire de consensus, acceptent plus volontiers le terme de "alternative conception" que tout autre¹⁸⁴.

Dans le cadre de ce travail, nous considérons une conception erronée lorsqu'elle n'exprime pas la conception décrite par la communauté scientifique d'une époque, à une approximation désirée. Plusieurs auteurs adoptent clairement cette définition, entre

Discovery: Rationale and Mystique, *The Bulletin of The National Association of Secondary School Principals*, 45,269, 26.

¹⁷⁹«Most of what anyone really knows consists of insights discovered by others which have been communicated to him in meaningful fashion.» Ausubel, David P. (1961), *Learning by Discovery: Rationale and Mystique*, *The Bulletin of The National Association of Secondary School Principals*, 45,269, 26.

¹⁸⁰Fisher, K.M., Lipson, Joseph I. (1985), Information processing interpretation of errors in college science learning, *Instructional Science*, 14, 62.

¹⁸¹Fisher, Kathleen M., Lipson, Joseph, Isaac (1986), Twenty questions about student errors, *Journal of Research in Science Teaching*, 23,9, 786.

¹⁸²Gowin, D. Bob (1983), Misconceptions, metaphors and conceptual change: once more with feeling, in Novak, Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York, p. 59.

¹⁸³Novak, Joseph D. (1993), Meaningful Learning: The Essential Factor for Conceptual Change in Limited or Inappropriate Propositional Hierarchies (LIPHs) Leading to Empowerment of Learners, Presented at the *Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, August 1, 1993, p. 1.

¹⁸⁴Wandersee, James H., Mintzes, Joel J., Novak, Joseph D. (1994), Research on alternative conceptions in science, in Gabel Dorothy, *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* NSTA, Macmillan Publishing Co., p. 179.

autres, Pines¹⁸⁵, Hoz¹⁸⁶, Fisher & Lipson^{187,188}, Champagne & Gunstone & Klopfer¹⁸⁹, Novak¹⁹⁰ et Giordan & De Vecchi¹⁹¹.

Rappelons deux caractéristiques d'une conception erronée qui font consensus dans la littérature: on reconnaît principalement sa grande persistance^{192, 193, 194} et son influence marquée sur l'apprentissage^{195, 196, 197}.

¹⁸⁵Pines, Ariel Leon (1977), *Scientific concept learning in Children: the effect of prior knowledge on resulting cognitive structure subsequent to A-T instruction*, U.M.I. Dissertation Services, p. 193, 200.

¹⁸⁶Hoz, Ron (1983), Enhancement and assessment of the Reliability of Instruments for the Measurement of Conceptual Framework, in Novak Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York, p. 172.

¹⁸⁷Fisher, K.M., Lipson, Joseph I. (1985), Information processing interpretation of errors in college science learning, *Instructional Science*, 14, 62.

¹⁸⁸Fisher, Kathleen M., Lipson, Joseph Isaac (1986), *Twenty questions about student errors*, 23,9, 786.

¹⁸⁹Champagne, Audrey B., Gunstone, Richard F., Klopfer, Leopold E. (1985), *Cognitive Structure and Conceptual change*, Academic Press Inc., p. 163.

¹⁹⁰Novak, Joseph D. (1985), Metalearning and metaknowledge strategies to help students learn how to learn, in *Cognitive Structure And Conceptual Change*, Academic Press Inc, p. 192.

¹⁹¹Giordan, André, De Vecchi, Gérard (1990), *Les origines du savoir*, Delachaux et Niestlé, p. 165.

¹⁹²Duit, Reinders (1983), Energy Conceptions held by Students and Consequences for Science Teaching, in Novak Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York, p. 339.

¹⁹³Nussbaum, Joseph (1983), Classroom conceptual change: the lesson to be learned from the history of science, in Novak Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York, p. intro.

¹⁹⁴Driver, Rosalind (1983), *The Pupil as Scientist?*, The Open University Press. p. 30.

¹⁹⁵Nussbaum, Joseph (1983), Classroom conceptual change : the lesson to be learned from the history of science, in Novak Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York, p. intro.

¹⁹⁶«Our contention that students' conceptions influence their understanding and remembrance of science texts and lecture, their observations, and their interpretations of their observations is also based on observations made during and after administration of the DOE tasks» Champagne, Audrey B., Gunstone, Richard F., Klopfer, Leopold E., Instructional consequences of students' knowledge about physical phenomena, in West, Leo H.T, Pines, A. Leon (1985), *Cognitive Structure And Conceptual Change*, Academic Press Inc., p. 64.

¹⁹⁷«At times, the students' preexisting conceptions are consistent with what is being taught, but at other times, - as Champagne, Klopfer, and Gunstone demonstrate - these preexisting conceptions can be antagonistic to the conception that the teacher is trying to present, and these preexisting conceptions can be extremely difficult to change» Shuell, Thomas J. (1985), Knowledge representation cognitive structure, and school learning: a historical perspective, in West, Leo H.T, Pines, A. Leon (1985), *Cognitive Structure And Conceptual Change*, Academic Press Inc., p. 127.

2.6. Définition opérationnelle d'une conception erronée

Rappelons que, théoriquement, nous avons accepté qu'une conception erronée peut être définie comme une conception non congruente aux données de l'Héritage, à une époque donnée, pour une approximation désirée.

Maintenant, nous proposons un protocole qui permet de déceler d'abord, puis de distinguer et d'explicitier davantage cette non-congruence afin de formuler une définition opérationnelle d'une conception erronée.

Nous formulerons cette définition opérationnelle en trois étapes. Résumons-la d'abord: après avoir construit un réseau de concepts qui représente la conception de la Science (Héritage) d'un phénomène donné, à un moment donné, à une approximation désirée, on compare la conception exprimée par un individu, que ce soit via un texte, un réseau ou un énoncé verbal à chacune des parties du réseau. On définit ainsi 15 façons possibles d'être en désaccord avec l'Héritage, 15 espèces différentes de conceptions erronées dont quatre plus élémentaires (Ac, Ar, Cnp et Rnp), qui servent à définir les autres (Annexe A).

2.6.1. Étapes de la définition opérationnelle

Devant une ou plusieurs conceptions que nous soupçonnons erronées, on procède en trois étapes:

Première étape

On identifie les concepts et les relations nécessaires à la formulation de la conception selon les données scientifiques acceptées, à une approximation désirée, par la communauté scientifique de l'époque.

Deuxième étape

On assemble les concepts, en identifiant chacune des relations établies, de telle façon que le réseau ainsi construit, selon l'approximation désirée, représente la pensée de la communauté scientifique du temps (l'Héritage) de cette conception. La Figure 1, p. 8) est un exemple d'un tel réseau.

Troisième étape

On compare la conception exprimée avec le réseau fabriqué en deuxième étape.

2.6.2. Les espèces élémentaires de conceptions erronées

Cette comparaison (3ième étape) met tout de suite en évidence deux groupes de différences simples qui caractérisent quatre espèces de conceptions erronées. Elles sont décrites dans le Tableau II.

Tableau II - Description des types de conceptions erronées

Symbole	Description
Ac	<u>A</u> bsence d'un ou de plusieurs <u>c</u> oncepts
Ar	<u>A</u> bsence d'une ou de plusieurs <u>r</u> elations
Cnp	<u>C</u> oncept(s) <u>n</u> on <u>p</u> ertinent(s)
Rnp	<u>R</u> elation(s) <u>n</u> on <u>p</u> ertinente(s)

Dans le premier groupe, et de façon triviale, on peut prétendre que la conception énoncée par l'élève est erronée parce qu'elle ne mentionne pas tous les concepts essentiels de cette conception, ou qu'elle n'exprime pas toutes les relations essentielles de la conception. Bref, il manque au réseau un ou plusieurs concepts, une ou plusieurs relations.

Dans le deuxième groupe, la conception énoncée est erronée parce qu'elle utilise, dans sa structure, un concept "étranger" et non pertinent qui brouille la compréhension globale de la conception et même la déforme au point de la rendre erronée. Et il en est de même pour l'utilisation d'une relation non pertinente qui fausse la signification globale de la conception.

2.6.3. Espèces combinées de conceptions erronées

La combinaison d'une ou plusieurs des quatre différences simples complète, à son tour, un ensemble fini, théoriquement possible, de 15 espèces de conceptions erronées

qui sont obtenues par l'application de notre définition opérationnelle: quatre espèces élémentaires et 11 combinaisons des quatre premières.

Le Tableau III décrit l'ensemble des espèces théoriquement possibles de conceptions erronées¹⁹⁸.

Tableau III - Espèces théoriquement possibles de conceptions erronées

Espèces simples	
Symbole	Description
Ac	A bsence d'un ou de plusieurs C oncepts nécessaires
Ar	A bsence d'une ou de plusieurs r elations nécessaires
Cnp	Présence de C oncept(s) n on p ertinent(s)
Rnp	Présence de R elation(s) n on p ertinente(s)
Espèces combinées	
Symbole	Description
Ac+Ar	
Ac+Cnp	
Ac+Rnp	
Ar+Cnp	
Ar+Rnp	
Cnp+Rnp	
Ac+Ar+Cnp	
Ac+Ar+Rnp	
Ac+Cnp+Rnp	
Ar+Cnp+Rnp	
Ac+Ar+Cnp+Rnp	

¹⁹⁸Nombre de combinaisons possibles = $4!/1!3! + 4!/2!2! + 4!/3!1! + 4!/4!0! = 15$.

2.6.4. Origines de la définition opérationnelle

La comparaison entre ce qui est élaboré par les élèves et ce qui est donné par l'Héritage est utilisée de façon formelle par Champagne et al. (1985) dans la phase finale de ce qu'ils nomment "Ideational confrontation". Mais la forme de la présentation de l'Héritage est laissée à la discrétion de l'enseignant.

« The basic instructional strategy - ideational confrontation....

Briefly, this strategy first asks the students to be explicit about the notions they use to explain or make predictions about a common physical situation-... After a physical situation is described, each student develops an analysis that supports his or her prediction, and then individual students present their analysis to the class...Typically, as a result of these discussions, students become dissatisfied with their current theories. At this point in the ideational-confrontation strategy, the instructor demonstrates the physical situation...and presents a theoretical explanation of the results, using the particular science concepts, principles, and theory which the demonstration illustrates. »¹⁹⁹

« In further discussions, the students compare the elements of their analysis of the situation with the scientific analysis given by the instructor and identify similarities and differences. »²⁰⁰

Cependant, nous croyons que notre définition opérationnelle devrait plutôt être considérée comme une application et une généralisation des idées développées, depuis 20 ans, par Joseph Novak à l'université de Cornell.

Afin de rendre un apprentissage plus signifiant et de stimuler la construction individuelle du savoir, Novak propose aux élèves d'écrire, sur une feuille ou sur de

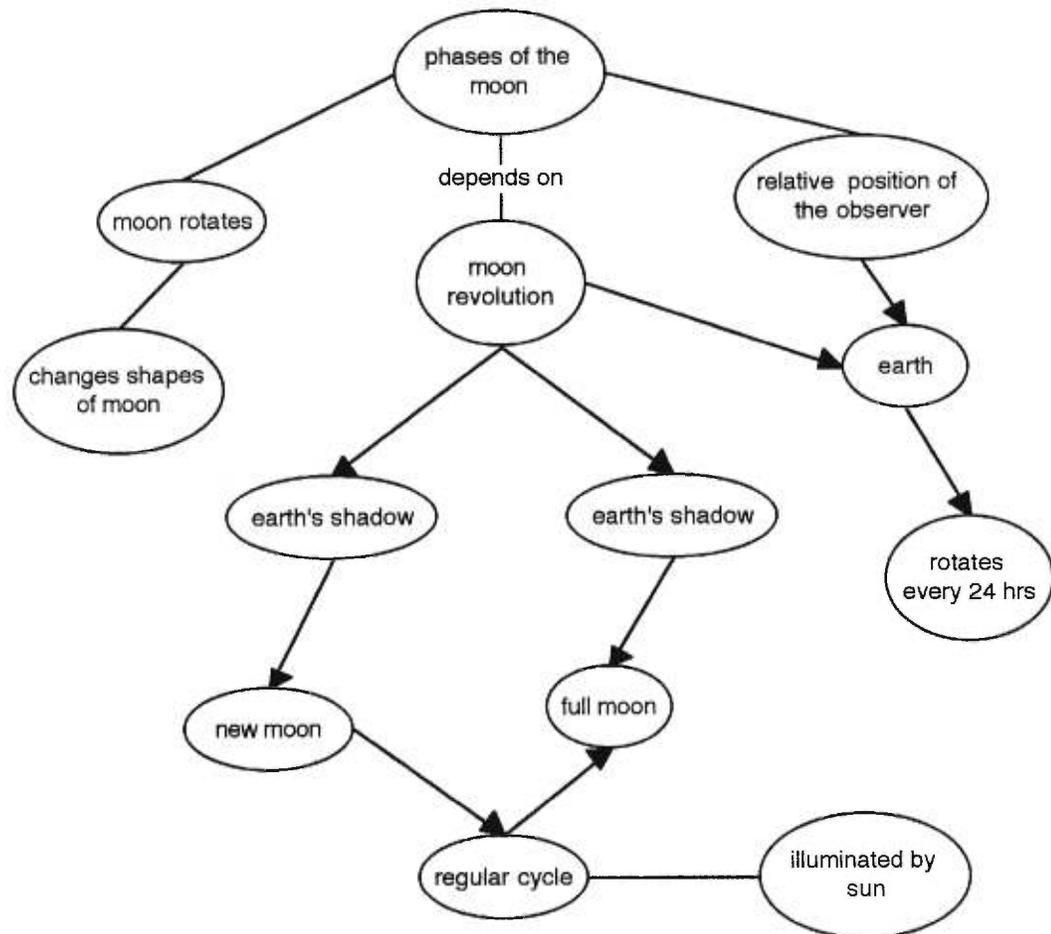
¹⁹⁹Champagne, Audrey B, Gunstone, Richard F., Klopfer, Leopold E. (1985), Effecting changes in cognitive structures among physics students, in West, Leo H.T, Pines, A. Leon, *Cognitive Structure and Conceptual Change*, Academic Press Inc., p. 164.

²⁰⁰Champagne, Audrey B, Gunstone, Richard F., Klopfer, Leopold E. (1985), Effecting changes in cognitive structures among physics students, in West, Leo H.T, Pines, A. Leon, *Cognitive Structure and Conceptual Change*, Academic Press Inc., p. 165.

petits cartons, les concepts relatifs au sujet à apprendre ou à un problème à résoudre, de les relier par des lignes aux autres concepts déjà appris, et d'identifier le plus de relations qu'il est possible d'établir entre eux?

Le résultat permet, entre autres, de visualiser, d'une certaine façon, la structure conceptuelle d'un individu sur un sujet donné, d'évaluer la richesse relative de ses connaissances, de comprendre les ancrages établis entre ce que l'élève sait et ce qu'il est en train d'apprendre et enfin, de déceler les conceptions erronées.

« Because they contain externalized expressions of propositions, we have frequently found that concept maps are remarkably effective tools for showing misconceptions. Misconceptions are usually signaled either by a linkage between two concepts that leads to a clearly false proposition or by a linkage that misses the key idea relating two or more concepts. Figure 3 shows examples of missing or faulty conceptions identified in an interview dealing with phases of the moon. »



«Figure 3 - A concept map drawn from an interview, showing that this student held the faulty conceptions that the moon's rotation changes the shape (phases) of the moon and that the earth' shadows produce those phases - concepts dealing with the relative positions of the earth and the moon with respect to the sun were missing from the student's conceptual framework»²⁰¹.

²⁰¹Novak, Joseph D, Gowin, D. Bob (1984), *Learning How to Learn*, Cambridge University Press, p. 20 et 21.

Dans les consignes aux élèves, Novak (1984)²⁰² favorise l'établissement du plus grand nombre de liens possibles entre les concepts et il accepte que des lignes reliant des concepts ne soient pas identifiées; il favorise ainsi une présentation qui met en valeur l'organisation hiérarchique des concepts tels qu'appris par l'élève. Plusieurs autres auteurs à sa suite^{203,204,205}, les utilisent, de façon féconde, pour représenter la conception d'un individu et analyser plus à fond la façon avec laquelle il organise sa pensée.

2.6.5. Caractéristiques des réseaux utilisés

Notre définition opérationnelle, que nous avons présentée à M. Novak et qui l'a acceptée²⁰⁶, utilise le réseau pour représenter la conception telle qu'endossée par la communauté scientifique à une époque donnée et ce, pour une approximation désirée. La condition d'approximation exige l'application de trois contraintes, lors de la construction du réseau, à la deuxième étape de la définition.

Un réseau minimal

La construction du réseau de l'Héritage doit se limiter aux seuls concepts et aux seules relations jugés minimaux et essentiels à la compréhension du problème posé ou de la conception à exprimer. C'est-à-dire que le réseau construit durant la deuxième étape de la définition n'utilise que les concepts et les liens sans lesquels la solution du problème

²⁰²Novak, Joseph D, Gowin, D. Bob (1984), *Learning How to Learn*, Cambridge University Press, p. 30.

²⁰³Todd, Ross J. (1995), Concept Mapping in Information Science, *Education for Information*, 13,4, 333-347.

²⁰⁴Pendley, Bradford D., al. (1994), Concept Maps as a Tool to Assess Learning in Chemistry, *Journal of Chemical Education*, 71,1, 9-15.

²⁰⁵Edmondson, Katherine M. (1995), Concept Mapping for the Development of Medical Curricula, *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 7, 777-93.

²⁰⁶Novak, Joseph (1994), *Séminaire, L'application des réseaux de concepts à la recherche*, Université de Cornell, juin 1994 - communication verbale.

ou l'explicitation de la conception ne peut pas émerger correctement, à l'approximation désirée.

Un réseau où toutes les relations sont identifiées

Par mesure de clarté, et de façon à bien identifier chacune des espèces de conceptions erronées, nous convenons que chaque concept du réseau soit encadré d'un rectangle et que chacune des relations établies dans le réseau soit identifiée par un ovale, si la relation s'exprime par un verbe, ou par un cercle, si la relation s'exprime par une préposition ou une conjonction²⁰⁷.

La nécessité d'une attention particulière à l'identification systématique des relations a, d'ailleurs, été soulignée par Pines (1977).

«...That is, concepts are joined in the semantic network by lines and the number of the proposition justifying this relationship is specified on the line. In this fashion, conceptions and misconceptions can be distinguished. Unless the lines are labeled, however, these two children, one of whom has a profound misconception, and the other who does not, would be indistinguishable.»²⁰⁸

Un réseau validé

Pour offrir un point de repère fiable, le réseau doit avoir été validé. Dans l'exercice normal de ses fonctions, c'est l'enseignant qui se porte garant de la justesse du réseau. Il est, en quelque sorte, le porte-parole de l'Héritage. Dans un travail de recherche

²⁰⁷Il est évident que le choix de ces figures est arbitraire; il a simplement pour but de distinguer concepts et relations.

²⁰⁸Pines, Ariel Leon (1977), *Scientific Concept Learning In Children: The Effect Of Prior Knowledge On Resulting Cognitive Structure Subsequent To A-T Instruction*, U.M.I. Dissertation Services, p. 101.

comme le nôtre, les réseaux qui sont utilisés doivent être validés par des scientifiques chevronnés.

Nous avons donc soumis le réseau de la Figure 1, (Réseau: la face cachée de la Lune, p. 8), à deux scientifiques reconnus et qui ont toute notre confiance, soient M. Paul Lorrain, Ph.D., professeur au département de physique de l'Université de Montréal, à la retraite et présentement chercheur à l'université McGill, et M. Gilles Beaudet, Ph.D., professeur titulaire au département de physique de l'université de Montréal. Ces personnes reconnaissent que le réseaux représente l'explication, en première approximation, du phénomène.

2.6.6. Place dans la littérature

Gaston Bachelard²⁰⁹ fut l'un des premiers à faire remarquer l'existence de représentations²¹⁰ non compatibles avec les théories scientifiques et qui nuisent à l'acquisition de nouvelles connaissances. Il les nomme obstacles épistémologiques.

«...c'est en terme d'obstacles qu'il faut poser le problème de la connaissance scientifique. Et il ne s'agit pas de considérer des obstacles externes, comme la complexité et la fugacité des phénomènes, ni d'incriminer la faiblesse des sens et de l'esprit humain: c'est dans l'acte même de connaître, intimement, qu'apparaissent, par une sorte de nécessité fonctionnelle des lenteurs et des troubles. C'est là que nous montrerons des causes de stagnation et même de régression, c'est là que nous décèlerons des causes d'inertie que nous appellerons des obstacles épistémologiques.»²¹¹

²⁰⁹Bachelard, Gaston (1969), *La formation de l'esprit scientifique*, Librairie Philosophique J. Vrin.

²¹⁰«Expression formelle des connaissances au moyen de figures, d'écritures ou d'un langage particulier » Bachelard, Gaston (1960) in Legendre R. (1993), *Dictionnaire actuel de l'éducation*, Guérin Eska, p. 1111.

²¹¹Bachelard, Gaston (1969), *La formation de l'esprit scientifique*, Librairie Philosophique J. Vrin, p. 13.

Thouin (1987) les définit comme un modèle explicatif qui nuit à la compréhension d'un modèle explicatif plus adéquat. Il résume ainsi les dix grands types d'obstacles épistémologiques.

- L'obstacle de l'expérience première qui consiste à expliquer un phénomène en se fiant aux apparences.
- L'obstacle verbal qui consiste à expliquer un phénomène simplement en ayant recours à un mot, une expression, une image.
- L'obstacle substantialiste qui consiste à expliquer un phénomène en postulant l'existence d'une substance.
- L'obstacle de la connaissance générale qui consiste à expliquer un phénomène en ayant recours à un concept général de façon abusive.
- L'obstacle de la connaissance unitaire qui consiste à expliquer un phénomène en le qualifiant simplement de normal, habituel ou naturel.
- L'obstacle de la connaissance pragmatique qui consiste à expliquer un phénomène en se basant sur son apparente utilité ou inutilité.
- L'obstacle animiste qui consiste à expliquer un phénomène en attribuant une volonté aux objets.
- L'obstacle créé par le mythe de la digestion qui consiste à expliquer un phénomène en l'identifiant à une assimilation.
- L'obstacle créé par le mythe du germe universel qui consiste à expliquer un phénomène physique en l'identifiant à une forme de germination.
- L'obstacle de la connaissance quantitative qui consiste à expliquer un phénomène physique par une simple opération sur des nombres.»²¹²

Jusqu'à maintenant, aucun auteur n'a publié une définition opérationnelle²¹³ d'une conception erronée qui caractérise théoriquement leurs diverses structures. Cependant,

²¹²Thouin, Marcel (1987), *Une typologie des représentations du monde physique chez des élèves au début du secondaire*, Thèse Ph.D., Université de Montréal, p. 22.

²¹³«Définition d'un concept par l'énoncé des opérations de mesure ou de repérage qui conduisent à son identification» Legendre R. (1993), *Dictionnaire actuel de l'éducation*, 2ième édition, Guérin, p. 315.

Thouin (1987)²¹⁴ a proposé une typologie des représentations du monde physique basée sur les obstacles épistémologiques énoncés par Bachelard (1937). Deux pôles émergent de son étude: le premier est "représentations semi-évoluées", caractérisé principalement par l'obstacle de "l'expérience première" de Bachelard, et l'autre, "représentations évoluées", caractérisé principalement par "l'obstacle verbal". L'auteur reconnaît aussi l'existence d'un groupe intermédiaire qui représente les élèves qui ne privilégient aucun des cinq obstacles considérés au départ, l'expérience première et l'obstacle substantialiste formant le premier pôle, l'obstacle verbal, l'obstacle scientifique et celui de la connaissance générale formant le deuxième, et qui donc, n'appartiennent à aucun des deux pôles identifiés précédemment.

À notre avis, la typologie de Thouin constitue une caractérisation de trois états de connaissance plutôt qu'une définition opérationnelle d'une conception erronée.

2.7. La détection des conceptions erronées

La littérature rapporte plusieurs façons de déterminer les conceptions erronées chez les élèves. Outre l'identification spontanée, suite à la lecture d'un exercice ou d'un échange en classe, des auteurs proposent des analyses systématiques des réponses obtenues aux tests diagnostiques écrits de type "questions à choix multiples"²¹⁵ ou de

²¹⁴Thouin, Marcel (1987), *Une typologie des représentations du monde physique chez des élèves au début du secondaire*, Thèse présentée à la faculté des études supérieures en vue de l'obtention du grade de Philosophiae Doctor, Université de Montréal, p. 146.

²¹⁵Treagust, David F. (1983), An approach for helping students and teachers diagnose misconceptions in specific science content areas, in Novak Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York, p. 512.

type "questions ouvertes"^{216, 217, 218}. Les questions posées suivent une démonstration en laboratoire ou l'exposition d'un problème.

Les analyses prennent la forme, entre autres, d'une recherche des conceptions erronées communes ou d'une compilation détaillée des résultats, chacun des choix proposés pointant, soit vers une conception pré-identifiée, soit vers un choix de raisons pouvant avoir motivé la réponse. L'article de Treagust (1988)²¹⁹ décrit bien les diverses composantes de ce genre de test diagnostique.

La détermination des conceptions erronées prend aussi une forme plus personnelle lors d'un questionnement en entrevue clinique^{220, 221, 222} lors d'un questionnement en classe, ou durant l'observation de groupes de discussion animés par l'enseignant ou d'autres

²¹⁶Feher, Elsa, Rie, Karen (1983), A Comparison of Teacher-Student Conceptions in Optics, in Novak Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York, p. 109.

²¹⁷Hesse, Joseph J. III (1983), The costs and benefits of using conceptual change teaching methods: a teacher's perspective, in Novak Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York, p. 197.

²¹⁸Treagust, David F. (1983), An approach for helping students and teachers diagnose misconceptions in specific science content areas, in Novak Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York, p. 513.

²¹⁹Treagust, David F. (1988), Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science, *International Journal of Science Education*, 10, 2, 159.

²²⁰Feher, Elsa, Rie, Karen (1983), A Comparison of Teacher-Student Conceptions in Optics, in Novak Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York, p. 109.

²²¹Igal, Galili, Sharon, Bendall, Fred Goldberg (1993), The effects of Prior Knowledge and Instruction on Understanding Image Formation, *Journal of Research in Science Teaching*, 30,3, 271.

²²²Hoz, Ron (1983), Enhancement and assessment of the Reliability of Instruments for the Measurement of Conceptual Framework, in Novak Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York.

élèves^{223, 224}. C'est également par des entrevues cliniques que Piaget suit l'évolution de l'enfant à partir d'une conception erronée vers une conception plus juste.

Plusieurs variantes de l'utilisation de réseaux de concepts conçus par Novak (1984) ont aussi été développées afin de diagnostiquer les conceptions erronées.

Après avoir développé un réseau pour visualiser l'interrelation entre les divers concepts utilisés par un élève pour décrire un phénomène, le professeur les relie par des lignes, puis il demande à l'élève d'identifier ces liens; suite aux échanges, le professeur peut mieux visualiser les relations établies et identifier les conceptions non conformes aux données de la science²²⁵.

Cette méthodologie est utilisée de différentes autres manières: on demande à l'élève de construire son propre réseau, puis le professeur l'analyse directement ou le compare à son propre réseau^{226, 227}; le professeur traduit le texte (ou le verbatim) d'un élève en un réseau et le compare à son propre réseau²²⁸.

²²³Hynd, Cynthia R., Qian, Gaoyin, Ridgeway, Victoria G., Pickle, Michael (1991), Promoting conceptual change with science texts and discussion, *Journal of Reading*, 34,8, 598.

²²⁴Caillé, André (1995), *L'enseignement des sciences de la nature au primaire*, Presses de l'Université du Québec, p. 206.

²²⁵Novak, J., Gowin, B. (1984), *Learning How to Learn*, Cambridge Press, p. 138.

²²⁶Fowler, Thaddeus W., Jaoude, Saouma Bou (1983), Using hierarchical concept/proposition maps to plan instruction that addresses existing and potential student misunderstandings in science., in Novak Joseph, *Proceedings of the first international seminar - Misconceptions and educational strategies in science and mathematics*, p. 138.

²²⁷Stensvold, Mark S., Wilson, John T. (1990), The interaction of verbal ability with concept mapping in learning from a chemistry laboratory activity, *Science Education*, 74, 4, 473.

²²⁸Lomask, Michal S., Baron, Joan B., Grieg, Jeffrey (1993), Assessing Conceptual Understanding in Science through the Use of Two- and Three Dimensional Concept Maps, in Novak Joseph, *The Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York, p. 3.

L'analyse des réseaux de concepts révèle plusieurs indices pointant vers une conception erronée (Hoz et al. 1983)²²⁹; entre autres, certains liens sont mal définis ou non pertinents, le regroupement hiérarchique des concepts est incorrect, certains concepts clés manquent à l'appel, etc.

C'est dans le même ordre d'idées que la définition opérationnelle que nous proposons peut aussi servir d'instrument diagnostique.

2.8. Exemples des structures élémentaires de conceptions erronées

Les exemples qui suivent sont tirés des réponses d'élèves obtenues aux examens sommatifs de juin 1990 et sont des éléments de nos données expérimentales. Les élèves devaient répondre à la question "Pourquoi la Lune nous montre-t-elle toujours la même face?" Le réseau conceptuel conforme à l'Héritage qui exprime la réponse à cette question est analysé et explicité dans la section "Origine de la recherche".

2.8.1. Exemple correct

« Parce que la Lune tourne autour de la terre en 27,3 jours. Le même temps qu'elle prend pour faire un tour complet sur elle même ce qui fait qu'on voit toujours la même face de la Lune. (sic) »²³⁰

²²⁹Hoz, Ron, Tomer, Ytzak, Bowman, Dan, Chayoth, Reuven (1987), The use of concept mapping to diagnose misconceptions, in Novak Joseph, *Proceedings of the first international seminar - Misconceptions and educational strategies in science and mathematics*.

²³⁰Élève 118-01-04 (1989), Examen de Sciences générales 424.

La conception exprimée par cet élève est correcte, c'est-à-dire qu'elle coïncide avec celle exprimée par le réseau de l'Héritage sur le sujet.

2.8.2. Exemple (Ac)

« La lune tourne lentement sur son axe, les deux mouvements se font en étant égaux. (sic) »²³¹

La conception exprimée par cet élève est erronée parce qu'elle ne mentionne pas le mouvement de révolution de la Lune autour de la Terre. Nous avons donc une conception erronée caractérisée par l'absence d'un concept essentiel.

2.8.3. Exemple (Ar)

« Lorsque la lune effectue sa révolution autour de la terre, elle effectue aussi une rotation lente sur elle-même. (sic) »²³²

La conception exprimée par cet élève est erronée parce qu'elle ne mentionne pas que la durée de rotation et la durée de révolution s'effectuent dans des temps égaux. Nous avons donc une conception erronée qui est caractérisée par l'absence d'une relation essentielle.

²³¹Élève 105-02-15 (1990), Examen de Sciences générales 424.

²³²Élève 116-02-10 (1989), Examen de Sciences générales 424.

2.8.4. Exemple (Cnp)

« Parce que la lune tourne autour de la terre en 27,3 jours, soit le même temps quelle prend pour faire un tour complet sur elle-même. Et comme la terre tourne aussi il s'adonne que nous voyons toujours la même face de la lune. (sic) »²³³

La conception exprimée par cet élève est erronée parce qu'elle utilise le concept de rotation de la Terre en plus des autres qui permettent de bien décrire l'explication du phénomène.

2.8.5. Exemple (Rnp)

« Parce que la lune tourne dans le sens opposé de la terre et la lune prend le même temps pour faire sa rotation que sa révolution. (sic) »²³⁴

La conception exprimée par cet élève est erronée parce qu'elle utilise la relation de "sens opposé" entre la révolution de la Lune et la rotation de la Terre en plus des autres qui permettent de bien décrire l'explication du phénomène.

2.9. La prise en compte des conceptions erronées

Une réflexion relative à la caractéristique d'une conception erronée, à savoir, sa non-congruence vis-à-vis de celle exprimée par la communauté scientifique à une époque donnée, nous servira à regrouper les suggestions répertoriées dans la littérature.

²³³Élève 118-01-03 (1989), Examen de Sciences générales 424.

²³⁴Élève 118-02-06 (1990), Examen de Sciences générales 424.

À partir du moment où un individu, confronté à des conceptions, leur reconnaît une différence par rapport aux siennes, il peut choisir de les ignorer, décider de les assimiler puis de s'y accommoder, ou il peut tenter d'influencer l'autre individu de façon à ce que celui-ci assimile et s'accommode à sa "vision". De ce point de vue, le problème de faire prévaloir sa vision peut se poser ainsi: comment amener l'autre à apprendre ce qu'on a déjà appris; autrement dit, comment parvenir à modifier l'état initial de l'autre, dans un domaine donné, de façon à ce que l'autre calque son modèle sur le sien ?

Ce dernier problème est propre à l'enseignant à qui l'on demande de faire construire les connaissances d'un programme de sciences par d'autres élèves. Le cas le plus simple est celui où l'enseignant n'a qu'un élève et qu'il est donc le premier intervenant à mettre celui-ci en contact avec de nouveaux concepts et de nouvelles conceptions. Le cas se complique avec l'augmentation du nombre d'élèves dans la classe et il s'aggrave lorsque certaines conceptions construites par les élèves diffèrent de celles prévues par le programme d'enseignement²³⁵. Dans ce dernier cas, après avoir détecté une ou plusieurs conception(s) erronée(s), comment un enseignant peut-il composer avec elle(s)?

²³⁵L'on suppose ici que les programmes d'études en sciences forment un sous-ensemble de l'Héritage de la science à une époque donnée.

Cette question peut être reformulée en quatre autres questions dont la deuxième se subdivise en cinq autres, le tout regroupant huit familles de réponses élaborées par les chercheurs sur le sujet.

2.9.1. Faut-il les détruire?

D'emblée, la stratégie consisterait à vouloir détruire la conception erronée, mais cela entre en contradiction (apparente) avec une des caractéristiques des conceptions erronées, leur grande résistance aux changements. D'ailleurs, l'immense difficulté de cette tâche est souvent mise en évidence:

«...doivent-elles (les représentations) être envisagées comme des erreurs à éliminer purement et simplement, à "purger" méthodiquement, tout en sachant que souhaiter "les détruire" relève d'un optimisme naïf ou d'une volonté démiurge?»²³⁶

«Deux autres raisons nous incitent à penser qu'il est parfois dangereux de vouloir "détruire" une représentation initiale. Dans certains cas, celle-ci constitue la seule grille de lecture qu'un élève peut utiliser pour appréhender la réalité; il va se sentir "déboussolé". D'autre part, ...certaines conceptions fausses peuvent aussi être utiles.»²³⁷

Et il est remarquable qu'aucune des recherches rencontrées ne mentionne comment les "désapprendre", ni comment en forcer l'oubli. Au contraire, il s'en trouve pour affirmer que cela ne peut se faire, du moins, pour certaines, pas dans le cadre scolaire (Solomon, 1983):

²³⁶Rumelhard, G. (1980), *Penser rectifier les représentations une à une, c'est oublier qu'elles sont coordonnées*, Thèse de 3ième cycle, Université de Paris VII (non publiée), in Giordan André (1985) Des représentations des élèves à l'appropriation de quelques concepts scientifiques, in Laschkar Sabine Bassis Henri, *Reconstruire ses savoirs*, Messidor/Édition sociale, Paris, p. 125.

²³⁷Giordan, André, De Vecchi, Gérard (1990), *Les origines du savoir*, Delachaux et Niestlé, p. 169.

«Meanings which are in daily use cannot be obliterated by science lessons, however convincingly presented. Even when the concepts and theories of science have been learnt, the older meanings, and loose explications of the life-world, will still linger on. All of us continue to speak of "cold creeping in", "throwing glances around the room" and "feeding a plant through the soil" however proficient we are in physics and biology.»²³⁸

2.9.2. Faut-il convaincre cognitivement l'élève?

D'un point de vue général, les conceptions erronées forment un sous-ensemble des connaissances d'un individu et, à ce titre, elles possèdent toutes les caractéristiques des connaissances antérieures. Elles sont donc, comme celui-ci, des instruments d'assimilation qui, comme les autres connaissances antérieures, sont utilisés d'autant plus fréquemment qu'ils représentent des structures utiles à l'individu. Ces structures sont donc utilisées tant et aussi longtemps que l'individu les juge préférables pour lui. Dans ce contexte, celui-ci ne peut donc pas les différencier des autres conceptions apprises, qu'elles soient ou non en accord avec les conceptions de l'Héritage, et, pour les changer ou les remplacer, il faudra d'abord le convaincre que la nouvelle est préférable à celles qu'il possède déjà.

Cela pourrait nécessiter une ou plusieurs confrontations avec la réalité physique, avec ses propres conceptions, avec celles des pairs et celles de l'enseignant, sans compter les nombreux ajustements de vocabulaire. D'où, plusieurs sous-familles de stratégies.

²³⁸Solomon, John (1983), Thinking in Two Worlds of Knowledge, in Novak Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York, p. 148.

Faut-il confronter l'élève au réel?

Confronté aux seules perceptions initiales des objets et des événements du réel, l'individu développe une conception personnelle du monde constituée de schèmes, de percepts, de concepts, de propositions, de principes et de représentations, c'est-à-dire de conceptions naïves au sens de Gowin (1983). Au début, le sentiment de bien-être et la viabilité²³⁹ lui servent de critères afin d'adapter²⁴⁰ ses comportements au réel, de décider ce qui est erroné ou non. D'où nous tirons la stratégie de confronter cet état initial des connaissances avec de nouvelles perceptions du monde extérieur en utilisant l'exploration directe, le laboratoire^{241, 242} et peut-être même la simulation par ordinateur²⁴³. Ainsi, le laboratoire devient, pour l'enseignement des sciences, le lieu par excellence où l'enfant peut explorer et se confronter systématiquement aux parties plus ou moins étendues du monde extérieur. D'une façon plus particulière, cette confrontation peut prendre l'allure d'une recherche scientifique classique où l'enseignant demande à l'élève de tester expérimentalement ou logiquement des prédictions basées sur la conception à l'étude^{244, 245}.

²³⁹von Glasersfeld, Ernst (1989), Commentaires subjectifs par un observateur, in Bednarz, Nadine, Garnier, Catherine (1989), *Construction des savoirs - Obstacles et conflits*, CIRADE, Agence d'Arc Inc, p. 369.

²⁴⁰«Il y a adaptation lorsque l'organisme se transforme en fonction du milieu, et que cette variation a pour effet un accroissement des échanges entre le milieu et lui favorables à sa conservation.» Piaget, Jean (1977), *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*, Delachaux & Niestlé, p. 11.

²⁴¹Hewson, Mariana G., Hewson, Peter W. (1983), Effect of instruction using students prior knowledge and conceptual change strategies on science learning, *Journal of Research in Science Teaching*, 20,8, 735.

²⁴²Johsua, Samuel, Dupin, Jean-Jacques (1988), *Didactique et acquisition des connaissances scientifiques, La gestion des contradictions dans des processus de modélisation en physique, en situation de classe*, Editions La Pensée, p. 187.

²⁴³Cabrol, Daniel, Cachet, Claude (1981), Le Système ESSOR d'Expérimentation Scientifique Simulée et ses Potentialités Pédagogiques, *European Journal of Science Education*, 3,3, 304.

²⁴⁴Clement, John (1982), Students' preconceptions in introductory mechanics, *American Journal of Physics*, 50,1, 70.

²⁴⁵Saxena, A.B. (1992), An attempt to remove misconceptions related to electricity, *International Journal of Science Education*, 14,2, 158.

Faut-il confronter l'élève à l'Héritage?

Sous l'impulsion de personnes comme Roger Bacon²⁴⁶, Michael Faraday²⁴⁷ et Claude Bernard²⁴⁸, la communauté humaine s'est codifié un ensemble de principes et de méthodes pour juger de la validité des idées. Ceci a permis de développer la méthode scientifique, moyen puissant que la communauté scientifique s'est donné pour enrichir ce que nous avons appelé l'Héritage de la science à une époque donnée et qui fournit, à chaque individu de la communauté, un réservoir à partir duquel il peut construire son état de connaissances.

Le choix d'une conception ou d'un concept peut donc aussi être déterminé cognitivement à l'aide d'une suite de propositions, de principes tels que celui de la causalité, de la conservation de l'énergie, de la cohérence, de la logique interne, de la congruence avec le réel, etc. Dans un tel cas, l'élève préfère une conception à une autre parce qu'elle est la plus en accord avec les critères énumérés.

La construction par l'élève de son réseau de concepts et la comparaison avec le réseau représentant l'Héritage dans le domaine est ainsi une autre façon de l'obliger à confronter ses conceptions et cela peut contribuer à favoriser une prise de conscience qui l'amène un changement de conception (Novak 1987).

²⁴⁶«Le raisonnement ne prouve rien, tout dépend de l'expérience» Taton René (1957), *Histoire générale des sciences, La science antique et médiévale*, tome 1, PUF, p. 541.

²⁴⁷«Nothing is too wonderful to be true, if it be consistent with the laws or nature and, in such things as these, experiment is the best test of such consistency» Faraday Michael, with a Foreword to bicentennial (1991), Edition by Thomas J.M., *Experimental researches in chemistry and physics*, Michael Faraday, Taylor & Francis, p. v.

²⁴⁸Bernard, Claude (1966), *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Garnier-Flammarion, p. 1-91

«Thus, in order to check whether concept maps are indeed useful in progressively obliterating student's misconceptions and in facilitating the acquisition of contextually accepted meanings, they must be used quite extensively. However, even in the case referred in this paper, in which concept maps were used only twice and not fully incorporated in the instructional procedures, clues were obtained suggesting that this hypothesis would hold: in the first map, in almost all of the cases students spontaneously made slight modifications in their maps when explaining and discussing them with the teacher.»²⁴⁹

Faut-il confronter l'élève aux conceptions de ses pairs?

Pour évaluer si une connaissance antérieure complexe a été correctement apprise, un enseignant doit s'assurer que chacune des parties de la structure sous-jacente de la connaissance a été perçue et intégrée. Aussi, devant une conception qu'il juge erronée, un enseignant peut faire comparer chacun des éléments avec ceux de l'Héritage en utilisant diverses techniques de confrontations avec autrui, comme la tenue d'un débat scientifique en classe²⁵⁰, la stratégie dite "ideational confrontation"²⁵¹, le questionnement de type socratique²⁵², ou la discussion "post-laboratoire" en plénière.

"La pédagogie du conflit" de Ducom-Nony (1985) résume bien cet ensemble de stratégies qui s'utilise en petits ou grands groupes, qui permet la confrontation des idées et plus spécialement, dans l'esprit de l'auteur, les mots de la langue:

²⁴⁹Novak, Joseph D. (1987), Misconceptions and Educational Strategies in Novak Joseph D., *Proceedings of The Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York, p. 359.

²⁵⁰Johsua, Samuel, Dupin, Jean-Jacques (1988), Didactique et acquisition des connaissances scientifiques, La gestion des contradictions dans des processus de modélisation en physique, en situation de classe, *Actes du Colloque de Sèvres - Mai 1987*, Editions La Pensée, Vergnaud, Brousseau, Hulin, Sauvage Greco Didactique, CNRS, p. 187.

²⁵¹Champagne, Audrey B., Gunstone, Richard F., Klopfer, Leopold E. (1985), Effecting changes in cognitive structures among physics students, in West, Leo H.T, Pines, A. Leon, *Cognitive Structure And Conceptual Change*, Academic Press Inc., p. 164.

²⁵²Dreyfus, Amos, Jungwirth, Ehud, Eliovitch, Ronit (1990), Applying the "cognitive conflict" strategy for conceptual change, Some implications, difficulties, and problems, *Science Education*, 74,5, 555.

«...un affrontement poussé systématiquement jusqu'au bout et traquant aussi bien les contradictions évidentes que les consensus flous.» et «Si donc l'enjeu d'aujourd'hui est celui d'une école où tous les enfants réussissent à se construire des savoirs de haut niveau, c'est-à-dire contemporain, il va falloir ni les faire taire, ni les faire bavarder-discuter, mais leur permettre de frotter leurs mots au réel, pour se les décoller de la bouche; »²⁵³

Faut-il confronter l'élève aux conceptions du professeur?

Certaines situations d'apprentissage peuvent nécessiter l'utilisation, par l'enseignant, de techniques de médiation plus élaborées comme la fragmentation de la conception, l'emploi d'exemples divergents²⁵⁴, de démonstrations contradictoires²⁵⁵, d'analogies²⁵⁶, de modèles analogiques²⁵⁷ ou de métaphores^{258, 259, 260} la traduction d'un concept en différentes représentations²⁶¹ (tables, graphiques, équations, dessins, etc.), la "bridging analogy"^{262, 263}, et même la simple présentation d'une nouvelle conception

²⁵³Ducom-Nony, Sylvie (1985), *La langue en sciences, sujet ou hors-sujet?*, in Laschkar Sabine Bassis Henri, *Reconstruire ses savoirs*, Messidor/Édition sociale, Paris, p. 108,111.

²⁵⁴Merrill, David M., Tennyson, Robert (1977), *Teaching concepts: an instructional design guide*, publications, Englewood Cliffs, NJ 07632, p. 82.

²⁵⁵Fisher, Kathleen M., Lipson, Joseph Isaac (1986), Twenty questions about student errors, *Journal of Research in Science Teaching*, 23,9, 797.

²⁵⁶Duit, Reinders (1991), On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science, *Science Education*, 75,6, 649-672.

²⁵⁷Johsua, Samuel, Dupin, Jean-Jacques (1988), Didactique et acquisition des connaissances scientifiques, La gestion des contradictions dans des processus de modélisation en physique, en situation de classe, *Actes du Colloque de Sèvres - Mai 1987*, Editions La Pensée Vergnaud, Brousseau, Hulin Sauvage Greco Didactique, CNRS, p. 193.

²⁵⁸Duit, Reinders (1991), On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science, *Science Education*, 75,6, 649-672.

²⁵⁹Vosniadou, Stella, Brewer, William F. (1987), Theories of Knowledge Restructuring in Development, *Review of Educational Research*, 57,1, 61.

²⁶⁰Gowin, D. Bob (1983), Misconceptions, metaphors and conceptual change: once more with feeling, in Novak Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York, p. 57.

²⁶¹Clement, John (1983), Students'alternative conceptions in mechanics: a coherent system of preconceptions?, in Novak Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York, p. 333.

²⁶²Novak, Joseph D. (1987), Misconceptions and Educational Strategies in Novak Joseph D., *Proceedings of The Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York, p. 87.

²⁶³Clement, John, Brown, David E., Zietsman, Aletta (1989), Not all preconceptions are misconceptions: finding "Anchoring conceptions" for grounding instruction on students' intuitions, *Presented at the annual meeting of the American Educational Research Association*, San Francisco, CA, March 1989, p. 9.

qui, elle, est conforme à l'Héritage²⁶⁴. Toutes ces stratégies sont destinées à réduire les sauts d'accommodation²⁶⁵. Cependant, elles nécessitent une grande rigueur dans les discussions et les échanges qu'elles provoquent.

Faut-il provoquer un conflit cognitif chez l'élève?

Cette suggestion est un des principaux résultats d'une méta-analyse²⁶⁶ faite pour comparer l'efficacité relative de diverses stratégies à provoquer un changement conceptuel. Guzzetti, Snyder, Glass et Gamas (1993) ont ainsi analysé 73 recherches, parmi plus de 2 000 recensées, au sujet des conceptions erronées. Ils concluent que, peu importe la nature des interventions utilisées, celles qui induisent une forme de conflit réussissent mieux que les autres à induire un changement conceptuel pouvant contrer une conception erronée.

«Based on the accumulated statistical evidence from two disciplines [reading education and science education], we have found that instructional interventions designed to offend the intuitive conception were effective on promoting conceptual change. The format of the strategy (e.g., refutational text, bridging analogies, augmented activation activities) seems irrelevant, provided the nature of the strategy includes cognitive conflict.»²⁶⁷

«Only when students can be led to see as their own a problem in which their approach is manifestly inadequate will there be any incentive for them to change it.»²⁶⁸

²⁶⁴Rowell, Jack A., Lyndon, Dawson, Lyndon, Harry (1990), Changing misconceptions: a challenge to science educators, *International Journal of Science Education*, 12,2, 168.

²⁶⁵Piaget, Jean - Garcia, Rolando(1983) Psychogenèse et histoire des sciences, Flammarion, p.292.

²⁶⁶Guzzetti, Barbara J., Snyder, Tonja E., Glass, Gene V., Gamas Warren S. (1993), Promoting conceptual change in science: A comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education, *Reading Research Quarterly*, April/May/June, p. 149.

²⁶⁷Guzzetti, Barbara J., Snyder, Tonja E., Glass, Gene V., Gamas, Warren S. (1993), Promoting conceptual change in science: A comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education, *Reading Research Quarterly*, April/May/June.

²⁶⁸von Glasersfeld, Ernst (1995), A Constructivist Approach to Teaching, in Steffe, Leslie P., Gale, Jerry, *Constructivism in Education*, Lawrence Erlbaum Ass. Pub./Hillsdale, New Jersey, p. 14.

D'autres auteurs encore confirment ce diagnostic en parlant d'une prise de conscience d'anomalies²⁶⁹ et de malaises propices à l'amorce du changement souhaité chez l'élève.

«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.»²⁷⁰

Désautels (1983) puis Larochelle et Désautels (1990) ont pris la même voie et l'ont même dépassée.

«La première stratégie pédagogique qui nous semble susceptible logiquement de favoriser chez l'élève une véritable remise en question de ses conceptions spontanées est celle du déséquilibre cognitif. Afin de provoquer un déséquilibre cognitif, il est nécessaire, dans une première étape, d'amener l'élève à formuler sa conception d'un phénomène, puis à prévoir ce qui se déroulera dans diverses circonstances. Dans une seconde étape, on place l'élève dans une situation qui contredit ses hypothèses.

La seconde stratégie que nous avons qualifiée dans un autre travail de dérangement épistémologique, s'attaque directement aux postulats sous-jacents aux conceptions spontanées.»²⁷¹

«En d'autres termes, cette stratégie vise à faciliter chez les personnes le questionnement de leurs représentations en vue de les dépasser (ce qui ne suppose pas le rejet des options personnelles, mais plutôt leur dialectisation), et ce, grâce au développement d'une capacité de réfléchir et d'interroger, de manière critique, les postulats qui supportent leurs stratégies de construction de connaissances et celles des autres. En somme, il s'agit de favoriser l'occasion d'exercer une "démocratie épistémologique", en prenant conscience qu'il y a des points de vue, une diversité d'argumentations, etc., et non pas de provoquer un dérangement

²⁶⁹Fisher, K.M., Lipson, J.I. (1983), Ten Rules of Thumb: Information Processing Interpretations of Error Research in Learning, in Novak Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York, p. 168

²⁷⁰Posner, George J., Strike, Kenneth A., Hewson, Peter W., Gertzog, William A. (1982), Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change, *Science Education*, 66,2, 224.

²⁷¹Désautels, Jacques (1983), *Les conceptions spontanées des élèves et l'apprentissage des sciences*, p. 23.

épistémologique sur un mode personnel et avec des intentions d'enfoncer cognitivement les personnes.»²⁷²

Il ne faudrait cependant pas mésestimer la difficulté de l'entreprise, comme le souligne bien Duit (1995).

«Unfortunately, the available constructivist approaches are not very successful. For instance, students often do not see the cognitive conflict, although it is obvious from the teacher's (the scientific) point of view. We also know from empirical studies investigating constructivist learning that students are usually not willing to follow along discussion of the relative value of both their view and the scientific view. There is a strong tendency for students to not want to "play around" with such ideas. Instead they want to know what is the right-the correct- view»²⁷³

2.9.3 Faut-il convaincre affectivement l'élève?

Cette idée de conflit cognitif met en évidence la très grande importance de la confluence des aspects cognitif et affectif dans l'apprentissage. C'est ainsi que des facteurs affectifs pourraient amener un individu à adopter une conception plutôt qu'une autre: pensons à la réputation, à l'importance accordée à certaines personnes et à certains groupes, au désir de plaire, à la peur de l'échec, à la perfection interne d'une théorie²⁷⁴, à l'utilité immédiate ou éloignée, etc.

D'où un nouvel ensemble de stratégies devront être mises sur pied afin de convaincre, d'une façon affective, de choisir une conception plutôt qu'une autre qui lui avait semblé

²⁷²Larochelle, Marie, Désautels, Jacques (1990), *Développement conceptuel et dérangement épistémologique dans l'enseignement des sciences: théorie et pratique*, UQAM, p. 15.

²⁷³Duit, Reinders (1995), The Constructivist View: A Fashionable and Fruitful Paradigm for Science Education Research and Practice, in Steffe, Leslie P., Gale, Jerry, *Constructivism in Education*, Lawrence Erlbaum Ass. Pub./Hillsdale, New Jersey, p.279.

²⁷⁴Pensons à Einstein qui utilisait fréquemment ce critère in Kouznetsov, B. (1962), *Einstein, sa vie, sa pensée, ses théories*, Marabout université, p. 100.

adéquate dans le passé. Ici, les enseignants, médiateurs²⁷⁵ habilités à faciliter l'appropriation de l'Héritage, doivent jouer un rôle de premier plan. Ils sont les experts à qui l'élève fait confiance et qui servent de points de repère chaque fois qu'un individu ou un groupe d'individus doit départager deux ou plusieurs acquis différents, que ce soit une simple perception ou une conception. De ce point de vue, ils jouent le rôle des académiciens, des sages d'une communauté, et leur avis peut devenir un élément déterminant dans le changement d'une conception. Il leur revient de créer un climat de confiance favorable au changement afin de diminuer l'anxiété associée à l'insatisfaction et de valoriser le changement souhaité.

Plusieurs auteurs ont suggéré des conditions qui favorisent affectivement l'apprentissage d'une nouvelle conception ou la transformation d'une conception existante: en plus du fait que, cognitivement, la nouvelle conception doive lui apparaître plausible et lui apparaître intelligible^{276, 277}, un individu doit éprouver un sentiment d'insatisfaction envers l'ancienne conception²⁷⁸, reconnaître l'utilité de l'apprentissage proposé et la nécessité du changement²⁷⁹. Cet objectif doit lui paraître accessible et il doit avoir le sentiment d'être capable de réussir la tâche²⁸⁰. Ce sentiment dépend beaucoup de l'attitude rassurante de l'enseignant²⁸¹.

²⁷⁵Ceux qui s'interposent entre l'enfant et ce que celui-ci a à apprendre pour sélectionner puis traduire et interpréter le langage et le réel. Feuerstein Reuven, Rand Ya'acov, Hoffman M.B., Miller R. (1980), *Instrumental enrichment An intervention program for cognitive modifiability*, University Park Press, pp. 15-16.

²⁷⁶Posner, George J., Strike, Kenneth A., Hewson, Peter W., Gertzog, William A. (1982), Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change, *Science Education*, 66,2, 224.

²⁷⁷Strike, Kenneth A., Posner, George J. (1985), A conceptual change view of learning and understanding, in West, Leo H.T, Pines, A. Leon, *Cognitive Structure And Conceptual Change*, Academic Press, p. 219-221.

²⁷⁸Nussbaum, Joseph, Novick, Shimshon (1982), Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: toward a principled teaching strategy, *Instructional Science*, 11, 186.

²⁷⁹Giordan, André, De Vecchi, Gérard (1990), *Les origines du savoir*, Delachaux et Niestlé, p. 133.

²⁸⁰Steinaker, Norman W., Bell, Robert M. (1979), *The experiential taxonomy*, Academic Press, p. 61-66.

²⁸¹Cook, Bruce, Côté, Richard L., Trâm, Khanh Thanh (1982), *Grille d'analyse d'une unité d'enseignement selon la taxonomie expérientielle de Steinaker et Bell*, Faculté des sciences de l'éducation, Université Laval, Qc., p. 3.

2.9.4. Faut-il les ignorer ?

Une autre solution serait de laisser simplement l'élève choisir les éléments qui lui conviennent le mieux, ceux avec lesquels, pour employer l'expression de Dreyfus et al. (1990)²⁸², il se sent le plus à l'aise. D'où la stratégie d'ignorer la conception erronée, de faire apprendre celle jugée acceptable comme si l'autre n'existait pas et de laisser l'élève choisir celle qui lui convient le mieux. De plus, cela diminuerait les risques d'un enracinement plus grand de la conception²⁸³, surtout chez les adultes²⁸⁴.

Cette solution est donc compatible avec l'idée qu'une leçon de sciences ne peut pas vraiment effacer une conception erronée, comme l'a suggéré Solomon (1983). Dans ce cas-ci, on pourrait résumer la stratégie de l'enseignant comme suit: l'enseignant n'active pas les connaissances antérieures associées à la conception erronée; il élabore plutôt des activités qui conduisent à l'apprentissage de la conception qui est conforme à l'Héritage, et il entraîne ensuite les élèves à savoir choisir et justifier la conception qui leur convient ou, comme le suggère Duit 1995), il leur apprend à accepter la coexistence de plusieurs conceptions différentes, chacune ayant ses avantages et ses inconvénients.

«...our students will acquire, through their instruction in science, a second domain of knowledge which is radically different from the first but coexistent with it. Under these circumstances we shall want to know if they are aware of these two competing sets of meanings and, more

²⁸²Dreyfus, Amos, Jungwirth, Ehud, Eliovitch, Ronit (1990), Applying the "cognitive conflict" strategy for conceptual change, Some implications, difficulties, and problems, *Science Education*, 74,5, 565.

²⁸³De Vecchi, Gérard, Giordan, André (1990), *L'enseignement scientifique: comment faire pour que "ça marche"?*, Z'éditions, p. 48.

²⁸⁴Giordan, André (1988), Des conceptions des enfants aux concepts scientifiques, La nécessité d'une prise en compte, *Séminaire du CIRADE*, UQAM, Cassette vidéo 16-09-88.

importantly, how they decide which one to use during problem-solving exercises.»²⁸⁵

«What students should learn in science instruction is that different views of the same phenomena are possible, and each has specific values and merits. They should learn in which respects the scientific view differs from their own view and why the scientific view is much more valuable and adequate than their view in specific situations. The traditional paradigm of erasing students' ideas and replacing them by scientific ones should, therefore, be replaced by a mode of coexistence.»²⁸⁶

2.10. La prévention des conceptions erronées

En éducation, l'idée de prévention a été associée principalement aux problèmes de l'inadaptation scolaire et sociale, à la lutte contre l'échec scolaire²⁸⁷ et à la gestion de classe²⁸⁸. Les recherches, dans ce domaine, se concentrent principalement sur des phénomènes périphériques à l'enseignement proprement dit, tels les relations parents-enfants, enfants-professeurs, l'influence des milieux défavorisés sur l'apprentissage, etc. Cependant, plusieurs d'entre-elles sont reliées à l'apprentissage même des concepts et des habiletés proposés par les programmes de sciences, nous les avons subdivisées en deux catégories, celles à court terme, celles à moyen et long terme.

Auparavant, remarquons que certains auteurs font de la prévention des conceptions erronées un des objets de la didactique.

«In the study of instructional strategies for science teaching, researchers aim to:

²⁸⁵Solomon, John (1983), Thinking in Two World of Knowledge, in Novak Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York, p. 148.

²⁸⁶Duit, Reinders (1995) The Constructivist View: A Fashionable and Fruitful Paradigm for Science Education Research and Practice, in Steffe, Leslie P., Gale, Jerry, *Constructivism in Education*, Lawrence Erlbaum Ass. Pub./Hillsdale, New Jersey, p.278.

²⁸⁷Legendre, Renald (1993), Dictionnaire actuel de l'éducation, Guérin, Montréal, p. 1013.

²⁸⁸Connely, Theresa, al. (1995), The Well-Managed Classroom: Promoting Student Success through Social Skill Instruction, *EDRS ERIC*, ED 390572, p. 92.

Prevent, to the extent possible, the creation of misconceptions or naïve theories, especially those generated by instruction. ...» (Fisher and Lipson, 1986)²⁸⁹

«L'objet principal de la didactique est justement d'étudier les conditions que doivent remplir les situations ou les problèmes proposés à l'élève pour favoriser l'apparition, le fonctionnement et le rejet de ses conceptions successives.» (Mialaret, 1979)²⁹⁰

2.10.1. La prévention à court terme

Parmi les tâches quotidiennes de son travail, l'enseignant se voit confier plusieurs formes de prévention: procéder à une révision sévère des textes devant être publiés dans les volumes utilisés par les élèves comme référence principale²⁹¹; utiliser des indices propices à mener l'élève sur la voie de la bonne conception²⁹²; signaler à l'élève que la conception présentement à l'étude pourrait changer ou devrait même changer dans d'autres circonstances (exemple, avec une vitesse qui se rapproche de celle de la lumière, la masse d'un objet augmente considérablement); attirer son attention sur les différences entre le sens donné aux mots par la langue usuelle et celui attribué par la langue scientifique^{293, 294}; prendre l'habitude de vérifier les textes que l'on remet aux élèves et les expurger des concepts parasites²⁹⁵; prévenir les élèves de certaines confusions ou erreurs pouvant survenir, par exemple, lors de l'emploi d'un même

²⁸⁹Fisher, Kathleen M., Lipson, Joseph Isaac (1986), Twenty questions about student errors, *Journal of Research in Science Teaching*, 23,9, 798.

²⁹⁰Legendre, R. (1993), *Dictionnaire actuel de l'éducation*, Guérin Eska, p. 357

²⁹¹Ivowi, U.M.O., Olodotun, J.S.O. (1987), An Investigation of Sources of Misconceptions in Physics in *Proceedings of the second international seminar Misconceptions and Educational Strategies in Novak Joseph D., Proceedings of The Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York, p. 252.

²⁹²Ausubel, David P. (1963), Is Drill Necessary? The Mythology of Incidental Learning, *Bulletin, National Association of Secondary School Principals*, 47, p. 215.

²⁹³«...Another possibility, especially if the lecturer is a physicist, is that he uses ordinary words in a funny way. Physicists often use ordinary words such as "work" or "action" or "energy" or even, as you shall see, "light" for some technical purpose. Thus, when I talk about "work" in physics, I don't talk about "work" on the street.», Feynman Richard P. (1985), *Qed The Strange Theory Of Light And Matter*, Princeton University Press, p. 10.

²⁹⁴Hashweh, Maher Z. (1986), Toward an explanation of conceptual change, *European Journal of Science Education*, 8, 3, 238.

²⁹⁵Ojala, Jorma (1992), The third planet, *International Journal of Science Education*, 14,2, 199.

symbole utilisé pour désigner deux concepts différents; faire remarquer le caractère très ambigu de l'expression "énergie" lorsqu'elle est utilisée hors du contexte de la physique²⁹⁶; expliciter certains sous-entendus utilisés couramment ($\text{cm}^3 = [\text{cm}]^3$); présenter comme introduction à un nouveau concept, une conception erronée relative à ce concept et tirée de l'histoire des sciences²⁹⁷.

Dans ce cadre, la construction d'un réseau de concepts et sa comparaison avec un réseau représentant l'Héritage permettent à un enseignant de cibler les concepts et les relations "défectueuses" et de planifier des activités d'apprentissage pour les corriger ou pour les prévenir dans une prochaine séquence de cours^{298, 299}.

²⁹⁶Reif, F. (1985), Acquiring an effective understanding of scientific concepts., in West, Leo H.T, Pines, A. Leon, *Cognitive Structure And Conceptual Change*, Academic Press Inc., p. 144.

²⁹⁷Wandersee, James H. (1986), Can the history of science help science educators anticipate students' misconceptions?, *Journal of Research in Science Teaching*, 23,7, 594.

²⁹⁸Pines, Ariel Leon (1977), *Scientific concept learning in Children: the effect of prior knowledge on resulting cognitive structure subsequent to A-T instruction.*, U.M.I. Dissertation Services, Cornell University, p. 86.

²⁹⁹Ross, Bertram, Munby, Hugh (1991), Concept mapping and misconceptions : a study of high-school students' understandings of acids and bases, *International Journal of Science Education*, 13,1, 11-23

2.10.2. La prévention à moyen et à long termes

D'une façon plus générale, Ausubel (1968) propose certaines actions didactiques pour réaliser cette prévention, actions qui se résument à bien faire maîtriser les connaissances de base et préalables, avant d'en enseigner de plus complexes.

«...the selection of learning tasks at all stages of the curriculum that are consonant with the learner's existing state of readiness; the mastery and consolidation of all ongoing learning tasks before new tasks are introduced, so as to provide the necessary foundation for successful sequential learning and to prevent unreadiness for future learning tasks.»³⁰⁰

Selon Feuerstein (1979), certaines fonctions cognitives, telles que l'orientation spatiale ou le contrôle de l'impulsivité, développées de façon insuffisante, entraînent l'apparition de conceptions erronées³⁰¹. On pourrait donc envisager d'employer des stratégies pour déceler et développer ces fonctions cognitives déficientes et les prévenir. À cet effet, Feuerstein et al. (1979) ont mis au point une batterie efficace de tests pour les déceler, puis un ensemble élaboré d'exercices de style "papier-crayon" pour les corriger^{302, 303}.

D'autres façons de prévenir les conceptions erronées consisteraient à développer le sens critique, tel que défini par Larochelle et Désautels (1990).

³⁰⁰Ausubel, David P. (1968), *Educational Psychology: A Cognitive View*, Holt Rinehart and Winston, Inc., p. 268.

³⁰¹Mehl, M.C., Volmink, J.D. (1983), Influence of Cognitive Instruction on Misconceptions in Physics and Mathematics, in Novak Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York, pp. 245-246.

³⁰²Feuerstein, Reuven, Rand, Ya'acov, Hoffman M.B. (1979), *The Dynamic Assessment Of Retarded Performers-The Learning Potential Assessment Device, And Techniques*, University Park Press.

³⁰³Feuerstein R., Rand Y., Tannenbaum A. (1979), Effects of instrumental enrichment on the psychoeducational development of low-functioning adolescents, *Journal of Educational Psychology*, 71,6, 751-763.

«L'une des premières caractéristiques d'une pensée dite critique s'illustre par la possibilité de fonder nos idées, c'est-à-dire en fournir les raisons. En d'autres termes, cela veut dire qu'on assume la responsabilité de nos idées: ce ne sont pas les autres qui pensent pour nous».³⁰⁴

et de multiplier les activités et les discussions concernant certains phénomènes physiques (comme la chute des corps) et relatives à certains principes fondamentaux (comme le principe de causalité³⁰⁵) qui fournissent les moyens de fonder des arguments.

2.10.3. La vérification de l'efficacité des traitements préventifs

Malheureusement, nous n'avons pas rencontré, dans la littérature, d'études qui se consacrent à vérifier l'efficacité des moyens préventifs proposés. C'est peut-être que, par leur caractère très général, ces moyens semblent aller d'eux-mêmes sans qu'on sente la nécessité d'en vérifier l'efficacité. Mais si l'on proposait des moyens plus spécifiques, il nous semble que leur vérification deviendrait utile sinon nécessaire.

Dans le domaine des moyens particuliers, la recherche en didactique foisonne de propositions susceptibles d'améliorer l'enseignement des sciences. Celles qui sont les plus à la mode aujourd'hui semblent être l'utilisation de l'ordinateur pour simuler des phénomènes et améliorer sensiblement la prise de mesures ainsi que le traitement des données expérimentales, l'approche STS et, de façon générale, le constructivisme. Mais, dans le milieu scolaire québécois, on se préoccupe peu, sinon pas, de vérifier l'impact et le succès de ces méthodologies. Leurs auteurs se contentent surtout de les

³⁰⁴Larochelle, Marie, Désautels, Jacques (1990), *Développement conceptuel et dérangement épistémologique dans l'enseignement des sciences: théorie et pratique*, UQAM, p. 23.

³⁰⁵Osborne, Roger (1984), Children's Dynamics, *The Physics Teacher*, Nov., p. 508.

mettre à l'essai, puis se hâtent de les implanter dans le milieu scolaire sans trop se soucier de vérifier leur efficacité, si ce n'est que par quelques questionnaires envoyés aux enseignants³⁰⁶. Ce qui expliquerait qu'on les abandonne bientôt, pour les remplacer par d'autres plus à la mode du jour, ou dans les faveurs de quelques individus, donnant ainsi l'impression que la nouveauté serait le principal critère de l'efficacité didactique.

Notre intention sera, au contraire, de vérifier directement l'efficacité de notre méthode de prévention en la mettant à l'épreuve avec le problème qui est à l'origine de notre recherche. Nous espérons, ainsi, trouver matière à démontrer sa faisabilité dans le milieu scolaire.

2.10.4. La vérification de l'efficacité d'autres stratégies et traitements

De nombreux chercheurs ont tenté de mesurer l'efficacité relative de certains traitements à provoquer un changement conceptuel et, par extension, à éliminer l'émergence de conceptions erronées. Après avoir recensé plus de 2 000 recherches, Guzzetti, Snyder, Glass et Gamas³⁰⁷ (1993) ont retenu 70 études provenant de chercheurs issus de deux domaines différents de recherche: 23 provenaient du domaine de l'enseignement de la lecture et 47 du domaine de l'enseignement des sciences. Quelque 86 stratégies différentes, qui se logent dans une ou plusieurs des familles présentées ci-après, ont été

³⁰⁶Les résultats sont peu diffusés et on en fait peu de cas. Pour preuve, l'absence notoire de documents officiels sur l'évaluation des cours américains adaptés pour le Québec tels que le PSSC, le CHEM, l'ISP, etc., de même que pour les évaluations des programmes de sciences développés par des Québécois tels que les programmes d'écologie, de biologie, de sciences physiques et de sciences générales.

³⁰⁷Guzzetti, Barbara J., Snyder, Tonja E., Glass, Gene V., Gamas Warren S. (1993), Promoting conceptual change in science: A comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education, *Reading Research Quarterly*, April/May/June, pp. 117-156.

utilisées. La plupart, sous forme de combinaisons d'entre elles, ont été employées afin de remédier aux conceptions erronées en sciences biologiques, mais surtout en sciences physiques. Tous les résultats ont été mesurés par la différence entre la moyenne des groupes expérimentaux et des groupes témoins, exprimée en terme de l'écart écart des groupes contrôles (size effect). Les recherches possédaient les données statistiques nécessaires à la méta-analyse.

Malheureusement, peu de ces études portaient sur le niveau secondaire (de la 9^{ième} à la 12^{ième} année); elles s'intéressaient surtout au primaire et au collégial (undergraduate level). Aucune ne touche l'astronomie et la Lune. Les résultats sont néanmoins intéressants et nous en avons retenu les conclusions suivantes:

Du domaine de l'enseignement de la lecture

Indépendamment de la stratégie employée, on obtient de meilleurs résultats si l'intervention comprend une activité ou un texte dont la stratégie provoque un conflit cognitif.

La simple activation des connaissances antérieures ou un exercice de questions et réponses suivi d'explications ne provoquent aucun changement conceptuel détectable.

L'intervention la plus efficace est celle qui combine l'activation des connaissances, la réfutation de la conception erronée par un texte et l'enrichissement de l'argumentation

présentée. En outre, les activités de démonstrations sont plus efficaces que les textes réfutatifs.

Du domaine de l'enseignement des sciences

Quoique plus nombreuses, les recherches dans ce domaine ont peu contrôlé l'efficacité d'un traitement spécifique. Alors, les résultats sont plus globaux mais non moins intéressants. Notons particulièrement que toutes les stratégies qui ont réalisé de grands changements cognitifs utilisaient, sous une forme ou sous une autre, le conflit cognitif.

2.11 La Lune dans la littérature scientifique

Bien qu'aucune recherche relative à la compréhension de ce phénomène par les élèves n'ait été rapportée dans les journaux scientifiques (ERIC) depuis 1963, quelques résultats tirés de recherches connexes ont soulevé notre intérêt à cause de l'utilisation du concept "rotation de la Terre sur son axe" en relation avec la Lune.

Vosniadou (1991) rapporte plusieurs cas où la rotation de la Terre est associée à la Lune:

«...some children thought that the moon is stationed in some part of the sky where it is always night and that the earth's axis rotation causes the day/night cycle because it makes our side of the earth face the moon!»³⁰⁸

³⁰⁸Vosniadou, Stella (1991), Conceptual Development in Astronomy, in Glynn Shawn M., Yeany Russel H., Britton Bruce K., *The Psychology of Learning Science*, p. 159.

«...many children who understood how the earth moves formed the misconception previously mentioned according to which the earth's axis rotation causes the earth to face the moon and thus to cause the night.»³⁰⁹

«Surprisingly, a large percentage of third and fifth grade children believe that the moon does not move at all.»³¹⁰

Dans la même étude, Vosniadou (1991) rapporte les résultats comparés d'élèves américains, de 1^{ère}, 2^e et 3^e années du primaire, à la question suivante: la Lune bouge-t-elle? Montre-moi comment. (Tableau IV).

³⁰⁹Vosniadou, Stella (1991), Conceptual Development in Astronomy, in Glynn Shawn M., Yeany Russel H., Britton Bruce K., *The Psychology of Learning Science*, p. 175.

³¹⁰Vosniadou, Stella (1991), Conceptual Development in Astronomy, in Glynn Shawn M., Yeany Russel H., Britton Bruce K., *The Psychology of Learning Science*, p. 154.

Tableau IV - La Lune bouge-t-elle? Montre-moi comment³¹¹

	Responses	%	%	%
		1 grade	2 grade	3 grade
1	Don't know	6,25	6,67	0,00
2	It does not move	0,00	20,00	37,50
3	Up/Down or East/West	50,00	13,33	0,00
4	Sideways	6,25	0,00	6,25
5	Revolution around the earth	18,75	26,67	43,75
6	Axis rotation	6,25	6,67	6,25
7	Both revolution and axis rotation	0,00	6,67	0,00
8	Motion unspecified	0,00	13,32	0,00
9	Revolves around sun	0,00	6,67	6,25
10	Other	12,50	0,00	0,00

On remarquera, entre autres, les réponses N° 3 et N° 5 qui laissent entrevoir l'effet de l'instruction sur la transformation de la conception naïve, la Lune monte et descend, (réponse N° 3) vers une conception culturellement acceptée (réponse N° 5). À noter également, le peu d'élèves qui connaissent l'existence des mouvements simultanés de la Lune (réponses N° 6 et N° 7).

³¹¹Vosniadou, Stella (1991), Conceptual Development in Astronomy, in Glynn Shawn M., Yeany Russel H., Britton Bruce K., *The Psychology of Learning Science*, p. 155.

Jones et al. (1987)³¹² font remarquer que les mouvements relatifs de la Lune et de la Terre sont très difficiles à conceptualiser et qu'il est possible qu'il y ait confusion dans l'utilisation des termes tels que rotation et révolution.

³¹²Jones, Brian L., Lynch, Patrick P., Reesink, Carole (1987), Children's Conceptions of The Earth, Sun and Moon, *International Journal of Science Education*, 9, 1, 43-53.

RATIONNEL PRÉALABLE À L'EXPÉRIMENTATION

Une fois les constatations faites et intrigué par cette présence plutôt inattendue du concept «la rotation de la Terre sur son axe» qui semblait perturber la construction de l'explication du phénomène de la face cachée de la Lune, nous avons décidé d'étudier plus avant ce problème en tentant de le prévenir. Nos motifs étaient donc, au début, purement utilitaires. Nous voulions offrir aux enseignants des moyens d'améliorer l'enseignement de cette partie du programme.

Oui, le problème existait bien chez cette cohorte d'élèves de 1989. Cependant, pour oser penser prévenir ce phénomène l'année suivante, il fallait supposer son existence chez la cohorte suivante, celle de 1990. La formulation de nos hypothèses fait implicitement cette supposition, de sorte que si nos hypothèses sont vérifiées, alors la supposition l'est aussi; tandis que si nos hypothèses sont infirmées, la supposition pourrait, par ailleurs, être confirmée en comparant la fréquence de ce concept non pertinent avec la fréquence des autres concepts non pertinents.

3.1. Préambule

Dans l'ensemble des causes énumérées par les auteurs, plusieurs peuvent être invoquées pour justifier l'utilisation non pertinente d'un concept comme celui de la rotation de la Terre sur son axe. Mentionnons celles qui nous sont apparues comme les

plus pertinentes. L'expérience première (Head, 1986³¹³, Gaston Bachelard, 1938³¹⁴), le contenu livré par les professeurs (Crawley et Arditoglou, 1988)³¹⁵, (Head, 1986)³¹⁶ et les manuels scolaires (Mahadeva, 1983)³¹⁷, (Helm, 1980)³¹⁸, (Perkins, 1942)³¹⁹, (Fisher and Lipson, 1986)³²⁰, la IIG (Induced Incorrect Generalization) Mohapatra (1988)³²¹ et "le besoin de justification à tout prix" Piaget (1984)³²². Cela se passe comme si, à l'examen sommatif, certains élèves, qui n'ont pas saisi très clairement l'explication du phénomène, se soient souvenus de l'activité "faire tourner la Terre sur son axe" et aient cherché à l'utiliser dans l'élaboration de la réponse. À moins qu'ils n'aient pu discriminer cet indice parmi les autres. Notons toutefois que ce concept n'est pas utilisé dans les chapitres précédant cette unité d'enseignement.

Par nous, cf section méthodologie, (p 107), il est fait mention de la "rotation de la Terre": dans l'indice N° 1 et l'indice N° 3. Nulle part ailleurs dans ce chapitre, n'est-il fait mention de la rotation de la Terre sur son axe.

³¹³Head, J. (1986), Research into Alternative Frameworks: Promise and Problems, *Research in Science and Technological Education*, 4, 2, 206.

³¹⁴Bachelard, Gaston (1969), *La formation de l'esprit scientifique*, Librairie Philosophique J. Vrin.

³¹⁵Crawley, Frank E., Arditoglou, Sophia Yani (1988), Life and Physical Science Misconceptions of Preservice Elementary Teachers, *Presented to persons attending the 1988 Annual Meeting of the School Science and Mathematics Association, Austin, Texas, December 2-3, 1988*, p. 1.

³¹⁶Head, J. (1986), Research into Alternative Frameworks: Promise and Problems, *Research in Science and Technological Education*, 4, 2, 206.

³¹⁷Mahadeva, Madhu N. (1983), Misconceptions and Myths Masquerading as Biological Facts, in Novak Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York, p. 289.

³¹⁸Helm, H. (1980), Misconceptions in physics amongst South African students, *Physical Education*, 15, 92-97.

³¹⁹Perkins, Henry A. (1942), Common misconceptions among first year students in college physics, *American Journal of Physics*, 10, 101.

³²⁰Fisher, Kathleen M., Lipson, Joseph Isaac (1986), Twenty questions about student errors, *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 9, 798.

³²¹Mohapatra, J.K. (1988), Induced Incorrect Generalizations leading to misconceptions, An exploratory investigation about the laws of reflection of light, *Journal of Research in Science Teaching*, 25, 9, 781.

³²²«Nous pouvons donc conclure que le besoin de justification à tout prix est une loi générale de l'intelligence verbale de l'enfant et que cette loi dérive elle-même du syncrétisme du raisonnement enfantin.» Piaget, Jean (1984), *Le langage et la pensée chez l'enfant*, Bibliothèque Médiations, Editions Denoël/Gonthier, p. 194.

Était-il possible que l'utilisation de ces expressions relatives à la rotation de la Terre sur son axe ait été suffisante pour induire les conceptions erronées manifestées à l'examen de juin, quelque trois mois plus tard? Ce pourrait être un exemple d'une IIG (Induced Incorrect Generalization). En effet, en expliquant les procédures de manipulation et en invitant les élèves à faire tourner la Terre sur son axe (indice N° 3), le texte a pu leur induire la nécessité d'accoler ce concept à la solution finale. Cela a pu inciter un élève hésitant, qui veut "répondre coûte que coûte", à ne pas prendre de risque et à utiliser un des concepts dont il avait souvenance. Nous avons là une piste à suivre.

Cet indice d'IIG nous a suggéré deux traitements dont il est possible de vérifier l'efficacité.

Les deux traitements que nous proposons sont des activités de révision. En effet, comme nous voulons prévenir la construction de conceptions erronées d'une structure particulière, et spécialement celles construites en utilisant le concept «rotation de la Terre sur son axe», il nous fallait donc recréer les conditions de leur apparition, puis appliquer le(s) traitement(s) préventif(s) que nous croyons efficace(s), tout cela en conservant l'approche constructiviste, à la façon de Giordan et de Vecchi (1990).

«Nous avons aussi montré qu'il est nécessaire de le mettre en condition de s'approprier la connaissance, donc de ne pas la lui donner "toute cuite", c'est-à-dire de lui proposer des situations didactiques dans lesquelles il est amené à se confronter avec certains problèmes et à "décortiquer" le savoir afin de l'intégrer en le reconstruisant.»³²³

3.2. Traitement EX1

Nous avons proposé, d'abord, une révision des activités d'apprentissage avec le même matériel didactique mais expurgé des deux phrases où l'on mentionne la rotation de la Terre (Annexe F, traitement EX1).

Ainsi nous espérons que l'absence du concept comme indice à résoudre le problème soit remarquée et que cela produise un choc cognitif suffisant pour lui faire réaliser son inutilité dans ce problème. Le fait de ne pas être stimulé par le concept de «rotation de la terre sur son axe», pourrait aussi diminuer la tentation de se servir de ce concept, mais cela a surtout l'avantage de focaliser l'attention des élèves sur les éléments importants: la rotation de la Lune sur son axe, la révolution de la Lune autour de la Terre, la simultanéité des deux mouvements et leur période égale. Nous avons donc formulé l'hypothèse N° 1: «La suppression du concept "rotation de la Terre sur son axe" dans le matériel didactique qui décrit les activités devant permettre de comprendre pourquoi la Lune nous montre toujours la même face, favorisera, chez les élèves la prise de conscience que ce concept n'est pas pertinent à l'explication de ce phénomène.»

³²³Giordan, André, Vecchi, Gérard de (1990), *Les origines du savoir*, Delachaux et Niestlé, p.178.

Conséquemment, la fréquence d'utilisation du concept «rotation de la Terre sur son axe» dans les réponses données lors de l'examen synthèse de juin sera proportionnellement moindre dans le groupe expérimental EX1 que dans le groupe Témoin. De plus, le nombre des bonnes réponses dans le groupe EX1 sera proportionnellement plus grand que dans le groupe Témoin.

3.3. Traitement EX2

Le précédent traitement constitue une façon directe et évidente d'aborder le problème, mais elle est aussi à la fois plus passive et difficile pour l'élève. Cette forme d'action préventive n'exige pas sa collaboration directe et ne lui fait pas directement prendre conscience du "danger" à utiliser ce concept dans l'explication. À la limite, "avoir prévu" que cette notion pouvait causer problème, ce qui n'est pas encore démontré, l'auteur du texte et/ou l'enseignant l'aurait expurgé dès la première écriture.

Mais, encore là, doit-on enlever toutes les notions qui ne sont pas immédiatement nécessaires à la compréhension ou à la résolution d'un problème, sous prétexte que l'enfant pourrait culbuter dessus? Souvent, le contexte sert à créer des liens supplémentaires très importants. Rappelons-nous les "Advanced Organizers" d'Ausubel³²⁴ et les étapes du "Generative Learning" de Wittrock³²⁵ qui insistent pour exploiter le contexte afin de créer des liens supplémentaires pour, au moins, renforcer l'apprentissage. Nous croyons qu'une activité mettant à contribution le jugement de

³²⁴Ausubel, David P. (1960), The use of advanced organizers in the learning and retention of meaningful verbal material, Reprinted from the article of the same title, *Journal of Educational Psychology*, 51, 267-272.

³²⁵Osborne, R.J., Wittrock, M.C. (1983), Learning Science: A Generative Process, *Science Education*, 67,4, 489-508

l'élève et sa capacité à exercer son sens critique et à discriminer les variables serait plus profitable, nous ralliant ainsi aux idées de Larochelle et Désautels (1990)³²⁶.

Nous avons donc proposé un deuxième traitement (Annexe G, Traitement EX2), elle aussi une activité de révision, spécialement conçue pour démontrer à l'élève que le concept de rotation de la Terre n'est pas pertinent à l'explication du phénomène. Cette fois-ci, l'activité de révision, après avoir réactivé le problème et la simulation permettant d'observer les deux mouvements distincts de la Lune et leur durée égale, focalise l'attention de l'élève sur la rotation de la Terre (EX2, indice N° 7), pose le problème de sa pertinence dans la résolution du problème (EX2, indice N° 8) et propose à l'enfant de faire une autre simulation afin de corroborer son jugement (EX2, indice N° 9). C'est une activité qui met l'attention de l'élève en alerte face au problème et qui lui donne l'occasion de renoncer à cette utilisation de la rotation de la Terre sur son axe. Cette façon de procéder a, d'ailleurs, été reconnue comme la plus efficace pour provoquer un changement conceptuel en sciences par la méta-analyse de Guzzetti (1993) citée plus haut.

«On the basis of the accumulated evidence, we have found that text can affect conceptual change under two conditions. Text can be used effectively to eradicate misconceptions either when text is refutational or when text is used in combination with other strategies that cause cognitive conflict.»³²⁷

³²⁶Voir plus haut, p. 68; Larochelle, Marie, Désautels, Jacques, (1990), *Développement conceptuel et dérangement épistémologique dans l'enseignement des sciences: théorie et pratique*, UQAM, p. 23.

³²⁷Guzzetti, Barbara J., Snyder, Tonja E., Glass, Gene V., Gamas, Warren S. (1993), Promoting Conceptual Change in Science: A comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education, *Reading Research Quarterly*, April/May/June, p. 130.

«...the most effective strategy was the activation of prior knowledge, supplemented by refutation of the misconception, an augmented activation activity.»³²⁸

Nous avons donc formulé l'hypothèse N° 2: «L'introduction d'activités de simulation du phénomène dans le matériel didactique qui décrit les activités devant permettre de comprendre pourquoi la Lune nous montre toujours la même face, favorisera, chez les élèves la prise de conscience de la non-pertinence du concept "rotation de la Terre sur son axe" à l'explication de ce phénomène.»

Conséquemment, la fréquence d'utilisation du concept «rotation de la Terre sur son axe» dans les réponses données lors de l'examen synthèse de juin sera proportionnellement moindre dans le groupe expérimental EX2 que dans le groupe Témoin. De plus, le nombre des bonnes réponses dans le groupe EX2 sera proportionnellement plus grand que dans le groupe Témoin.

³²⁸Guzzetti, Barbara J., Snyder, Tonja E., Glass, Gene V., Gamas, Warren S. (1993), Promoting Conceptual Change in Science: A comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education, *Reading Research Quarterly*, April/May/June, p. 123.

MÉTHODOLOGIE

Cette section décrit les conditions générales d'expérimentation et les moyens utilisés pour vérifier nos hypothèses. Nous décrirons successivement la population, l'objet d'apprentissage et les outils qui ont servi à guider l'apprentissage, le cadre d'évaluation, les traitements et leurs effets.

4.1. La population

La population est la cohorte 1990 des élèves de quatrième secondaire (moyenne d'âge de 16 ans) inscrits au programme de sciences physiques intitulé "Sciences physiques 424", répartis en 53 écoles couvrant tout le territoire d'une grande ville du Québec. Cette population est caractérisée par un classement uniforme des élèves établi pour toutes les écoles depuis plusieurs années. Elle regroupe tous ceux et celles qui ne possédaient pas les préalables en mathématiques pour prendre les cours de physique et de chimie requis pour les techniques du CEGEP. Ces élèves étaient, de façon très générale, non seulement faibles en français et en mathématiques, mais dans toutes les matières.

4.2. L'attribution des écoles

L'unité d'expérimentation étant l'école, nous avons tiré au sort les écoles les unes après les autres. Après chaque tirage d'une école, nous avons tiré au sort le type de traitement (Témoin, EX1 ou EX2) à attribuer aux élèves de cette école. Nous avons fixé un maximum de trois écoles par type de traitement. Une école ayant refusé de

participer, nous sommes alors passé à la suivante dans l'ordre préétabli. La distribution des écoles dans l'ordre d'attribution est donnée en Annexe H avec le nombre d'élèves ayant choisi de répondre à la question A, «Pourquoi la Lune nous montre-t-elle toujours la même face?».

4.3. L'objet d'apprentissage dans le programme

Le problème déjà solutionné durant l'année et redonné lors de l'examen sommatif, «Pourquoi la Lune nous montre-t-elle toujours la même face?», s'insérait dans un programme qui comportait 32 problèmes à résoudre dont 25 étaient obligatoires. Ces problèmes relevaient de matières aussi diverses que l'astronomie, l'hydrostatique, l'optique et la chimie générale. Pour chaque problème, les élèves devaient d'abord réussir un certain nombre d'activités qui fournissaient les indices nécessaires à sa résolution; ensuite, ils devaient réunir les indices adéquats pour élaborer la réponse. Peu de problèmes nécessitaient des calculs numériques. Les élèves travaillaient en équipes de 2 ou 3 et environ 70% de leur temps était consacré à des activités nécessitant des manipulations en laboratoire. Les enseignants intervenaient de façon individuelle et réduisaient au minimum leurs interventions en groupe. Les élèves utilisaient tous le même manuel de base³²⁹ qui complétait les données de leur professeur. La résolution de chaque problème nécessitait, en moyenne, trois cours de 60 minutes.

³²⁹Blondin, André (1985), *Pensons-y!*, version 1.41, CECM, Montréal

4.4. Le guide d'apprentissage

Dans le chapitre 15 du manuel utilisé par les élèves, l'auteur, après une brève introduction, donne des indices et propose une simulation qui permet à l'élève qui manipule de visualiser la simultanéité de deux mouvements, l'un de rotation et l'autre de révolution de la Lune, puis la condition par laquelle la Lune offre un seul côté visible à un observateur sur Terre, à savoir, l'égalité de durée de ces deux mouvements de la Lune.

«Tu remarqueras, par tes observations personnelles, que la Lune nous présente toujours la même face (ou presque); on lui reconnaît une face cachée que seuls les astronautes américains et les sondes automatiques soviétiques ont pu photographier. Pourtant, les astronomes nous affirment que la Lune, elle aussi, tourne sur elle-même.

...

1. Une balle percée par une broche qui passe par le centre représente la terre et son axe de rotation.
2. Une autre balle, transpercée elle aussi par un axe qui passe par le centre, représente la Lune et son axe de rotation.
3. Un compagnon tient la terre immobile, tout en faisant pivoter la terre sur son axe.
4. Tu tiens la lune et tu lui fais faire deux mouvements distincts mais simultanés: rotation sur son _____, rotation autour de la _____.
5. La Lune met 27 jours, 7 heures, 43 minutes à parcourir une orbite complète autour de la terre.
6. En combien de temps la lune tourne-t-elle autour de la terre? _____
7. Dessine une face sur la lune de façon à ce que son nez soit tracé sur l'équateur.
8. Simule les mouvements de la lune de façon à ce que la face dessinée sur la balle, regarde toujours la terre durant le temps qu'elle fait une orbite.»³³⁰

³³⁰ Blondin, André (1985), *Pensons-y*, Activités pour le programme de sciences physiques 424, CECM, p. 143.

4.5. Le cadre d'évaluation

4.5.1. Le contexte d'évaluation

Les élèves inscrits à ce programme étaient soumis à un examen sommatif en juin de chaque année. Cet examen était composé par un groupe d'enseignants sous la supervision du conseiller pédagogique responsable du programme, lequel était aussi responsable du contenu de l'examen. L'examen comptait pour 30% de la note finale, l'autre 70% de la note étant constitué de la moyenne des notes attribuées par le professeur durant l'année. La note de passage était fixée à 60%.

L'examen comportait trois volets: d'abord, 40 questions à choix multiples; ensuite, une au choix parmi deux questions à développement; enfin, des manipulations en laboratoire qui avaient lieu au mois de mai, durant le temps régulier de classe.

4.5.2. Les questions à développement

Les deux questions à développement qui ont été proposées aux élèves sont:

Question A: Pourquoi la Lune nous montre-t-elle toujours la même face?

Question B: Pourquoi une chambre à air immergée sort-elle de l'eau?

4.6. Les traitements (variables indépendantes)

Comme mentionné précédemment, notre expérimentation comprendra trois traitements, deux expérimentaux, les EX1 et EX2 et un traitement neutre pour les groupes témoins.

Ils prennent la forme de feuilles d'instruction guidant la révision du problème étudié durant l'année.

Le traitement neutre (Guide d'apprentissage, p 110) reprend strictement les informations et les consignes précédemment utilisées pour résoudre le problème la première fois. Le traitement EX1 (Annexe F) reprend ces mêmes consignes expurgées du concept «rotation de la Terre sur son axe». Le traitement EX2 (Annexe G) reprend, lui aussi, les mêmes consignes que le traitement neutre mais y ajoute des activités qui visent à éveiller l'attention des élèves sur la non-pertinence de la «rotation de la Terre sur son axe» dans l'explication du phénomène.

4.7. La mise en oeuvre des traitements préventifs (procédures)

Les activités spéciales de révision pour les groupes expérimentaux O₁ (EX1), O₂ (EX2) et le groupe témoin O₃ (Témoin) ont eu lieu au cours du mois de mai, durant les heures normales de classe. Tous ont reçu un document spécial, décrit dans la section traitement, pour effectuer cette révision.

4.8. Les effets attendus (variables dépendantes)

Pour comparer l'efficacité des traitements relativement à celui du traitement neutre, nous avons comparé les deux variables suivantes: la proportion de réponses comprenant le concept «rotation de la Terre sur son axe» et la proportion de «bonnes» réponses.

4.9. Le design de recherche

Nous avons adopté le design "Posttest Only Control Group" de Campbell et Stanley³³¹ (Tableau V).

Tableau V - Distribution des groupes selon les traitements

R	T	O ₃	Témoin
R	X1	O ₁	EX1
R	X2	O ₂	EX2

Ce modèle nous semble particulièrement bien adapté à nos besoins, les deux groupes expérimentaux pouvant être comparés à la fois entre eux et au groupe Témoin.

4.10. Le post-test

La vérification des hypothèses s'est faite à partir des données recueillies lors de l'examen sommatif de juin 1990 du programme de sciences physiques 055 424, c'est-à-dire de la cohorte suivant celle où nous avons rencontré notre problème de recherche.

³³¹Campbell, D. Stanley, J. (1963), Experimental and quasi-experimental designs for research on teaching, (Handbook of Research on Teaching), p. 26.

Les examens de juin de ce programme différaient toujours d'une année à l'autre et il n'était jamais arrivé que les problèmes demandés à l'examen de l'année précédente aient été répétés. Nous avons alors décidé de conserver la même structure d'examen, (elle n'avait pas changée depuis quatre ans) tout en conservant inchangée la partie à développement. Les élèves avaient donc à répondre, au choix, à une des deux questions posées dans cette section, dont la question A, «Pourquoi la Lune nous montre-t-elle toujours la même face?», ce qui devait nous fournir les réponses pour notre recherche.

Cette façon de procéder avait l'avantage de préserver les conditions naturelles de questionnement et correspondait à un désir de notre part d'être un observateur le plus neutre possible. Cette façon de procéder nous rendait parfaitement invisible. Cela nous évitait aussi de perturber les classes en sortant des élèves, donc évitait aussi les nombreux dérangements associés à ces sorties.

4.11. Le traitement de l'information

4.11.1. La prise des mesures et conversions

Pour chacun des groupes (Témoin, EX1 ou EX2), nous avons repéré et compté toutes les occurrences du concept non pertinent «rotation de la Terre sur son axe» utilisés par les élèves, ainsi que toutes les réponses correctes à la question. Nous avons ensuite converti ces nombres en pourcentages en les comparant respectivement au nombre total d'élèves dans le groupe.

4.11.2. Les critères de correction

Pour être déclarée «bonne» la réponse devait comprendre les trois éléments suivants:

- 1 La rotation de la Lune sur son axe
- 2 La révolution de la Lune autour de la Terre
- 3 L'égalité de durée des périodes

Exemples:

«La lune fait une rotation complète autour de son axe en 27.3 jours, tandis qu'elle prend le même temps pour accomplir une révolution complète autour de la Terre, c'est pour cette raison que nous pouvons toujours observés la même "face" de la lune.»(sic)³³²

«Parce que la lune fait 1 rotation autour de la terre en même temps elle fait 1 rotation autour d'elle même c'est pour ça qu'elle nous présente toujours la même face.»(sic)³³³

4.11.3. La méthodologie des tests statistiques

Nous avons utilisé deux tests. Le «test binomial pour l'égalité de proportions égales avec K échantillons indépendants » et le « test d'homogénéité Post hoc pour multiples comparaison de proportions entre K échantillons indépendants» de Marascuilo & McSweeney³³⁴.

Le premier permet de vérifier si les trois groupes (Témoin, EX1 ou EX2) appartiennent ou non à la même population.

³³²École 106 Élève 01-11

³³³École 111 Élève 02-10

³³⁴Marascuilo Leonard, A., McSweeney Maryellen (1977), *Non parametric and distribution-free methods for the social sciences*, Brooks/Cole Publishing Company, Monterey, California, p. 131 et 141

L'hypothèse nulle H_0 assume que les proportions mesurées dans chaque groupe sont égales. L'alternative H_1 déclare une différence significative entre les proportions mesurées dans chaque groupe, sans pour autant faire connaître quel(s) groupe(s) diffère(nt).

Le deuxième sous-test permet de vérifier si les contrastes (différences de proportion) entre les groupes, pris deux à deux, sont significatifs.

Le contraste Ψ estimé entre les proportions de deux groupes indépendants se situe dans les limites calculées par la formule suivante :

$$\Psi = (\hat{p}_k - \hat{p}_{k'}) \pm \sqrt{\chi_{K-1;1-\alpha}^2} \sqrt{\frac{\hat{p}_k \hat{q}_k}{\hat{n}_k} + \frac{\hat{p}_{k'} \hat{q}_{k'}}{\hat{n}_{k'}}}, \text{ avec}$$

$(\hat{p}_k - \hat{p}_{k'})$: Le contraste de proportion entre les deux groupes comparés

$\sqrt{\chi_{K-1;1-\alpha}^2}$ La racine de la valeur de la distribution Chi carré pour un degré de liberté et un alpha donné

$\sqrt{\frac{\hat{p}_k \hat{q}_k}{\hat{n}_k} + \frac{\hat{p}_{k'} \hat{q}_{k'}}{\hat{n}_{k'}}$ La racine de la somme des variances calculée pour chaque groupe

\hat{p}_k La proportion du paramètre mesuré dans l'échantillon

\hat{q}_k La proportion non apparue du paramètre mesuré dans l'échantillon

\hat{n}_k Le nombre d'éléments dans le groupe considéré

Le nombre de degrés de liberté est $df=2$. Nous avons choisi une valeur $\alpha = 0,05$. Nous avons donc effectué les estimés avec 5% de risque de se tromper.

Nous avons trois groupes (Témoin, EX1 ou EX2), à comparer et nous avons testé trois contrastes.

Un contraste $\{ \hat{p}_k - \hat{p}_{k'} \}$ dont les limites comprennent la valeur zéro ne révèle aucune différence entre les groupes comparés. C'est l'hypothèse nulle H_0 . Elle assume que la différence de proportion mesurée entre ces groupes est nulle, i.e., non significative avec 5% de risque de se tromper. Dans l'alternative, les limites ne comprennent pas la valeur zéro et la différence entre les groupe est significative avec 5% de risque de se tromper. Un exemple des calculs se retrouve en Annexe E.

RÉSULTATS

Dans un premier temps, nous avons dû procéder à la vérification d'homogénéité générale. Y avait-il une différence entre les groupes utilisés dans l'expérimentation?

Le test «Test binomial pour l'égalité de proportions égales avec K échantillons indépendants » fut appliqué aux trois groupes pour les deux séries de mesures effectuées, à savoir: la fréquence du concept «rotation de la Terre sur son axe» et la fréquence des réponses correctes. Dans les deux cas, le test démontre que les groupes sont significativement différents avec 5% de risque de se tromper. Il a fallu, dans un deuxième temps, procéder à des analyses de contrastes des groupes, et cela, deux par deux.

5.1. Test d'homogénéité sur la fréquence du concept « rotation de la Terre sur son axe »

Le tableau VI présente le nombre de conceptions erronées, n'ayant et n'ayant pas utilisé le concept non pertinent «rotation de la Terre sur son axe», observé chez les groupes EX1 et EX2 et le groupe Témoin.

Le tableau VII présente les fréquences théoriques calculées selon les formules expliquées dans la section 4.11.3, p. 115.

Tableau VI - Fréquences observées du concept «rotation de la Terre...»

	Témoin	EX1	EX2	Total
Occurrence	70	45	32	147
Absence	64	108	69	241
Total	134	153	101	388

Tableau VII - Fréquences théoriques du concept «rotation de la Terre...»

	Témoin	EX1	EX2	Total
Occurrence	50.77	57.97	38.27	147.00
Absence	83.23	95.03	62.73	241.00
Total	134.00	153.00	101.00	388.00

La somme des chi carrés calculés est de $18,05 > 5,99$ (Table de $\chi^2_{2,0,05}$).

L'hypothèse nulle est donc à rejeter, un ou plusieurs groupes sont différents des autres. Il faudra donc les comparer deux à deux pour vérifier lesquels sont distincts des autres.

5.2. Test de contraste sur la fréquence du concept «rotation de la Terre sur son axe»

Les tableaux VIII et IX présentent les données nécessaires aux calculs des contrastes entre les groupes (Témoin, EX1 et EX2) pris deux à deux et calculées selon les formules expliquées dans la section 4.11.3, p.115.

Tableau VIII - Proportions et variances du concept «rotation de la Terre...»

	Témoin	EX1	EX2	Total
Occurrence	70	45	32	147
Absence	64	108	69	241
Total	134	153	101	388
Proportion d'occurrence	0.52239	0.29412	0.31683	
Variance	0.00186	0.00136	0.00214	

Tableau IX - Contrastes d'occurrence du concept «rotation de la Terre...»

	Contraste	Variance	Lim inf	Lim sup
Témoin-EX1	0.2283	0.00322	0.089	0.367
Témoin-EX2	0.2056	0.00400	0.051	0.360
EX1-EX2	-0.0227	0.00350	-0.168	0.122

Aucun des contrastes calculés entre le groupe Témoin et les groupes EX1 et EX2 ne contient la valeur zéro à l'intérieur de ses limites. Nous pouvons conclure que les couples Témoin-EX1 et Témoin-EX2 sont différents avec 5% de risque de se tromper. Cependant, les limites de contraste des deux groupes EX1 et EX2 ne contiennent pas la valeur zéro. Ces deux groupes ne sont donc pas différents, avec 5% de risque de se tromper.

Ces résultats confirment, en partie, les hypothèses N° 1 et N° 2. Il nous faudra attendre les résultats du test de contraste sur la fréquence des réponses correctes pour établir notre conclusion définitive.

À tout le moins, il y a de fortes chances qu'il soit possible de diminuer la fréquence d'utilisation du concept «rotation de la Terre sur son axe» (n1), soit en l'expurgeant du matériel didactique, soit en alertant les élèves sur la non-pertinence de son utilisation.

En effet, la fréquence d'apparition du concept "rotation de la Terre" a chuté de 52% à 32%, pour une baisse de 20% dans le groupe EX2, tandis que sa fréquence d'apparition a chuté de 52% à 29%, pour une baisse de 23%, dans le groupe EX1.

Nous nous attendions à ce que le traitement utilisant une activité qui alerte l'élève au problème de l'utilisation du concept "rotation de la Terre sur son axe" (EX2) donne un résultat significativement meilleur que le traitement EX1. Cependant, les résultats ne démontrent pas une différence significative entre les deux groupes. On ne peut donc rien conclure à leur sujet.

Cependant, nos résultats pourraient donner raison à Giordan et De Vecchi (1990) qui affirment qu'il ne suffit pas de faire prendre conscience de la non-validité d'une conception, mais qu'il est nécessaire ensuite de le convaincre de la nécessité de le faire. Cela expliquerait, peut-être, l'homogénéité des groupes EX1 et EX2.

«La prise de conscience de la non-validité d'une conception antérieure peut créer chez l'apprenant un certain désarroi, donc un blocage, si on ne l'aide pas à en construire une autre en lui fournissant les informations nécessaires, au fur et à mesure de ses besoins. A défaut de cela, il retourne le plus souvent à ses idées antérieures. Pour réussir, il ne suffit pas de lui montrer que sa conception n'est pas adéquate; il est nécessaire de le motiver par rapport à la question à traiter ou du moins de le faire entrer dans cette dernière. Il faut ensuite le convaincre, ce qui demande de faire appel à un certain nombre d'arguments (et non pas à un seul présenté rapidement).»³³⁵

Nos résultats tendent, tout de même, à démontrer une certaine réussite. En fait, on voulait savoir si les traitements réussiraient à diminuer l'impact du concept rotation de la Terre sur la construction de la conception. Nos résultats nous démontrent qu'il est possible d'anticiper, puis d'aménager l'environnement d'apprentissage de façon à donner l'occasion à des élèves d'opérer un changement conceptuel. Pour ceux que les EX1 et EX2 n'ont pas réussi à faire changer d'idée, peut-être ont-ils révisé distraitemment, trop sûr d'eux-mêmes, ou peut-être que le conflit n'était pas suffisamment fort pour remettre en question leur conception antérieure ou peut-être aussi que le concept «rotation de la Terre sur son axe» exerçait une attirance trop grande pour les convaincre de changer de conception.. Chose certaine, cela illustre bien la force d'ancrage d'une première conception construite et toute l'importance qu'il faut lui accorder.

³³⁵Giordan, André, Vecchi, Gérard de (1990), *Les origines du savoir*, Delachaux et Niestlé, p. 135.

5.3 Test d'homogénéité sur la fréquence des réponses correctes

Le Tableau X présente le nombre de réponses correctes, observé chez les groupes EX1 et EX2 et le groupe Témoin, à la question «Pourquoi la Lune nous montre-t-elle toujours la même face?».

Le Tableau XI présente les fréquences théoriques calculées selon les formules expliquées dans la section 4.11.3, p. 115.

Tableau X - Fréquences des réponses correctes observées

Réponses	Témoin	EX1	EX2	Total
correctes	7	37	26	70
non correctes	127	116	75	318
Total	134	153	101	388

Tableau XI - Fréquences théoriques des réponses correctes

Réponses	Témoin	EX1	EX2	Total
correctes	24.18	27.60	18.22	70.00
non correctes	109.82	125.40	82.78	318.00
Total	134.00	153.00	101.00	388.00

La somme des chi carré calculés est de 22,84 > 5,99 (Table de $\chi^2_{2,0,05}$).

L'hypothèse nulle est donc à rejeter, un ou plusieurs groupes sont différents des autres. Il faudra donc les comparer deux à deux pour vérifier lesquels sont distincts des autres.

5.4. Test de contraste sur la fréquence des réponses correctes

Les tableaux XII et XIII présentent les données nécessaires aux calculs des contrastes entre les groupes (Témoin, EX1 et EX2) pris deux à deux et calculées selon les formules expliquées dans la section 4.11.3, p. 115.

Tableau XII - Proportions et variances observées de réponses correctes

Réponses	Témoin	EX1	EX2	Total
correctes	7	37	26	70
non correctes	127	116	75	318
Total	134	153	101	388
Proportion de réponses correctes	0.05224	0.24183	0.25743	
Variance	0.00037	0.00120	0.00189	

Tableau XIII - Contrastes de réponses correctes entre les groupes

	Contraste	variance	Lim inf	Lim sup
Témoin-EX1	-0.1896	0.00157	-0.287	-0.093
Témoin-EX2	-0.2052	0.00226	-0.322	-0.089
EX1-EX2	-0.0156	0.00309	-0.152	0.120

Aucun des contrastes calculés entre le groupe Témoin et les groupes EX1 et EX2 ne contient la valeur zéro à l'intérieur de ses limites. Nous pouvons conclure que les

couples Témoin-EX1 et Témoin-EX2 sont différents avec 5% de risque de se tromper. Cependant, les limites de contraste des deux groupes EX1 et EX2 ne contiennent pas la valeur zéro. Ces deux groupes ne sont donc pas différents, avec 5% de risque de se tromper.

Les données semblent démontrer que chacun des traitements (EX1 et EX2) a eu pour effet d'augmenter de façon significative (Tableau XIII) le nombre de réussites par rapport aux groupes témoins. Mais, il semble que le traitement EX2 n'ait pas eu plus d'effet que le traitement EX1, ces deux groupes n'ayant pas montré de différence significative.

5.5. Conclusion

Ces constatations viennent confirmer définitivement les hypothèses N° 1 et N° 2, avec 5% de risque de se tromper. Les traitements EX1 et EX2 semblent, avec 5% de risque de se tromper, avoir réussi à prévenir l'utilisation erronée du concept «rotation de la Terre sur son axe» chez certains élèves, tout en incitant un plus grand nombre d'entre eux à élaborer une explication correcte. Cependant, nos résultats ne nous permettent pas d'établir, ni pour la fréquence du concept non pertinent, ni pour la fréquence de réponses correctes, des différences entre les groupes EX1 et EX2.

DISCUSSIONS DES RÉSULTATS

6.1. Validité interne

6.1.1. Sélection des groupes

La sélection au hasard des groupes expérimentaux et témoins ainsi que le fait de les choisir dans des écoles différentes nous assure de l'étanchéité des groupes, c'est-à-dire que les élèves du groupe "Témoin" ne peuvent pas subir l'influence des élèves des groupes expérimentaux, ni ceux-ci s'influencer mutuellement. De plus, il faut souligner que les élèves ne savent pas qu'ils font partie d'une expérimentation contrôlée; seuls les enseignants sont au courant de l'expérimentation.

6.1.2. Maturation

Cet effet peut être considéré comme inexistant car ce sont des élèves du même âge qui subissent le traitement et les tests.

6.1.3. Histoire

Les élèves ont connu des conditions d'apprentissage très semblables: le cours de sciences générales portait sur 27 problèmes à résoudre en 100 heures de cours/année, utilisait le même matériel didactique de base et était donné par des enseignants formés de la même façon et connaissant bien les activités. Le problème «Pourquoi la Lune nous montre-t-elle toujours la même face?» a été présenté à la population étudiante à la

même époque, vers février 1990, et durant environ le même nombre de périodes, de deux à trois.

La majorité des élèves ont suivi un profil de cours de niveau secondaire très semblable et ils se côtoient, pour un grand nombre d'entre eux, depuis la première secondaire.

L'influence des médias, des adultes et des amis est certainement différente d'un individu à l'autre mais, compte tenu de leur profil scolaire semblable et de la généralité des informations scientifiques diffusées par les médias, on peut affirmer que ces influences ne permettent pas de discriminer des groupes d'individus différents, par rapport à l'ensemble de l'échantillon.

Le regroupement des élèves dans les mêmes programmes de français et de mathématiques nous laisse supposer qu'ils partageaient sensiblement les mêmes aptitudes dans ces matières de base. D'ailleurs, le programme de sciences physiques avaient été conçu spécialement pour cette clientèle. Cette situation pourrait avantager notre recherche puisqu'elle nous permet de supposer que la grande majorité des élèves ont abordé leurs cours de sciences physiques avec des handicaps similaires en français et en mathématiques. Ce qui ne nous permet pas de spéculer sur leur degré d'intelligence ou leurs facultés cognitives qui pourraient, ou ne pourraient pas être différentes des autres élèves de quatrième secondaire. Ce fait circonscrit néanmoins notre recherche aux élèves inscrits à ce programme de sciences physiques, et pourrait mettre plus en relief l'efficacité des traitements préventifs en nous laissant supposer que ces facteurs d'aptitude auraient pu être similaires.

6.1.4. La familiarité du sujet³³⁶

Malheureusement, l'astronomie n'est pas une branche de la science qui a été particulièrement couverte par les programmes d'études au Québec. Quelques sujets particuliers, tels que les saisons et les phases de la Lune, sont traités dans les cours de sciences humaines, en deuxième ou troisième secondaire ainsi qu'au primaire. À quelques occasions, nous trouvons aussi d'autres sujets qui sont abordés dans le contexte des activités parascolaires, tels les comètes, les objets célestes et, parfois, une initiation aux observations astronomiques. Donc, il est peu probable que des élèves inscrits à ce programme de sciences physiques aient été familiarisés avec le problème de la face cachée de la Lune. Qui plus est, ce sujet n'est abordé dans aucun des livres de vulgarisation habituellement trouvés sur les rayons de nos librairies, cependant, il est abordé dans les grandes encyclopédies disponibles dans les bibliothèques.

Empiriquement, il est reconnu que les élèves de notre population ne font que très rarement partie des clubs de sciences de l'école, ou du comité du journal étudiant. Ce sont ceux qui fréquentent le moins la bibliothèque, ceux qui apportent le moins souvent leurs livres à la maison, les moins passionnés de lecture scientifique. On peut donc penser qu'il y a moins de chance que les éléments de construction du problème demandé soit autres que ceux des enseignements et du professeur.

³³⁶Nass, Martin L. (1956), The effect of three variables on children's concepts of physical causality, *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, 53, 2, 191-196.

6.1.5. Effet du prétest

Ici, il est nul car il n'y a pas eu de prétest. Comme nous l'avons énoncé précédemment, nous voulions préserver le plus possible le caractère naturel des interventions et des prises de mesures.

Poser la question en prétest aurait pu raviver les connaissances antérieures relatives à ce problème et alerter les élèves sur l'importance de ce problème, ce que nous ne voulions pas. De plus, le fait de ramasser les copies des élèves pour fin d'analyse aurait pu éveiller l'attention des élèves et des enseignants en leur donnant des indices que ce problème aurait pu faire partie de l'examen final.

Cependant, cette façon de faire limite notre collecte des connaissances antérieures des élèves sur le sujet

6.1.6. Régression statistique

L'effet de régression statistique est négligeable car les groupes ont été choisis au hasard, selon le critère du nom de l'école et non selon le critère du rendement.

6.1.7. Constance dans l'application du test

Les examens ont eu lieu dans les mêmes circonstances (examens sommatifs de fin d'année), à la date habituelle (en juin) et dans les mêmes conditions d'administration: même durée, dans une même atmosphère, sous la surveillance d'une personne autre que le professeur régulier, avec une même présentation matérielle de l'examen, avec la

même importance et la même pression psychologique. Ajoutons que l'ensemble des conditions matérielles et la surveillance étaient très similaires et que les surveillants, de même que les élèves, ignoraient que cet examen allait servir de test à une expérimentation. Notre test se passait ainsi dans une situation toute naturelle pour eux. C'est ainsi que nous avons contrôlé les conditions de passation du test.

Cela limite toutefois notre connaissance approfondie de la conception de chaque individu sur le sujet. Pour cela, il aurait fallu procéder par des entrevues. Nous avons présumé que l'élève nous livrait ce qu'il percevait comme l'essentiel de sa compréhension du sujet, et cette limite était pour nous suffisante. C'était au moins une première approximation de ce qu'ils savaient. C'était aussi un moyen pratique d'obtenir des renseignements sur un grand nombre d'élèves, ce que les procédés individuels ne pouvaient nous donner.

6.1.8. Influence de la correction

La correction des enseignants n'a pas eu d'impact sur notre recherche. Chaque réponse a été traitée et analysée par la même personne à l'intérieur de règles fixes d'analyse (recherche de l'utilisation non pertinente du concept «rotation de la Terre sur son axe» et critères de correction pour la réponse).

6.1.9. Examen à deux questions, au choix

Il nous fallait, pour demeurer logique avec notre désir de recueillir les données dans des conditions les plus normales possibles, conserver le choix de question, i.e., ne pas changer le format de l'examen qui avait été décidé 4 ans plus tôt, après consultation de

plusieurs enseignants. Pour eux, ce choix de question était un incitatif afin d'obtenir des réponses. Auparavant, peu d'élèves répondaient à des questions à développements. Dans ces examens, le nombre d'élèves qui laissaient une page blanche était négligeable et nous ne voulions surtout pas déranger cet état de fait. Cela aurait pu causer problème si seulement une partie non significative des élèves avait répondu à la question A, ce qui n'est pas notre cas puisque 67% des élèves l'ont choisie (Tableau XVII, Annexe H).

De plus, ceux qui ont répondu à la question A l'ont fait par choix. Nous espérons que c'était parce qu'ils s'accordaient plus de chance de réussir. Cependant, ce choix limite la portée de nos résultats. On ne saurait dire ce que les autres élèves auraient répondu. Il serait intéressant d'analyser une nouvelle cohorte d'élèves et de les obliger tous à répondre à la même question:

Il n'est pas certain que les élèves expriment totalement leur conception dans de telles conditions. En savaient-ils plus? Nous ne le saurons jamais. Cependant, tous étaient au même niveau; de ce point de vue, on peut donc les comparer sans crainte. Nous avons présumé que, dans l'ensemble, ils avaient tous le même désir, celui de réussir le mieux possible.

6.1.10. La compétence des enseignants

L'utilisation non pertinente du concept «rotation de la Terre sur son axe» aurait pu être induite lors du travail de médiation des enseignants avec les élèves. Compte tenu que la

recherche de Ivowi et Oludotun (1987)³³⁷ place le professeur (et le livre) en tête des causes les plus probables de l'apparition des conceptions erronées, nous avons voulu tester les connaissances de nos enseignants sur la question. Les résultats nous ont rassuré, les enseignants connaissaient bien l'explication du phénomène.

Dans le cadre de nos rencontres statutaires avec les enseignants de sciences (nous sommes conseiller pédagogique), nous en avons profité pour demander aux enseignants de répondre spontanément et par écrit à la question «Pourquoi la Lune nous montre-t-elle toujours la même face?». Nous leur avons expliqué clairement les objectifs et le cadre dans lequel une telle demande était faite, nous leur avons spécifié que l'opération était purement volontaire et que l'anonymat des documents, des écoles et des personnes serait sauvegardé. Quelques feuilles de réponse portaient le nom des enseignants; nous avons ignoré ces noms et nous avons identifié tous les enseignants par une lettre, selon l'ordre d'apparition. Le nom des écoles a été remplacé par un code numérique connu seulement de nous.

Vingt-trois réponses appartenant à 17 écoles différentes ont été recueillies. Seulement deux réponses sont incorrectes mais ne contiennent pas le concept de rotation de la Terre^{338, 339}. Toutes les autres réponses sont correctes. Dans celles-ci, une seule

³³⁷Ivowi, U.M.O., Oludotun, J.S.O. (1987), An Investigation of Sources of Misconceptions in Novak Joseph D., *Proceedings of The Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York, p. 255.

³³⁸L'enseignant 109a "C'est à cause des révolutions synodiques de la Lune et de la Terre.

Synodique: position des planètes (en l'occurrence la Terre) et du satellite Lune par rapport au Soleil qui rend possible la vue de la même face de la Lune aux habitants de la Terre." (sic)

³³⁹L'enseignant 107a: "La lune subit une attraction par la terre seulement. Voilà pourquoi elle tourne sur elle-même mais en regardant la terre de la même façon." (sic)

réponse mentionne la rotation de la Terre mais ce concept est bien utilisé et n'affecte pas l'explication du phénomène³⁴⁰.

Tous les enseignants qui étaient impliqués dans l'expérimentation, via les groupes témoins ou les groupes expérimentaux, ont répondu correctement à la question, ce qui nous a rassuré. Il est donc plus que probable que les élèves n'ont pas pu construire une explication du phénomène en utilisant ce concept de façon non pertinente lors de conversations avec l'enseignant. Nous concluons que leur influence sur l'utilisation non pertinente du concept "rotation de la Terre" est sûrement très faible, sinon négligeable.

6.1.11. Ambiguïté du mot *pourquoi*

La question qui commence par «Pourquoi» remplace souvent l'une ou l'autre des questions suivantes : «Pour quelle cause?» ou «Pour quelle raison?». Dans le premier cas, la recherche de la réponse devrait mener plutôt à une cause physique tandis que la deuxième pourrait mener plutôt à une explication de type logique ou mathématique, à savoir, l'égalité de durée des deux mouvements de la Lune.

Pour l'élève, ce «Pourquoi » a pu créer de la confusion. Recherchant un objet physique à qui attribuer la cause des effets perçus, la Terre pouvait devenir un objet très attrayant à utiliser. Cependant, il nous semble que les réponses indiquent plutôt que les élèves, en répondant à la question, ont recherché un lien logique avec la Terre puisqu'ils

³⁴⁰L'enseignant 101a: "Car, pendant que la terre tourne sur elle-même, la lune tourne autour de la terre et sur elle-même dans un même laps de temps, c'est-à-dire en 23,7 jours. (sic)"

invoquent la «rotation de la Terre» pour expliquer le phénomène; comme si, intuitivement, ils pressentaient un jeu de mouvements inverses. Nous avons, d'ailleurs, rencontré plusieurs exemples de réponses explicitant ce point .

«Parce que la terre tourne sur elle même ce qui fait que lorsque nous sommes placés à un point "x" et que nous regardons la lune on y voit toujours la même face car elle aussi tourne sur elle même.»³⁴¹(sic)

«Parce quelle tourne sur elle même et que la terre tourne aussi en même temps. alors on voient toujours la même face.»³⁴²(sic)

Quant à la cause physique de l'égalité des périodes, i.e., pourquoi la rotation de la Lune sur son axe s'est-elle synchronisée avec sa révolution autour de la Terre, plusieurs hypothèses ont été avancées par les astronomes dont celle de l'effet des marées évoquée par Hubert Reeves dans son ouvrage «Poussières d'étoiles ».

«Les eaux de l'océan se soulèvent et s'abaissent deux fois par jour. On en fait l'expérience au bord de la mer. L'attraction de la Lune (combinée à celle du Soleil) est responsable de ces mouvements océaniques. Il y a aussi des marées terrestres. Tous les jours, quand la Lune monte dans le ciel, la plaque rocheuse des continents s'élève à sa rencontre de quelques centimètres. En même temps, un soulèvement équivalent se produit aux antipodes. Si rigide soit-elle, la pierre possède une certaine élasticité. Les plaques continentales peuvent se soulever sans se rompre.

Par ces effets de marée, la Lune déforme la Terre. Mais la Terre déforme aussi la Lune. Et d'une façon beaucoup plus efficace, à cause de sa grande masse. C'est pour cela que la Lune nous présente toujours la même face. Ce n'était pas le cas dans le passé. Au cours des ères, la marée terrestre a freiné progressivement la rotation de la Lune, l'immobilisant dans l'orientation présente.»³⁴³

³⁴¹Ecole 101, él 01-5

³⁴²Ecole 102, él 01-3

³⁴³Reeves, Hubert (1984) *Poussières d'étoiles*, Seuil, Paris, p.116.

6.1.12. Emploi du mot *rotation* dans deux sens différents

Dans ce texte, nous remarquons une imprécision qui aurait pu nuire à la compréhension de l'élève: à l'indice N° 4, l'expression "rotation" aurait pu être remplacée par "révolution".

L'utilisation du mot *rotation* dans deux sens différents, celui de la révolution autour de la Terre et celui du mouvement de rotation sur elle-même autour de l'axe, aurait pu prêter à confusion. Peut-être a-t-il incité des élèves, par association, à confondre ces deux sens à celui de rotation de la Terre autour de son axe et même de la Terre autour de la Lune! Nous avons relevé 15 occurrences de cette idée sur 388 réponses (tout de même 4%). Voici deux exemples de telles réponses.

«Parce que la terre tourne autour d'elle-même et la terre tourne autour de la lune aussi et la lune tourne autour d'elle-même.»³⁴⁴

«Parce que la terre tourne simultanément avec la lune. La terre tourne sur elle-même et tourne autour de la lune.»³⁴⁵

D'ailleurs, nous avons noté la même appréhension chez Jones et al. (1987) lors de la revue de la littérature. (section 2.11, p.95)

³⁴⁴École 118 Élève 01-18

³⁴⁵École 118 Élève 02-18

6.2. Validité externe

6.2.1. Interaction personnelle avec les traitement (réactive arrangements)

Dans notre cas, le fait que les élèves n'étaient pas au courant de l'expérimentation en cours annule toute réaction personnelle (le désir de bien réussir ou le contraire) pouvant biaiser les résultats.

Cependant, on ne peut pas contrôler les réactions des enseignants qui, eux, se savaient participants à une expérimentation. De plus, certains ont pu avoir de "bonnes raisons" d'avertir les élèves (ex: mieux se classer dans l'opinion de leur supérieur) et, ainsi, de leur faire obtenir de meilleurs résultats. Mais ils ont été informés de ce piège et nous avons compté sur leur professionnalisme, déjà abondamment démontré, pour diminuer au maximum ce danger.

6.2.2. Généralisation des résultats

Nos échantillons ont été choisis, rappelons-le, dans la population des élèves classés en quatrième secondaire. Ils étaient inscrits au cours de sciences physiques 424. À ce point de vue, nos résultats ne peuvent s'appliquer qu'aux élèves de ce programme. De toute façon, ce programme de sciences physiques leur était spécialement dédié, les autres élèves recevant des cours plus mathématisés. Cependant, à la lueur de nos résultats, il est possible d'espérer appliquer une telle analyse et une telle façon de prévenir à d'autres problèmes du même programme. Ce dernier point n'est pas

négligeable compte tenu que ce dernier rejoint quelque 1 500 élèves regroupés dans 27 écoles secondaires. Les renseignements obtenus par cette recherche pourront alors aider quelque 40 enseignant(e)s (incluant les suppléant(e)s).

6.2.3. Interférence des traitements

Il ne nous a pas été possible d'isoler complètement les traitements EX1 et EX2. À part le fait d'avoir été appliqués à la même époque, par les enseignants réguliers, nous n'avons pas eu de contrôle sur les autres activités faites en classe qui auraient pu interférer avec ces exercices de révision.

Par ailleurs, l'examen de la répartition du choix des élèves à la question A ou B de l'examen de sciences physiques (Tableau XVII, Annexe H) a attiré notre attention. En effet, il nous a semblé que le groupe EX1 avait répondu à la question A dans une plus grande proportion que le groupe EX2. L'application des tests d'homogénéité et de contraste de Marascuilo & McSweeney (section 4.11.3, p. 115), au choix des questions A ou B, a confirmé cela. Les tests montrent une différence significative entre les groupes EX1 et EX2. L'annexe I donne le détail du traitement statistique. De façon significative et avec 5% de chance de se tromper, les élèves du groupe EX1 ont préféré répondre à la question de la recherche (QA) en plus grande proportion que ceux du groupe EX2. Cette différence pourrait indiquer que les élèves du groupe EX1 se sentaient plus à l'aise à répondre à cette question que les élèves du groupe EX2, et pourrait laisser supposer que les élèves du groupe EX1 auraient été avantagés par rapport aux élèves du groupe EX2. Peut-être avaient-ils suivi des activités supplémentaires de révision, avec, par exemple, l'examen de l'année précédente? Les

enseignants du groupe EX1 ont-ils plus insisté sur l'activité de révision que ceux du groupe EX2? Nous ne le saurons jamais. Cependant, cet avantage aurait pu compenser celui que nous avons anticipé en élaborant les activités du traitement EX2, ce qui pourrait expliquer pourquoi les résultats au traitement EX2 sont similaires à ceux de EX1 alors qu'on s'attendait à ce que EX2 donne de meilleurs résultats.

6.3. Analyse "post hoc": étude complémentaire des réponses d'élèves

6.3.1 Considérations préliminaires

La définition opérationnelle définit quatre structures élémentaires des conceptions erronées qui peuvent se combiner pour donner jusqu'à, théoriquement, quinze structures (section 2.6.4, p.63). L'analyse particulière du réseau représentant l'Héritage de la conception à étudier définit les concepts et les relations nécessaires à la construction de ce savoir. L'analyse des réponses d'élèves fait ressortir les principaux concepts non pertinents, i.e., non nécessaires à la construction du réseau, qui ont interféré dans l'apprentissage. Une analyse semblable révèle les relations non pertinentes.

Dans le cas qui nous occupe, en se fiant au réseau illustrant l'explication au problème (p.8), deux concepts sont nécessaires pour expliquer pourquoi la Lune nous montre toujours la même face, la révolution de la Lune autour de la Terre et sa rotation autour de son axe. La relation impliquée dans l'explication est l'égalité de durée des deux mouvements de la Lune, i.e., l'égalité de leur période.

L'examen des réponses nous a révélé principalement l'utilisation du concept de la «rotation de la Terre sur son axe», en soi tout fait légitime, mais non nécessaire, et même nuisible si on cherche à l'utiliser dans l'explication.

Nous en avons décelés plusieurs autres, dans des proportions beaucoup moins alarmantes, que nous n'avons pas considéré dans cette analyse "après le fait". Pour satisfaire la curiosité du lecteur, nous avons présenté les six plus importants, incluant celui qui a motivé notre recherche, pour fin de comparaison, dans le Tableau XIV. Le pourcentage est calculé sur 388, le nombre d'élèves total dans notre recherche.

Tableau XIV -Nombre et proportion des principaux concepts non-pertinents dans notre échantillon

#	Concepts non pertinents	Nbr	%
1	La rotation de la Terre sur son axe	147	38
2	La translation de la Terre autour du soleil	28	7
3	Les phases lunaires	29	7
4	Le soleil éclaire la partie visible de la Lune	14	4
5	La position de l'observateur sur Terre	6	2
6	La rondeur de la Lune	2	1

Nous n'avons décelé que trop peu de relation vraie utilisée de façon non pertinente (2%) pour l'inclure dans cette analyse.

6.3.2 Présentation des résultats

La définition opérationnelle est maintenant appliquée à notre problème particulier, celui de la face cachée de la Lune. Nous avons donc quatre éléments de base que nous

avons ensuite combinés. En tout, quinze structures différentes représentent les conceptions erronées des élèves. Nous avons ensuite compilé, pour chacun de nos groupes (Témoin, EX1 et EX2), le nombre de réponses d'élèves pour chacune des structures trouvées. Le Tableau XVI décrit ces résultats, tandis que le Tableau XV donne la signification des symboles utilisés.

Tableau XV - Association des symboles aux éléments de base de la définition opérationnelle

Ac1	Rotation de la Lune sur son axe
Ac2	Révolution de la Lune autour de la Terre
Ar	Égalité des périodes
Cnp	Rotation de la Terre sur son axe

Tableau XVI - Proportion des réponses d'élèves pour chaque structure développée par la définition opérationnelle appliquée au problème «Pourquoi la Lune nous montre-t-elle toujours la même face?» et chacun des groupes de la recherche.

		Tém	EX1	EX2	Total
		%	%	%	%
Rotation de la Lune	Ac1	66	53	32	52
Révolution de la Lune	Ac2	51	37	36	41
Égalité des périodes	Ar	93	74	69	79
Rotation de la Terre	Cnp	52	29	32	38
	Ac1 + Ac2	37	24	16	27
	Ac1 + Ar	64	52	30	50
	Ac1 + Cnp	42	24	19	29
	Ac2 + Ar	50	36	33	40
	Ac2 + Cnp	27	12	16	18
	Ar + Cnp	50	28	27	35
	Ac1 + Ac2 + Ar	37	24	16	26
	Ac1 + Ac2 + Cnp	22	9	8	13
	Ac1 + Ar + Cnp	40	22	17	27
	Ac2 + Ar + Cnp	0	0	0	0
	Ac1 + Ac2 + Ar + Cnp	0	0	0	0
	Nombre d'élèves dans chaque groupes	134	153	101	388

Quelques observations

1. Alors que 38% des élèves ont utilisé «le concept de rotation de la Terre sur son Axe» (Cnp), ce qui nous fascinait, le problème principal semble être celui de l'égalité des mouvements de la Lune (Ar), 79% des élèves n'en ont pas fait mention dans leur réponse! À la première lecture des réponses, ce problème ne paraissait pas si important, mais il semble clair, maintenant, que ce facteur a été déterminant dans la construction erronée des explications.

À la correction, l'idée de l'égalité des périodes devait être explicite. Nous avons dû, en conséquence, rejeter les réponses où cette idée était exprimée implicitement. En fait, ces réponses rejetées représentent 6% de tous les élèves. Les eussions-nous comptabilisées avec les autres que cela aurait augmenté le nombre de bonnes réponses pour chacun des groupes (Témoin, EX1 et EX2), de (8, 6 et 9) élèves, respectivement. Cependant, après une reprise des tests statistiques (Annexe J), ces nouveaux calculs n'ont rien changé à nos résultats antérieurs.

Ces dernières constatations laissent supposer que certains élèves auraient pu ne pas trouver utile d'explicitier l'égalité des périodes et ce renseignement est important pour les enseignants et les élèves des prochaines cohortes.

Les exemples suivants illustrent ce dernier point.

«Ces deux observations sont des renseignements très précieux pour les enseignants et les élèves des futures cohortes. »(sic)³⁴⁶

«Parce que la lune tourne sur elle-même, et sur l'axe lunaire autour de la terre, donc elle nous montre toujours la même face. »(sic)³⁴⁷

³⁴⁶École 102, Élève 01-7

³⁴⁷École 105, Élève 04-5

2. Plus de la moitié des élèves n'ont pas mentionné le concept de rotation de la Lune sur son axe, et 41% ont omis celui de la révolution de la Lune autour de la Terre. Il n'est donc pas surprenant qu'ils n'aient pu établir de relations entre ces deux mouvements.

3. Plusieurs structures ne semblent pas fournir de renseignements immédiatement applicables en classe. Il serait cependant intéressant de pousser plus loin l'étude de la définition opérationnelle et de l'appliquer dans d'autres cas.

APPORTS ET DÉVELOPPEMENTS DE LA RECHERCHE

7.1. Reconnaître la non pertinence ou développer le sens critique?

Nous le savions, les conceptions erronées, en tant que sous-ensemble des connaissances antérieures d'un individu, empêchent, sinon retardent, la construction de nouvelles connaissances. Notre recherche pousse un plus loin cette affirmation. Des concepts, eux-mêmes en parfait accord avec l'Héritage, peuvent aussi nuire à l'apprentissage de nouveaux savoirs. En fait, toutes les connaissances antérieures auraient le potentiel de nuire à l'apprentissage, rejoignant en cela l'obstacle de la connaissance générale de Bachelard (p. 69). Et, alors que de nombreux chercheurs s'attaquent à la question de savoir comment contourner ou contrer, refuser ou faire avec, et même de faire, à partir de et au travers des connaissances antérieures en général, cela ne nous amène-t-il pas à considérer un problème plus large: celui de rechercher comment amener nos élèves à discriminer, durant l'apprentissage, parmi toutes les connaissances antérieures éveillées par l'enseignement, erronées ou non, les éléments pertinents pour construire une conception établie par la communauté. Bref, comment l'élève peut-il choisir les connaissances qui sont nécessaires et suffisantes pour résoudre le problème posé ou accomplir l'apprentissage demandé?

La problématique ne résiderait plus dans la manière de tenir compte de l'influence des conceptions erronées sur l'apprentissage ni de l'influence nuisible de certaines connaissances antérieures, en elles-mêmes conformes à l'Héritage, mais elle consisterait plutôt à reconnaître la non-pertinence et la façon d'écarter les connaissances antérieures non pertinentes, incluant certaines conceptions naïves ou spontanées,

considérées par l'individu comme parfaitement correctes puisque répondant parfaitement à ses besoins immédiats mais qui sont tout de même erronées relativement à l'Héritage (Hashweh, 1986)³⁴⁸.

D'un point de vue constructiviste, dans l'esprit de celui qui apprend, ce dernier cas est assimilable au cas présenté dans notre recherche. De toute façon, on peut présumer à priori qu'une conception erronée n'est pas reconnue comme telle par l'individu; sinon, il est probable qu'il l'aurait rejetée, du moins qu'il aurait exprimé un doute quant à sa valeur.

La problématique vaut donc la peine d'être soulevée. Très "constructiviste" dans sa forme, elle propose de rendre l'élève plus autonome vis-à-vis de ses apprentissages; elle oblige presque l'enseignant à partager avec ses "partenaires" ses plans de construction et les résultats de ses études sur les conceptions erronées et toutes celles à apprendre. Il deviendra alors un médiateur au sens où l'entend Feuerstein (1980) et l'enfant verra la dernière responsabilité de l'apprentissage lui revenir de pleine nécessité.

Prolongeant cette même idée, le temps n'est-il pas venu maintenant, à l'ère de l'accès libre et généralisé à l'information par internet, d'entraîner les élèves à valider les informations recueillies? Lorsque l'on sait que même les connaissances correctes peuvent, lorsqu'elles sont utilisées de façon non pertinente, nuire à un apprentissage,

³⁴⁸Johsua, Samuel, Dupin, Jean-Jacques (1988), *Didactique et acquisition des connaissances scientifiques*, La gestion des contradictions dans des processus de modélisation en physique, en situation de classe., Actes du Colloque de Sèvres - Mai 1987, p.185.

imaginons les dégâts que peuvent causer les conceptions erronées! Nous l'avons vu dans le cadre théorique (convaincre affectivement, p.85), la renommée et l'importance de la source d'information peuvent convaincre affectivement un individu, encore plus un élève non préparé à questionner et utiliser son jugement en toutes circonstances. Quant à la façon de réaliser cela, faudrait-il en revenir à la recherche systématique de la preuve ou de l'appui d'une source fiable tel que nous l'enseignait un certain "Clément Charette", professeur de mathématiques pour qui l'entraînement au jugement personnel était primordial? Larochelle et Désautels (1990) vont dans le même sens.

«...faciliter chez les personnes le questionnement de leurs représentations...grâce au développement d'une capacité de réfléchir et d'interroger, de manière critique, les postulats qui supportent leurs stratégies de construction de connaissances et celles des autres.»³⁴⁹

7.2. Déterminer les connaissances nécessaires et suffisantes

Les résultats de notre recherche pourraient servir à faire prendre conscience aux enseignants de la très grande importance de tout ce qui est « révélé » à des élèves durant une activité d'apprentissage. Chaque mot, chaque phrase, chaque idée a le potentiel d'éveiller des conceptions pouvant assister, mais aussi interférer l'apprentissage. D'où l'importance d'examiner soigneusement tous les textes remis aux élèves et la nécessité de recourir systématiquement à des activités d'objectivation, au sens de Legendre³⁵⁰, pour rectifier toutes ambiguïtés dans les connaissances nouvellement construites.

³⁴⁹Larochelle, Marie, Désautels, Jacques (1990), *Développement conceptuel et dérangement épistémologique dans l'enseignement des sciences: théorie et pratique*, UQAM, p. 15.

³⁵⁰Legendre, R. (1988), *Dictionnaire actuel de l'éducation*, Larousse, p. 425.

D'ailleurs, notre recherche confirme et ajoute aux recommandations de la recherche d'Olodotun (1987)³⁵¹ qui nous alerte sur l'importance de ne fournir à des élèves que des textes, le plus possible, dépouillés de conceptions erronées. Nous ajoutons à cette recommandation qu'il faut aussi porter une attention très spéciale au contexte qui accompagne les consignes données aux élèves et se limiter, croyons-nous, le plus possible, aux connaissances antérieures nécessaires et suffisantes. Les réseaux de concepts sont, à ce point de vue, des outils très puissants qui gagneraient à être connus.

Nous le rappelons, certaines idées, en soi tout à fait conformes à l'Héritage, peuvent induire des conceptions erronées.

En corollaire, notre recherche pourrait peut-être convaincre les concepteurs de programmes, les enseignants et les auteurs d'examens sommatifs de préciser, par réseaux, pour chaque conception à enseigner, les concepts ainsi que les relations nécessaires et suffisants à sa construction, la complexité des réseaux étant évidemment fonction du niveau enseigné et de la clientèle d'élèves. Cette démarche pourrait aussi favoriser un rapprochement entre les pédagogues et les experts des disciplines, leur collaboration devenant nécessaire pour la validation des réseaux.

³⁵¹Iyowi U.M.O., Olodotun J.S.O.(1987), An Investigation of Sources of Misconceptions in Physics, in Novak, Joseph D., *Proceedings of the second international seminar Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, p.257.

7.3. De la définition opérationnelle à un compendium des conceptions erronées

La recherche effectuée dans le domaine de la didactique préventive ne manque pas d'intérêt sur le plan scientifique et pratique puisqu'elle pourrait aboutir à l'établissement d'un compendium à l'usage des enseignants, compendium fort utile qui identifierait les conceptions erronées les plus fréquemment associées aux conceptions qu'ils se proposent de faire construire, qui donnerait leur origine probable, spécifierait ce en quoi elles sont erronées et offrirait des moyens efficaces d'y remédier, voire de les prévenir.

Ici, notre définition opérationnelle d'une conception erronée pourrait peut-être s'avérer utile. En plus de fournir une structure reconnaissable aux conceptions erronées, elle peut être utilisée pour analyser systématiquement les réponses d'élèves sur une conception donnée. En effet, elle permet de décortiquer les réponses des élèves en petits fragments beaucoup plus faciles à gérer. Les résultats pourraient être alors colligés et ainsi fournir de précieux renseignements sur la façon de faire construire les nouvelles conceptions.

L'utilisation de la définition opérationnelle pourrait alors être un outil capable de rejoindre certains souhaits de Wandersee et al. (1994) exprimés dans le Handbook commémorant le 50^{ème} anniversaire de la National Science Teaching Association.

"Responses to questions...concerning future research.

there is a need for a theoretical foundation that can describe, predict, and explain alternative conceptions, but the field has not reached a consensus on which theory to use;

some experts would like to establish a moratorium on alternative conceptions studies (especially those of the identification and cataloguing genre) so we can analyze, integrate, and assimilate the ACM (alternative conception movement) findings we now have;"³⁵²

7.4. De la prévention au constructivisme

Pédagogiquement parlant, la possibilité de prévenir les conceptions erronées pourrait aussi contribuer à répandre l'utilisation de stratégies d'enseignement constructivistes. En effet, prévenir l'élève d'un danger, c'est l'obliger (au moins l'inciter fortement, n'oublions pas que l'enfant utilise son libre arbitre) à analyser sa démarche et à poser un jugement; autant d'actions qui créent des liens supplémentaires entre la conception à étudier et les conceptions personnelles, qui augmentent la prise de conscience de l'apprentissage^{353,354} et qui nuancent ainsi l'apprentissage de la conception apprise vers celle de l'Héritage. Nos résultats pourraient laisser croire au bien fondé de ces dernières considérations, du moins, pour une partie significative de nos échantillons.

³⁵²Wandersee, James H., Mintzes, Joel J., Novak, Joseph D, Research on alternative conceptions in science in Gabel Dorothy (1994) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, NSTA, Macmillan Publishing Co., p. 198.

³⁵³Giordan, André, De Vecchi, Gérard (1990), *Les origines du savoir*, Delachaux et Niestlé, p. 133.

³⁵⁴Wittrock, Merlin C. (1994), Generative Science Teaching, in Fensham Peter, J., Gunstone Richard F., White Richard T., *The Content of Science: A Constructivist approach to its Teaching and Learning*, The Falmer Press, Washington, D.C., p. 36.

CONCLUSION

Un petit problème devenu grand! Voilà une expression qui caractérise bien notre recherche. Préoccupé, au quotidien, par la pratique enseignante (notre statut de conseiller pédagogique y obligeant), nous avons été interpellé par une simple curiosité d'abord. Elle a pris, ensuite, de l'ampleur et elle nous a entraîné, peu à peu, à reconnaître la nécessité d'attaquer ce problème des conceptions erronées d'un point de vue nouveau, celui de la prévention. Enfin, nous avons dû l'envisager sous l'angle du jugement critique.

Ayant démontré que certaines idées, en soi tout à fait conformes à l'Héritage, peuvent induire elles aussi des conceptions erronées, selon nous, elles devenaient, de ce fait, relativement moins importantes. Elles prenaient plutôt leur place légitime dans un puzzle plus grand, celui des connaissances antérieures. Bien sûr, nos résultats de recherche l'attestant, il est possible d'en prévenir certaines. Cependant, faudra-t-il examiner, à la pièce, chacune des conceptions à enseigner afin que les partenaires de l'apprentissage, élèves et enseignants, puissent travailler efficacement? Ce travail de "bénédictin", qui nous apparaît maintenant nécessaire, ne s'apparente-t-il pas au travail gigantesque accompli au 16^{ème} siècle par Tycho Brahé³⁵⁵? Lui, qui avait méticuleusement, patiemment, pendant longtemps, noté et colligé la position relative des planètes, ne percevait que des problèmes, que des mouvements erratiques des plus difficiles à reproduire, encore plus à expliquer. Puis, vint Képler, son disciple et

³⁵⁵Daumas, Maurice (1963) *Histoire des sciences*, Encyclopédie de La pleiade, Éditions Gallimard, p. 719-721.

assistant! Après l'analyse de l'immense compendium que lui avait laissé son maître en Héritage, il conçut trois idées qui donnaient du sens à toutes ces observations, ou presque. Il réussissait ainsi à prédire de nouvelles positions aux planètes, et bien sûr, à trouver de nouveaux problèmes. Qu'importe, l'Humanité venait de faire un pas en avant. Un siècle plus tard, Newton trouva la juste place aux trois lois de Képler au sein d'un puzzle plus grand, celui de la mécanique classique. Et, pouvons-nous ne pas mentionner la juste place conférée à la mécanique de Newton dans la théorie de la relativité générale d'Einstein?

Nous croyons, humblement, que nous en sommes, dans le champs de la didactique, à l'étape du noble Tycho Brahé. Patiemment, pendant longtemps, minutieusement, un petit pas à la fois, nous devons encore travailler, mais avec l'espoir qu'un jour, un autre Képler trouvera une juste place à notre travail de didacticien.

Au fait, saviez-vous qu'un cratère important de la Lune porte le nom de Tycho Brahé?

La presque pleine Lune¹...

Képler

Copernic



Tycho

Figure 6 - Les cratères de Tycho, Képler et Copernic

La Lune porte, à sa surface, trois marques visibles à l'oeil nu. Ce sont , à 10 et 11 heures, les cratères Képler et Copernic et à 6 heures le cratère Tycho.

¹ Caratini, Roger(1968) *Astronomie*, Encyclopédie Bordas, Bordas, CEC-Montréal, p.66.

ÉPILOGUE

Il nous a semblé, plusieurs fois durant ces dernières années, que nous traitions un sujet évident. Puis, au hasard de l'écoute d'une entrevue du Docteur Hans Selye à la radio de la SRC, le courage et le sourire nous sont revenus: "Ce qui est évident est souvent ce qui est le plus intéressant"³⁵⁶, disait-il.

³⁵⁶Selye, Hans (1976), Interview radiophonique, *Émission Entretien : Dix ans sans détresse*, Société Radio-Canada (reprise, printemps 1996).

BIBLIOGRAPHIE

- Aebli, Hans** (1963), *Didactique psychologique*, Delachaux & Niestlé S.A.
- Atkins, M.J.** (1993) Theories of learning and multimedia applications: an overview, *Research Papers in Education*, Vol. 8, No. 2.
- Ausubel D.P., Novak J.D., Hanesian H.**, (1978) *Educational psychology - A cognitive view*, HRW.
- Ausubel, David P.** (1960), The Use of Advance Organizers in The Learning and Retention of Meaningful Verbal Material. *Journal of Educational Psychology*, **51**.
- Ausubel, David P.** (1960), The use of advanced organizers in the learning and retention of meaningful verbal material, reprinted from the article of the same title, *Journal of Educational Psychology*, **51**.
- Ausubel, David P.** (1961), Learning by Discovery: Rationale and Mystique, *The Bulletin of The National Association of Secondary School Principals*, **45**, 269.
- Ausubel, David P.** (1963), Is Drill Necessary? The Mythology of Incidental Learning, *Bulletin, National Association of Secondary School Principals*, **47**.
- Ausubel, David P.** (1967), Learning theory and Classroom Practice, The Ontario Institute for Studies in Education, Bull No 1, in Joyce, Bruce, Weil, Marsha (1972), *Models of teaching*, Prentice Hall, Inc.
- Ausubel, David P.** (1968), *Educational Psychology: A Cognitive View*, Holt, Rinehart and Winston, Inc.
- Ausubel, David P., Robinson, Floyd G.** (1969), *School Learning - An introduction to educational psychology*, Holt, Rinehart and Winston, Inc.
- Bachelard, Gaston** (1969), *La formation de l'esprit scientifique*, Librairie Philosophique J. Vrin.
- Bachelard, Gaston** (1987), *Épistémologie*, Paris, Presses universitaires de France.
- Baudet, Jean C.** (1990) Editologie et Scientifique, *Communication & Cognition*, Vol. 23, No.4.
- Bernard, Claude** (1966), *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Garnier-Flammarion.
- Blondin, A. et Trân, K.,T.** (1991), Didactique expérimentielle, *Spectre*, mai 1991 et *Dimension*, mai 1991.
- Blondin, André** (1985), *Pensons-y!* Activités pour le programme de sciences physiques 424, Maître, 1.4, CECM.

- Blondin, André** (1985), *Pensons-y!*, version 1.41, CECM, Montréal
- Bloom, Benjamin S.** (1979), *Caractéristiques individuelles et apprentissages scolaires*, traduit de l'américain par Viviane De Landsheere, Fernand Nathan, Paris.
- Cabrol, Daniel, Cachet, Claude** (1981), Le Système ESSOR d'Expérimentation Scientifique Simulée et ses Potentialités Pédagogiques, *European Journal of Science Education*, 3,3.
- Caillé, André** (1995), *L'enseignement des sciences de la nature au primaire*, Presses de l'Université du Québec.
- Campbell, D. Stanley, J.** (1963), Experimental and quasi-experimental designs for research on teaching, (Handbook of Research on Teaching).
- Carnap, Rudolf** (1973), *Les fondements philosophiques de la physique*, Armand Colin.
- Champagne, Audrey B., Gunstone, Richard F., Klopfer, Leopold E. C.**(1985), Effecting changes in cognitive structures among physics students, in West, Leo H.T, Pines, A. Leon, *Cognitive Structure and Conceptual Change*, Academic Press Inc.
- Clement, John** (1982), Students' preconceptions in introductory mechanics, *American Journal of Physics*, 50,1.
- Clement, John** (1983), Students'.alternative conceptions in mechanics: a coherent system of preconceptions?, in Novak, Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York.
- Clement, John, Brown, David E., Zietsman, Aletta** (1989), Not all preconceptions are misconceptions: finding "Anchoring conceptions" for grounding instruction on students' intuitions, *Presented at the annual meeting of the American Educational Research Association*, San Francisco, CA, March 1989.
- Connely, Theresa, al.** (1995), The Well-Managed Classroom: Promoting Student Success through Social Skill Instruction, *EDRS ERIC*, ED 390572.
- Cook, Bruce, Côté, Richard L., Trân, Khanh Thanh** (1982), *Grille d'analyse d'une unité d'enseignement selon la taxonomie expérientielle de Steinaker et Bell*, Faculté des sciences de l'éducation, Université Laval, Québec.
- Crawley, Frank E., Arditzoglou, Sophia Yani** (1988), Life and Physical Science Misconceptions of Preservice Elementary Teachers, *Presented to persons attending the 1988 Annual Meeting of the School Science and Mathematics Association*, Austin, Texas, December 2-3, 1988.

- Cuvillier A.** (1963), *Vocabulaire philosophique*, Armand Colin.
- Daumas, Maurice** (1963) *Histoire des sciences*, Encyclopédie de La Pléiade, Éditions Gallimard.
- De Vecchi, Gérard, Giordan, André** (1990), *L'enseignement scientifique: comment faire pour que "ça marche"?*, Z'édicions.
- Désautels, Jacques** (1983), Les conceptions spontanées des élèves et l'apprentissage des sciences.
- Dreyfus, Amos, Jungwirth, Ehud, Eliovitch, Ronit** (1990), Applying the "cognitive conflict" strategy for conceptual change, Some implications, difficulties, and problems, *Science Education*, 74,5.
- Driver, Rosalind** (1983), *The Pupil as Scientist?* The Open University Press.
- Driver, Rosalind** (1989) Students' conceptions and the learning of science, *International Journal of Science Education*, Vol. 11, no 5, Special Issue.
- Ducom-Nony, Sylvie** (1985), *La langue en sciences, sujet ou hors-sujet?*, in Laschkar Sabine Bassis Henri, *Reconstruire ses savoirs*, Messidor/Édition sociale, Paris.
- Duit, Reinders** (1983), Energy Conceptions held by Students and Consequences for Science Teaching, in Novak, Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York.
- Duit, Reinders** (1991), On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science, *Science Education*, 75,6.
- Duit, Reinders** (1995) The Constructivist View: A Fashionable and Fruitful Paradigm for Science Education Research and Practice, in Steffe, Leslie P., Gale, Jerry, *Constructivism in Education*, Lawrence Erlbaum Ass. Pub./Hillsdale, New Jersey.
- Edmondson, Katherine M.** (1995), Concept Mapping for the Development of Medical Curricula, *Journal of Research in Science Teaching*, 32,7.
- Equipe de recherche - Aster** (1985) *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*, Instaprint.
- Ernest, Paul** (1995), The One and the Many, in Steffe, Leslie P., Gale, Jerry, *Constructivism in Education*, Lawrence Erlbaum Ass. Pub./Hillsdale, New Jersey.
- Faraday Michael**, with a Foreword to bicentennial (1991), Edition by Thomas J.M., *Experimental researches in chemistry and physics*, Taylor & Francis.

- Farrington, B.**(1967), *La science dans l'antiquité*, Petite bibliothèque Payot, Payot, Paris.
- Feher, Elsa, Rie, Karen** (1983), A Comparison of Teacher-Student Conceptions in Optics, in Novak, Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York.
- Feuerstein Reuven, Rand, Ya'acov, Hoffman, M.B., Miller, R.** (1980), *Instrumental enrichment - An intervention program for cognitive modifiability*, University Park Press.
- Feuerstein Reuven, Rand, Ya'acov, Tannenbaum, A.** (1979), Effects of instrumental enrichment on the psychoeducational development of low-functioning adolescents, *Journal of Educational Psychology*, **71**,6.
- Feuerstein, Reuven, Rand, Ya'acov, Hoffman, M.B.** (1979), *The Dynamic Assessment Of Retarded Performers-The Learning Potential Assessment Device, And Techniques*, University Park Press.
- Feynman, Richard P.** (1985) *QED The strange theorie of light and matter*. Princeton University Press.
- Fisher, Kathleen M, Lipson, Joseph I.** (1983), Ten Rules of Thumb: Information Processing Interpretations of Error Research in Learning, in Novak, Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York.
- Fisher, Kathleen M., Lipson, Joseph I.** (1985), Information processing interpretation of errors in college science learning, *Instructional Science*, **14**, 62.
- Fisher, Kathleen M., Lipson, Joseph I.** (1986), Twenty questions about student errors, *Journal of Research in Science Teaching*, **23**,9
- Fowler, Thaddeus W., Jaoude, Saouma Bou** (1983), Using hierarchical concept/proposition maps to plan instruction that addresses existing and potential student misunderstandings in science, in Novak, Joseph D., *Proceedings of The Frst International Seminar - Misconceptions and Educational Stratgies in Science and Mtahematics*, Cornell University, Ithaca, New York.
- Furth, Hans G.** (1969), *Piaget and Knowledge*, in Joyce, Bruce, Weil, Marsha (1972), *Models of teaching*, Prentice Hall, Inc.
- Gagné R.** (1976), traduit par Brien, R. et Paquin, R., *Les principes fondamentaux de l'apprentissage*, Les éditions HRW.

- Garnier, Catherine, Bednarz, Nadine, Ulanovskaya, Irina** (1991), *Après Vygotski et Piaget*, De Boeck Université
- George, Christian** (1985), *Comment conceptualiser l'apprentissage*. Revue française de pédagogie, N° 72, juillet-août-septembre 1985.
- Gervais, Colette, René de Cotret, Sophie, Fortin, Nicole** (1997) Guide du stage d'enseignement 2 EDU 4005, Centre de formation des maîtres, Université de Montréal.
- Giordan, André** (1987), *L'élève et/ou les connaissances scientifiques*, Peter Lang.
- Giordan, André** (1988), Apprentissage allostérique et environnement didactique, *Séminaire sur la représentation*, Cirade, UQAM.
- Giordan, André** (1988), Des conceptions des enfants aux concepts scientifiques, La nécessité d'une prise en compte, *Séminaire du CIRADE*, UQAM, Cassettes vidéo 16-09-88.
- Giordan, André** (1988), *Vers un modèle didactique d'apprentissage allostérique*, Colloque international: Obstacle épistémologique et conflit socio-cognitif (résumés) Cirade, UQAM.
- Giordan, André, Vecchi, Gérard de** (1990), *Les origines du savoir*, Delachaux et Niestlé.
- Gowin, D. Bob** (1983), Misconceptions, metaphors and conceptual change: once more with feeling, in Novak, Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York.
- Guzzetti, Barbara J., Snyder, Tonja E., Glass, Gene V., Gamas, Warren S.** (1993), Promoting conceptual change in science: A comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education, *Reading Research Quarterly*, April/May/June.
- Hashweh, Maher Z.** (1986), Toward an explanation of conceptual change, *European Journal of Science Education*, **8**, 3.
- Head, J.** (1986), Research into Alternative Frameworks: Promise and Problems, *Research in Science and Technological Education*, **4**, 2.
- Helm, H.** (1980), Misconceptions in physics amongst South African students, *Physical Education*, **15**.
- Hesse, Joseph J. III** (1983), The costs and benefits of using conceptual change teaching methods: a teacher's perspective, in Novak, Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York.

- Hewson, Mariana G. A'B.**, The role of intellectual environment in the origin of conceptions: an exploratory study, in West, Leo H.T, Pines, A. Leon(1985), *Cognitive Structure And Conceptual Change*, Academic Press Inc.
- Hewson, Mariana G., Hewson, Peter W.** (1983), Effect of instruction using students prior knowledge and conceptual change strategies on science learning, *Journal of Research in Science Teaching*, **20**,8.
- Holton, Gerald** (1988), *Thematic origins of scientific thought, Kepler to Einstein*, Harvard University Press.
- Hoz, Ron** (1983), Enhancement and assessment of the Reliability of Instruments for the Measurement of Conceptual Framework, in Novak, Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York.
- Hoz, Ron, Tomer, Ytzak, Bowman, Dan, Chayoth, Reuven** (1987), The use of concept mapping to diagnose misconceptions, in Novak, Joseph D., *Proceedings of the second international seminar - Misconceptions and educational strategies in science and mathematics.*, Cornell University, Ithaca, New York.
- Hynd, Cynthia R., Qian, Gaoyin, Ridgeway, Victoria G., Pickle, Michael** (1991), Promoting conceptual change with science texts and discussion, *Journal of Reading*, **34**,8.
- Igal, Galili, Sharon, Bendall, Fred Goldberg** (1993), The effects of Prior Knowledge and Instruction on Understanding Image Formation, *Journal of Research in Science Teaching*, **30**,3.
- Ivowi, U.M.O., Olodotun, J.S.O.** (1987), An Investigation of Sources of Misconceptions in Novak, Joseph D., *Proceedings of The Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York.
- Johansson, Bengt, Marton, Ference, Svensson, Lennart** (1985), An approach to describing learning as change between qualitatively different conceptions, in West, Leo H.T, Pines, A. Leon *Cognitive Structure And Conceptual Change*, Academic Press.
- Johsua Samuel** (1989), La perdurance des obstacles épistémologiques ; un révélateur de leur nature, in Bednarz, Nadine, Garnier, Catherine (1989), *Construction des savoirs - Obstacles & conflits*, CIRADE, Agence d'Arc Inc.
- Johsua, Samuel, Dupin, Jean-Jacques** (1988), Didactique et acquisition des connaissances scientifiques, La gestion des contradictions dans des processus de modélisation en physique, en situation de classe, *Actes du Colloque de Sèvres - Mai 1987*, Editions La Pensée Vergnaud, Brousseau, Hulin Sauvage Greco Didactique, CNRS.

- Jones, Brian L., Lynch, Patrick P., Reesink, Carole** (1987), Children's Conceptions of The Earth, Sun and Moon, *International Journal of Science Education*, **9**, 1.
- Jordaan A.S.** (1987), Aspects of the understanding and teaching of the laws of science, in Novak, Joseph D., Proceedings of the Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics, Cornell University, Ithaca, New York.
- Kelly G. A.** (1963), *A theory of personality: the psychology of personal constructs*, NY, The Norton Library, in Fisher, K.M, Lipson J.I. (1983), Ten Rules of Thumb: Information Processing Interpretations of Error Research in Learning, *Proceedings of the Misconceptions in science and mathematics/83/Novak*.
- Kerr, Donald R., Lester, Frank K.** (1976), An Error Analysis Model for Measurement, in Nelson, Doyal, Reys Robert E., Measurement in *School Mathematics*, National Council of Teachers of Mathematics.
- Kouznetsov, B.** (1962), *Einstein, sa vie, sa pensée, ses théories*, Marabout université.
- Larochelle Marie, Désautels Jacques** (1992), Autour de l'idée de science, Les Presses de l'université Laval.
- Larochelle, Marie, Désautels, Jacques**, (1990), *Développement conceptuel et dérangement épistémologique dans l'enseignement des sciences: théorie et pratique*, UQAM.
- Lawson, Anton E.** (1994), Research on acquisition of science knowledge: epistemological foundations of cognition in Gabel, Dorothy *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, NSTA.
- Legendre, Renald** (1993), *Dictionnaire actuel de l'éducation*, Guérin-Eska.
- Legendre-Bergeron, Marie-F.** (1986), *Lexique de la psychologie du développement de Jean Piaget*, Gaëtan Morin éditeur.
- Lomask, Michal S., Baron, Joan B., Grieg, Jeffrey** (1993), Assessing Conceptual Understanding in Science through the Use of Two and Three Dimensional Concept Maps, in Novak, Joseph D., *The Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York
- Mahadeva, Madhu N.** (1983), Misconceptions and Myths Masquerading as Biological Facts, in Novak, Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York.

- Marascuilo, Leonard, A., McSweeney, Maryellen** (1977), *Non parametric and distribution-free methods for the social sciences*, Brooks/Cole Publishing Company, Monterey, California.
- Mehl, M.C., Volmink, J.D.** (1983), Influence of Cognitive Instruction on Misconceptions in Physics and Mathematics, in Novak, Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York.
- Merrill, David M., Tennyson, Robert** (1977), *Teaching concepts: an instructional design guide*, publications, Englewood Cliffs.
- Mischel, Theodore** (1971), *Cognitive Development and Epistemology*, Academic Press Inc.
- Mohapatra, J.K.** (1988), Induced Incorrect Generalizations leading to misconceptions, An exploratory investigation about the laws of reflection of light, *Journal of Research in Science Teaching*, **25**,9.
- Nass, Martin L.** (1956), The effect of three variables on children's concepts of physical causality, *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, **53**,2.
- Neisser, Ulric** (1976), *Cognition and reality - Principles and implications of cognitive psychology*, W.H. Freeman and Co.
- Newton, J., Teece, P.** (1988), *The Guide to Amateur Astronomy*, Cambridge University Press.
- Novak, Joseph D.** (1977), An Alternative to Piagetian Psychology for Science and Mathematics Education, *Science Education*, 61(4).
- Novak, Joseph D.** (1980), Learning Theory Applied to the Biology Classroom, *The American Biology Teacher*, Vol. 42, No. 5.
- Novak, Joseph D.** (1985), Metalearning and metaknowledge strategies to help students learn how to learn in West, Leo H.T, Pines, A. Leon, *Cognitive Structure And Conceptual Change*, Academic Press Inc.
- Novak, Joseph D.** (1987), Misconceptions and Educational Strategies in Novak, Joseph D., *Proceedings of The Second International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York.
- Novak, Joseph D.** (1993), Meaningful Learning: The Essential Factor for Conceptual Change in Limited or Inappropriate Propositional Hierarchies (LIPHs) Leading to Empowerment of Learners, presented at the *Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, August 1, 1993.

- Novak, Joseph D.** (1994), *Séminaire, L'application des réseaux de concepts à la recherche*, Université de Cornell, juin 1994 - communication verbale.
- Novak, Joseph D., Gowin, D. Bob** (1984), *Learning How to Learn*, Cambridge University Press.
- Novak, Joseph D., Ring, Donald G., Tamir, Pinchas** (1971), *Interpretation of Research Findings in Terms of Ausubel's Theory and Implications for Science Education* *Science Education*, 55 (4).
- Nussbaum, Joseph** (1981), Towards the diagnosis by science teachers of pupils' misconceptions: an exercise with student teachers, *European Journal of Science Education*, 3,3.
- Nussbaum, Joseph** (1983), Classroom conceptual change : the lesson to be learned from the history of science, in Novak, Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York.
- Nussbaum, Joseph, Novick, Shimshon** (1982), Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: toward a principled teaching strategy, *Instructional Science*, 11.
- Ojala, Jorma** (1992), The third planet, *International Journal of Science Education*, 14.
- Osborne, R.J., Wittrock, M.C.** (1983), Learning Science: A Generative Process, *Science Education*, 67,4.
- Osborne, Roger** (1984), Children's Dynamics, *The Physics Teacher*, Nov.
- Pauling, Linus** (1966), *Chimie générale*, Dunod, Paris.
- Pendley, Bradford D., al.** (1994), Concept Maps as a Tool to Assess Learning in Chemistry, *Journal of Chemical Education*, 71,1.
- Perkins, Henry A.** (1942), Common misconceptions among first year students in college physics, *American Journal of Physics*, 10.
- Piaget, Jean** (1963), *La construction du réel chez l'enfant*, Delachaux & Niestlé.
- Piaget, Jean** (1964), *Six études de psychologie*, Folio/Essais, Editions Denoël.
- Piaget, Jean** (1967), *La psychologie de l'intelligence*, Armand Colin.
- Piaget, Jean** (1970), *Psychologie et épistémologie*, Editions Denoël Gonthier.
- Piaget, Jean** (1977), *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*, Delachaux & Niestlé.

- Piaget, Jean** (1984) *Le langage et la pensée chez l'enfant*, Bibliothèque Médiations, Editions Denoël/Gonthier.
- Piaget, Jean, Garcia, Rolando** (1983), *Psychogenèse et histoire des sciences*, Flammarion.
- Piaget, Jean, Garcia, Rolando** (1983), *Psychogenèse et histoire des sciences*, Flammarion.
- Pines, Ariel Leon** (1977), *Scientific Concept Learning In Children: The Effect Of Prior Knowledge On Resulting Cognitive Structure Subsequent To A-T Instruction*, U.M.I. Dissertation Services.
- Posner, George J., Strike, Kenneth A., Hewson, Peter W., Gertzog, William A.** (1982), Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change, *Science Education*, **66**,2.
- Reeves, Hubert** (1984) *Poussières d'étoiles*, Seuil, Paris.
- Reif, F.** (1985), Acquiring an effective understanding of scientific concepts., in West, Leo H.T, Pines, A. Leon, *Cognitive Structure And Conceptual Change*, Academic Press Inc.
- Rokeach, Milton** (1973), *The Nature of Human Values*, Collier Macmillan.
- Ross, Bertram, Munby, Hugh** (1991), Concept mapping and misconceptions : a study of high-school students' understandings of acids and bases, *International Journal of Science Education*, **13**,1.
- Rowell, Jack A., Lyndon, Dawson, Lyndon, Harry** (1990), Changing misconceptions: a challenge to science educators, *International Journal of Science Education*, **12**,2.
- Rumelhard, G.** (1980), *Penser rectifier les représentations une à une, c'est oublier qu'elles sont coordonnées*, Thèse de 3ième cycle, Université de Paris VII (non publiée), in Giordan André (1985), Des représentations des élèves à l'appropriation de quelques concepts scientifiques, in Laschkar Sabine Bassis Henri, *Reconstruire ses savoirs*, Messidor/Édition sociale, Paris.
- Saxena, A.B.** (1992), An attempt to remove misconceptions related to electricity, *International Journal of Science Education*, **14**,2.
- Schacter, Daniel L.** (1989), *Memory*, in *Foundations of Cognitive Science*, edited by Michael I. Posner, MIT Press.
- Schatzman, D'Evry** (1962), *Encyclopédie de la Pléiade: Astronomie*, Gallimard.
- Selye, Hans** (1976), Interview radiophonique, *Émission Entretien : Dix ans sans détresse*, Société Radio Canada (reprise, printemps 1996).

- Shuell, Thomas J.** (1985), Knowledge representation cognitive structure, and school learning: a historical perspective, in West, Leo H.T, Pines, A. Leon (1985), *Cognitive Structure And Conceptual Change*, Academic Press Inc.
- Simon A., Herbert, Craig A., Kaplan in Posner I., Michael** (1989), *Foundation of Cognitive Science*, The MIT Press.
- Smith, Frank** (1979), *La compréhension et l'apprentissage*, traduit et adapté par Alain Vézina, HRW
- Solomon, John** (1983), Thinking in Two World of Knowledge, in Novak, Joseph D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York.
- Steffe P. Leslie** (1995) Alternative Epistemologies: An Educator's Perspective, in Steffe, Leslie P., Gale, Jerry, *Constructivism in Education*, Lawrence Erlbaum Ass. Pub./Hillsdale, New Jersey.
- Steinaker, Norman W., Bell, Robert M.** (1979), *The experiential taxonomy*, Academic Press.
- Stensvold, Mark S., Wilson, John T.** (1990), The interaction of verbal ability with concept mapping in learning from a chemistry laboratory activity, *Science Education*, 74,4.
- Strike, Kenneth A., Posner, George J.** (1985), A conceptual change view of learning and understanding, in West, Leo H.T, Pines, A. Leon, *Cognitive Structure And Conceptual Change*, Academic Press Inc.
- Tardif, Jacques** (1992), *Pour un enseignement stratégique*, Les Éditions Logiques.
- Taton, René** (1957), *Histoire générale des sciences, La science antique et médiévale*, tome 1, PUF.
- Thouin, Marcel** (1987), *Une typologie des représentations du monde physique chez des élèves au début du secondaire*, Thèse présentée à la faculté des études supérieures en vue de l'obtention du grade de Philosophiae Doctor, Université de Montréal.
- Todd, Ross J.** (1995), Concept Mapping in Information Science, *Education for Information*, 13,4.
- Trân Khanh-Thanh** (1989), *L'influence de l'éducation confluyente aux valeurs dans le contexte de l'enseignement des sciences au secondaire*, Thèse présentée à l'école des gradués de l'université Laval pour l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D.).
- Treagust, David F.** (1983), An approach for helping students and teachers diagnose misconceptions in specific science content areas, in Novak, Joseph

D., *Proceedings of The First International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Cornell University, Ithaca, New York.

- Treagust, David F.** (1988), Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science, *International Journal of Science Education*, **10**,2.
- Trellu, Jean-Louis, Toussaint, Jacques** (1986), La conservation, un grand principe, *Aster - recherches en didactique des sciences expérimentales*, No 2.
- Vicenti Missoni, Mathilde in Giordan, André, Henriques, Androula, Bang, Vinh** (1989), Psychologie génétique et didactique des sciences, Peter Lang.
- Von Glasersfeld, Ernst** (1985), L'approche constructiviste: vers une théorie des représentations, Université du Québec à Montréal.
- Von Glasersfeld, Ernst** (1988), Introduction à un constructivisme radical, in Watzlawick, Paul, L'invention de la réalité - Contribution au constructivisme, Éditions du Seuil,.
- Von Glasersfeld, Ernst** (1989), Commentaires subjectifs par un observateur, in Bednarz, Nadine, Garnier, Catherine (1989), *Construction des savoirs - Obstacles et conflits*, CIRADE, Agence d'Arc Inc.
- Von Glasersfeld, Ernst** (1995), A Constructivist Approach to Teaching, in Steffe, Leslie P., Gale, Jerry, *Constructivism in Education*, Lawrence Erlbaum Ass. Pub./Hillsdale, New Jersey.
- Von Glasersfeld, Ernst** (1995), Sensory Experience, Abstraction, and Teaching, in Steffe, Leslie P., Gale, Jerry, *Constructivism in Education*, Lawrence Erlbaum Ass. Pub./Hillsdale, New Jersey.
- Vosniadou, Stella** (1991), Conceptual Development in Astronomy, in Glynn Shawn M., Yeany Russel H., Britton Bruce K., *The Psychology of Learning Science*.
- Vosniadou, Stella, Brewer, William F.** (1987), Theories of Knowledge Restructuring in Development, *Review of Educational Research*, **57**,1.
- Wandersee, James H.** (1986), Can the history of science help science educators anticipate students' misconceptions?, *Journal of Research in Science Teaching*, **23**,7.
- Wandersee, James H., Mintzes, Joel J., Novak, Joseph D.** Research on alternative conceptions in science in Gabel, Dorothy (1994), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, NSTA, Macmillan Publishing Co.

Weber R.L., Manning K.V., White M.W.(1967), *Physique générale*, McGraw Hill.

Wittrock, M. C. (1991), Generative Teaching of Comprehension, *The Elementary School Journal*, **92**,2.

Wittrock, Merlin C. (1994), Generative Science Teaching, in Fensham Peter, J., Gunstone Richard F., White Richard T., *The Content of Science: A Constructivist Approach to its Teaching and Learning*, The Falmer Press, Washington, D.C.

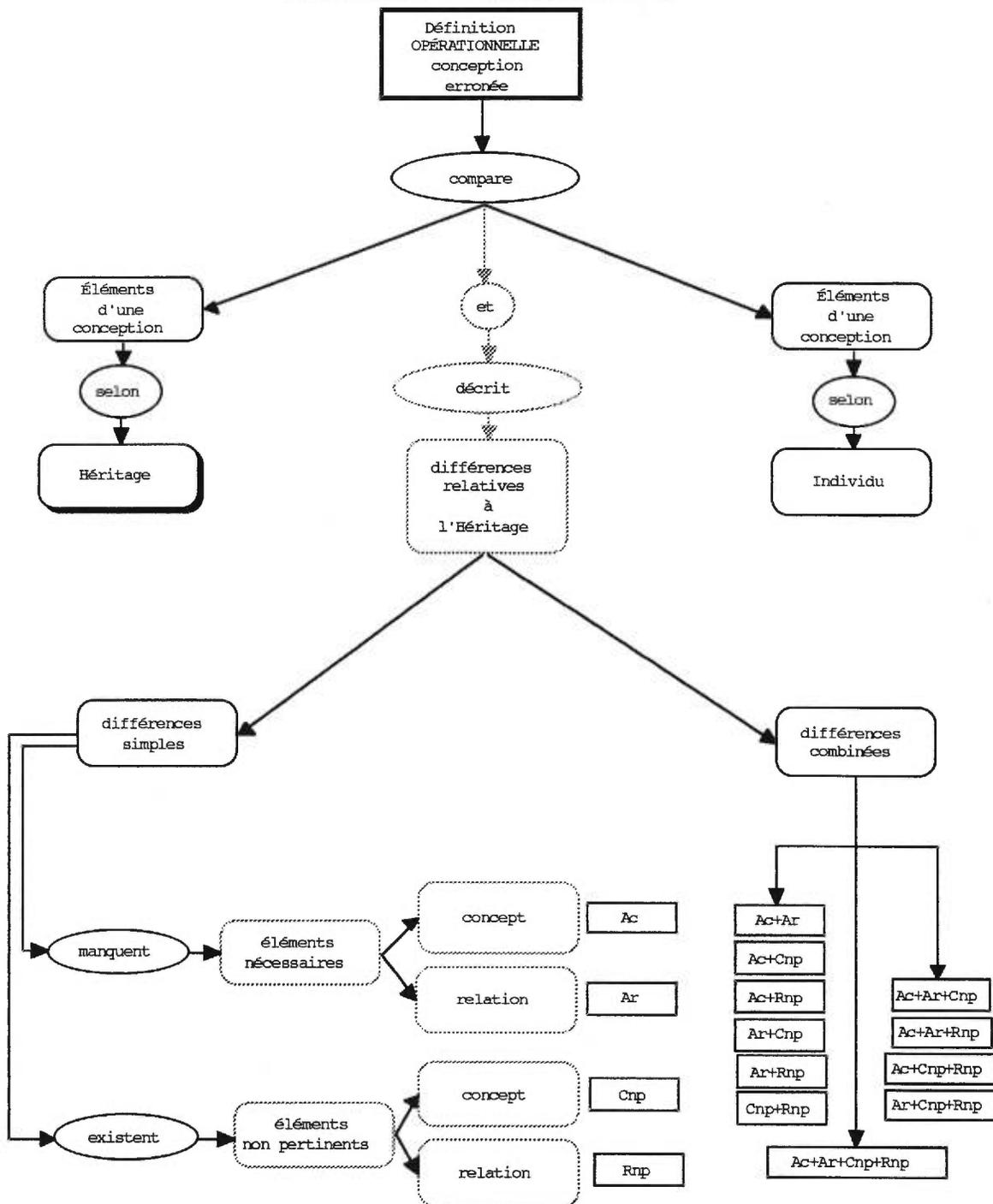
ANNEXES

LISTE DES ANNEXES

- Annexe A - Définition opérationnelle
- Annexe B - Explications plus avancées de la face cachée de la Lune
- Annexe C - Photographies de la Lune
- Annexe D - Librations de la Lune
- Annexe E - Exemples des calculs d'homogénéité et de contraste
- Annexe F - Traitement EX1
- Annexe G - Traitement EX2
- Annexe H - Liste d'attribution des écoles (juin 90)
- Annexe I - Tests d'homogénéité et de contraste de Marascuilo & McSweeney appliqués au choix de questions à l'examen de juin 1990
- Annexe J - Tests d'homogénéité et de contraste de Marascuilo & McSweeney appliqués au choix de réponses correctes élargies

ANNEXE A

DÉFINITION OPÉRATIONNELLE



ANNEXE B

EXPLICATIONS PLUS AVANCÉES DE LA FACE CACHÉE DE LA LUNE

L'explication construite par les élèves n'est valable qu'en première approximation. Un observateur peu attentif, qui ne compare pas des photographies prises à une douzaine de jours d'intervalle comme celles présentées à l'Annexe C, ne perçoit pas de changements.

En deuxième approximation

Il faut l'observation minutieuse de plusieurs photographies de la Lune, prises à quelques semaines d'intervalle³⁵⁷ (Annexe C), pour démontrer qu'elle oscille légèrement, dans l'axe est-ouest et dans l'axe nord-sud, exposant tour à tour des parties théoriquement cachées de sa surface. Ces mouvements, nommés librations lunaires, contribuent à augmenter la surface visible de la Lune à près de 59%³⁵⁸.

Deux changements relatifs au modèle théorique présenté en première approximation aux élèves, expliquent principalement ces mouvements oscillants.

L'orbite lunaire n'est pas parfaitement circulaire; elle est elliptique, et, conformément à la deuxième loi de Kepler (loi des aires), la Lune ne voyage pas à vitesse constante sur son orbite, découvrant alors un petit fuseau supplémentaire, tantôt à l'est, tantôt à l'ouest (Figure 4, Annexe D).

L'axe de rotation de la Lune est incliné de 83,3° sur le plan de son orbite. Cette inclinaison, qui demeure constante durant la révolution autour de la Terre, découvre à un observateur terrestre, en alternance, une zone supplémentaire près du pôle sud, puis une autre près du pôle nord (Figure 5, Annexe D).

³⁵⁷Mutch, Thomas A. (1970), *Geology of the Moon*, Princeton University Press, p. 28.

³⁵⁸Mutch, Thomas A. (1970), *Geology of the Moon*, Princeton University Press, pp. 26-27.

S'ajoute aussi un petit effet de parallaxe dû à la rotation de la Terre. Un observateur terrestre verra la Lune d'un angle légèrement différent en début de soirée que tard dans la nuit, permettant ainsi d'obtenir des clichés qui exposeront encore un tout petit peu plus de sa surface.

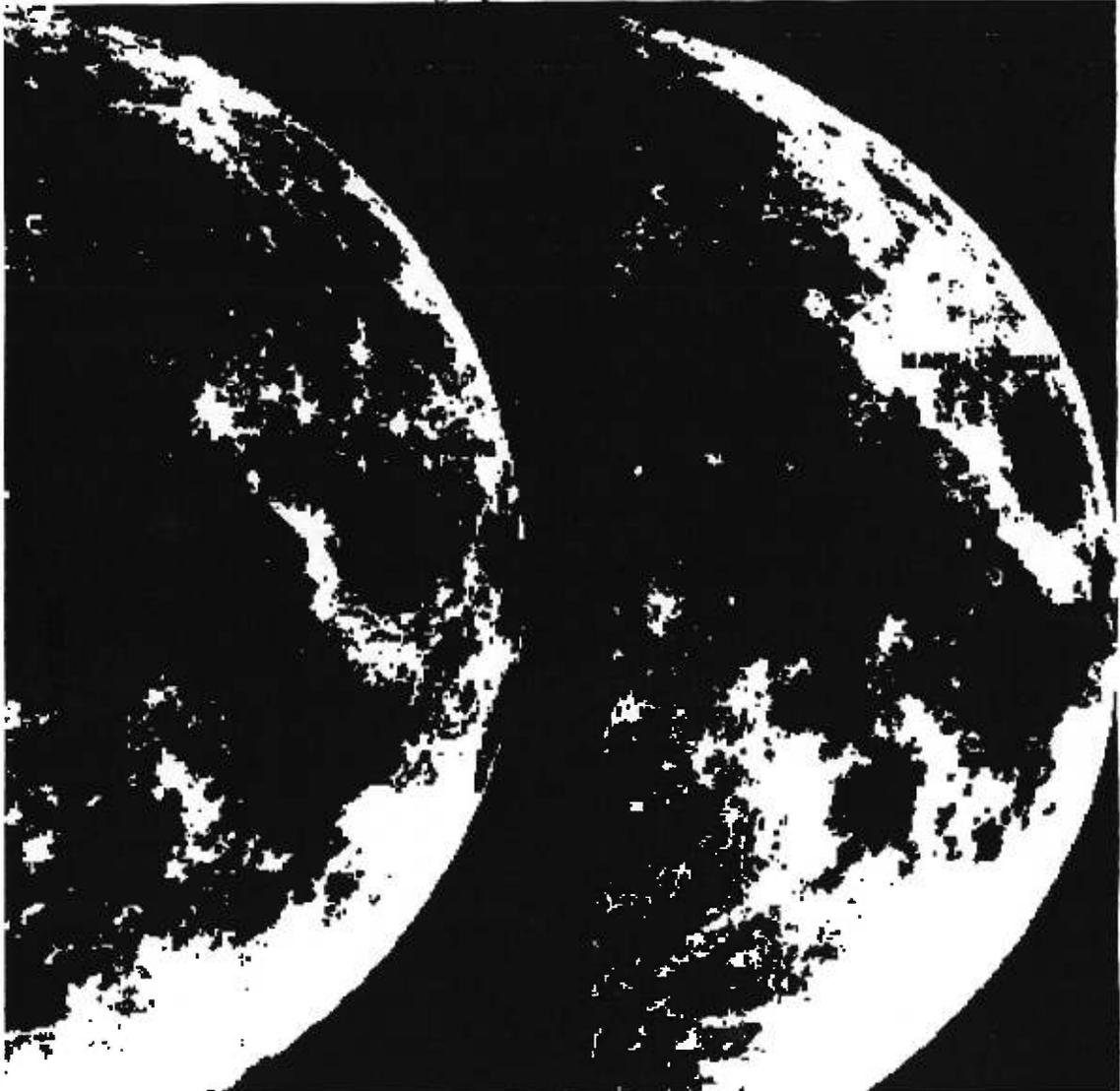
En troisième approximation

Enfin, il faudrait tenir compte, entre autres propriétés subtiles, de l'oscillation physique de la Lune autour de sa position d'équilibre et de sa forme irrégulière³⁵⁹.

³⁵⁹Schatzman, d'Evry (1962), *Encyclopédie de la Pléiade: Astronomie*, Gallimard, p. 1178.

ANNEXE C

Photographies de la Lune



L'effet de libration de la Lune en longitude et latitude (2ième approximation). Nous percevons ce mouvement en observant, à 3 heures, le déplacement de la mer des Crises. Environ 12 jours séparent ces deux photographies.³⁶⁰

³⁶⁰Bishop Roy (1997) *Observer's Handbook 1998*, The Royal Astronomical Society of Canada, pp. 42-66.

ANNEXE D

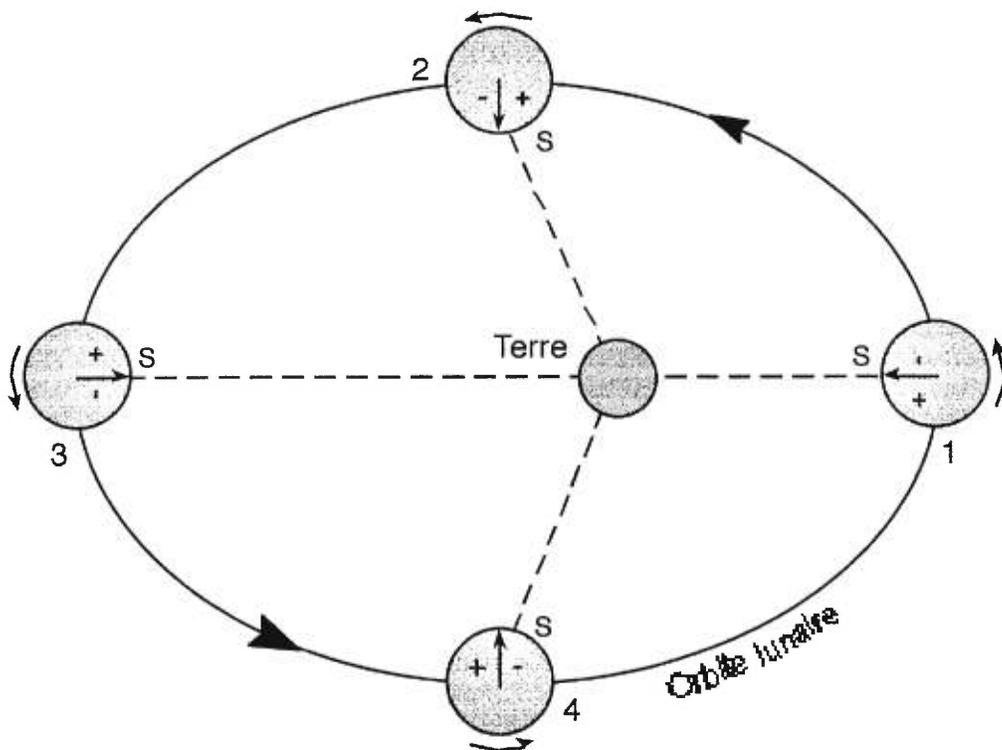


Figure 4 - Libration en longitude

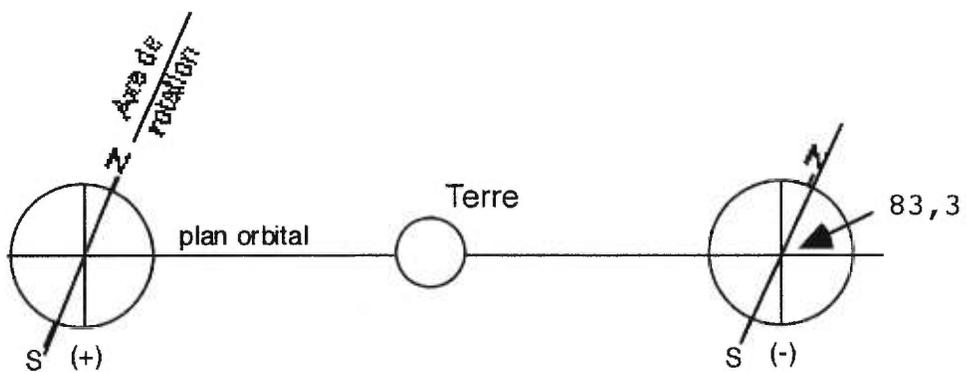


Figure 5 - Libration en latitude

ANNEXE E

EXEMPLES DES CALCULS D'HOMOGENÉITÉ ET DE CONTRASTE

Nous avons utilisé deux tests. Le «test binomial pour l'égalité de proportions égales avec K échantillons indépendants» et le «test d'homogénéité Post hoc pour multiples comparaison de proportions entre K échantillons indépendants» de Marascuilo & McSweeney³⁶¹.

E.1- TEST D'HOMOGENÉITÉ

Tableau VI - Fréquences observées du concept «rotation de la Terre...»

	Témoin	EX1	EX2	Total
Occurrence	<i>70</i>	<i>45</i>	<i>32</i>	<i>147</i>
Absence	<i>64</i>	<i>108</i>	<i>69</i>	<i>241</i>
Total	<i>134</i>	<i>153</i>	<i>101</i>	<i>388</i>

Tableau VII - Fréquences théoriques du concept «rotation de la Terre...»

	Témoin	EX1	EX2	Total
Occurrence	<i>50.77</i>	<i>57.97</i>	<i>38.27</i>	<i>147.00</i>
Absence	<i>83.23</i>	<i>95.03</i>	<i>62.73</i>	<i>241.00</i>
Total	<i>134.00</i>	<i>153.00</i>	<i>101.00</i>	<i>388.00</i>

NOTE: Les chiffres en italique sont ceux utilisés pour les exemples et les numéros des tableaux demeurent ceux utilisés dans la section des résultats (p 118).

La fréquence théorique se calcule en multipliant le total du groupe observé par la probabilité globale:

³⁶¹Marascuilo Leonard, A.; McSweeney Maryellen (1977) *Non parametric and distribution-free methods for the social sciences*, Brooks/Cole Publishing Company, Monterey, California, p. 131 et 141.

Probabilité globale (P_{gocc})

$$P_{gocc} = \frac{147}{388} = 0,37887$$

Fréquence théorique (F_{th})

$$F_{th} = 134 \times P_{gocc}$$

$$F_{th} = 134 \times 0,37887 = 50,77$$

Le chi carré χ^2 se calcule ainsi:

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{probabilité.observée} - \text{probabilité.théorique})^2}{\text{probabilité.théorique}}$$

$$\chi^2 = \frac{(70 - 50,77)^2}{50,77} + \dots + \frac{(69 - 62,73)^2}{62,73} = 18,05$$

E2. TEST DE CONTRASTE

Tableau VIII - Fréquences observées du concept «rotation de la Terre...»

	Témoin	EX1	EX2	Total
Occurrence	70	45	32	147
Absence	64	108	69	241
Total	134	153	101	388
Proportion d'occurrence	0.52239	0.29412	0.31683	
Variance.groupe	0.00186	0.00136	0.00214	

Tableau IX - Contrastes d'occurrence du concept «rotation de la Terre...»

	Contraste	Variance	Lim inf	Lim sup
Témoin-EX1	0.2283	0.00322	0.089	0.367
Témoin-EX2	0.2056	0.00400	0.051	0.360
EX1-EX2	-0.0227	0.00350	-0.168	0.122

NOTE: Les chiffres en italique sont ceux utilisés pour les exemples

La proportion d'occurrence (Pocc)

$$P_{occ} = \frac{70}{134} = 0,52239$$

La variance groupe

$$\text{Variance} = \frac{\frac{\text{occurrence}}{\text{Total}} \times \frac{\text{Absence}}{\text{Total}}}{\text{Total}}$$

$$\text{Variance} = \frac{\frac{70}{134} \times \frac{64}{134}}{134} = 0,00186$$

Le contraste Ψ , entre deux groupes = (différence des Pocc)

$$\Psi = \text{Différence (Pocc)} \pm \text{intervalle . de. confiance}$$

$$\text{Différence (Pocc)} = 0,52239 - 0,29412 = 0,2283$$

$$\text{intervalle . de. confiance} = \sqrt{\chi_{2, 0,05}^2} \times \sqrt{\Sigma(\text{Variance . groupe})}$$

$$\sqrt{\Sigma(\text{Variance . groupe})} = \sqrt{0,00186 + 0,00136} = 0,00322$$

$$\text{intervalle . de. confiance} = \sqrt{5,99} \times \sqrt{0,00322} = 0.13888$$

Limite inférieure et supérieure

$$\text{Lim. inf} = 0,2283 - 0.13888 = 0,089$$

$$\text{Lim sup} = 0,2283 + 0.13888 = 0,367$$

ANNEXE F

TRAITEMENT EX1

Pourquoi la Lune nous montre-t-elle toujours la même face?

Tu remarqueras, par tes observations personnelles, que la Lune nous présente toujours la même face (ou presque); on lui reconnaît une face cachée que seuls les astronautes américains et les sondes automatiques soviétiques ont pu photographier.

Pour trouver une explication à ce phénomène, il faut faire comme précédemment, tu peux utiliser les indices suivants. Ils ne sont pas tous utiles à la chaîne explicative, ils ne sont pas écrits en ordre logique et cette fois-ci, tu auras à les compléter pour avoir une explication qui démontre clairement que la Lune nous montre toujours la même face.

INDICES:

1. Une balle percée par une broche qui passe par le centre représente la Terre.
2. Une autre balle, transpercée elle aussi par un crayon qui passe par le centre, représente la Lune et son axe de rotation.
3. Tu tiens la Lune et tu lui fais faire deux mouvements distincts et simultanés: rotation sur son _____ et rotation autour de la _____.
4. La Lune met 27 jours, 7 heures, 43 minutes à parcourir une orbite complète autour de la Terre.
5. En combien de temps la Lune tourne-t-elle autour d'elle-même? _____
6. Dessine une face sur la Lune de façon à ce que son nez soit tracé sur l'équateur. Simule les mouvements de la Lune de façon à ce que la face dessinée sur la balle, regarde toujours vers la Terre durant le temps qu'elle fait une orbite.

ANNEXE G

TRAITEMENT EX2

Pourquoi la Lune nous montre-t-elle toujours la même face?

Tu remarqueras, par tes observations personnelles, que la Lune nous présente toujours la même face (ou presque); on lui reconnaît une face cachée que seuls les astronautes américains et les sondes automatiques soviétiques ont pu photographier.

Pour trouver une explication à ce phénomène, il faut faire comme précédemment, tu peux utiliser les indices suivants. Ils ne sont pas tous utiles à la chaîne explicative, ils ne sont pas écrits en ordre logique et cette fois-ci, tu auras à les compléter pour avoir une explication qui démontre clairement que la Lune nous montre toujours la même face.

INDICES :

1. Une balle percée par une broche qui passe par le centre représente la Terre.
2. Une autre balle, transpercée elle aussi par un crayon qui passe par le centre, représente la Lune et son axe de rotation.
3. Tu tiens la Lune et tu lui fais faire deux mouvements distincts et simultanés: rotation sur son _____ et rotation autour de la _____.
4. La Lune met 27 jours, 7 heures, 43 minutes à parcourir une orbite complète autour de la Terre.
5. En combien de temps la Lune tourne-t-elle autour d'elle-même? _____
6. Dessine une face sur la Lune de façon à ce que son nez soit tracé sur l'équateur. Simule les mouvements de la Lune de façon à ce que la face dessinée sur la balle, regarde toujours vers la Terre durant le temps qu'elle fait une orbite.
7. Place-toi au dessus d'un globe terrestre et fais tourner la Terre dans le sens contraire des horloges.

Demande à un ou une compagne de classe de simuler la Lune qui orbite autour de la Terre tout en pointant son nombril vers la Terre.

Combien de tours la Lune a-t-elle faite sur elle-même après avoir effectué une orbite complète? _____

8. Si la Terre était demeurée immobile durant l'exercice 7, cela aurait-il changé la réponse à la question? _____
9. Simule la question 8 pour vérifier ta réponse.

ANNEXE H

LISTE D'ATTRIBUTION DES ÉCOLES (JUN 90)

Tableau XVII Liste d'attribution des écoles et proportion de réponses aux questions A et B de l'examen de sciences physiques de juin 1990

Ordre	Identification des écoles	Type de traitement	Nombre de groupes	Nombre d'élèves QA	Nombre d'élèves QB
1	112	Témoin	3	46	20
2	110	EX2	2	29	28
3	106	EX2	5	61	45
4	109	EX1	1	13	7
5	119	EX2	2	11	13
6	105	EX1	4	68	10
7	111	EX1	3	72	0
8	116	Témoin	3	27	32
9	103	(refus)			
10	102	Témoin	3	61	11
Total			26	388	166
				67%	33%

Les écoles apparaissent dans l'ordre du tirage. Chaque traitement a été attribué au hasard avec un maximum de trois écoles par type de traitement.

Tableau XVIII Fréquences des questions observées

	Témoin	EX1	EX2	Total
Qa	134	153	101	388
Qb	63	17	86	166
Total	197	170	187	554

Le Tableau XVIII présente le nombre de réponses QA et QB, observé chez les groupes EX1 et EX2 et le groupe témoin, à l'examen de sciences physiques de juin 1990.

ANNEXE I

**Tests d'homogénéité et de contraste de Marascuilo & McSweeney
appliqués au choix de questions à l'examen de juin 1990**

A. Test d'homogénéité sur la fréquence des réponses

Le Tableau XVIII (reproduit de l'Annexe H) présente le nombre de réponses QA et QB, observé chez les groupes EX1 et EX2 et le groupe Témoin, à l'examen de sciences physiques de juin 1990.

Le Tableau XIX présente les fréquences théoriques calculées selon les formules expliquées dans la section 4.11.3, p. 115.

Tableau XVIII - Fréquences des questions observées

	Témoin	EX1	EX2	Total
Qa	134	153	101	388
Qb	63	17	86	166
Total	197	170	187	554

Tableau XIX - Fréquences théoriques des questions

	Témoin	EX1	EX2	Total
Qa	137.97	119.06	130.97	388.00
Qb	59.03	50.94	56.03	166.00
Total	197.00	170.00	187.00	554.00

La somme des chi carré calculés est de 55,55 > 5,99 (Table de $X_{2;0,05}^2$).

L'hypothèse nulle est donc à rejeter, un ou plusieurs groupes sont différents des autres. Il faudra donc les comparer deux à deux pour vérifier lesquels sont distincts des autres.

B. Test de contraste sur la fréquence des réponses correctes

Les tableaux XX et XXI présentent les données nécessaires aux calculs des contrastes entre les groupes (Témoin, EX1 et EX2) pris deux à deux et calculées selon les formules expliquées dans la section 4.11.3, p. 115.

Tableau XX - Proportions et variances observées des questions

	Témoin	EX1	EX2	Total
Qa	134	153	101	388
Qb	63	17	86	166
Total	197	170	187	554
Proportion Qa	0.68020	0.90000	0.54011	
Variance	0.00110	0.00053	0.00133	

Tableau XXI - Contrastes des questions A entre les groupes

	Contraste	variance	Lim inf	Lim sup
Témoin-EX1	-0.2198	0.00163	-0.319	-0.121
Témoin-EX2	0.1401	0.00243	0.019	0.261
EX1-EX2	0.3599	0.00186	0.254	0.465

ANNEXE J

**Tests d'homogénéité et de contraste de Marascuilo & McSweeney
appliqués au choix de réponses correctes élargies**

A. Test d'homogénéité sur la fréquence des réponses correctes

Le Tableau XXII présente le nombre de réponses correctes, observé chez les groupes EX1 et EX2 et le groupe témoin, à la question «Pourquoi la Lune nous montre-t-elle toujours la même face?».

Le Tableau XXIII présente les fréquences théoriques calculées selon les formules expliquées dans la section 4.11.3, p. 115.

Tableau XXII - Fréquences des réponses correctes (élargies) observées

Réponses	Témoin	EX1	EX2	Total
correctes	15	42	35	92
non correctes	119	111	66	296
Total	134	153	101	388

Tableau XXIII - Fréquences théoriques des réponses correctes (élargies)

Réponses	Témoin	EX1	EX2	Total
correctes	31.77	36.28	23.95	92.00
non correctes	102.23	116.72	77.05	296.00
Total	134.00	153.00	101.00	388.00

La somme des chi carré calculés est de 22,84 > 5,99 (Table de $X_{2;0,05}^2$).

L'hypothèse nulle est donc à rejeter, un ou plusieurs groupes sont différents des autres. Il faudra donc les comparer deux à deux pour vérifier lesquels sont distincts des autres.

B. Test de contraste sur la fréquence des réponses correctes

Les tableaux XXIV et XXV présentent les données nécessaires aux calculs des contrastes entre les groupes (Témoin, EX1 et EX2) pris deux à deux et calculées selon les formules expliquées dans la section 4.11.3, p. 115.

Tableau XXIV - Proportions et variances observées de réponses correctes (élargies)

Réponses	Témoin	EX1	EX2	Total
correctes	15	42	35	92
non correctes	119	111	66	296
Total	134	153	101	388
Proportion de réponses correctes	0.11194	0.27451	0.34653	
Variance	0.00074	0.00130	0.00224	

Tableau XXV - Contrastes de réponses correctes (élargies) entre les groupes

	Contraste	variance	Lim inf	Lim sup
Témoin-EX1	-0.1626	0.00204	-0.273	-0.052
Témoin-EX2	-0.2346	0.00298	-0.368	-0.101
EX1-EX2	-0.0720	0.00354	-0.218	0.074

Aucun des contrastes calculés entre le groupe témoin et les groupes EX1 et EX2 ne contient la valeur zéro à l'intérieur de ses limites. Nous pouvons conclure que les couples Témoin-EX1 et Témoin-EX2 sont différents avec 5% de risque de se tromper. Cependant, les limites de contraste des deux groupes EX1 et EX2 ne contiennent pas la valeur zéro. Ces deux groupes ne sont donc pas différents, avec 5% de risque de se tromper.

Les données semblent démontrer que chacun des traitements (EX1 et EX2) a eu pour effet d'augmenter de façon significative (Tableau XIII) le nombre de réussites par rapport aux groupes témoins. Mais, il semble que le traitement EX2 n'ait pas eu plus d'effet que le traitement EX1, ces deux groupes n'ayant pas montré de différence significative.

C. Conclusion:

Ces nouveaux calculs ne changent en rien les résultats précédents. (section 5.4, p 124)

REMERCIEMENTS

C'est souvent dans les moments difficiles et durant les parcours périlleux que nous reconnaissons nos amis.

Nous tenons à souligner le nom de certains d'entre eux qui, par leurs encouragements et leurs précieux conseils, ont soutenu l'auteur tout au long de cette entreprise:

D'abord, l'appui indéfectible de notre épouse, Denise Nadon, celle-là même qui su, par un bon matin d'été, prononcer la formule magique capable de raviver l'ardeur nécessaire à la réussite d'un tel projet.

Remercions aussi:

Jeau-Guy Blais, Ph.D.	pour ses conseils en statistiques
Nicole Blondin	pour les transcriptions
Gisèle Gascon	pour le support infographique
Gilbert Lannoy	pour la correction linguistique
Pierre Malano, Ph.D.	pour ses conseils en mesures et évaluation
Geneviève Nadon	pour les comptages et les classements
Than-Khan Trân, Ph.D.	pour son approche socratique

D'autres personnes méritent encore d'être mentionnées, je leur dois beaucoup:

Pierre Laprade
Gaby Laprade
Claude Marineau

Enfin, je veux remercier tous les enseignants et enseignantes
qui ont rendu cette recherche possible.