

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ÉDUCATION

PAR
JOHANNE JACQUES

ÉMERGENCE DES REPRÉSENTATIONS DU MODÈLE MENTAL DE LA
CIRCULATION SANGUINE
LORS DE LA DISSECTION -VIRTUELLE OU RÉELLE- D'UN CŒUR,
PAR DES ÉLÈVES DU SECONDAIRE

FÉVRIER 2014

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

Sommaire

À l'ère du respect des animaux et de la dénonciation des pratiques expérimentales sur ces derniers, nous nous questionnons sur la pertinence de disséquer sur le vivant, au secondaire. Comme l'enseignement de la biologie est basé sur le respect de la vie, l'utilisation de matériel vivant est-il indispensable pour l'apprentissage de phénomènes biologiques? Évidemment, la dissection sur des cœurs humains est interdite en classe de secondaire, alors les élèves expérimentent sur des cœurs de bœuf en utilisant l'analogie à l'humain comme outil pédagogique. Nous souhaitons ainsi que l'élève transpose ses nouvelles connaissances vers le phénomène de la circulation sanguine humaine.

Ainsi, notre leitmotiv était d'observer une acquisition du phénomène de la circulation sanguine consécutive à une dissection. Les participants devaient compléter un questionnaire épistémique, faire une dissection sur le réel et une autre virtuelle interactive. Notre questionnaire avait pour but de faire ressortir les croyances épistémiques des élèves en regard à la circulation sanguine mais aussi face à la définition et à la manipulation du vivant. Nous obtenions, une première empreinte qui a servi de comparaison entre les deux types de dissections. Le modelage de concepts construits et reconstruits au cours des manipulations nous a servi de matériel d'enquête. Cent vingt-trois élèves, entre quinze et seize ans, d'une école secondaire publique du Québec ont participé à cette recherche. Nous leur avons présenté un questionnaire précédent l'expérimentation nous éclairant sur leurs connaissances acquises, au sujet de

la circulation sanguine. En accord avec les études sur les modèles mentaux et en considérant la catégorisation des concepts et les croyances épistémiques, le questionnaire vérifiait, dans une première section, les attributs conférés au vivant par les participants. Une deuxième section comparait les réponses d'un adolescent fictif sur la manipulation du vivant avec celles des participants. Puis, une troisième section du questionnaire demandait d'élaborer une hiérarchie parmi une liste de vivants qui leur était soumise. Pour terminer, le participant devait dessiner la circulation sanguine à l'intérieur d'une silhouette humaine déjà tracée. Ce dernier croquis qui sera repris après chaque expérimentation a permis d'entériner la reconstruction de leur modèle mental sur la circulation sanguine. Tous les participants ont complété le questionnaire le même jour, avant toute forme d'expérimentation. Par la suite, la moitié des participants a disséqué un cœur de bœuf tandis que l'autre moitié disséquait de façon virtuelle interactive. Après avoir dessiné leur nouvelle compréhension de la circulation sanguine, les participants expérimentaient l'autre dissection. Comme le cœur pompe le sang à travers le corps, il s'avère être l'élément essentiel à observer pour en déduire la circulation à sens unique, au travers des valves anti-retour. Subséquemment, lorsque le cœur est ouvert, nous pouvons suivre les voies empruntées par le sang qui circule vers les poumons, puis qui revient au cœur dans l'oreillette gauche et qui est ensuite propulsé vers la grande circulation et vers les artères coronaires. De surcroît, l'expérimentation sur un cœur, pour obtenir un tel apprentissage, peut-elle être réalisée par une dissection virtuelle interactive utilisant les mêmes images et avec les mêmes participants? Nous avons donc monté une dissection virtuelle interactive qui permettait d'expérimenter en

remplaçant le scalpel par la souris d'ordinateur. Cette dissection virtuelle reproduit les mêmes étapes que celle sur le réelle et elle a été préparée à partir d'une dissection sur un vrai cœur de bœuf. Notre intention était de garder les mêmes images et la même procédure expérimentale pour limiter les paramètres d'interprétation. C'est pour la même raison que nous avons fourni une feuille contenant une silhouette déjà tracée, dans laquelle les participants nous expliquaient leur compréhension de la circulation sanguine à différents moments de la recherche.

L'analyse et l'interprétation des données indiquent une réorganisation des concepts vers un modèle mental plus structuré indépendamment du mode de dissection. De fait, des concepts importants s'ajoutaient au réseau préalablement dessiné. En conclusion, la transformation des dessins en cours d'expérimentation nous a offert une représentation améliorée de leur modèle mental face à la circulation sanguine avec les deux dissections confondues. Nous n'avons pas l'intention de prouver l'efficacité d'une dissection numérique interactive mais bien d'observer un apprentissage conséquent à une autre forme de dissection que celle sur le vivant. C'est pourquoi nous disons que la dissection virtuelle interactive, tout aussi bien que celle sur le réel, permettent l'émergence de nouvelles représentations du modèle mental de la circulation sanguine.

Table des matières

Liste des tableaux et de figures.....	vi
Introduction.....	1
CHAPITRE 1 PROBLÉMATIQUE	6
1.1 L'importance de la recherche	11
1.2 Questions de recherche	13
CHAPITRE 2 CADRE DE RÉFÉRENCE	16
2.1 Le vivant	18
2.2 Le modèle mental.....	38
2.3 Les technologies informatiques au service de l'apprentissage individuel	63
CHAPITRE 3 MÉTHODOLOGIE	68
3.1 Choix des participants.....	68
3.2 Les instruments	69
3.3 Lieu et moment de la recherche	86
CHAPITRE 4 COLLECTE ET ANALYSE DES DONNÉES	89
4.1 Description du vivant selon les participants.....	90
4.2 La manipulation de matériel biologique	93
4.3 La hiérarchie parmi les êtres vivants selon des adolescents de troisième secondaire	95
4.4 Le dessin de la circulation sanguine et du cœur selon des adolescents de troisième secondaire.....	96
CHAPITRE 5 INTERPRÉTATION	105
CHAPITRE 6 DISCUSSION.....	114
CHAPITRE 7 CONCLUSION	122
RÉFÉRENCES.....	128
Appendice A Les logiciels de dissection évalués.....	140
Appendice B..Grille d'évaluation des réponses en fonction des écoles de pensée sur le vivant.....	142
Appendice C . Certificat d'éthique de la recherche.....	145

Liste des tableaux

Tableau 1.....	20
Tableau 2.....	25
Tableau 3.....	28
Tableau 4.....	93

Liste des figures

<i>Figure 1</i> La première page de la dissection virtuelle interactive.....	80
<i>Figure 2</i> La seconde page de la dissection virtuelle interactive.....	80
<i>Figure 3</i> La troisième page de la dissection virtuelle interactive.....	81
<i>Figure 4</i> La quatrième page de la dissection virtuelle interactive.....	82
<i>Figure 5</i> La cinquième page de la dissection virtuelle interactive.....	83
<i>Figure 6</i> La sixième page de la dissection virtuelle interactive.....	84
<i>Figure 7</i> La septième page de la dissection virtuelle interactive.....	85
<i>Figure 8</i> Répartition globale des réponses à la première partie du questionnaire.....	91
<i>Figure 9</i> Une séquence de dessins représentative des données obtenues par le premier groupe de participants.....	97
<i>Figure 10</i> Répartition globale des réponses les plus récurrentes.....	98
<i>Figure 11</i> Une séquence de dessins représentative des données obtenues par le deuxième groupe de participants.....	100
<i>Figure 12</i> Exemple des réponses les plus récurrentes.....	101
<i>Figure 13</i> Répartition des acquisitions selon l'ordre des dissections.....	103

Remerciements

Mes premiers remerciements vont à M. Rodolphe Toussaint, directeur et ami, avec qui j'ai partagé la passion de l'enseignement. Merci à mes amis de toujours qui ont accepté généreusement et à maintes reprises de lire mes textes et de les commenter. Il s'agit de Mme Mélanie Bellemare, Mme Nathalie Borie, Mme Caroline Gerbeau, Mme Marie-Hélène Lavergne, Mme Marie-Josée Richard ainsi que de M. Robert Breault et M. Yvon Leclerc. D'autres remerciements s'imposent pour mes collègues qui ont revu et corrigé notre questionnaire, soient: M. Ghislain Samson, directeur du doctorat et professeur à l'UQTR, M. Jean-François Gagnon, enseignant en sciences au secondaire et animateur au musée des sciences de Trois-Rivières, M. Thomas Fournier, étudiant au doctorat en didactique des sciences et M. Michel Héroux, ingénieur civil et enseignant en sciences à l'école secondaire Val-Mauricie.

Je me dois de remercier M. Patrick St-Cyr et M. Philippe Lemieux, pour le prêt de matériel et pour les précieux conseils. Aussi, je souligne chaleureusement le soutien technique et financier de l'Université du Québec à Trois-Rivières et de la commission scolaire de l'Énergie¹ Je termine en remerciant la directrice générale de l'école secondaire Val-Mauricie, Mme Guylaine Lessard, et ses élèves participants à notre recherche.

¹ Cette recherche a bénéficié d'une bourse de la commission scolaire de l'Énergie ainsi que d'une bourse des Fonds Toussaint, Kérollé.

Introduction

Ma carrière d'enseignante en sciences précédée de celle de biologiste médicale, m'amène à vérifier un outil permettant de valider l'acquisition de connaissances produite par une expérimentation. Coquidé (2000; 2007, 2011) explique que la meilleure façon de faire apprendre les sciences est de faire expérimenter. Il est d'actualité de jeter un regard sur la pertinence d'une approche pédagogique proposant la dissection au secondaire. Donc notre recherche validera la composition de modèle mental conséquente à une dissection. La présente étude vise à vérifier la qualité des modèles mentaux sur la circulation sanguine et sur le cœur qui pompe le sang. Notre intérêt dans cette étude est d'analyser l'organisation mentale de la circulation sanguine par des élèves de troisième secondaire en utilisant les deux modèles de dissection, virtuelle et réelle afin de les comparer.

Considérant que l'apprentissage passe par la reconstruction de modèles mentaux, les courants de recherche ont apporté des éclairages variés sur les façons dont les élèves abordent l'acquisition de connaissances des sciences. De ce fait, la première conception de l'élève se trouve renforcée au fil d'une transformation et d'une adaptation logiques envers de nouvelles expériences. De plus, une conception est née d'un enseignement, d'une expérience vécue, d'un message reçu, d'un manuel scolaire, des media (Samson, 2002; Toussaint, 2002). Pour provoquer cette réorganisation, nous avons travaillé avec deux types de dissections en tant qu'expérimentation. Ainsi, nous avons tenté la mise en lumière des acquis scientifiques selon le vécu de chacun des participants. Ces « idées préconçues », nous l'espérons, évolueront au fil de l'expérimentation. Pour ce faire,

nous avons tenu compte des méthodes expérimentales proposées en enseignement des sciences.

Coquidé (2000; 2007) a travaillé sur la nature des activités scolaires et sur le rapport expérimental au vivant. Selon elle, les activités expérimentales en biologie posent des problèmes didactiques particuliers comme des problèmes éthiques, des problèmes pratiques et même des problèmes scientifiques liés à la complexité, à la diversité et à la variabilité du vivant. En effet, la biologie enseigne le respect de la vie alors qu'en contrepartie, elle permet de manipuler du matériel vivant pour le disséquer puis le jeter. Aussi, les travaux pratiques nécessitent un investissement financier pour l'achat de matériel biologique, le temps en technicien, l'aménagement de locaux adéquats et sécuritaires (douche oculaire, douche corporelle, lavabo à chaque comptoir de travail). L'expérimentation sur du matériel vivant expose les manipulateurs à des risques de blessures par la manutention du scalpel et des risques d'infection causée par les microbes résistants à la désinfection. Malgré ces problèmes, les enseignants valorisent les dissections. En effet, Hoover (2008) avance que la manipulation d'organismes vivants permet de confronter les croyances naïves qu'ont les élèves par rapport à la circulation sanguine contrairement au visionnement de vidéo. C'est le lieu pour mettre en pratique la rigueur scientifique qui ne s'apprend pas lors d'un cours magistral. Le laboratoire est un support à l'enseignement des sciences qui est très populaire. Par conséquent, notre recherche exploitera la dissection sur le réel et une alternative qui gagne en popularité, la dissection virtuelle interactive. Contrairement aux vidéos et aux

modèles réduits, la dissection virtuelle s'est avérée très attrayante pour les participants puisqu'elle était interactive.

Notre démarche se traduit en sept chapitres parmi lesquels nous présentons la problématique ayant servi de leitmotiv à cette étude. La recension des écrits a alimenté notre travail et s'expose au second chapitre, le cadre de référence. Notre démarche complète incluant la fabrication des outils pédagogiques, le nombre et la qualité des participants, le déroulement ainsi que le processus de collecte de données est transmise au troisième chapitre, la méthodologie. Par le quatrième chapitre, collecte et analyse des données, nous dressons un portrait achevé des données recueillies ainsi que l'analyse de ces résultats. Partant de ces informations, nous répondons à nos questions de recherche dans le chapitre 5, l'interprétation. Aussi, le chapitre 6, la discussion, confirme nos objectifs de recherche. Pour terminer, le chapitre 7, la conclusion, propose des applications au niveau de la pédagogie ainsi qu'au niveau de la recherche en éducation.

La problématique

Chapitre 1 PROBLÉMATIQUE

Cette recherche se situe dans un contexte de didactique des sciences en troisième secondaire, dans une école publique du Québec. Afin de cerner les éléments constituant une problématique, nous situerons cette étude dans la continuité de mes quinze années d'expérience de travail en tant que biologiste médicale suivies de 19 autres années d'enseignement en sciences au secondaire. La problématique origine de mes années d'assistance de recherche spécialisée dans les expériences *in vivo*, en industrie pharmaceutique, et d'une pratique pédagogique vécue dans le contexte actuel de l'enseignement au secondaire, spécialement en sciences et technologies III. La dissection devrait engager l'apprenant vers un déséquilibre de ses modèles mentaux afin de les réorganiser. Nous cherchons donc l'empreinte d'un apprentissage conséquent à une dissection sur le réel et nous comparerons les données obtenues par une dissection virtuelle interactive pressentie comme alternative à la vivisection.

L'enseignement de la biologie incite l'élève à respecter la vie, alors l'utilisation de matériel vivant est-il indispensable pour l'apprentissage de phénomènes biologiques ? Les élèves dissèquent des cœurs de bœuf comme analogie au cœur humain pour transposer ses nouvelles connaissances vers le phénomène de la circulation sanguine humaine. Le leitmotiv de cette étude concerne les modèles mentaux qui sont des représentations construites et transformées en réaction aux découvertes personnelles. L'apprenant semble posséder une auto-organisation créatrice de continuelles nouveautés.

En fait, chaque modèle conserve l'acquis du précédent en y ajoutant une propriété ou un pouvoir nouveau ou bien en réorganisant le modèle (Andersen & Nersessian, 2000; Bednar & Sweeder, 2005; Gentner, 2001; Nersessian & Chandrasekharan, 2009; Piaget, 1977; Ram, Nersessian, & Keil, 1997; Vosniadou, 2007d).

Pour bien observer l'apprentissage de la circulation sanguine et le rôle essentiel du cœur, il faut considérer les « idées préconçues » qu'ont les adolescents sur ce sujet. Tenant pour acquis que les conceptions préalables sont la base d'une réorganisation d'un modèle mental, nous canalisons cette recherche sur ces derniers concepts (Cano, 2005; Dutant, 2009; Holschuh, 2006; Lodewyk, 2007). La problématique de la recherche se situe au cœur du processus de catégorisation et de l'organisation des concepts en modèles mentaux constamment réajustés. En accord avec les travaux sur la catégorisation, nous tenterons de faire la lumière sur les représentations formées par les participants par rapport à la circulation sanguine et particulièrement en rapport au cœur qui pompe le sang dans son trajet. Notre recherche examinera les « idées préconçues » sur le vivant et sur sa manipulation, ainsi que les illustrations de la circulation sanguine avant et après l'expérimentation. Nous analyserons les modèles mentaux qu'un élève se crée en disséquant un cœur de bœuf, anatomiquement semblable à celui de l'homme, comparé aux modèles produits par une dissection virtuelle interactive représentant les mêmes images et les mêmes étapes qu'une dissection sur le réel.

Les publications de Chi, Slotta et Leeuw (1994), de Chi (2008) puis de Rapee (2012) suggèrent que les conceptions préétablies servent d'ancrage aux modèles mentaux. Ces notions peuvent être réalistes ou erronées. Dans les deux cas, il doit y avoir un processus de catégorisation et d'organisation des concepts amorçant ainsi une restructuration des schémas déjà installés. Chi a dénoncé l'intervention de modèle mental erroné, d'erreur de catégorisation et «d'idées préconçues» d'origine socio-familiale et même d'origine scolaire, pouvant inhiber un apprentissage. De plus, ces problèmes sont particulièrement pertinents dans le cas de l'apprentissage des sciences. Les élèves se présentent parfois dans la salle de classe avec des croyances disparates sur les notions scientifiques prônées par le système scolaire et par les enseignants. Les recherches récentes analysent le changement conceptuel, les mécanismes de catégorisation des concepts, les réarrangements de ces derniers et les processus qui facilitent ces changements. Nous tiendrons compte de ces notions dans l'évaluation de la captation d'information sur la circulation sanguine lors de notre recherche puisque ces « idées préconçues » sont l'ancrage essentiel aux nouveaux concepts.

Cano (2005) rappelle que la science scolaire ne doit pas empêcher le raisonnement. Quelqu'un peut avoir un aperçu qui apparaît erronée et détenir une nouvelle théorie. Il alloue aux croyances le potentiel de modification au cours de son éducation. Ces croyances collaborent à l'organisation des réseaux de concepts. De sorte que les croyances personnelles envers les sciences commandent un grand intérêt dans cette recherche. Toujours selon Cano, elles sont des convictions acquises culturellement ou

socialement et elles paraissent être des certitudes irréfutables, logiques et qui s'appliquent dans tous les cas. Ces travaux sur les «idées préconçues» seront présentés dans notre cadre conceptuel.

Pour la compréhension de notre recherche, nous définissons un modèle mental comme étant une représentation permettant de simuler mentalement le déroulement d'un phénomène pour anticiper les résultats d'une action. De sorte que, les concepts nouvellement acquis sont catégorisés et regroupés, selon leurs attributs ontologiques, formant des réseaux en constant réaménagement. Cette structure mentale amorce des conflits cognitifs, induits par la confrontation entre les croyances épistémiques et les phénomènes observés en expérimentation, qui aboutissent à cette réorganisation (Clément, 2008; Giordan, 2002; Martinand, 2002; Nersessian & Chandrasekharan, 2009; Toussaint, 2002; Trudel, Parent, & Métioui, 2009; Vergnaud, 2009). La vérification des modèles mentaux sur la circulation sanguine participe à la réalisation de notre premier but. Puis la mise en action des apprenants afin qu'ils expérimentent ces concepts par une dissection virtuelle interactive et par une dissection sur un cœur de bœuf nous confirmeraient notre hypothèse. En conséquence, l'analyse des modèles mentaux après expérimentation seront-ils modifiés? Est-ce que les deux sortes de dissection s'équivalent en regard à l'apprentissage de la circulation sanguine?

Chi (2008) et Machery (2004, 2009a) confirment que le modèle mental se forme à partir «d'idées préconçues», après catégorisation des concepts. Par ces catégories qui sont

personnelles à chaque apprenant, ce dernier élabore et reconstruit constamment ses modèles mentaux. Entre autres, nous distinguons intuitivement les propriétés que possèdent un objet et la catégorie à laquelle il appartient. Quelle que soit la manière dont cette distinction est théoriquement développée et quelle que soit sa valeur ultime, elle est de nature ontologique. On distingue alors deux capacités cognitives: les propriétés et les catégories. L'attribution de propriétés a pour fonction de produire le jugement ou la pensée que l'objet possède tandis que la catégorisation a pour fonction de produire le jugement ou la pensée que l'objet appartient à telle ou telle classe. Cette théorie caractérise les modèles mentaux et les processus cognitifs censés réaliser la catégorisation mais elle en dit peu sur la capacité d'attribuer les propriétés. Ces travaux, toutefois, ont inspiré notre analyse des modèles mentaux des participants. Ils présentent l'organisation des concepts en comparaison à des arbres dont le tronc est l'attribut commun à toutes les branches qui le composent. Par exemple, un tronc commun pourrait être LE VIVANT avec des branches principales: ANIMAUX, VÉGÉTAUX, HUMAINS. De ces divisions suivront des branches en sous-catégories et ainsi de suite. Il apparaît que l'apprenant agence des hiérarchies distinctes des modèles enseignés en classe de science. Les catégories entre divers arbres sont appelées «ontologiques» puisqu'elles ne partagent jamais d'attributs communs et elles possèdent des caractéristiques qui leur sont propres. Les travaux sur la catégorisation, nous éclairant sur la compréhension de l'apprentissage, ont été retenus dans le cadre de notre recherche (M. Chi, 2008; Gadgil, Nokes-Malach, & Chi, 2012; Machery, 2004, 2009a, 2009b).

Le leitmotiv demeure l'observation des représentations de la circulation sanguine conséquentes à une dissection. Alors, les participants devaient compléter un questionnaire épistémique, faire une dissection sur le réel et une autre virtuelle interactive. Notre questionnaire avait pour but de faire ressortir les «idées préconçues» des élèves en regard à la circulation sanguine mais aussi face à la définition et à la manipulation du vivant. Nous obtenions, par conséquent, une première empreinte qui a servi de comparaison avec les dessins subséquents aux deux types de dissection. Le présent chapitre présente l'importance que nous accordons à cette recherche, nos questions de recherches et nos objectifs.

1.1 L'importance de la recherche

La connaissance des représentations des modèles mentaux conséquentes à une dissection, enrichiront les approches pédagogiques. Et l'utilisation d'une dissection virtuelle interactive aussi instructive qu'une dissection sur le réel, permettra l'utilisation de technologie informatique, respectant ainsi le matériel biologique. Notre recherche tend à observer l'acquisition de connaissances sur la circulation sanguine. L'émergence des représentations des modèles mentaux conséquentes à deux types de dissection, devrait nous éclairer sur l'apprentissage de la circulation sanguine.

Dans un premier temps, il est essentiel de rendre explicites, chez les élèves, les modèles mentaux, de la circulation sanguine, afin de provoquer leurs reconstructions. Puisque

des générations de chercheurs et de penseurs ont tenté d'en venir à un consensus sur le rôle du cœur et du voyage du sang à travers le corps, nous nous attendons à des critères imprécis d'élèves du secondaire sur la notion de transport du sang. Ce mandat leur est tout aussi difficile considérant qu'ils ont peu ou pas de notions préalables sur le sujet (Chung Lee, 2004; Coquidé, 2000; Hasni, 2010; Hoover & Pelaez, 2008; Inagaki & Hatano, 2008; Van Eijck, Goedhart, & Ellermeijer, 2004).

Deuxièmement, notre société est en constant changement et les adolescents actuels développent une culture numérique non négligeable. Il est essentiel qu'ils développent des connaissances scientifiques de base, que ce soit pour mieux s'intégrer à une société de plus en plus dominée par les sciences et les technologies ou de poursuivre des études dans un domaine scientifique, technique ou autre. Aussi, la dissection sur le réel suscitant des problèmes d'éthique et que les restrictions budgétaires limitent le nombre de ces activités coûteuses, l'utilisation d'une dissection virtuelle interactive serait bienvenue. En conséquence, il faut enquêter plus profondément sur la simulation servant d'outil pédagogique (Barak, 2010; Barak, Ashkar, & Dori, 2011; Bekele, 2010; Bernet, 2010; Berry, 2011; Birol, Bekirogullari, Etc, & Dagli, 2009; Brassard & Daele, 2003; Coquidé & LeMaréchal, 2008; Digregorio & Sobel-Lojeski, 2010; Dresel & Haugwitz, 2008; Kershner, Mercer, & Warwick, 2010; Northcote, Mildenhall, Marshall, & Swan, 2010; O'Bannon, Puckett, & Rakes, 2006; Otta & Tavella, 2010; Thibert, 2012; Trudel et al., 2009; Vergnaud, 2009). Cependant, les vidéos interactives proposées sur le marché sont des dissections de grenouilles pour la plupart. Ceux qui travaillent sur

des cœurs réels sont en anglais ou sont des dessins animés. Nous avons préféré monter notre propre matériel, en tout points semblables à la dissection sur le réel.

1.2 Questions de recherche

Coquidé (2007; 2008; 2011) indique que la biologie s'apprend par l'expérimentation, par conséquent, plusieurs activités y participent. Parmi celles-ci, il existe la dissection d'un cœur de bœuf permettant d'assimiler la relation entre le cœur et le passage du sang à travers l'organisme humain. Comme la manipulation de cœur humain est interdite au secondaire, nous avons proposé un cœur de bœuf qui lui ressemble beaucoup sur le plan anatomique.

D'abord, il nous faut aborder la problématique du modèle mental en faisant l'analyse de la découverte de la circulation sanguine après une dissection sur un vrai cœur de bœuf comparée une dissection virtuelle. La forme conceptuelle du modèle mental correspondra aux dessins des élèves. Nous tenterons de valider le changement conceptuel élaboré par l'apprenant pour se reconstruire un modèle mental. D'où, les questions principales de recherche qui ont composé l'outil de vérification et de mesure dans cette étude et qui s'articulent de cette façon:

- 1) « Quels sont les représentations des modèles mentaux des élèves du secondaire en rapport avec le vivant et sa manipulation? »
- 2) « Est-ce que les représentations des modèles mentaux des élèves du secondaire seront réorganisées à la suite d'une dissection, induisant ainsi l'apprentissage de la circulation sanguine? »
- 3) « S'il existe un apprentissage conséquent aux deux types de dissection, est-ce que la dissection virtuelle interactive servirait d'alternative à la dissection sur le vivant? »

Ces interrogations nous portent à préciser les objectifs qui suivent:

-Cette recherche tend à valider les travaux de Coquidé (2000;2002;2007;2008;2011) selon lesquels l'acquisition de notions scientifiques passe par l'expérimentation.

-Cette recherche permet d'observer la part des «idées préconçues» dans la réorganisation de modèle mental.

-Cette recherche conduit à vérifier, même partiellement, les théories de Chi sur la catégorisation.

-Cette recherche peut offrir certaines recommandations en rapport à la dissection.

Le cadre de référence

Chapitre 2 CADRE DE RÉFÉRENCE

Ce chapitre se divise en trois sections: le vivant, le modèle mental et les technologies informatiques au service de l'enseignement individuel.

Au secondaire, l'enseignement de la circulation sanguine passe par la compréhension de l'anatomie du cœur. L'observation d'un cœur avec ses cavités et ses valves de non retour permet de déduire la circulation sanguine à sens unique à l'intérieur de celui-ci. L'apprenant peut aussi réfléchir sur la distribution du sang vers les poumons pour revenir au cœur et être propulsé vers la grande circulation et vers les artères coronaires. La manipulation du vivant demande un engagement de la part de l'élève. Ses idées sur le vivant peuvent être un obstacle tout autant qu'une motivation. Il est donc impératif de nous pencher sur le concept du vivant analysé préalablement. Selon Machery (2004, 2009a, 2009b) et Chi, Slotta et Leeuw (1994) et Chi (2008), les attributs accordés à une notion varient d'un individu à l'autre. C'est sans doute pourquoi les critères définissant le vivant ne montrent pas d'unanimité entre les professionnels. Il serait alors intéressant de les confronter aux attributs donnés par des élèves de troisième secondaire. Nous présenterons les principales écoles de pensée sur la définition du vivant et sur la didactique de celle-ci. Ensuite, nous présenterons l'évolution de la définition du trajet du sang et de sa figurabilité afin de cerner les concepts ancrés chez un adolescent d'aujourd'hui. Nous portons par conséquent une attention particulière aux critères

avancés dans les écoles de pensée pour corroborer nos critères d'analyse du questionnaire.

Comme deuxième partie, nous présentons une reddition des écrits sur les modèles mentaux, au centre de notre recherche. Ce sont les réorganisations de ces modèles qui nous permettront d'observer un apprentissage (Nersessian & Chandrasekharan, 2009; Vosniadou, 2007b, 2008). Un modèle mental est construit à partir de concepts catégorisés et organiser selon un réseau propre à chaque apprenant (M. Chi, 2008). Les croyances épistémiques de ces derniers influencent cette réorganisation, elles peuvent même l'empêcher (Vosniadou, 2008). C'est pourquoi nous présentons les concepts, la catégorisation et les croyances épistémiques. Pour terminer ce chapitre, il est essentiel de parler de la métaphore dans l'apprentissage puisque nous expérimentons sur un cœur de bœuf pour faire comprendre la circulation sanguine humaine. Le transfert d'un modèle mental adapté à une situation similaire permet parfois l'acquisition de connaissances scientifiques (Gentner & Wolff, 2000). Nous expliquons pourquoi la métaphore nous a été une alliée importante. Nous terminons en parlant spécifiquement des modèles mentaux de phénomènes scientifiques qui sont plus près du propos de notre recherche.

Nous terminons le chapitre avec des informations pertinentes tant qu'à l'intégration des technologies informatiques, permettant l'apprentissage individuel (Barak, 2010). Notre but n'était pas d'analyser l'efficacité du numérique lors d'une dissection mais de

comparer un apprentissage conséquent à deux formes de dissections. Nous avons choisi la dissection virtuelle interactive puisque nous sommes à l'ère de l'informatique et que la dissection virtuelle interactive était conviviale pour des élèves du secondaire.

2.1 Le vivant

Les opinions d'élèves du secondaire par rapport au vivant sont fortement influencées par leur famille, leur environnement social et par l'école (Giordan, 2010; Samson, 2002; Toussaint, 2002). À travers les siècles, il en a été de même pour les penseurs qui cherchaient à expliquer la vie et le vivant. En survolant les écrits sur le sujet, nous analyserons mieux les critères avancés par les participants.

2.1.a L'origine du concept de vivant

Canguilhem (1952, 1977), Rolland et Marzin (1996) proposent quatre conceptions qui se succèdent chronologiquement, de l'Antiquité à nos jours:

- A) L'animisme et le vitalisme
- B) La vie comme mécanisme
- C) La vie comme organisation
- D) La vie comme information

L'animisme et le vitalisme

Jusqu'à la fin du XVIII^e siècle, on ne distingue pas nettement le vivant et le non-vivant: on passe progressivement du minéral au végétal et du végétal à l'animal. Pour Aristote (384-322 avant J.-C.)(cité par Canguilhem, 1977; Rolland & Marzin, 1996), les êtres vivants ont une âme inséparable du corps et dotée de trois facultés. Il distingue:

- l'âme nutritive dont dépendent la subsistance, la croissance et la reproduction. L'âme nutritive caractérise tous les êtres vivants, animaux et végétaux ;
- l'âme sensitive dont dépendent la sensibilité et la motricité, et qui caractérise les animaux ;
- l'âme pensante, propre à l'humain.

Selon l'animisme, plus tard avec le vitalisme, un être vivant possède une âme. L'âme aristotélicienne est à la fois forme et principe moteur. La forme signifie que l'âme met en forme la matière. Au XX^e siècle, on parlerait de programme génétique. Quant au principe moteur, il signifie que l'âme anime la matière. Ce principe moteur confère à l'être vivant une autonomie par rapport à Dieu qui est le « premier moteur » selon Aristote (cité par Rolland & Marzin, 1996).

L'animisme a régné de l'Antiquité au XVII^e siècle, puis il a resurgi au XVIII^e, et surtout au XIX^e siècle avec le vitalisme. Pour ce vitalisme, la vie n'est plus inhérente à la possession d'une âme, mais à l'existence d'une force vitale. Les vitalistes sont à la recherche d'un principe vital distinct de l'âme servant de qualité particulière de la

matière constituant les êtres vivants. Le vitalisme du XVIII^e siècle répond au besoin de réagir contre le mécanisme cartésien et ses excès, en particulier au besoin de valoriser le vivant mis à mal par ce dernier. Pour les vitalistes, le vivant possède deux principales caractéristiques:

- il est corruptible, soumis à des forces destructrices, assujetti à la mort ;
- il résiste à ces forces, il se conserve en vie.

En 1800, Bichat² (cité par Rolland & Marzin, 1996) définit la vie en tant qu'ensemble des fonctions qui résistent à la mort. Le Tableau 1 présente un résumé des attributs reconnus dans les modèles animiste et vitaliste.

Tableau 1

Les attributs du vivant selon les modèles animiste et vitaliste

Modèle animiste	Modèle vitaliste
Le souffle vital, l'existence d'une forme potentielle, le mouvement, la faculté de se nourrir.	La sensibilité qui permet la vie de relation (animaux), la pensée, l'intellect (homme), l'assujettissement à la mort, la résistance à la mort*, le caractère transitoire de la vie, la variabilité, l'imprévisibilité, le contrôle de la volonté*.

* Ces attributs semblent renforcés dans ce modèle.

² Bichat (1771-1802) est le fondateur de l'histologie. Rénovateur de l'anatomie pathologique, Bichat étudie, à travers l'autopsie et l'expérimentation physiologique, le rôle des tissus comme unités anatomiques fondamentales pour l'explication des propriétés physiologiques et des modifications pathologiques de l'organisme.

Piaget (1977), pour sa part, parlait d'organismes vivants se distinguant par leur susceptibilité à se reproduire en conservant un programme héréditaire, mais aussi par leur potentiel à s'isoler par rapports aux systèmes environnants et déplaçables d'un milieu à un autre sans changer leur programmation. Il en ressort un critère renforcé dans le modèle vitaliste, celui du mouvement volontaire. L'homme s'érige en être vivant supérieur aux autres puisqu'il contrôle sa volonté.

La vie comme mécanisme

Dans ce modèle explicité par Descartes (1596-1650)(cité par Rolland & Marzin, 1996), l'être vivant est comparé à une machine, un automate mécanique, sans que rien ne soit dit sur l'origine de son fonctionnement. Pour concevoir le mécanisme cartésien, il faut évoquer le contexte de l'époque. D'abord, en 1628, Harvey (cité par Rolland & Marzin, 1996) publie ses découvertes sur la trajectoire sanguine et sur le fonctionnement du cœur. Il établit une analogie entre le fonctionnement du cœur et celui d'une pompe. Il est à l'origine du modèle qui représente l'organisme semblable à une machine hydraulique. En conséquence, on peut établir un parallèle entre le mécanisme de Descartes et la mécanique de son contemporain Galilée (cité par Rolland & Marzin, 1996): mécanique fondée sur le principe d'inertie. Pour Descartes, Dieu n'intervient plus après la première impulsion donnée au monde et tout fonctionne mécaniquement, sans finalité, à partir de cette première impulsion. Alors que pour Aristote, Dieu intervient constamment. Il est le premier moteur, les êtres vivants jouissant d'une certaine

autonomie grâce à leur âme. Toujours selon Descartes, l'animal-machine cartésien est un automate dont le moteur n'est pas une âme, mais la chaleur d'un feu qui brûle dans son cœur. L'âme n'est plus que l'âme pensante qui siège dans le cerveau. Il en découle que la biologie cartésienne ignore le règne végétal et s'intéresse surtout à l'homme, les animaux paraissent dépourvus d'âme. La dualité entre l'âme et le corps, entre la matière et la pensée, crée une rupture entre l'homme et les autres êtres non vivants parce qu'ils sont sans âme. Le mécanisme apparaît être une conception non finaliste qui engage une négation de la spécificité des êtres vivants et un refus de définir la vie. Quant à Canguilhem (1952, 1977), il désigne l'horloge pour expliquer le modèle analogique de l'animal-machine, selon Descartes. Ayant une chronologie établie et surtout un moteur régulier qui lui donne son mouvement.

C'est pourquoi, les critères utilisés pour élaborer notre questionnaire découlent de la possession d'organes ayant une fonction et du fonctionnement automatique, le mouvement.

La vie comme organisation

Dans cette conception de la vie identique à une organisation, ce qui caractérise le vivant, c'est l'ordre. La notion d'organisation va permettre de passer des trois règnes: minéral, végétal, animal, à deux groupes: le non-vivant ou inorganique et le vivant ou organique

(c'est-à-dire organisé). En outre, dès le XVIII^e siècle, la notion d'organisation est liée à deux autres, très actuelles:

- la notion de composition élémentaire des êtres vivants. On pense à la théorie cellulaire qui sera introduite au XIX^e siècle et qui rend la cellule l'unité élémentaire du vivant ;
- la notion d'une mémoire nécessaire pour guider l'assemblage des parties primitives.

On connaît l'importance donnée à la génétique. Il est impossible de parler de l'organisation sans évoquer Lamarck³. Lamarck ne cède pas au vitalisme dominant qui s'imprègne, au XVIII^e siècle et au XIX^e siècle (cité par Rolland & Marzin, 1996). Pour lui, la vie n'est pas due à un principe vital lié à la matière constitutive des êtres vivants, elle est causée par l'organisation de la matière. Lamarck a introduit en biologie une notion fondamentale: la notion de temps, qui rendra concevable celle d'évolution développée un peu plus tard par Darwin.

La théorie de l'organisation fonctionnerait dans un cadre dominant mécaniste où le vivant suit les mêmes lois physico-chimiques que le non-vivant, avec quelquefois des résurgences plus ou moins avouées du vitalisme.

Dans cette conception de la vie, l'organisme devient une unité fonctionnelle constituée d'un ensemble de parties interdépendantes (organes) qui aspirent toutes à un même but général. L'être vivant organisé a une forme et une individualité. Cette conception

³ Lamarck (1744-1829) fut l'inventeur, en 1802, du mot biologie. On reconnaît aussi la paternité de ce mot à l'allemand Tréviranus (1776-1837).

suppose une organisation de la matière, un ordre, une mémoire de cette organisation, des unités vivantes élémentaires ainsi que l'interdépendance des parties.

Notons que Miller (1978) décrit le vivant selon des critères distribués sur sept échelons hiérarchiques. Chacun dépend du palier sous-jacent. Les cellules, formées de molécules non vivantes, s'assemblent en tissus qui sont vivants. Ces tissus s'organisent en organes constituant eux-mêmes un système tel le système digestif. Les systèmes forment un organisme, un chien par exemple. Les organismes s'assemblent en groupes qui s'uniront en organisation. Les organisations forment des sociétés. Le supranational les regroupe toutes. Plus les catégories visent le sommet de la hiérarchie, plus elles se complexifient. Chaque palier requiert l'énergie vitale qui permet son existence. Or, les intrants tels la nourriture et l'oxygène, sont essentiels à leur existence. Ces intrants sont exploités différemment selon les besoins. Par exemple, la régénérescence des structures, la reproduction, la fabrication de produits et le maintien des activités primordiales à la survie. Ce modèle de Miller présente la symbiose essentielle entre tous les vivants permettant les critères du modèle de vie selon une organisation: la variation, l'adaptation à l'environnement, l'évolution et la complexification de l'organisation. Selon Miller, les systèmes vivants développent la coordination, le contrôle et la maîtrise de leurs actes grâce à cette hiérarchie. Nous avons retenu les critères de vie dans la conception de la vie selon une organisation. Le Tableau 2 présente un résumé des attributs reconnus dans le modèle de vie comme organisation.

Tableau 2

Les attributs du vivant selon la vie comme organisation

La vie comme organisation	
La nutrition et l'assimilation, la présence de compartiments liquides, la croissance, l'autoconservation, la reproduction, la sensibilité (permettant la vie de relation)	le mouvement, la naissance et la mort, la dimension temporelle qui permet la variation, l'adaptation au milieu, l'évolution et la complexification de l'organisation.

La vie comme information

Le passage de l'organisation à l'information s'effectue dans une certaine continuité: ce qui caractérise le vivant dans la première conception, c'est son organisation, un ordre qu'on retrouve sous la forme d'un certain degré d'information dans cette deuxième conception. Ce qui en ressort est le concept d'énergie remplacé ici par celui de force vitale. Selon cette école de pensée, l'être vivant est un système ouvert qui échange avec l'extérieur de la matière, de l'information et de l'énergie de manière à maintenir une faible entropie. De cette manière, il assure son autoconservation. Selon le premier principe de la thermodynamique, dans un système fermé, la quantité totale d'énergie reste constante en accord avec la loi de la conservation de l'énergie. Selon le principe de

Carnot⁴: « Dans un système fermé, la qualité de l'énergie se dégrade de façon irréversible sous forme de chaleur irrécupérable. L'entropie est cet accroissement irréversible d'énergie indisponible (Rolland & Marzin, 1996). »

Selon la vie découlant d'informations, l'être vivant est pourvu d'une limite qui définit les interactions entre lui et son milieu extérieur. Il a un environnement extérieur et un autre intérieur qu'il maintient constant par autorégulation. L'être vivant est doué d'homéostasie: c'est la faculté d'assurer son autorégulation, faculté qui lui confère une autonomie par rapport à l'entourage extérieur. Conséquemment, si l'être vivant s'écarte de certaines normes (température, pH), il n'est plus adapté et il perd son autonomie par rapport à son milieu. Ainsi, l'homéostasie suppose l'existence d'un réseau de communication nerveuse ou hormonale. L'information circule entre les cellules et maintient la vie.

En plus, une caractéristique du vivant est l'autoreproduction rendue possible par l'information qu'il contient, en particulier dans la molécule d'ADN. Roland et Marzin (1996) expliquent que l'entropie correspond à la fois à la baisse de l'information et de l'énergie disponible. La relation entre un désordre et une probabilité est la mort. La mort correspond à l'entropie maximale et au désordre maximal en même temps. Si l'on bat des cartes préalablement ordonnées, on a toutes les chances de les faire passer de

⁴ Sadi Carnot en 1824 publie son unique ouvrage *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* et permet d'ouvrir la voie à la formulation du second principe de la thermodynamique.

l'ordre au désordre. Or l'ordre et le haut stade d'information qui règnent dans une molécule d'ADN sont hautement improbables. De là à considérer l'organisme vivant selon un message codé, le pas fut franchi en 1954 par Norbert Wiener⁵ (cité par Rolland & Marzin, 1996). Néanmoins, la vie aurait émergé à partir d'un certain seuil de complexité moléculaire. Par exemple, la fabrication d'une membrane cellulaire se crée grâce à la production de molécules qui nécessitent la présence même d'une membrane cellulaire. Il apparaît alors une spécification mutuelle des transformations chimiques et des frontières physiques. Du point de vue de la biochimie ou de la biologie moléculaire, on peut trouver une continuité, une gradation progressive entre l'inanimé et le vivant. D'ailleurs, l'un et l'autre sont régis par les mêmes lois physico-chimiques. Par conséquent, dans cette optique, la notion de vie disparaît, alors que la notion d'émergence suppose une rupture entre le physico-chimique et le biologique. Ce saut qualitatif renforce le concept de discontinuité entre vivant et non-vivant: la vie suit la loi du tout ou rien et la notion de vie se trouve renforcée. Le Tableau 3 présente un résumé des attributs reconnus dans le modèle de vie comme information.

⁵ Norbert Wiener est le père de la cybernétique : discipline qui étudie les régulations et la communication chez les êtres vivants et chez les machines construites par l'homme.

Tableau 3

Les attributs du vivant selon la vie comme information

La vie comme information	
L'ordre émergeant du désordre, l'autocréation et l'auto-organisation, l'autoconservation, l'autoreproduction par la mise en mémoire de l'information, l'unité, l'imprévisibilité,	l'existence d'une limite qui permet : <ul style="list-style-type: none"> ○ l'individualité, ○ les interactions avec le milieu extérieur, ○ l'autonomie par rapport au milieu, l'irréversibilité (temps irréversible et limité).

La vie selon les conceptions contemporaines

Les écoles de pensée décrites précédemment donnaient des attributs distincts selon leur conviction mais les travaux plus contemporains tendent à regrouper ces qualificatifs et s'accorder selon leur champ d'intérêt. Morange (2007) suggère de trouver une caractéristique propre au vivant. Il nous montre que ces tentatives de caractérisation échouent souvent dans les explications inverses du monde inorganique. De ce fait, une roche, matière inorganique, est incapable de se déplacer seule mais il en est de même de l'arbre qui, lui, est organique. Alors, Morange précise que cette conception de la vie s'associera plus ou moins étroitement avec une vision chimique et thermodynamique. Ce qui caractérise le vivant est la réunion unique de toutes les caractéristiques dans un même objet. Il en vient à dire que la réplication des molécules d'ADN sera considérée

comme la première étape ayant conduit insensiblement à la reproduction des premiers objets méritant le nom d'êtres autonomes avec tous les attributs du vivant.

Consécutivement, Dell'Angelo (2008) a tenté un tableau récapitulatif actuel des conceptions du vivant. Ces concepts sont fortement influencés par le champ d'intérêt du penseur. De fait, un professeur chargé des enseignements relatifs au vivant développe des connaissances en zoologie (qui distingue des espèces par leurs caractéristiques anatomiques et morphologiques), en physiologie (qui étudie les fonctions communes aux vivants : nutrition, reproduction...), en génétique (qui étudie l'expression, la conservation, la transformation des gènes), en biochimie (qui étudie les molécules du vivant), en embryologie (qui étudie les mécanismes du développement depuis l'ovule), en écologie (qui étudie l'influence du milieu et les relations entre les vivants), et en paléontologie (qui étudie les traces de vivants au cours des temps géologiques, leur continuité et leurs transformations) et en géologie (qui étudie la façon dont les environnements se sont transformés avec le temps). Cette énumération permet de pointer:

- les différences de dimension dans l'objet d'étude: de la molécule chimique en passant par l'organe et l'individu ;
- les différences d'approches : chimique, descriptive, médicale, individuelle ;
- les différences de temps : géologique, humain, cellulaire.

Cette variété d'angles d'étude, s'accompagne d'une diversité encore accrue de spécialités à l'échelle universitaire et explique sans doute la coexistence de définitions multiples du vivant. Par exemple, le biochimiste présentera la matière organique spécifique à tout organisme vivant tandis que le physiologiste insistera sur les grandes fonctions de respiration, de digestion et de reproduction.

Pour terminer, Orange-Ravachol (2007) a indiqué que le regroupement des êtres vivants sous des classes oblige l'émergence de critères communs dans une même catégorie. Les classifications de l'époque classique, par exemple celles de Linné⁶ (cité par Orange-Ravachol, 2007) sont construites dans un cadre théorique de fixité des espèces. A partir de la moitié du XIX^e siècle, la diffusion de la théorie de l'évolution des espèces de Charles Darwin⁷ (cité par Orange-Ravachol, 2007) entraîne leur renouvellement. Mais, que l'on raisonne en termes de fixité ou d'évolution des espèces, les classifications s'inscrivent toujours dans une problématique de biodiversité et sous-tendent toujours une image d'unité du monde vivant. Linné recherchait l'ordre intrinsèque de la nature, un ordre divin où l'espèce humaine faisait figure de créature parfaite. Les classifications évolutionnistes tentent de rendre compte des parentés évolutives entre les espèces, qu'elles soient actuelles ou passées. Les classifications phylogénétiques proposées par les scientifiques actuels ont toujours pour but d'expliquer l'unité et la variabilité du

⁶ Le botaniste suédois Carl Von Linné (1707-1778) fut l'initiateur que la classification scientifique traditionnelle en essayant de l'appliquer à tous les êtres vivants.

⁷ Le naturaliste anglais Charles Darwin (1809-1882) a formulé l'hypothèse selon laquelle toutes les espèces vivantes ont évolué au cours du temps à partir d'un seul ou de quelques ancêtres communs grâce au processus connu sous le nom, encore utilisé, de « sélection naturelle ».

monde vivant, et leur construction s'effectue dans un contexte évolutionniste. L'intelligence du monde vivant, qu'elles donnent à voir, peut être comparée à un arbre généalogique présentant plus des cousinages relatifs entre les espèces actuelles et passées que des filiations telles qu'envisagées précédemment. C'est le « qui est plus proche de qui? » qui est pris en compte et non le « qui descend de qui? ». De ce fait, les chercheurs s'intéressent aux attributs des êtres vivants et considèrent de la même manière les espèces actuelles et les espèces fossiles. Selon Miller(1978), les systèmes vivants sont ouverts, organisés, portant des caractéristiques particulières de la vie et interagissant avec leur environnement. Cela a lieu au moyen d'échanges d'information et de la matière-énergie. Dans l'analogie à l'arbre généalogique, les cousins peuvent se prémunir de ses attributs autant que les descendants directs.

Quoiqu' Orange-Ravachol (2007) avance que les critères de classification sont portés à la manière d'étiquettes par les êtres vivants, leur détermination participe à leur classification. Par exemple, l'état d'avoir des poils ne prend un sens cohérent qu'au sein des Vertébrés. Mais plusieurs Vertébrés n'ont pas de poils. Ce n'est pas un critère exclusif. Les critères de classification ont fondamentalement une double fonction. Ils groupent les individus ou les espèces et, par conséquent, ils isolent ce groupe des autres groupes. En conséquence, il en découle que tout individu ou toute espèce trouve une place dans une catégorie inclusive sans qu'aucun ne se loge dans plusieurs catégories exclusives. La diversité du vivant rend la classification presque impossible. Mais nous savons que la mise en ordre des êtres vivants participe à la fois de l'activité scientifique

et de l'expérience quotidienne. Ainsi, Foucault (cité par Orange-Ravachol, 2007) écrit que quelles que soient les époques, les classifications ont toujours pour fin de déterminer le caractère qui groupe les individus et les espèces dans des unités plus générales, qui distingue ces unités les unes des autres et qui leur permet enfin de s'emboîter de manière à former un tableau où tous les individus et tous les groupes, connus ou inconnus, pourront trouver leur place. C'est dire l'importance, pour le scientifique, de la détermination de caractères ou de critères de classification pertinents, construits pour répondre à un problème de variabilité et d'unité du monde vivant. Les caractères ou les critères retenus par les chercheurs ne sont pas portés de manière claire par les êtres vivants. Ce ne sont pas des caractères pris au hasard, mais selon une certaine valeur de nécessité. De ce fait, la pertinence paraît être le point d'honneur à tous les scientifiques qui se demandent pourquoi il est possible de choisir ce critère et pourquoi il est impossible que tel autre soit retenu.

C'est la raison pour laquelle nous disons qu'il n'y a pas de définition du vivant qui fassent l'unanimité présentement. Les réponses à notre questionnaire épistémologique seront probablement réparties parmi ces modèles. Considérant les connaissances acquises des participants et leur méthode de catégorisation des critères du vivant, nous avons bâti un questionnaire qui tenterait de faire ressortir des attributs spécifiques aux écoles de pensée.

2.1.b L'origine du concept de la circulation sanguine

Notre recherche enquête sur le portrait que se forme un élève du secondaire au sujet du déplacement du sang. Nous présentons un survol de l'évolution de cette notion au travers les âges. Dès l'Antiquité, les penseurs et les médecins ont risqué une description de la trajectoire sanguine. Commençons par le traité médical, traduit du chinois, *The yellow emperor's classic of internal medicine*⁸ exposait la course du sang tel un fluide cheminant par des tuyaux et des canaux au travers le corps, par un flot incessant dans une boucle sans fin. Les chinois parlaient du « qi »⁹ (Hoover & Pelaez, 2008). Au IV^e siècle, un médecin grec, De Cos¹⁰ (cité par Lavarde, 1994), parlera de veines et d'artères mais le cœur demeure absent des modèles antiques sur le déplacement du sang. La figurabilité de la trajectoire sanguine a subi plusieurs versions selon les croyances, la culture et la formation scientifique des auteurs. En conséquence, la validation d'un modèle mental sur le voyage du sang dans l'organisme, élaboré sans connaissances préalables, par des adolescents du XXI^e siècle, s'impose d'elle-même.

⁸ The yellow emperor's classic of internal medicine fut écrit par Neijing Suwen en 240 avant J.-C. Neijing ne sépare pas les causes externes du corps des causes internes. Ainsi, l'environnement, selon lui, influence la santé intérieure.

⁹ Le qi, dans un organisme vivant, circulerait à l'intérieur du corps par des méridiens qui se recoupent tous dans le « centre des énergies ».

¹⁰ Praxadoras de Cos, médecin grec vivant durant la 2^e moitié du IV^e siècle av. J.-C., tout comme Aristote, considérait le cœur comme l'organe central de l'intelligence et le siège de la pensée.

L'évolution de l'illustration du vivant

Ainsi, peut-on s'attendre à une image précise de la représentation du modèle mental de circulation sanguine par un élève? Depuis des siècles, les penseurs ont représenté le corps humain par des schémas dessinés à l'aveugle. Étant donné que les dissections étaient interdites, ils devaient se fier à leur intuition et aux manifestations extérieures de cet organisme. Or, la transmission des connaissances sur le corps humain ne semblait se faire que par des planches anatomiques plus ou moins précises. Il est souvent apparu des problèmes de figurabilité de la circulation sanguine. Selon Lavarde (1994), il n'existe aucune illustration datant de la période grecque. Les seuls témoignages de cette époque se retrouvent dans les manuscrits persans ou arabes. Alors, ces premiers modèles sont basés sur les humeurs et l'existence de pneumas. Les croquis débordent de symboles et d'images qui mettent en relation les quatre éléments, les saisons, les âges de la vie et les états d'âmes. De sorte que ce n'est qu'en 340 av. J.-C. qu'une véritable étude anatomique débute. C'est Praxagoras de Cos, qui différencie les veines des artères. Bien qu'il s'y trouve du vrai dans ce graphisme, de Cos présente deux organes ayant la même fonction de transport du sang. La confusion se crée entre l'aspect du vaisseau et le compartiment vasculaire auquel il se trouve rattaché. Galien¹¹ parle de pneuma pour expliquer la respiration. Finalement, les transcriptions de manuscrit en manuscrit ne représentent que des conceptions de pneuma et de sang. Le pneuma se

¹¹ Claude Galien (129-201), médecin grec et l'un des pères de la pharmacie, a réalisé de nombreuses opérations audacieuses, allant jusqu'à aborder la chirurgie du cerveau et des yeux, des domaines qui n'ont ensuite plus fait l'objet d'aucune tentative pendant près de deux millénaires.

montre à la fois gaz et esprit tandis que le sang n'est pas différencié des vaisseaux qui le transportent. Toutefois, dès que la dissection fut tolérée, les schémas se sont améliorés. On y voit un foie, des vaisseaux sanguins, des poumons, un cœur et même un code de couleur. Les explications sont bien imprécises. Toutefois, les auteurs dessinent davantage ce qu'ils s'attendent à trouver plutôt que ce qu'ils observent vraiment. Leurs « idées préconçues » paraissent leur brouiller la vue.

En 1628, Harvey¹² (cité par Lavarde, 1994) a proposé le mécanisme de la circulation sanguine dans le corps humain mais il confond artère, veine et code de couleurs. Il est à noter qu'aucun dessin ne donne de direction à la circulation. Ils sont plutôt des planches anatomiques. Les dessins de l'époque prennent toujours en considération les notions anciennes transmises de savant à savant, soit les notions d'humeurs et de pneuma. Les notions restent irréfutables et bien ancrées. Somme toute, c'est par la découverte de la chaleur interne qu'une modification aux « idées préconçues » s'est imposée. Cette notion a amené une explication nouvelle à la présence de poumons dans la traversée du sang. On reconnaît les poumons en tant que radiateurs. L'interprétation de la respiration sous la forme d'échange calorique permet d'expliquer la différence entre veine et artère. Puis, le code de couleur s'est adapté pour devenir celui que l'on connaît aujourd'hui. Ce code de couleur répond bien à la figurabilité de la température du sang.

¹² La découverte de William Harvey (1578-1657) sur la circulation l'a amené à guérir, par exemple de grosses tumeurs, par la ligature des vaisseaux qui les nourrissaient. Il avait ainsi permis à la médecine d'avancer d'un pas de géant.

En 1867, Claude Bernard¹³ (cité par Canguilhem, 1977), avait signalé la découverte d'un autorégulateur nerveux qui détermine le travail du cœur et la force des résistances qu'il doit vaincre. En 1890, Bernard a reproduit une illustration expliquant la circulation sanguine et son sens unique dans l'organisme. À partir de cette époque, la différence de couleur du sang indique une différence de composition chimique. Le schéma circulatoire correspond dès à présent à la distribution de l'oxygène dans l'organisme. Après Bernard, les auteurs ajoutent les notions de variation de diamètre entre les vaisseaux sanguins transportant le même type de sang. C'est le début des schémas sur la physiologie qui tient compte des mécanismes physiques. De nos jours, dans les manuels et les ouvrages de vulgarisation, l'aspect respiratoire prime sur l'aspect mécanique et le schéma de Bernard est le seul conservé.

En conclusion, selon Lavarde (1994), l'enseignement tiré de cette étude des schémas amène des informations importantes:

- Il est possible de représenter sous forme iconique (figurabilité) des objets abstraits ou non visibles.
- Le dessin s'enrichit de code de couleurs, d'organigrammes pour améliorer les conceptions nouvellement acquises.
- Le schéma représente un aspect dépouillé qui allège le message textuel et donne une vision rapide du propos.

¹³ Claude Bernard (1813-1878) Considéré comme le fondateur de la médecine expérimentale, a laissé son nom au syndrome de Claude Bernard-Horner. On lui doit les importantes notions biologiques de milieu intérieur et d'homéostasie.

-La figurabilité se heurte à la difficulté de réinventer un code ou une notion pour créer un nouveau sens.

-Le décalage entre l'énoncé d'un phénomène et sa figurabilité est considérable étant donné que les découvertes concernent généralement des abstractions.

La figurabilité d'un mécanisme dépend de l'apparition et de l'acceptation de codes suffisamment explicites. N'oublions pas que les scientifiques et les philosophes qui ont tenté, à travers les âges, d'illustrer le voyage du sang à travers le corps humain se sont heurtés à leurs propres croyances. Les opinions bien enracinées sur le rôle du cœur et celui des concepts en rapport à la circulation sanguine semblaient difficiles à synchroniser. Il en est de même pour les apprenants qui doivent accepter d'être déstabilisés (Gentner, 2001). Devant des notions ou des concepts contraires à leurs convictions profondes, acquises antérieurement, les apprenants doivent accepter l'évidence. Il en découle ainsi que leur modèle mental se réorganisent (Nersessian, 1989). Nous souhaitons que ceci se distingue dans les dessins de nos participants afin de bien cerner leurs représentations du modèle mental nouvellement acquis en aboutissement aux deux dissections. Le dessin offrant une autre technique d'analyse de modèle mental, nous avons considéré les travaux décrits précédemment lors de l'analyse des dessins des participants.

2.2 Le modèle mental

Selon Andersen et Nersessian (2000), Barnett et Ceci (2002), Cano (2005), Chi (2008), Clément (2008), Evans (2008), Gadgil, Nokes-Malach et Chi (2012), Gentner (2001), Giordan (1990, 1995, 1998, 1999, 2001, 2002, 2010), Herring (2011), Osbeck et Nersessian (2006), Radvansky, Spieler et Zacks (1993), Ram, Nersessian et Kiel (1997), Rapee (2012), Ravachol et Beorchia (2011), Toussaint (2002) et Vosniadou (2008), lors de l'obtention de connaissances complexes, l'apprenant peut avoir des notions erronées de ce concept selon son expérience de vie. Ses « idées préconçues » entrent en conflit avec les connaissances à apprendre. Pour apprendre à ce stade, un changement conceptuel est requis. Les auteurs ne parlent pas d'acquérir ou de compléter des informations sur un sujet mais de changer les informations acquises. Prenons l'exemple d'un cours sur l'alimentation. Les savoirs antérieurs de l'élève, par exemple sur la nutrition des plantes, deviennent totalement incompatibles avec le message à apprendre puisque, selon eux, il serait impossible de manger sans bouche. L'assimilation immédiate est impossible. Les savoirs en place font obstacle. Partant de fait, un important travail de déconstruction est à réaliser et il devient une étape préalable indispensable. Évidemment, l'apprenant ne se laisse pas facilement déposséder de ses opinions et de ses croyances, qui se révèlent être autant de compétences. Il se présente une gradation dans le changement conceptuel qui part d'une simple accumulation de concepts à une réorganisation totale des réseaux de concepts. Si le nouveau modèle permet d'expliquer des situations semblables, nous parlons de transfert des

connaissances. Le transfert se produit lorsque l'élève utilise une connaissance dans une situation donnée pour expliquer une autre situation.

Pochon (1994) explique que l'apprentissage selon l'œuvre de Piaget¹⁴ (cité par Pochon, 1994) retient la notion de schème, sorte de structure mentale, qui se modèle dans les rapports que les sujets entretiennent avec la réalité. Pour générer de nouveaux savoirs, ces derniers doivent être confrontés aux « idées préconçues », ce qui provoque un effet organisateur des réseaux de concepts. Ces réseaux de concepts sont des diagrammes qui débutent avec les termes les plus généraux pour terminer avec les plus spécifiques. Ces réseaux sont signifiants autant pour l'enseignant que pour l'apprenant. Ils servent à développer un comportement de raisonnement en utilisant ces diagrammes. En effet, par l'expérimentation, l'utilisateur-apprenant est placé dans les conditions idéales pour raisonner en négociant avec ses pairs et avec ses notions techniques pour résoudre des problèmes. L'enseignant doit fournir une bonne motivation pour que l'élève dépasse ses croyances antérieures et accepte la nouvelle conceptualisation en cause. L'engagement affectif et la motivation intrinsèque sont des facteurs primordiaux pour réaliser la compréhension d'un phénomène. Les croyances épistémiques sont considérées dans notre recherche puisqu'elles deviennent des obstacles ou des ancrages à l'acquisition de nouveaux concepts.

¹⁴ Jean Piaget (1896-1980), psychologue, biologiste, logicien et épistémologue suisse, a défendu que la pensée humaine n'est pas innée mais le résultat d'adaptation et d'accommodations qui permettent une construction progressive de schèmes mentaux.

Pour la compréhension de concepts scientifiques, Trudel, Parent et Métioui (2009) émettent l'hypothèse que les modèles peuvent être classés selon qu'ils accordent la priorité à l'une ou l'autre de ces dimensions: soit la compréhension en tant que représentation, soit la compréhension en tant qu'activité du sujet. En tant que représentation, la compréhension renvoie au degré d'organisation des connaissances du sujet, qui permet à ce dernier d'assumer les diverses fonctions associées à la connaissance scientifique. La première dimension est associée au caractère structural de la compréhension car la représentation décrit les éléments et les relations entre les éléments. En tant qu'activité du sujet, la compréhension renvoie aux fonctions variées que les connaissances scientifiques permettent de remplir: la description, l'explication, la prédiction et le contrôle d'une situation ou d'un phénomène. La seconde dimension concerne le caractère fonctionnel de la compréhension, étant donné qu'elle est associée aux fonctions que cette organisation des connaissances permet d'accomplir. La structure des connaissances acquises lors de la démarche de compréhension des concepts scientifiques est étroitement liée aux opérations cognitives du sujet lorsqu'il tente d'organiser ces connaissances. Or, il ne semble pas possible à l'élève d'apprendre sans disposer de la structure conceptuelle qu'il cherche précisément à acquérir quoiqu'il ne dispose que de la structure déjà en place pour amorcer sa démarche. Lors d'une démarche de compréhension, la structure conceptuelle de l'apprenant guide ses actions tout en étant transformée par ces dernières. Ce réinvestissement produit des changements, de nature non linéaire, qui pourraient expliquer les modifications profondes dans la structure des schémas cognitifs de l'apprenant associés à la

restructuration de ses connaissances. En enchaînement à cette démarche, l'élève acquiert une structure conceptuelle adéquate lui permettant d'assimiler l'objet étudié. Cette démarche peut être conçue selon un système de nature cognitive qui interagit avec l'environnement en recevant de l'information et en produisant des réponses. Lors de la démarche de compréhension, la structure conceptuelle de l'apprenant, de nature sémantique et constituée de schémas, sélectionne et emmagasine l'information en provenance de son environnement, mais transforme celle-ci pour produire des schémas mieux adaptés. Notons que les schémas mobilisés par l'apprenant lorsqu'il interagit avec l'objet sont modifiés lors du processus de traitement afin d'obtenir une compréhension plus adéquate de l'objet.

Selon Clément (2008), les modèles peuvent être transférés à de nouvelles conditions d'application et à de nouveaux exemples. L'enseignant accompagne le raisonnement par des informations partielles, par des questions et par des métaphores. Quant aux dissonances, elles apportent des conflits qui forcent l'apprenant à réviser sa position. Les avis et les propositions des autres élèves collaborent à l'élaboration du modèle mental que l'élève se forge. Alors, dans un enseignement phrase par phrase, à la lecture d'un texte, l'apprenant peut ajouter ces informations à un modèle mental erroné, mais ce modèle reste toujours faux. Si le texte apporte des éléments qui réfutent les concepts fausement acquis et que l'apprenant reconnaît la contradiction entre ses croyances et la réalité du texte, il en viendra à remodeler son schéma au fil des informations nouvelles et contradictoires à celles déjà installées. Il s'ensuit une révision du modèle mental et

une réorganisation de celui-ci. Pour qu'il apparaisse un reclassement du modèle mental, les nouvelles notions doivent entrer en conflits avec celles déjà acquises et parfois faussement catégorisées. Ces notions peuvent être corrigées par un enseignement qui explique le phénomène cependant le changement conceptuel ne se fera que lorsque l'apprenant changera sa perception du phénomène.

Cependant, selon Chi (2008), en alimentant un modèle mental ou en le complétant, on ne constitue pas un changement conceptuel. Un modèle mental erroné doit être confronté au modèle mental scientifique prescrit. Des questions additionnelles précises permettent de valider la justesse du modèle mental élaboré par l'apprenant. Par exemple, la moitié des participants à la recherche de Chi décrivait la voie sanguine telle une boucle passant par le cœur qui permet d'oxygéner le sang, puis de le retourner vers la circulation. L'autre moitié des participants voyait une double circulation telle que reconnue par les chercheurs. Pour la première moitié, un questionnaire pointu permettait de prendre en compte leur modèle mental de la trajectoire du sang. Par exemple, « Où va le sang lorsqu'il sort du cœur? », « À quoi servent les poumons dans ce circuit? ». Les représentations des modèles mentaux erronées présentaient des prédictions, des explications et des attributs éloignés du modèle mental accepté. Dans la hiérarchie des concepts, les modèles mentaux comprenaient des concepts organisés latéralement aux concepts prescrits. Par ailleurs, les modèles mentaux du cœur chez les jeunes enfants sont souvent des disques ou des sphères creuses. En conséquence, un modèle mental serait une collection organisée de croyances individuelles qui forment un réseau interne

de concepts correspondant à la structure externe qu'il représente. Un modèle mental devrait être animé pour se réorganiser ou pour prédire des phénomènes. C'est la raison pour laquelle les modèles mentaux erronés ne sont pas tous changés en même temps malgré les corrections répétées et les ajustements. Bien qu'il ait la volonté d'améliorer son modèle mental, découlant des découvertes expérimentales, l'élève modifie certains concepts ou les catégorise à un autre degré, mais il ne le modifie pas. En effet, s'il ne provoque pas de retour sur sa compréhension du sujet et s'il n'essaie pas d'adapter le concept à d'autres situations, il ne semble pas y avoir une réorganisation du modèle mental. Parfois, le modèle erroné est trop bien ancré pour changer malgré les preuves démontrées par l'expérimentation. Il paraît que la cause de cette stabilité serait une mauvaise catégorisation antérieure.

Néanmoins, selon Nersessian et Chandrasekharan (2009), le problème majeur réside dans le mécanisme qui modifie les concepts et les structures qui relient ces derniers. Les enseignants en sciences ont des buts précis à atteindre et utilisent des approches pédagogiques pour y arriver. Toutefois, les apprenants ne paraissent pas utiliser la même démarche cognitive. L'apprenant doit s'engager dans une démarche de compréhension des concepts, de résolution de problème et de signification pour qu'il se construise une organisation personnelle du concept.

Giordan (1998, 2001, 2002, 2010) a souvent écrit qu'apprendre n'est pas ajouter de nouvelles informations. Capter un nouveau savoir, c'est l'intégrer dans une structure de

pensée déjà en place mais qui rejette ces concepts nouveaux. C'est au travers de savoirs propres, antérieurs à la situation éducative ou culturelle, qu'il est capable de mobiliser, de trier et décoder les données nouvelles et éventuellement de les confronter. Par conséquent, une construction du savoir s'opère au travers d'actions sur des objets ou sur des phénomènes. Les observations, les manipulations, les enquêtes et les petites expériences sont privilégiées. Un sujet assimile des informations récupérées par ses perceptions. Pour les réutiliser, il doit être capable d'accommoder en permanence son mode de pensée aux exigences de la situation.

Aussi, selon Vergnaud (2009), pour être un modèle de base au raisonnement, il faut la construction ou la récupération d'un modèle; des extrapolations qui dérivent directement de ce modèle; des suggestions spécifiques ou génériques pouvant être appliquées à ce modèle ou à une classe de modèles semblables.

Pour Lapointe (2002), il est manifeste que les stratégies didactiques devront tenir compte des conceptions des élèves afin de les transformer en concepts scientifiques applicables à des activités de résolution de problème. On doit pourtant souligner que la simple action de tenir compte des conceptions des élèves pour ensuite chercher à les modifier en introduisant d'autorité le savoir à enseigner serait une démarche tout autant inefficace que l'enseignement traditionnel.

Arias (2002), définit le changement des conceptions en tant que processus d'évolution graduelle entre les concepts déjà acquis sur l'activité scientifique et les réseaux de concepts modifiés ou nouveaux. Apprendre serait dû au changement qui se produit entre des conceptions initiales et des conceptions modifiées par les élèves.

Vosniadou (1987, 1992, 1994, 1995, 1996, 2001, 2003, 2007b, 2007c, 2007d, 2008, 2009, 2013), Baltas et Vamvakoussi (2007), Ioannides (1998) et Saljo (1994) soutiennent qu'il est fructueux de percevoir les réseaux conceptuels en termes de théorie et les processus d'acquisition des connaissances en termes d'articulation ou de restructuration de ces théories. D'abord, la restructuration d'une connaissance antérieure s'accomplit habituellement lentement et graduellement et elle met à contribution la réinterprétation de certaines croyances que les individus élaborent à partir de leur expérience quotidienne. Ensuite, pour aider à la restructuration, une formation devrait faire prendre conscience aux étudiants de leurs convictions préétablies et leur proposer un cadre de référence qui diffère de celui construit à partir de leur expérience personnelle. Cela devrait se faire sans nier que les connaissances peuvent être représentées sous une forme quelconque dans le système de mémoire. Alors que les structures mentales internes sont prises en charge dans ce cadre, les concepts ne doivent pas être considérés stables et immuables mais plutôt, souples et malléables. Pour expliquer le changement conceptuel, nous devrions laisser la possibilité au modèle mental connu d'être radicalement restructuré et permettre qu'émergent de nouvelles structures qualitatives.

2.2.a Une définition du terme concept

Notre recherche tend à valider la disposition des concepts à l'intérieur d'un modèle mental déjà installé. Chi (2008) explique qu'un concept s'avère avoir plusieurs perceptions et plusieurs attributs. Ils sont d'une catégorie au-delà des simples informations, axés sur les explications et sur le principe de fonctionnement. Dans ces conditions, pour être dans la même catégorie, ils doivent regrouper des explications ou des principes semblables. Par exemple, un principe de physique qui se résout de la même manière dans toutes les situations similaires sera situé dans une même catégorie que ses semblables. En ce qui a trait aux sciences, les catégories s'avèrent plus complexes et inter-reliées. Par exemple, les élèves doivent apprendre le système cardiovasculaire. Cependant, ces connaissances requièrent la connaissance de la dynamique entre le cœur, les poumons, les artères, les veines et les capillaires. La compréhension du sang, de sa composition, de la diapédèse et de l'homéostasie est essentielle. En résumé, lorsque les chercheurs utilisent le terme CONCEPT, particulièrement en sciences, ils se réfèrent à une étendue plus vaste d'attributs que les définitions statiques et isolées de ces concepts.

Selon Martinand (2002), pour l'apprenant, les nombreuses conceptions sont souvent inspirées du sens commun, relativement à divers domaines des sciences de la nature. Ces conceptions varient parfois des concepts scientifiques portant sur les mêmes domaines. L'organisation de ces concepts sera régie par la catégorisation utilisée par

l'apprenant. En d'autres termes, il n'y a pas de modèles sans concepts. Lorsque des états de la matière donnent lieu à l'élaboration de modèles particuliers pour les interpréter dans un effort de représentation unifiée, les caractéristiques de chaque état ont causé une conceptualisation.

2.2.b La catégorisation

Puisque notre sujet de recherche est basé sur la représentation d'un modèle mental élaboré par des adolescents et expliquant leur conceptualisation de la circulation sanguine, nous devons donc savoir interpréter la fabrication et l'agencement d'un tel modèle chez un apprenant. La catégorisation selon Chi, Slotta et Leeuw (1994), Chi (2008), Gadgil (2012), Machery (2004, 2009a, 2009b), Rosh (1978) et Vosniadou (2008) est le procédé qui sert à identifier et à assigner un concept pour le relier à d'autres concepts semblables. C'est un mécanisme pédagogique important parce qu'un concept, une fois catégorisé, peut hériter des traits et des attributs des autres membres de sa catégorie. Or, un oiseau pond des œufs et le rouge gorge est un oiseau, alors le rouge gorge pond des œufs. C'est pourquoi les catégories naturelles peuvent avoir des ramifications qui ne partagent pas de propriétés communes ou dans lesquelles certains objets sont plus ou moins centraux dans une catégorie. Par exemple, un robin se classe avec plus d'assurance parmi les oiseaux qu'un pingouin. On parle d'apprentissage selon la théorie du prototype. Le classement engage des similitudes dans les attributs plutôt que dans les comportements. La catégorisation se forme dans des contextes de la vie

quotidienne et non dans un contexte scolaire. Il se présenterait un ajustement des modèles mentaux lorsque les catégories naturelles entrent en conflit avec les modèles classiques enseignés en classe.

Or Chi (2008) propose deux hypothèses pour la catégorisation dans la captation de nouvelles informations. Premièrement, lorsqu'il n'apparaît pas de catégorie flagrante permettant de rattacher un nouveau concept ou un nouveau phénomène, ce concept sera réparti vers une catégorie appropriée mais plus haute dans la hiérarchie. Par exemple, le vivant inclut les animaux. Les animaux incluent les reptiles et les oiseaux. Parmi les oiseaux nous retrouvons le rouge gorge. C'est un exemple d'arbre hiérarchique. Le vivant peut être inclus dans la catégorie « objets » et cette catégorie peut appartenir à la catégorie « entités ». Or, la recherche en psychologie cherche à trouver quel échelon à l'intérieur d'une hiérarchie sera le plus près des attributs d'un nouveau concept et la plus utile pour catégoriser ce dernier.

Deuxièmement, lorsqu'un apprenant ne peut catégoriser un concept dans une branche supérieure, il l'établit dans une branche parallèle appelée catégorie latérale et ontologique. Il existe peu de recherche sur les catégories latérales (contrairement aux hiérarchisations). Par exemple, les poussières peuvent être considérées dans une branche parallèle de celle du vivant car elles ne partagent pas les attributs des animaux mais elles se rattachent au même tronc commun que le vivant, celui d'entités. Les vivants et les poussières ont une forme et ils peuvent être lancés dans les airs.

Néanmoins, ils se différencient par d'autres attributs, par exemple, leur possibilité de se reproduire. Il est difficile d'établir des propriétés exclusives alors qu'il est censé de parler des catégories parallèles pour catégoriser un concept, toutefois ce dernier ne doit pas partager les mêmes attributs. Il faut alors remonter aux branches supérieures pour ce partage. Lorsqu'il est difficile, pour l'apprenant de catégoriser un concept même en ayant recours aux branches supérieures, il est parfois plus aisé d'utiliser les branches parallèles ou d'autres arbres.

Ainsi, lorsque les concepts sont catégorisés, ils sont regroupés de façon à être réutilisés pour faire des liens avec de nouveaux acquis ou d'anciennes conceptions, ce qui permet la prédiction de phénomènes. Le changement conceptuel sous-entend des concepts déjà acquis. L'association à une catégorie servira de regroupement. La signification d'un concept dépend de la catégorie dans laquelle il est distribué. Bref, le changement conceptuel représente le remaniement autant que le résultat.

Chi (2008), expose que le premier modèle déjà installé doit être faussé pour que se présente un changement conceptuel. Si l'erreur vient d'une catégorie et que la conception correcte est dans une autre catégorie ontologique ou latérale, il existe un conflit dans la définition du type de concept ou de l'ontologie de ce dernier. Pour repérer à quel palier du modèle mental se produit l'erreur de catégorisation, Chi a questionné des élèves sur la cause des réactions de certains phénomènes scientifiques afin d'observer leur degré de catégorisation. Elle a réalisé que l'erreur se situe au plan

de la catégorisation et que l'enseignement doit se concentrer sur le degré de catégorisation en distinguant l'entité du procédé. Il faut encourager un changement de catégorie latérale et un remaniement d'une catégorie pour améliorer le modèle mental. Si la structure mentale exprime ce qu'un apprenant sait faire, elle n'est pas pour autant thématifiée par lui. Les modèles mentaux doivent permettre d'anticiper des phénomènes scientifiques autant que de conduire à une rétroaction avec précorrections des erreurs. Nous comprenons que les concepts catégorisés et distribués se relient entre eux par des réseaux dont les liens permettent le transfert, la compréhension de nouvelles données et la prédiction de phénomènes semblables. L'ancrage à ces concepts serait attribuable aux « idées préconçues », aux croyances épistémiques.

2.2.c Les croyances épistémiques

Une section du questionnaire tentera de pointer les croyances épistémiques des élèves par rapport au vivant, à la saisie de concepts biologiques et à sa manipulation. Nous cherchons à concevoir le modèle mental qu'il se crée, à partir des concepts reliés à la circulation sanguine, avant d'expérimenter les deux modes de dissection.

Selon Vosniadou (2007a, 2007d, 2008), la compréhension d'un modèle mental doit tenir compte de trois structures qui font partie des conceptions d'une personne:

- Les conceptions formées par des idées préconçues d'ordre épistémologiques qui conditionnent l'acquisition de nouvelles connaissances ;
- les concepts formés à partir d'observations réalisées par l'élève ;
- l'information véhiculée par la culture ambiante.

Les modèles mentaux se créent à l'occasion d'une activité cognitive préservant la structure de l'objet représenté. Ces derniers modèles sont générés à partir des théories spécifiques et du cadre théorique de l'élève. Un observateur peut faire ressortir le cadre théorique duquel émerge la construction d'un modèle mental. Il s'agirait d'observer l'enrichissement de structures conceptuelles déjà existantes. C'est la raison pour laquelle l'analyse, du questionnaire épistémique et des dessins, ne se fera pas sans tenir compte des concepts acquis par l'environnement, la famille ou la culture. Parfois, les croyances personnelles ont un effet inhibiteur sur la saisie de nouveaux concepts, surtout sur la remise en question de notions bien ancrées. Le jugement par rapport aux résultats sera fortement influencé par l'environnement familial, social et même scolaire. Lodewyk (2007) en arrive à la conclusion que les motivations extérieures à l'école sont plus fortes et qu'il faut en arriver à un équilibre entre les goûts personnels et les champs d'intérêts liés aux nouvelles connaissances. Les fausses croyances doivent laisser la place aux connaissances et c'est dans une situation motivante à apprendre que ce changement dans l'image mentale se fera. Ce qui explique que les sentiments, les désirs, les passions jouent un rôle stratégique dans l'acte d'apprendre.

Malheureusement, les questions d'épistémologie sur la nature des sciences de l'éducation et de la connaissance se heurtent à beaucoup de controverses. Il existe des distinctions entre la philosophie et la psychologie de l'éducation. Southerland, Sinatra et Mathews (2001), ont réalisé une étude auprès de trois types d'éducateurs pour en retenir un consensus sur les concepts de croyances épistémiques et sur la façon de les utiliser lors des activités pédagogiques. Il en conclut qu'il ne paraît pas y avoir d'interférence entre l'approche des éducateurs dans l'enseignement de concepts qui entrent en contradiction avec les croyances épistémiques des apprenants. Il faut donc chercher du côté de l'apprenant et de son épistémologie personnelle. Ils ajoutent que les changements conceptuels spontanés résultent d'expériences de l'enfance causés par les environnements physiques et socioculturels. Ils ne sont donc pas causés par des instructions précises. Les enfants actuels grandissent dans une société hautement technologique et possèdent des acquis auxquels se lieront les connaissances nouvelles en matière de technologie. De plus, les changements conceptuels pendant et après le primaire sont souvent le résultat d'une mixture entre les changements spontanés et ceux issus des notions nouvellement acquises en classe. Inagaki et Hatano (2008) prédisent qu'un élève qui a une opinion positive de l'étude et des efforts, en gardant un esprit ouvert a plus de facilité à structurer ses modèles mentaux puisqu'un intérêt accru est le catalyseur d'un changement conceptuel. En définitive, Sinatra (2008) suggère que les connaissances déjà ancrées jouent toujours un rôle important dans l'acquisition de nouvelles connaissances. Ces connaissances ne sont pas toujours en conflit entre elles. Par exemple, un élève qui apprend que B est le symbole chimique du Bore, enrichit son

savoir sans conflit cognitif. Mais, lorsqu'il expérimente la chute d'objets de masses différentes, même s'il a souvent vu tomber des objets, ses « idées préconçues » sur la chute des corps entreront en conflit avec les résultats expérimentaux. Aussi, dans le domaine de la biologie, les enseignants remarquent des limites chez les apprenants telles des connaissances concrètes restreintes, des applications réduites en classe pour expliquer les procédés biologiques, un manque d'analogie aux organisations complexes et hiérarchiques dans le domaine du vivant. Il faut introduire des connaissances nouvelles, mais elles risquent de n'être que de l'enrichissement. Les croyances épistémiques ne seront pas déstabilisées et il n'y aura pas de changement conceptuel. Par exemple, un élève peut savoir le phénomène de la photosynthèse qu'il vient d'apprendre en classe, mais il sera incapable de faire la différence avec la respiration humaine et la respiration cellulaire végétale (Inagaki & Hatano, 2008). En outre, Samson (2002) écrit que le grand public entretient des conceptions erronées quant à la science. Ces opinions peuvent être liées à la religion, à des traditions familiales, à des habitudes de vie, à des mythes culturels ou à des problèmes de vulgarisation scientifique. Cette vision non scientifique peut être le fruit de problèmes fondamentaux reliés à l'éducation, autant pour l'enseignant que pour l'élève. Tout savoir se construit sur la base de connaissances déjà présentes, il est essentiel de tenir compte des « idées préconçues ». Selon Evans (2008) l'évidence suggère que l'esprit humain semble toujours incapable de changement conceptuel lorsqu'il est confronté à des données scientifiques qui contredisent sa vision personnelle du monde.

La démarche de compréhension est ouverte aux influences extérieures, de natures affective ou sociale. Les connaissances que l'élève utilise proviennent souvent des interactions avec des objets quotidiens. Ses conceptions de la science, la valeur accordée aux activités scientifiques et la compétence qu'il se reconnaît sont influencés par un contact prolongé avec l'école (Trudel, Parent, & Métioui, 2009). Il est nécessaire de cibler à quel degré se situe le changement conceptuel pour savoir où interférer lors de l'enseignement de concepts. D'ailleurs, notre recherche vise une approche pédagogique qui stimulerait la motivation de l'apprenant, forçant de ce fait une réorganisation de sa conceptualisation. La métaphore s'avère favorable à cette ordonnance en lui permettant des transferts parmi ses réseaux de concepts.

2.2.d La métaphore

En accord avec Vosniadou (1995, 2009; 2008), Gentner et Wolff (2000), Gentner (2001) et Guner (2012) nous pensons que les métaphores peuvent aider à la conceptualisation. Or, il est impensable de disséquer un cœur humain en classe de secondaire, alors nous utilisons un cœur animal qui est presque semblable en tous points. L'anatomie du cœur de bœuf servira de comparaison pour favoriser la conception de la circulation sanguine humaine. Vosniadou avance qu'une métaphore permet l'identification et le transfert de liens en relation avec des structures cognitives similaires et connues du sujet puisque le processus mental demeure le même. Gentner explique que la métaphore permet la réorganisation des concepts et la construction d'un modèle parallèle. Il tient compte de

l'utilisation d'étiquettes explicites pour classer les données, de la relation entre les concepts et de l'argumentation nécessaire pour organiser et réutiliser ces valeurs. Cette représentation doit savoir capturer des informations précises sur les dimensions des objets et leurs attributs. Les éléments d'information sont des objets que l'on qualifie selon leurs attributs, leurs fonctions et leur relation entre eux. Par cet état, la métaphore est un phénomène extrêmement versatile. Les métaphores utilisent des domaines qui s'entrecroisent permettant à l'apprenant de faire des associations dans des dimensions disparates. Par exemple, les prédicats servant à décrire un objet physique peuvent être utilisés pour qualifier une personne. On peut dire d'une personne qu'elle est profonde, dure, brillante ou droite. Plusieurs cultures utilisent ces types d'attributs. Une personne droite sera perçue avec honnêteté dans plusieurs langages. La culture ou la région de l'apprenant influencera sa compréhension des notions à double sens. De ce fait, il est essentiel de bien maîtriser la métaphore utilisée afin qu'elle atteigne le but souhaité.

Pareillement à Giordan (2002, 2010), nous savons que lors d'activités pédagogiques, l'apprenant doit pouvoir obtenir des outils et des ressources qui l'aident à penser. Les symboles, les schémas, les modèles facilitent la structuration du savoir et sa manipulation. Il s'agit de ressources lisibles, compréhensibles, adaptées au public. Conséquemment, Davies, Goel et Nersessian (2005; 2009) ont proposé qu'un enseignement littéraire des composants d'un système permet seulement, chez l'apprenant, les connexions qui sont pertinentes pour prédire le comportement d'un système. En revanche, une connaissance acquise par l'utilisation d'une métaphore

pourrait contenir des informations sur le plan de l'image, leur taille et de leurs orientations. Cette approche pédagogique paraît faciliter la conceptualisation. Selon Clément (2008) puisqu'un modèle scientifique doit être précis et plausible, les enseignants utilisent, par exemple, les vagues en surface de l'eau pour expliquer les ondes électromagnétiques de la lumière ou bien utilisent le thermostat pour expliquer la thermorégulation du corps humain. Ces allégories permettent de prédire des réactions ou des comportements. Par contre, le danger d'une similitude est la démarche par laquelle un élève peut tirer ses propres conclusions sur les concepts à étudier et fausser la réalité. Par exemple, de l'eau dans une vague peut expliquer le comportement d'une onde lumineuse, mais une onde lumineuse n'est pas composée de molécules. Le choix des analogies est toujours risqué pour la compréhension d'un phénomène. Partant de ce fait, il faut utiliser plusieurs métaphores complémentaires pour expliquer un seul phénomène. Si les allégories sont trop semblables les unes des autres, elles ne valent pas mieux qu'une seule. Une mixture d'analogies permet de construire graduellement le modèle mental d'un concept ou d'un processus. Le but suggère d'ajouter, de replacer et de changer des concepts dans un modèle conceptuel pour qu'apparaisse une conceptualisation.

Finalement, l'engrenage dans le fonctionnement cognitif humain est capable de fabriquer et d'utiliser des modèles mentaux, de faire des analogies, d'utiliser l'abstraction, la visualisation et d'imaginer des simulations. La métaphore, la visualisation et la simulation contribuent au raisonnement qui élabore un modèle mental

de telle sorte que le modèle mental illustré aide grandement à analyser le raisonnement d'un apprenant.

2.2.e Le modèle mental de concepts scientifiques

Notre fil conducteur dans cette recherche vérifie la compréhension des sciences, spécifiquement des phénomènes biologiques, par l'expérimentation sur le vivant. Ces expériences se différencient des expériences purement physiques ou chimiques. Le vivant est très complexe et difficile à présenter en théorie seulement. Pour rendre compte de l'ensemble des processus vitaux, Coquidé (2000; 2007) parle de trois modèles:

- Le premier expérimente les processus physico-chimiques dans des éprouvettes (tests *in vitro*). Par exemple, tester l'action de la bile sur les lipides.
- Le second met l'accent sur les processus mécaniques par la fabrication de prototypes représentant des articulations.
- Le troisième propose l'observation de l'anatomie et de la physiologie des systèmes par la dissection ou par les expériences *in vivo*.

Orange-Ravachol (2011), Coquidé (2000; 2007) et Vialle (2002) affirment que pour apprendre les sciences et la technologie, il faut accorder une grande place à l'observation et à l'expérimentation parce que la biologie se range dans la catégorie des sciences expérimentales. Giordan (2002) dépeint l'apprentissage comme un enchaînement

d'actions intériorisées. L'enfant apprend en puisant sa dynamique dans des actions. Par rapport aux contraintes plus ou moins rigides imposées par nombre de cursus scolaires, les activités en classe sont le lieu de la libre investigation. L'élève y trouve un contact vivifié avec des objets, des phénomènes, des lieux, des êtres vivants ou des personnes. Nous en déduisons que l'action favorise les interrogations, elle suscite la motivation. L'enfant peut y manifester son pouvoir ou y déployer sa créativité. Les difficultés rencontrées sont une incitation à chercher mais elles ne signifient jamais l'incapacité ou l'impuissance. Malheureusement, une pédagogie de l'action seule reste le plus souvent stérile. L'action est incontestablement un passage obligé. John Dewey¹⁵ a proposé de mettre en avant la spontanéité et l'élan désiré de l'élève. Il compare deux types d'activités pédagogiques à la différence existant entre les notes prises par un explorateur dans un pays inconnu, ouvrant des pistes et avançant de son mieux, et la carte achevée établie après une exploration approfondie du pays. Ces efforts restent dépendants l'un de l'autre. D'une part, sans le parcours accidenté et hasardeux de l'explorateur, on ne disposerait pas de données utilisables pour l'établissement de la carte définitive. D'autre part, nul ne tirerait profit de ce voyage exploratoire si l'on ne pouvait le comparer avec d'autres expéditions. Si les structures nouvelles (rivières, traversées, montagnes escaladées, etc.) étaient de simples péripéties de la vie du voyageur au lieu d'être rapportées à d'autres situations déjà connues, il n'y aurait pas d'acquisition de connaissances transférables. La carte met de l'ordre dans les expériences individuelles,

¹⁵ John Dewey (1859-1952) philosophe et psychologue américain a proposé une méthode pédagogique selon laquelle l'enseignant est un guide et l'élève apprend par l'action. Il a été décrié par les défenseurs des programmes éducatifs.

les relie les unes aux autres, sans tenir compte des circonstances et des accidents survenus au cours de ces explorations. En conclusion, la formulation logique d'une science ne remplace pas les expériences personnelles.

Nous en arrivons ainsi à notre outil de recherche, la dissection. Parmi les expériences pour l'acquisition de concepts scientifiques, la dissection semble être la pratique privilégiée depuis des décennies initiant les apprenants à l'observation de l'anatomie sur des organes. Il est de notoriété publique que ces méthodes archaïques, qui utilisent des animaux ou des organes comme la manipulation de simples objets, font mauvaise presse. De plus, certains élèves n'apprennent pas nécessairement par ces procédés qu'ils jugent rebutants (Coquidé, 2000).

La loi de l'instruction publique québécoise permet la manipulation d'animaux entiers invertébrés ou la manipulation de parties d'animaux vertébrés, mais elle interdit les expériences sur les groupes sanguins pour prévenir des risques d'infections transmises par le sang. Cependant, il est risqué de manipuler des organes d'origine bovine ou porcine à cause des contaminations par l'encéphalopathie spongiforme bovine (maladie de la vache folle) ou par la listériose. Partant de ce fait, plusieurs possibilités de remplacement sont proposées. Qu'il s'agisse de vidéo d'animation ou de modèles en plastique, mais il y manque l'observation de toutes les nuances du vivant. L'intégration des technologies informatiques dans l'enseignement de la biologie au secondaire vient prendre tout son sens en classe de sciences (Coquidé-Cantor, 2000; Coquidé & LeMaréchal, 2008; Coquidé, 2011). La dissection virtuelle permettrait-elle le même

apprentissage qu'une expérimentation sur le vivant? Samson (2002) explique que la biologie et la plupart des disciplines scientifiques, constitue un champ disciplinaire qui exploite largement les schémas. Les difficultés dans l'interprétation de ces dessins pourraient venir des auteurs-concepteurs de manuels scolaires, qui trop souvent ont eux-mêmes une vision réductionniste de la science et ont tendance à trop les simplifier. Plusieurs stratégies ont été proposées afin de diminuer les effets non désirés des conceptions erronées. C'est la raison pour laquelle deux d'entre elles seront retenues pour cette expérimentation: le jeu de rôle, par le questionnaire, et le dessin.

2.2.f Les lectures du modèle mental

L'analyse de notre recherche, basée sur la reproduction du modèle mental de l'apprenant, se développe en regard avec les écrits sur l'illustration des conceptions biologiques. Les croyances épistémiques demeurent difficiles à mesurer étant subliminales, inconscientes et parfois d'origine abstraite. Elles sont des conceptualisations individuelles, bien enfouies dans le cerveau et que chaque personne s'imagine sur un sujet donné. Puisqu'elles se révèlent inconscientes, masquées et attribuables à l'entourage, la recherche sur les croyances épistémiques a toujours utilisé trois méthodes de collecte des données : les entrevues dirigées ou semi-dirigées, les questionnaires à questions ouvertes et les questionnaires avec des choix de réponses. Chaque méthode a son mérite, mais les chercheurs (Holschuh, 2006; Lodewyk, 2007; Sinatra, 2008) tendent à utiliser un amalgame des trois méthodes. Les autres approches

s'avèrent difficiles à exploiter et peu convaincantes selon eux. Il faut une grande expertise pour bâtir et pour analyser des questionnaires à questions ouvertes. Il en faut tout autant pour réaliser des entrevues et pour les analyser en gardant en compte qu'on veut percevoir le modèle mental que se compose un apprenant et non celui qui lui a été inspiré par les questions ou par les acquis scolaires. Il n'existe pas, à ce jour, d'instrument de mesure des croyances épistémiques qui permettraient d'identifier et de comprendre ces obstacles à l'acquisition de nouvelles connaissances. Bien qu'en identifiant certaines causes d'ordres familial, socioculturel et même scolaire, les croyances épistémiques demeurent difficiles à identifier et sont très pénibles à ajuster ou à surmonter. C'est la raison pour laquelle nous avons élaboré notre questionnaire en accord avec l'approche de Holschuh soit, le questionnaire par scénarii. En effet, Holschuh (2006) a proposé une approche qui semble donner des résultats plus près de l'épistémologie personnelle des apprenants. Il a mentionné que les études de cas ou les mises en situation avaient plutôt été utilisées pour amorcer des discussions en classe. Alors, il a mis au point un questionnaire comportant des scénarii dans lesquels un garçon prénommé Chris donne son avis sur une variété de phénomènes. Les élèves répondent en se sentant intéressés par le propos venant d'un vis-à-vis imaginaire. Il a travaillé avec 518 participants dont 66% étaient des femmes. 69% étaient européens ou américains. Les étudiants étaient jeunes (28%) et sans acquis préalables sur le sujet (39%). Ils étaient tous à un degré d'introduction aux sciences. Le reste des participants (87%) étaient âgés entre 18 et 21 ans. Ces derniers en étaient à leur premier cours de sciences au collégial. Après une lecture obligatoire de textes introduisant les notions de biologie,

ils devaient compléter un questionnaire épistémique constitué de différents scénarii. Ce questionnaire contenait 477 mots. Les scénarii concernant « Chris », un étudiant en première année de biologie, présentaient ses réponses en accord avec ses croyances épistémiques. Les choix de réponse se faisaient selon l'échelle de Likert. Pour chaque affirmation de Chris, l'élève devait dire à quel point il était en accord ou en désaccord avec lui. Les affirmations portaient sur la connaissance des sciences, sur les compétences nécessaires pour réussir en sciences, sur l'infaillibilité des sciences, sur le degré nécessaire de connaissances pour saisir minimalement les sciences et sur l'exploitation de nouveaux concepts. Ses résultats furent encourageants. Par contre, ce questionnaire n'a prouvé son efficacité que dans le domaine de la biologie. En ce qui nous concerne, l'auteur conclut que les scénarii ou les études de cas facilitent l'ouverture des élèves à donner leurs réponses sans se sentir dirigés.

De plus, notre recherche se voulait une observation de l'évolution des représentations de modèles mentaux reconstruits après expérimentation. Nous avons considéré les études sur les modèles mentaux afin de nous adapter aux dessins et aux réponses au questionnaire dans le but de les interpréter adéquatement. Mais nous devons nous assurer de parler le même langage. Pour que l'élève puisse communiquer son raisonnement, il doit utiliser un langage compris par son auditeur. Andersen et Nersessian (2000) soutiennent la pensée de Kuhn¹⁶ (cité par Andersen & Nersessian, 2000) pour qui les expériences scientifiques portent l'empreinte du développement

¹⁶ Thomas Samuel Kuhn (1922-1996), philosophe et historien des sciences, a présenté la dynamique des sciences non seulement sur le plan cognitif mais en tenant compte des facteurs sociaux.

individuel cognitif et social. La compréhension des sciences nécessite spécifiquement l'acquisition du langage scientifique. En maîtrisant le langage scientifique, l'apprenant serait en mesure de décrire les changements conceptuels qui se façonnent pendant qu'il apprend. Or, Chi, Slotta et Leeuw (1994) expliquent que toute entité est classable dans une catégorie ontologique pourvue d'attributs. Par exemple, par rapport à une situation donnée, l'apprenant accorde à l'entité qui est en jeu des attributs qu'on peut repérer dans son discours. Par contre, les concepts scientifiques appartiennent à une catégorie ontologique particulière. Pour Samson (2002), il est important de retenir que l'analphabétisation scientifique entraîne une grave incompréhension du monde contemporain. Apprenant et enseignant doivent parler le même langage afin de discuter des questions et des problèmes soumis à l'élève, pour favoriser l'organisation d'ensemble de ses connaissances pour les replacer en mots, en schémas et de symboles qu'il doit maîtriser.

2.3 Les technologies informatiques au service de l'apprentissage individuel

L'approche de cette recherche n'est pas d'observer les effets du numérique au secondaire mais de regarder une solution de rechange à la dissection sur le réel. Notre choix d'une dissection virtuelle interactive est influencé par la génération numérique à laquelle nous enseignons et par la possibilité d'apprentissage individuel prôné par les didacticiens actuels.

Selon Barak, Ashkar et Dori (2011), Bernet (2010), Brassard et Daele (2003), Coquidé et LeMaréchal (2008), Depover (2007), Digregorio et Sobel-Lojeski (2010), Dresel et Haugwitz (2008), Hamon (2005), Hasni (2010), Herrington et Kervin (2007), Kershner, Mercer et Warwick (2010), Thibert (2012) et Vialle (2002), la question du numérique dans l'éducation répondrait à la problématique de l'enseignement individualisé, de l'acquisition des langues et du travail coopératif. Il semblerait que nous vivions une révolution de même envergure que l'invention de l'écriture et de l'imprimerie. Toutes ces inventions ont des répercussions sur notre rapport au savoir. Toutes les innovations annoncent des mutations organisationnelles et pédagogiques. Par conséquent, les décideurs ont investi massivement dans des équipements ou des ressources numériques. Alors, une évaluation de l'impact du numérique sur l'enseignement s'est imposée.

Notamment, au XXI^e siècle, il est impératif que l'enseignement requière l'utilisation des nouvelles technologies. Non seulement pour soutenir la mémorisation ou la répétition de concepts, mais pour organiser et observer les concepts nouvellement acquis. En conséquence, tous les participants développent non seulement des habiletés en informatique mais aussi des acquisitions de connaissances scientifiques. L'introduction des technologies informatiques dans l'enseignement depuis une trentaine d'années a eu pour objectif à la fois une alphabétisation technologique et numérique pour préparer les élèves à utiliser ces nouveaux outils au sein de la société et, d'autre part, d'apporter une réponse à une hétérogénéité croissante des élèves, par une individualisation de l'enseignement et une diversification du savoir. Dans l'utilisation des technologies

informatiques, tous les élèves, en équipe ou individuellement, manipulent eux-mêmes le logiciel afin de s'informer, de créer, d'analyser le contenu à enseigner. Cet affranchissement semble être la première étape vers l'autonomie pour plusieurs d'entre eux. Ils ne sont plus obligés de recopier les écrits au tableau que le professeur peut effacer à tout moment et peuvent en revanche lire à leur propre rythme les pages affichées sur l'ordinateur tout en demeurant davantage attentifs aux explications.

Néanmoins, il est important de noter que la matière à enseigner doit être retravaillée et réorganisée lorsque l'enseignant utilise le matériel numérique. L'enseignant se doit de structurer et d'ordonner la présentation des concepts, de présenter la méthode d'apprentissage liée à la construction des concepts en tenant compte de l'apport actif de l'apprenant. En plus, la recherche sur l'intégration des nouvelles technologies, tel le tableau numérique interactif, a permis d'identifier certains types d'activités scientifiques qui peuvent être particulièrement adaptées pour ces utilisations, particulièrement une série de tâches cumulatives mises en place par l'enseignant et au rythme de l'enfant.

Également, la recherche que nous avons mise en place pour ce travail est influencée par les besoins sociaux et éducatifs en matière d'alphabétisation numérique. S'il s'avère que les élèves sont plus motivés à apprendre, par l'utilisation des technologies de la communication et de l'informatique et que les enseignants adaptent leur pédagogie à l'ère informatique, nous observerons les représentations des modèles mentaux développés en réaction aux deux types de dissection pour vérifier l'apprentissage par ces

deux approches pédagogiques. Partant de ce fait, une des dissections est virtuelle et interactive, alors elle nécessitera une expérimentation individuelle assistée par ordinateur. Nous voulons vérifier si les élèves s'engagent dans une telle démarche de compréhension de l'anatomie et de la physiologie du cœur et s'ils acquièrent les concepts souhaités.

La méthodologie

Chapitre 3 MÉTHODOLOGIE

Notre hypothèse soutient que l'apprentissage des notions de physiologie et d'anatomie se réalisera en expérimentant une dissection sur un cœur de bœuf et une dissection virtuelle interactive. Elle favorisera l'acquisition et la compréhension de concepts scientifiques. Cette recherche sera influencée par le paradigme post positiviste par lequel nous voulons vérifier cette hypothèse. C'est une méthode déductive influencée par nos expériences dans l'enseignement et dans la recherche. Si notre hypothèse se confirme, nous pourrions prédire le même succès pour d'autres types de dissections.

3.1 Choix des participants

Pour cette recherche, nos critères d'inclusion concernaient le degré de scolarité des élèves, l'école fréquentée et la région de résidence. Partant de ce fait, nous avons recruté cent vingt-trois élèves de première année du deuxième cycle d'une école secondaire publique de la Mauricie, au Québec. Soixante-dix d'entre eux suivaient le parcours de la voie appliquée de la science et de la technologie (ATS) tandis que les cinquante-trois autres étaient inscrits en science et technologie générales (STG).

En ce qui a trait aux codes d'éthique de la recherche, chaque participant se devait de nous remettre une lettre de consentement libre et éclairé, signées par une personne en autorité parentale et par lui-même. Dans les conditions contraires, nous avons retiré

l'inscription de certains élèves. De plus, les élèves absents lors d'une des étapes de la recherche ont été exclus. Enfin, la collecte des données s'est effectuée dans les mêmes conditions et selon les mêmes critères.¹⁷

3.2 Les instruments

Ce qui suit vous présente les trois modes de cueillette utilisés. Nous avons un questionnaire divisé en quatre parties, une dissection sur un cœur de bœuf et une dissection virtuelle interactive.

3.2.a Le questionnaire

Il n'existe pas, à ce jour, d'instrument de mesure des croyances épistémiques qui permettraient d'identifier et de comprendre les obstacles à l'acquisition de nouvelles connaissances. Bien qu'en identifiant certaines causes d'ordres familial, socioculturel et même scolaire, les croyances épistémiques demeurent difficiles à identifier et sont très pénibles à ajuster ou à surmonter. (Holschuh, 2006; Lodewyk, 2007; Sinatra, 2008). Nous avons donc bâti notre propre questionnaire pour répondre en tous points aux objectifs de notre étude. Nous avons considéré les travaux de Holschuh (2006) pour les

¹⁷ Certificat d'éthique portant le numéro CER-12-177-06.02.

mises en situation et les travaux de Lavarde (1994) pour ce qui est de l'approche épistémique.

Le premier prototype du questionnaire a été validé par des professionnels de l'enseignement des sciences c'est-à-dire mon directeur de maîtrise, le directeur du doctorat à l'UQTR, un doctorant et deux enseignants au secondaire.

L'échelle de mesure, pour les deux premières parties du questionnaire, évaluait les degrés d'accord des participants selon une échelle de Likert. Parmi les possibilités d'échelle, nous avons retenu celle à cinq échelons. Nous voulions faciliter les choix de réponses en ne laissant que peu de place aux nombreuses nuances qui pouvaient rendre l'interprétation trop exhaustive. Les participants avaient les choix de réponses suivants.

Références pour les choix de réponses

1	2	3	4	5
Fortement désaccord	en En désaccord	Neutre	En accord	Fortement en accord

Le questionnaire se divisait en quatre parties:

- Les attributs conférés au vivant par des adolescents de troisième secondaire.
- Les positions d'adolescents de troisième secondaire au sujet de la manipulation du vivant.
- La hiérarchie parmi les êtres vivants selon des adolescents de troisième secondaire.
- Le dessin de la circulation sanguine et du cœur selon des adolescents de troisième secondaire.

La première partie du questionnaire teste les attributs conférés au vivant par des adolescents de troisième secondaire. Cette section a été préparée à l'aide des écrits concernant le vivant. Inspirés des textes présentés sur le vivant, nous en avons ressorti les grands courants de pensée et nous les avons introduits dans les réponses d'un certain Alex, adolescent fictif. Nous utilisons les scénarii pour collecter les impressions des élèves en référence aux travaux d'Holschuh (2006) qui a réussi à collecter plus de croyances personnelles en utilisant les scénarii plutôt que par les questionnaires traditionnels. Le contenu des commentaires est inspiré de Lavarde (1994) qui a testé les conceptions sur le vivant chez des élèves du primaire. Notre grille d'évaluation est jointe en Annexe 1 de ce document.

Les élèves de troisième secondaire répondent à un questionnaire mettant en vedette un adolescent qui donne son avis sur les attributs essentiels que doit posséder un être vivant. L'élève reçoit la consigne de répondre spontanément, selon son intuition, sa vérité à lui, ce qu'il croit au fond de lui et non selon ce qu'il a appris en classe. Bien que parfois, les deux sources de connaissances se rejoignent. La répartition des questions est distribuée parmi ces écoles de pensée. Les critères qui définissent les modèles ont servi de référence à la construction des questions. Le but de ce questionnaire est d'observer l'épistémologie personnelle des élèves liée à la notion de vivant. Par la reconnaissance de leur modèle mental du vivant nous tenterons de prédire la reconstruction de ce dernier conséquente aux expérimentations prévues.

La compilation des résultats s'effectue à l'aide du logiciel Excel. À partir de ce dernier, il est aisé de regrouper les cinq écoles de pensée que nous avons mises de l'avant. Les questions, correspondant à chacun des modèles du vivant, ont été distribuées de façon aléatoire afin de déstabiliser les participants et de s'assurer d'obtenir des réponses plus près de leur réalité. Les questions de la première partie se lisaient ainsi:

1. Un éléphant est un vivant puisqu'il peut se reproduire.
2. Un nuage est vivant puisqu'il apporte de l'eau essentielle à la vie.
3. Un virus est vivant parce qu'il a de l'ADN.
4. Une plante est vivante parce qu'elle respire.
5. Une maison est vivante lorsqu'il y a beaucoup de personnes qui s'aiment à l'intérieur.
6. Une bactérie est vivante parce qu'elle peut enlever la vie.
7. Un feu est vivant parce qu'il brûle de l'oxygène.
8. Une voiture est vivante parce qu'elle peut avancer grâce à son moteur interne.
9. Une pomme est vivante parce qu'elle a un cœur.
10. Un virus est vivant parce qu'il s'adapte aux moyens de défense de ses hôtes.
11. Une plante est un vivant inférieur à un chat parce qu'elle n'a pas de sentiment.
12. Le Soleil est vivant puisqu'il fait constamment des réactions chimiques.
13. Un volcan est vivant parce qu'il peut s'éteindre et mourir.
14. Un arbre est un vivant inférieur à une poule parce qu'on peut manger la poule.
15. Un océan est vivant puisqu'il renferme plusieurs sortes d'animaux et de plantes.
16. L'eau est vivante puisqu'elle nourrit son chien.
17. Un escargot est vivant puisqu'il a des systèmes de défense.
18. Un drapeau dans la cour est vivant parce qu'il bouge tout le temps.
19. Les insectes sont vivants parce qu'ils se multiplient beaucoup.
20. Tout ce qui est vivant a une âme.
21. Une roche est vivante parce qu'elle est naturelle.
22. Le sol est vivant parce qu'il peut se déplacer et causer des tremblements de terre.
23. Les vivants sont tous ceux qui résistent à la mort.
24. Un nuage est vivant parce qu'il peut devenir de plus en plus gros.
25. Un feu de camp est vivant parce qu'il peut mourir.

26. Un chien est plus évolué qu'une vache parce qu'il comprend les consignes de son maître.
27. Une table est vivante parce qu'elle est composée d'atomes toujours en mouvement.
28. Une rivière est vivante parce qu'elle contient du liquide qui circule en elle.
29. Une fleur est vivante parce qu'elle possède un liquide qui circule en elle.
30. Un chat est vivant parce qu'il réfléchit.
31. L'Homme est supérieur à tous les êtres vivants parce qu'il a une âme.

Dans la seconde partie du questionnaire, nous recherchons les impressions d'adolescents de troisième secondaire au sujet de la manipulation du vivant. Respectant notre problématique selon laquelle nous cherchions à valider une solution de rechange à la dissection sur le réel, nous voulions un aperçu qualitatif de leur discernement en relation avec l'emploi de matériel vivant. Ce questionnaire, bâti avec des scénarii semblables aux précédents, a pour but de nous positionner sur les croyances épistémiques des élèves en rapport avec la manipulation du vivant. Par des mises en situation, les participants donnent leur degré d'accord à l'opinion qu'un adolescent fictif donne sur l'usage du vivant. Les questions sont variées et elles ne sont pas influencées par un code d'éthique particulier. Ainsi, la quantité d'arguments en faveur de la manipulation, en comparaison à la quantité d'arguments qui en sont défavorables, nous dévoile un éventail de postures devant l'utilisation de matériel biologique. Évidemment, notre position en tant que chercheurs nous a imposé un recul, une objectivité évitant l'influence de notre propre opinion. Les questions de la seconde partie du questionnaire se lisaient ainsi:

- A. On peut faire des expériences sur des plantes parce qu'elles ne réagissent pas à ce qu'on leur fait.
- B. On peut bien disséquer son chien lorsqu'il sera mort pour en voir l'intérieur.
- C. Un lion est supérieur à une gazelle puisqu'il est son prédateur.
- D. On devrait permettre de cloner des humains pour avoir des organes qui peuvent leur sauver la vie.
- E. La recherche sur la manipulation d'un fœtus devrait être légale puisqu'elle pourrait permettre de lui donner des gènes de santé et de force.
- F. La manipulation d'insectes pour connaître la génétique est acceptée parce que les insectes se multiplient rapidement.
- G. Les insectes sont une famille inférieure aux mammifères parce qu'ils ont une reproduction asexuée.
- H. Les mammifères sont supérieurs aux invertébrés parce qu'ils se déplacent mieux.
- I. Les lapins servent aussi à la fabrication de vaccins qui peuvent prévenir des maladies graves même s'ils doivent être tués.
- J. On peut ne pas aimer la viande mais être d'accord qu'on abatte des vaches pour nourrir les humains.
- K. On peut utiliser des yeux de bœuf pour faire disséquer les élèves au secondaire.
- L. Un animal de laboratoire qui sert à mettre au point des médicaments est bien utilisé.
- M. Je suis d'accord sur le fait de tester des cosmétiques sur des animaux de laboratoire.
- N. On peut avoir un chat et ne pas s'en occuper car sa nature lui permet de s'occuper de lui.
- O. Un poisson rouge n'a pas besoin d'amour mais seulement de nourriture.

En offrant la troisième partie du questionnaire aux élèves, nous investiguons sur leur éthique envers le vivant. Ainsi, nous regardions la hiérarchie parmi les êtres vivants selon des adolescents de troisième secondaire. Cette section se veut une analyse qualitative des valeurs acquises sur la place de chaque vivant dans notre vie. Les participants ont reçu une liste de noms d'être vivants, de toutes espèces confondues,

avec la consigne suivante : « A la manière de petits scientifiques, réalisez une hiérarchie des ces êtres selon ce qui vous semble le plus logique.»

Nous avons sélectionné des êtres vivants parmi les animaux de compagnie, les animaux de la ferme, les animaux de boucherie, ceux servant à l'habillement, au transport, etc.

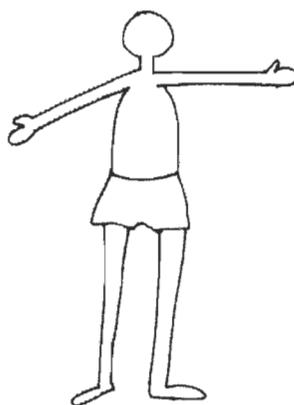
Les suggestions d'êtres vivants à classer étaient les suivantes:

Abeille	Chien	Loup	Pigeon
Bœuf	Cigale	Lion	Rat
Carpe	Cochon	Merle	Singe
Chat	Humain	Mouton	Serpent
Cheval	Lapin	Ours	Souris

Nous supposons que leurs valeurs liées aux êtres vivants servent de point d'ancrage à l'acquisition de nouvelles connaissances. D'autant plus que leur modèle mental en rapport à la circulation sanguine sera fortement influencé par les modèles déjà installés.

Pour terminer, la quatrième partie du questionnaire demande de dresser un dessin de la circulation sanguine et du cœur. Ce croquis sera analysé selon des critères précis. Nous recherchions les principales structures essentielles au transport du sang. Malgré cela, il s'y trouve de l'espace pour les notions nouvelles provenant de l'imagination des participants. Le concept théorique sous-jacent à la recherche est celui de la circulation sanguine. Le cœur en est la pompe et le sang circule par des vaisseaux distribués à travers le corps humain et irriguant tous les membres, la tête et les viscères. Chaque élève dessine sur une feuille de même format, à l'intérieur du même personnage

représentant, de façon naïve et asexuée, un humain. Nous offrons les mêmes paramètres quant au format du papier et à la silhouette imposée. Nos critères d'analyse du dessin sont influencés par les travaux de Lavarde (1994) sur les croquis du vivant chez des élèves d'âge préscolaire. La silhouette suivante est un modèle réduit du dessin offert aux élèves à l'intérieur duquel ils devaient dessiner la circulation sanguine.



Les critères d'analyse sont les suivants:

- La présence du cœur dans la voie empruntée par le sang.
- La présence de flèches ou d'autres indications démontrant un sens à la circulation.
- La présence d'une irrigation du cerveau ou de la tête.
- La présence d'une irrigation des membres.
- La présence d'un texte ou d'un dessin parlant d'une respiration ou des poumons.

- La présence de deux circulations qui pourraient ressembler à la petite et à la grande circulation.
- L'explication dessinée ou écrite d'une irrigation des cellules somatiques.
- Une explication ou un dessin expliquant que le cœur a besoin de sang pour se nourrir

3.2.b La dissection réelle d'un cœur de bœuf

Par la dissection, quelle soit réelle ou virtuelle, nous voulions valider leur compréhension de la voie empruntée par le sang et du cœur qui l'actionne. La dissection d'un cœur de bœuf s'est déroulée à l'aide de scalpel et de pinces hémostatiques. Chaque participant expérimentait sur un cœur réel en suivant les instructions de l'enseignante et de la technicienne en travaux pratiques. Toutes les parties anatomiques du cœur y étaient présentées ainsi que la voie unique empruntée par le sang. Lors de la dissection sur le cœur de bœuf, l'élève devait repérer les régions anatomiques extérieures du cœur avant de l'ouvrir. Lorsqu'il découpait le cœur, il devait le faire de l'apex aux oreillettes pour permettre une meilleure visibilité de son intérieur. Lorsque le cœur était ouvert, il repérait à nouveau les régions anatomiques. À l'aide d'une canule, il traversait les vaisseaux principaux permettant de suivre le circuit du sang. L'observation des valvules auriculo-ventriculaires, pulmonaire et aortique aidait à la compréhension de la circulation à sens unique du sang.

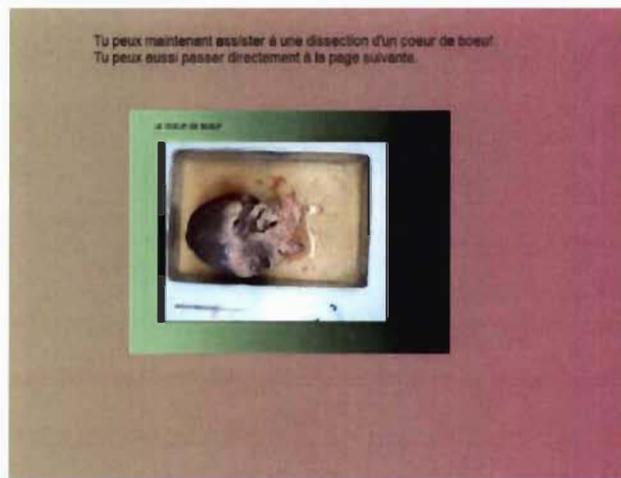
Après la dissection, les élèves étaient invités à nous figurer leur conceptualisation de la circulation sanguine sur le dessin représentant le même contour de bonhomme asexué que celui du questionnaire. Ce dessin avait pour titre DESSIN 2 après dissection sur le vivant, pour la moitié des participants qui disséquaient le cœur de bœuf en tant que première dissection et DESSIN 3 après dissection sur le vivant pour l'autre moitié des participants qui la faisaient en deuxième expérimentation.

3.2.c La dissection virtuelle interactive

La dissection virtuelle interactive a été préparée à l'aide du logiciel ActivInspire, respectant spécialement les exigences de la présente recherche. Premièrement, nous désirions des images réelles au lieu de dessins animés. De plus, ces images devaient être exactement les mêmes que ce qu'ils voyaient en disséquant sur le réel afin de minimiser les paramètres d'analyse. Seulement, dans la dissection virtuelle interactive, le scalpel a été remplacé par une souris d'ordinateur. Deuxièmement, chaque participant explorait la dissection virtuelle interactive en naviguant à son propre rythme sans avoir un ordre obligatoire à suivre. Troisièmement, la dissection interactive assistée par ActivInspire est très conviviale. Une courte explication des icônes était suffisante pour que chaque élève, devant son propre terminal, puisse y naviguer facilement. Quatrièmement, l'élève pouvait assister à une dissection complète en cliquant sur le lien hypertexte destiné à cette vidéo. Les images du logiciel provenaient d'une dissection sur un cœur de bœuf,

effectuée selon celle qui est pratiquée sur le réel. La dissection virtuelle interactive est présentée selon l'ordre offerte aux participants.

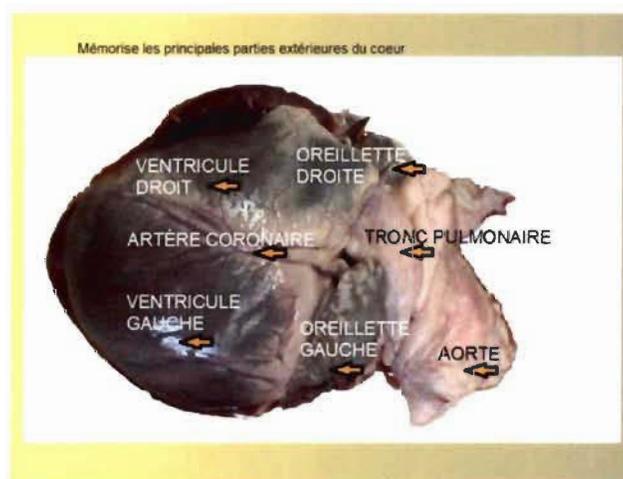
Notez que les dissections virtuelles interactives disponibles sont majoritairement en anglais. De plus, les dissections en français se font sur des grenouilles ou sur des dessins animés. La liste des sites de dissections consultée se retrouve à la fin des références de ce mémoire. La Figure 1 nous montre la première page de la dissection virtuelle interactive permettant de regarder une dissection d'un cœur de bœuf telle que pratiquée lors de la dissection sur le réel.



Le texte dit: «Tu peux maintenant assister à une dissection d'un cœur de bœuf. Tu peux aussi passer directement à la page suivante.»

Figure 1 La première page de la dissection virtuelle interactive.

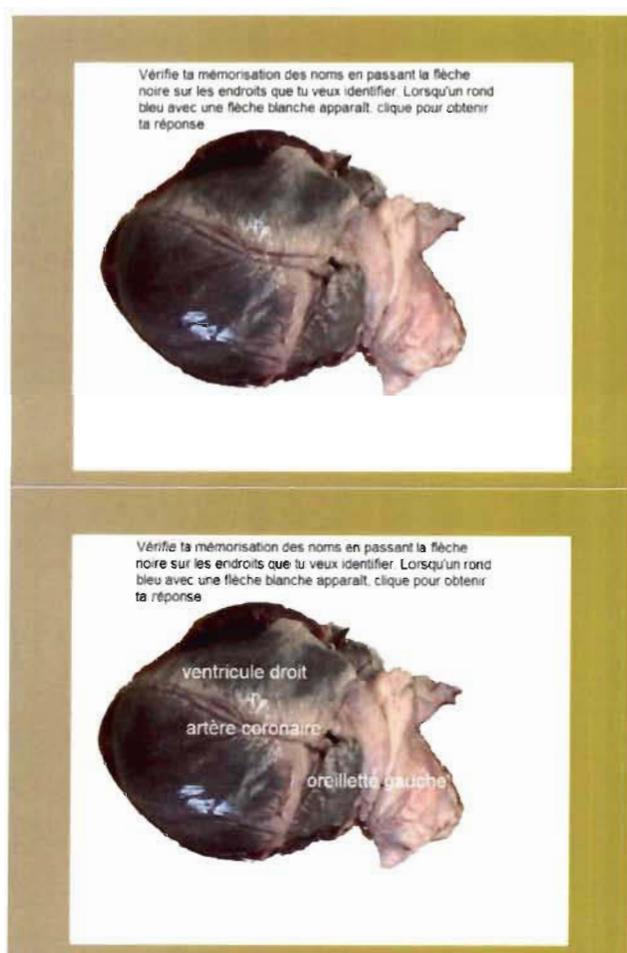
La Figure 2 présente la seconde page donnant les noms des principales parties externes du cœur.



L'élève regarde les différentes parties externes du cœur et en apprend la nomenclature.

Figure 2 La seconde page de la dissection virtuelle interactive.

La figure 3 affiche la troisième page représentant la même image mais non identifiée. L'élève doit les remémorer puis cliquer sur la section qui l'intéresse pour valider ses réponses.

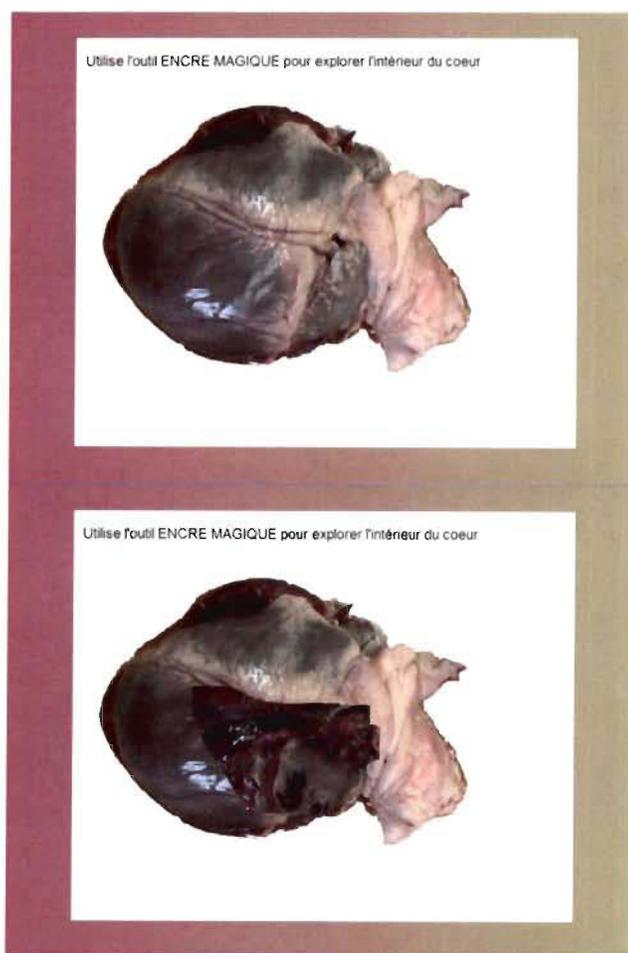


Le texte dit: «Vérifie ta mémorisation des noms en passant la flèche noire sur les endroits que tu veux identifier. Lorsqu'un rond bleu avec une flèche blanche apparaît, clique pour obtenir ta réponse.»

Les noms apparaissent en blanc à chaque clic de souris.

Figure 3 La troisième page de la dissection virtuelle interactive.

La Figure 4 présente la quatrième page dans laquelle l'élève voit la même photo externe du cœur. À l'aide de l'outil « ENCRE MAGIQUE » l'élève peut voir l'intérieur du cœur sous les parties externes en maintenant enfoncé le clic droit de la souris et en passant aux endroits qu'il désire.

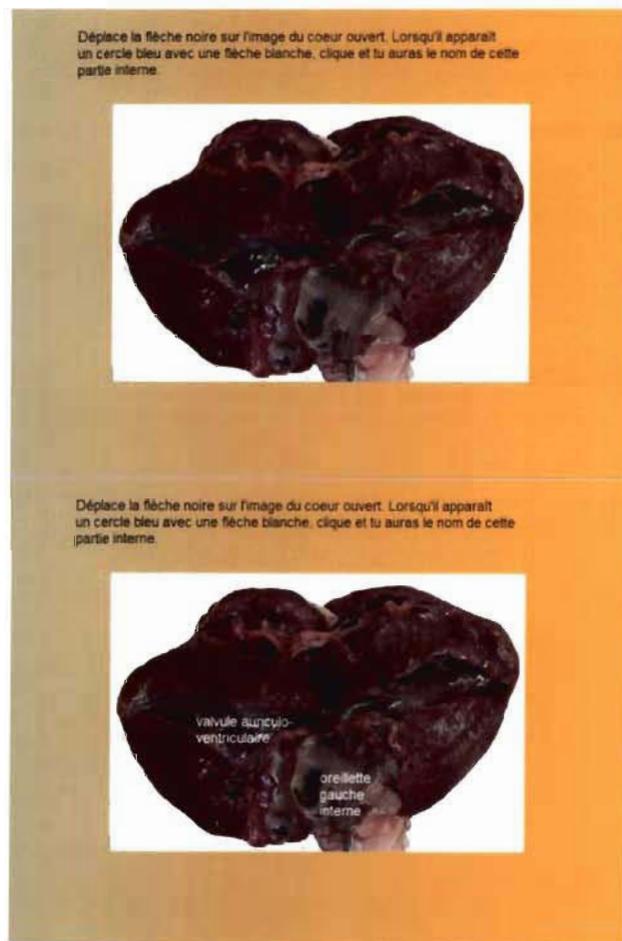


Le texte se lit: « Utilise l'outil ENCRE MAGIQUE pour explorer l'intérieur du cœur.»

L'intérieur du cœur apparaît avec le déplacement de la souris.

Figure 4 La quatrième page de la dissection virtuelle interactive.

La Figure 5 présente la cinquième page dans laquelle les parties internes du cœur sont révélées en cliquant sur les structures. Le cœur est ouvert de même façon qu'il le serait pendant une dissection sur le vivant.

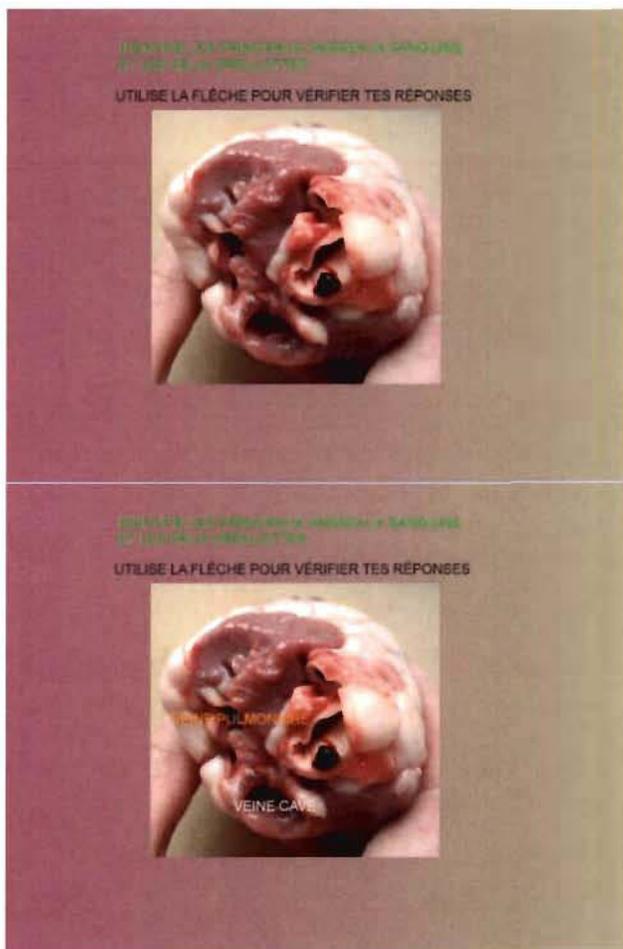


Le texte se lit: « Déplace la flèche noire sur l'image du cœur ouvert. Lorsqu'il apparaît un cercle bleu avec une flèche blanche, clique et tu auras le nom de cette partie interne.»

Les noms apparaissent en blanc à chaque clic de souris.

Figure 5 La cinquième page de la dissection virtuelle interactive.

La Figure 6 montre la sixième page et elle présente les vaisseaux sanguins annexés au cœur et l'élève doit cliquer sur les différentes structures pour en connaître le nom

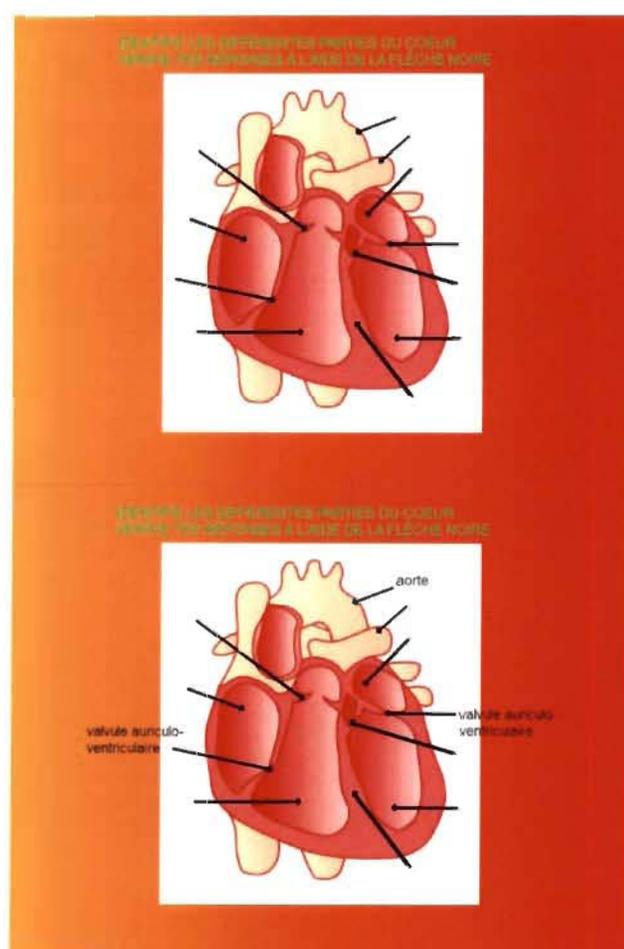


Le texte se lit: « Identifie les principaux vaisseaux sanguins et les deux oreillettes. Utilise la flèche pour vérifier tes réponses. »

Les noms apparaissent en couleurs contrastantes à chaque clic de souris

Figure 6 La sixième page de la dissection virtuelle interactive.

La Figure 7 présente la septième page permettant au participant de consolider ses acquis en vérifiant ses connaissances sur un schéma dessiné d'un cœur, tel que présenté dans les volumes de sciences. Les réponses apparaissent après un clic droit sur la structure pointée.



Le texte se lit: « Identifie les différentes parties du cœur. Vérifie tes réponses à l'aide de la flèche noire.»

Les noms apparaissent en noir à chaque clic de souris.

Figure 7 La septième page de la dissection virtuelle interactive.

Nous avons constaté que les vidéos commerciales, en français, exploitent la dissection de grenouille mais pas celle d'un cœur ou d'un œil. Celles qui répondraient en partie à nos besoins sont en anglais. Toutefois, l'activité offerte par Edumedia, en français, permet de passer d'une image externe d'un cœur dessiné à une image interne et l'identification des différentes parties anatomiques apparaît à chaque clic de souris. La licence Edu Media est dispendieuse et elle ne présente que des images colorées et non des images réelles. Alors, nous avons bâti notre propre matériel.

La dissection interactive a été entièrement bâtie à l'aide du logiciel ActivInspire. Dans un premier temps, la caméra ActiView a filmé et photographié une dissection sur un cœur de bœuf. Notre posture d'acteur et concepteur de la dissection interactive, nous permettait d'utiliser sans contrainte et hors de tout droit d'auteur cette dissection virtuelle interactive.

3.3 Lieu et moment de la recherche

La recherche s'est déroulée selon une logistique précise évitant les dérangements. Les participants ont complété le questionnaire en classe pendant les heures de cours. Les non participants lisaient des revues scientifiques fournies par les enseignants. Pour ce qui est de la dissection virtuelle interactive, les postes informatiques du local mis à notre disposition, contenaient le logiciel ActivInspire. Ce local est muni de tables et de chaises en son centre. Nous avons la possibilité d'y amener tous les élèves d'un même

groupe et ce, pendant nos heures de cours. Les participants expérimentaient le logiciel sur les terminaux informatiques tandis que les non participants complétaient des exercices de compréhension de la matière ou lisaient des revues scientifiques, assis au centre du local. Quant à la dissection sur un cœur de bœuf, nous utilisons le local de chimie à cause des équipements de sécurité et des hottes servant à la récupération du matériel biologique. Les non participants travaillaient à la bibliothèque sur des exercices supplémentaires ou lisaient des revues scientifiques sous la surveillance d'une technicienne en travaux pratiques. Il est bon de noter que chaque étape ne durait pas plus de 30 minutes et que nous retournions en classe continuer le cours habituel. Les enseignants impliqués ont couvert toute la matière prescrite au programme sans accuser de retard.

La collecte et l'analyse des données

Chapitre 4 COLLECTE ET ANALYSE DES DONNÉES

Dans les prochaines sections, nous présenterons la collecte et l'analyse des données. Le début de ce chapitre portera sur les attributs accordés au vivant par nos participants, incluant leurs réponses sur la manipulation de ce dernier, alors que la seconde partie mettra en lumière l'évolution de leurs représentations du modèle mental élaboré sur la conceptualisation de la circulation sanguine issues des deux types de dissection.

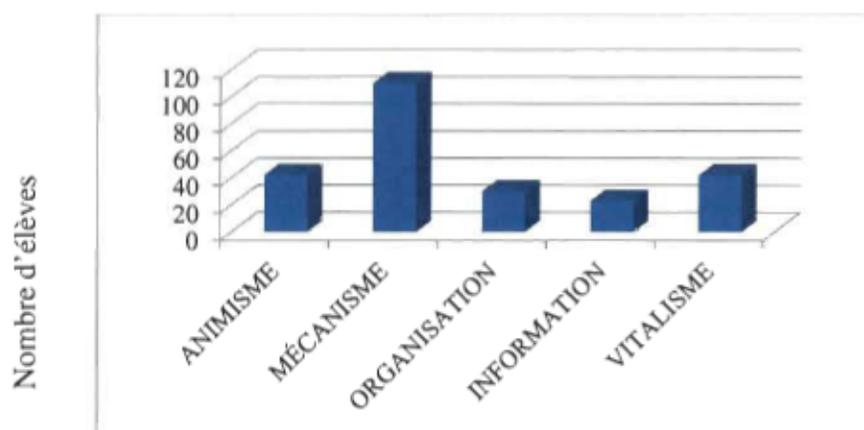
La collecte des questionnaires s'est produite sur place dès que ce dernier était complété. Il n'y a pas eu d'échanges entre les participants ce qui nous donne espoir que les réponses soient vraiment basées sur leurs conceptions. Après une dissection, ils complétaient le dessin sur lequel ils présentaient les concepts nouvellement acquis. De plus, les commentaires sur les deux types de dissection étaient écrits au verso de leur dessin et remis sans discussion entre les participants. Toutes les réponses aux questions ont été retranscrites sur Excel ce qui nous facilitait l'analyse des données. Ce chapitre rend donc compte des résultats obtenus et des analyses effectuées. Nous les présentons en respectant l'ordre du questionnaire et de l'expérimentation.

4.1 Description du vivant selon les participants

Nous faisons la constatation que la dissection d'un cœur permet la conceptualisation de la circulation sanguine. Dans la documentation présentée, l'élève doit mettre en déséquilibre ses modèles mentaux forgés par son milieu familial, par son entourage social, par sa culture ou par l'école. Étant donné que nous manipulons du matériel biologique, cette approche peut bloquer l'apprenant selon sa conceptualisation du vivant et de la manipulation de celui-ci. En conséquence, notre questionnaire tend à soulever ces obstacles que seraient les « idées préconçues » sur le vivant et sur le respect de celui-ci. Comme notre analyse se veut descriptive, il s'agissait pour nous de produire un portrait le plus impartial possible des connaissances antérieures sur le vivant. Considérant l'orientation épistémique de cette recherche, nous avons mis en relief plusieurs aspects des modèles mentaux. Le corpus constitué comporte les réponses au questionnaire et les dessins fournis par un échantillon de 123 élèves, de la première année du deuxième cycle du secondaire, fréquentant une école publique québécoise.

Tout en conservant son caractère exploratoire, notre étude apporte les résultats suivants. D'abord, les élèves sont mis devant un problème de variété de structures et d'organisation. En effet, leurs réponses montrent qu'ils prennent en charge un autre problème biologique, à savoir une mécanique interne qui fournit la vie aux êtres vivants. À la lumière de ces réponses, un courant de pensée paraît plus populaire; c'est le modèle mécaniste. La Figure 8 nous présente la répartition globale des réponses à la partie I du

questionnaire. Il est à noter que plusieurs élèves se retrouvent dans plus d'une catégorie, la variation des réponses en étant la cause. Aucun participant ne se situe distinctement dans une seule école de pensée.



Différentes écoles de pensée sur le vivant

Figure 8 Répartition globale des réponses à la première partie du questionnaire.

Ce constat rejoint les modèles animiste et vitaliste. La figure 9 présente deux mêmes paliers parmi les réponses des participants. En associant les participants à leurs réponses, nous réalisons que ceux qui ont donné des réponses influencées par le modèle animiste sont les mêmes qui offrent des réponses du modèle vitaliste. En effet, dans les textes sur l'origine de concept de vivant, le modèle animiste et le modèle vitaliste se distinguent mal l'un de l'autre. Leurs attributs sont trop semblables. Il en est de même des réponses des élèves dans lesquelles nous ne retrouvons pas une franche démarcation. *Avoir une âme*, selon les réponses, permet le mouvement et le contrôle de sa volonté.

Puis, nous constatons que la vie en tant qu'information n'est pas la plus populaire alors que les questions font ressortir le côté individualiste du vivant, son attrait pour l'autonomie et surtout sa possession de matériel génétique. Il en est de même de la vie en tant qu'organisation qui, selon nous est le plus près du contenu des cours présentés en classe de primaire et qui n'est pourtant pas relevé par les élèves.

En conclusion, le rapprochement entre ce mécanisme interne et le cœur au centre de la circulation sanguine s'impose. Il semble que ces adolescents reconnaissent, de façon subliminale, le cœur au centre de la vie. *Le cœur est articulé, il sert de moteur, il est chaud et il peut arrêter pareillement à une voiture, un volcan, un océan* dans les réponses au questionnaire. Nous retenons qu'ils sont conscients de manipuler du matériel vivant. Les réponses les plus récurrentes dans la première partie du questionnaire se lisent ainsi:

-Une maison est vivante lorsqu'il y a beaucoup de personnes qui s'aiment à l'intérieur.

-Une voiture est vivante parce qu'elle veut avancer grâce à son moteur interne.

-Un volcan est vivant parce qu'il peut s'éteindre et mourir.

-Un océan est vivant puisqu'il renferme plusieurs sortes d'animaux et de plantes.

-Une rivière est vivante parce qu'elle contient du liquide qui circule en elle.

-Une fleur est vivante parce qu'elle possède un liquide qui circule en elle.

4.2 La manipulation de matériel biologique

Cette portion du questionnaire tend à voir les conceptions des participants en regard à l'éthique envers le vivant et envers sa manipulation. En effet, la fabrication de modèle mental subit la portée de la culture, des « idées préconçues » et de l'entourage socioculturel chez les répondants. Ces influences forment l'éthique personnelle et conduit à une attirance ou à une répulsion envers la dissection. Dans le Tableau 4, nous présentons les questions et la répartition des réponses à la partie II du questionnaire. Les pourcentages représentent le nombre de participants. Les réponses 1-2 sont regroupées ainsi que les 3-4 puisqu'ils indiquent des réponses semblables mais à des degrés différents.

Tableau 4

Répartition globale des réponses à la partie II du questionnaire

Questions	Réponses		
	1-2 (%)	3 (%)	4-5 (%)
A. L'impassibilité des plantes.	43	31	26
B. L'animal de compagnie.	48	22	30
C. Le lion prédateur.	36	26	40
D. Le clonage humain.	33	34	33
E. La manipulation du fœtus humain.	32	41	45
F. La manipulation d'insectes.	12	32	56
G. La reproduction asexuée.	49	32	19
H. La mobilité des mammifères.	57	28	15
I. Les lapins et les vaccins.	51	32	17
J. L'animal d'abattage.	21	48	31
K. La dissection au secondaire.	1	29	70
L. L'animal de laboratoire	30	34	36
M. Les cosmétiques.	55	23	22
N. L'autonomie du chat.	50	19	31
O. L'entretien du poisson rouge.	30	29	41

Nous faisons face à une diversité de données. Il faut souligner que les genres des participants ne présentent aucune différence; garçon ou fille ont des réflexions tout aussi variées. Selon les résultats, il existe un fort désaccord avec l'expérimentation sur des plantes, sur son animal de compagnie ou bien avec l'utilisation de lapin pour la fabrication de vaccin, alors qu'un bon pourcentage favorise la dissection au secondaire, le clonage humain, la manipulation de fœtus et même la fabrication de médicaments par l'utilisation d'animaux de laboratoire. De plus, les chats ont besoin qu'on s'occupe d'eux tandis que les poissons peuvent manquer d'amour et de soins selon la moitié des participants, mais les insectes et autres invertébrés ne sont pas inférieurs aux mammifères. Même que tous les animaux ressortent égaux à leurs yeux, les prédateurs ne sont pas supérieurs à leurs victimes, alors que les insectes peuvent servir de matériel expérimental puisqu'ils se reproduisent rapidement et que l'abattage de vache est accepté par la moitié des participants.

Il nous est donc difficile de percevoir une tendance claire parmi les réponses sur la manipulation de matériel biologique. Les réponses de chaque participant nous apparaissent contradictoires. Par contre, leurs commentaires écrits sur la feuille de dessin indiquent une répartition égale d'opinions en faveur et en désaccord. Les premiers sont attirés par le côté inquisiteur de la dissection et les seconds sont repoussés par son côté morbide.

4.3 La hiérarchie parmi les êtres vivants selon des adolescents de troisième secondaire

Notre questionnaire sert d'indicateur de posture sur la hiérarchie des êtres vivants. Or, lors du processus exploratoire, les croyances épistémiques peuvent influencer la décision non réfléchie d'accepter ou d'éviter un remaniement de leur modèle mental. Puisque les animaux de laboratoire ainsi que les animaux de boucherie ne sont jamais placés en queue de liste, ceci nous indique l'absence d'une franche démarcation dans le classement des vivants. Les réponses des participants se répartissent de façon pêle-mêle mais avec deux pôles un peu plus prononcés.

Aussi, cette partie du questionnaire rejoint les réponses dans lesquelles nous remarquons une faible popularité des commentaires axés sur le modèle de vie selon une organisation. Ce dernier présente une importance de la hiérarchie dans l'organisation de la vie. Par conséquent, l'échelle hiérarchique fluctue énormément mais des constantes s'imposent. En effet, l'homme se classe premier suivi par le singe et parfois ils échangent leur position. Ces deux êtres tiennent la tête de la hiérarchie en alternance. Tous les autres animaux catalogués par le chercheur en tant qu'animaux « de ferme », « de transport », « de boucherie », « de laboratoire », « pour l'habillement », « de compagnie », se retrouvent distribués aléatoirement parmi les réponses à la partie III du questionnaire. Même si les insectes et les poissons se positionnent plus vers la fin, la catégorisation des êtres vivants, issue des données recueillies, diffère de nos critères d'analyse.

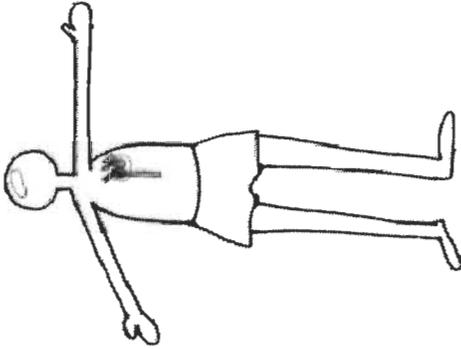
Cependant, plusieurs refusent toute forme de classification prétextant que tous les êtres vivants sont égaux selon eux. Par contre, plusieurs animaux se regroupent dans des blocs que nous retrouvons chez la plupart des participants sans pouvoir identifier une catégorie commune. Cette remarque rejoint le constat de la deuxième partie du questionnaire même si nous avons soulevés des aberrations dans les réponses.

4.4 Le dessin de la circulation sanguine et du cœur selon des adolescents de troisième secondaire

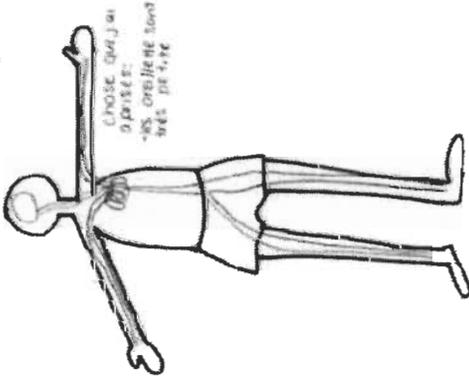
La tentation de regarder les dessins des participants avec des yeux de biologistes, impose une grille permettant une collecte de données objective. La Figure 9 présente une séquence très représentative des dessins exécutés par un participant ayant expérimenté sur un vrai cœur de bœuf en tant que première dissection puis sur la dissection virtuelle interactive comme seconde dissection.

La consigne est de ne représenter que les éléments nouveaux. Plusieurs élèves dessinent de nouvelles parties anatomiques en réaction à une dissection. Toutefois, il se présente que, pour la plupart d'entre eux, la dissection virtuelle interactive leur permet plus d'autonomie dans la découverte du cœur. Ils ont la possibilité de naviguer à leur rythme à l'intérieur du logiciel. Ils prennent plus le temps de lire et d'apprendre les différentes régions anatomiques.

Avant la dissection, nous remarquons la présence unique d'un cœur sans lien avec une quelconque circulation du sang.



Après la dissection sur le réel, apparaît une circulation qui irrigue plusieurs parties du corps mais qui n'a pas une direction précise.



Après la dissection virtuelle interactive, en tant que seconde dissection, l'artère coronaire est l'élément nouveau dans ce troisième dessin.

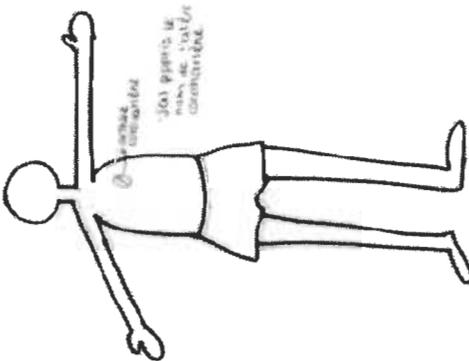
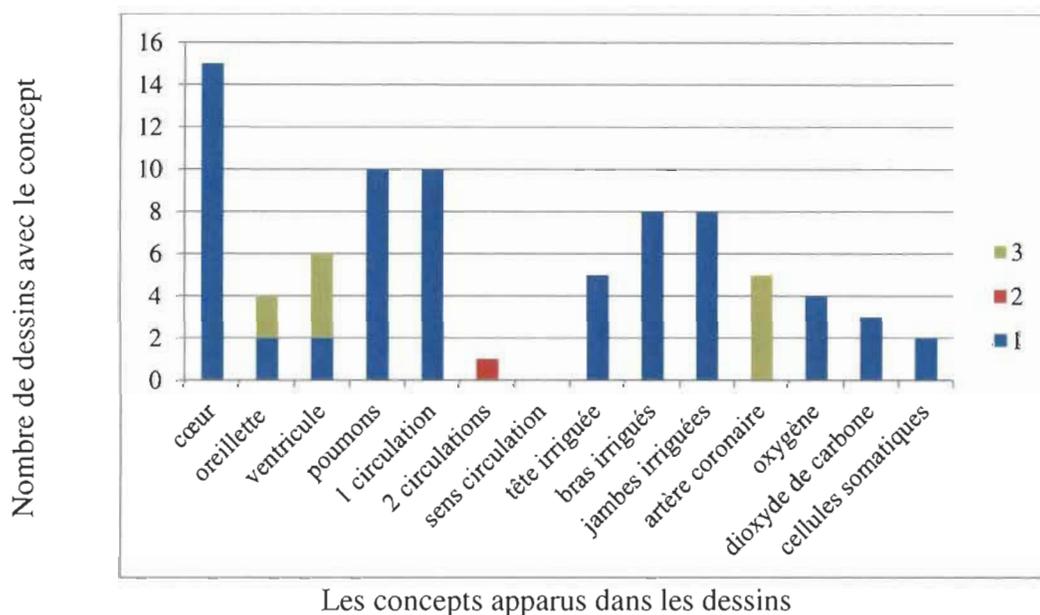


Figure 9 Une séquence de dessins représentative des données obtenues par le premier groupe de participants.

Tous les critères apparus dans le premier dessin sont cochés avec le chiffre 1, ceux apparus dans le second dessin, avec le chiffre 2 et certains portent le chiffre 3.¹⁸ La Figure 10 présente un aperçu de la collecte des données chez les participants qui ont expérimenté la dissection sur le réel, servant de première expérience et qui ont exécuté la dissection virtuelle en deuxième. Nous avons retiré un échantillonnage très fidèle aux résultats obtenus.



LÉGENDE :

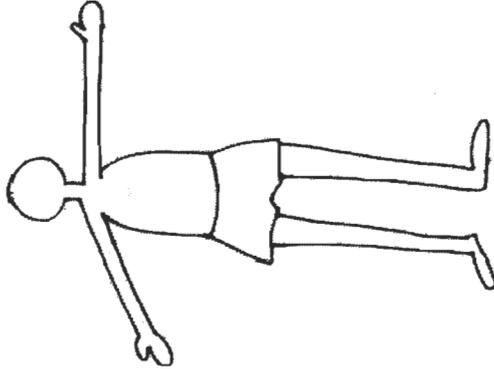
- 1 indique les critères apparus dès le premier dessin.
- 2 indique les critères apparus à la suite de la dissection virtuelle interactive.
- 3 indique les critères apparus à la suite de la dissection sur le réel.

Figure 10 Répartition globale des réponses les plus récurrentes.

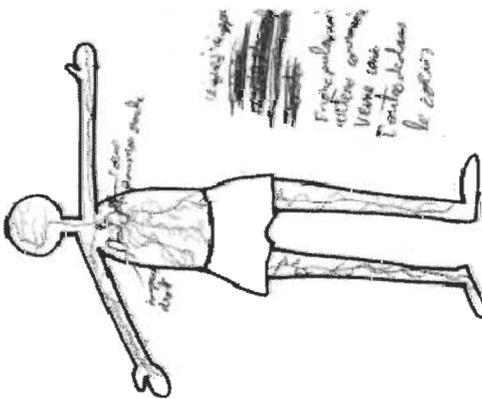
¹⁸ Un classeur Excel, dans lequel nous avons compilé les résultats de tous les participants, nous a permis de vérifier les notions préconçues puis l'acquisition de connaissances à la suite de chaque type de dissection. À l'aide de la fonction FILTRE dans Excel, nous avons recueilli facilement les critères nouveaux et à quelle étape ils sont apparus.

Un des buts de la recherche est la comparaison entre les deux types de dissections en faisant disséquer sur le réel la moitié des participants pendant que le second groupe expérimentait la dissection virtuelle interactive. Après quoi, les deux groupes pratiquent l'autre dissection. La Figure 11 présente les dessins d'un participant très représentatifs du second groupe.

Nous remarquons la présence du cœur
et d'une tentative de circulation, d'un
seul côté du corps.



Plusieurs informations se sont ajoutées
avec une bonne précision.



Il n'y avait rien de nouveau à ajouter.

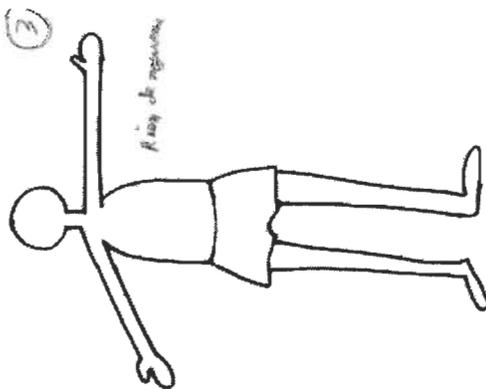
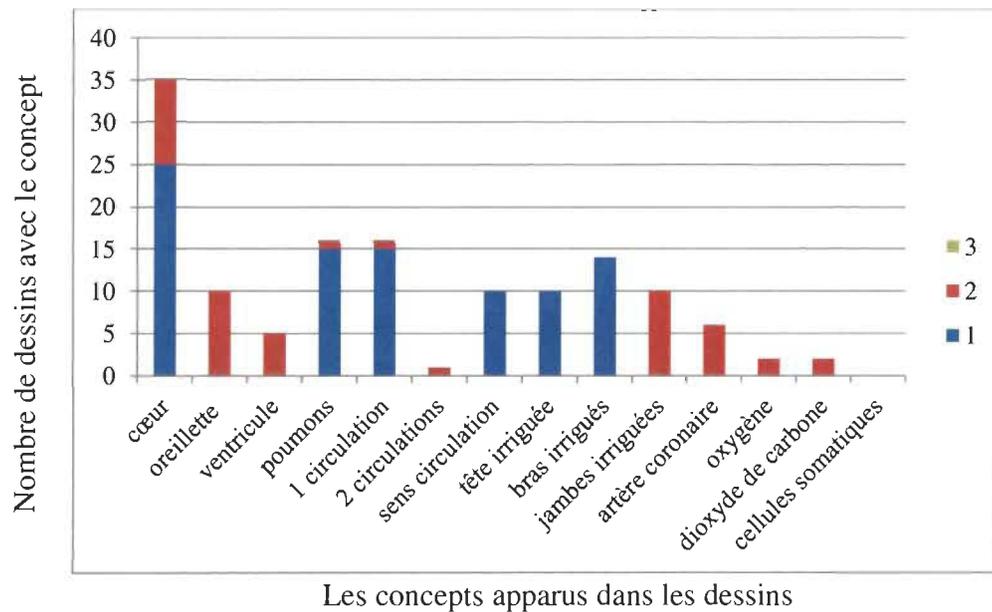


Figure 11 Une séquence de dessins représentative des données obtenues par le deuxième groupe de participants.

La Figure 12 présente un aperçu de la collecte des données chez les participants qui ont expérimenté la dissection virtuelle interactive en premier et qui ont enchaîné avec la dissection sur le cœur de bœuf. Tout comme pour le premier groupe, nous avons un échantillonnage aléatoire mais très fidèle aux résultats obtenus. Nous utilisons la même légende pour reconnaître la chronologie des dessins.



LÉGENDE:

1 indique les critères apparus dès le premier dessin.

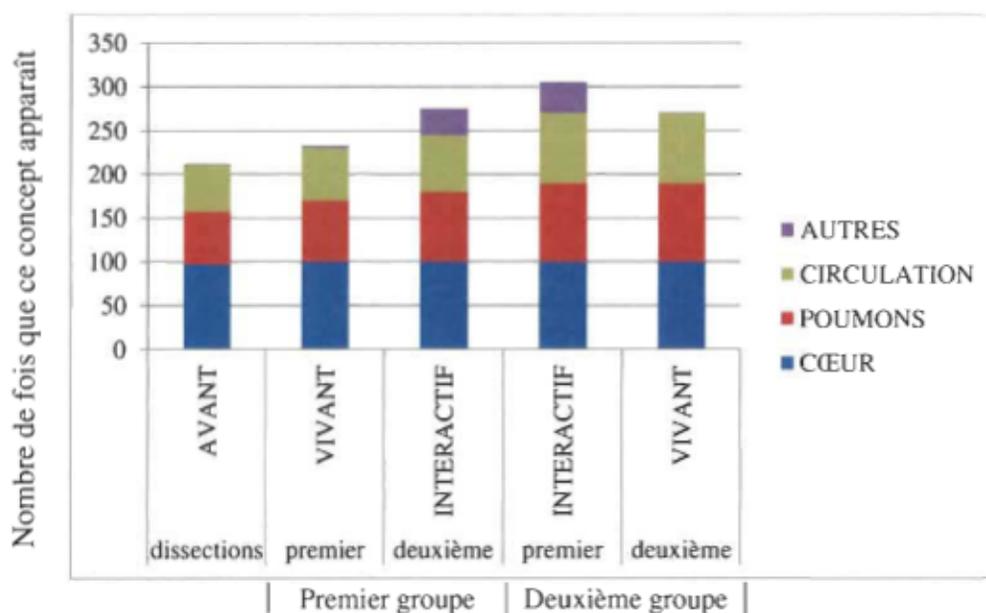
2 indique les critères apparus à la suite de la dissection sur le réel.

3 indique les critères apparus à la suite de la dissection virtuelle interactive.

Figure 12 Exemple des réponses les plus récurrentes.

En conclusion, les dessins nous indiquent clairement que les deux types de dissections s'équivalent. L'acquisition de nouvelles connaissances est bien illustrée dans la Figure 14 qui compile les réponses obtenues selon l'ordre des manipulations. Avant les deux types d'expérimentation, une bonne portion des élèves a dessiné un cœur, des poumons et une certaine circulation. Lorsque les participants tracent leur croquis après la dissection sur le réel en tant que première expérimentation, ils ont ajouté des éléments. La dissection a permis de connaître la présence d'un cœur dans la circulation sanguine pour tous les participants qui l'ont omis au premier dessin. Ces derniers ont testé la dissection virtuelle interactive en seconde expérimentation et quelques-uns ont encore ajouté des notions nouvelles.

Pour le second groupe de participants qui ont manipulé la dissection virtuelle interactive en premier, nous remarquons un nombre légèrement plus élevé que ceux du premier groupe, qui augmente leurs croquis de concepts nouveaux. Par contre, il n'y a pas de modification au second dessin. La Figure 13 présente la répartition des acquisitions selon l'ordre des dissections.



L'ordre des expérimentations pour les deux groupes de participants

Figure 13 Répartition des acquisitions selon l'ordre des dissections.

Tout comme les participants aux recherches de Holschuh, aucun de nos participants n'a suivi de cours sur le système cardiovasculaire. Nous pouvons donc constater une réelle transformation de leurs représentations du modèle qu'ils se font de la circulation sanguine consécutive à une dissection d'un cœur, réelle ou virtuelle.

Au premier dessin, avant l'expérimentation, les élèves dessinent tous un cœur. Ils savent tous qu'ils en ont un et à quel endroit il se situe. Toutefois, leur cœur ne se raccorde pas à d'autres organes. Aussi, certains dessinent des poumons mais ils ne sont pas en relation avec le cœur. Il n'y a donc aucune notion de circulation du sang entre ces organes avant d'appliquer la recherche.

Interprétation

Chapitre 5 INTERPRÉTATION

Dans ce chapitre, nous discuterons des résultats obtenus conformément à chacune de nos trois questions de recherche et nous terminerons avec les limites de cette recherche. Notre questionnaire tend à vérifier si les « idées préconçues » sur la circulation sanguine servent d'ancrage ou d'obstacles aux notions nouvellement découvertes après la dissection. Voilà pourquoi nous disons que nos données obtenues concèdent la présence de croyances épistémiques distribuées selon un modèle mental et que ce dernier est reconstruit en aboutissement aux deux types de dissections. En accord avec les travaux de Chi, Slotta et Leeuw (1994), de Chi (2008) et aussi de Machery (2004, 2009a, 2009b), nous observons que les représentations des modèles mentaux sont influencées par la catégorisation personnelle exploitée par chaque participant. Ainsi, pour vérifier l'émergence d'un apprentissage, nous devons connaître les concepts déjà acquis. Notre expérience étant basée sur la conceptualisation de la circulation sanguine, nous voulons faire ressortir les « idées préconçues » en rapport au vivant et à sa manipulation. Suivra l'analyse des dessins élaborés avant les expériences puis ceux dressés après chaque type de dissection. Notre observation se portera sur la représentation de la circulation sanguine et sur le remaniement d'un modèle mental en cours d'expérience, chez les participants. Pour terminer, nous comparerons la valeur des deux types de dissections en tant qu'outil pédagogique.

La première question de recherche se lit ainsi:

Quels sont les représentations des modèles mentaux des élèves du secondaire en rapport avec le vivant et sa manipulation?

L'objet du questionnaire est, entre autres, d'observer la part des croyances épistémiques dans l'élaboration de modèle mental représentant le vivant. Les résultats découlent des réponses aux deux premières parties de ce questionnaire. Nous observons que le cœur est considéré tel un élément essentiel à la vie. Les élèves possèdent une notion bien ancrée selon laquelle le cœur est le moteur de la vie. En effet, le modèle mécaniste selon lequel le vivant est mû par une force interne apparaît le plus fréquemment parmi les réponses au questionnaire. De ce fait, une majorité des élèves voit le vivant comme n'importe quel organisme capable de se mouvoir par lui-même. Nous relevons une forte concentration de réponses en accord avec le modèle mécaniste. En effet, les participants ont majoritairement tracé un cœur dès le premier dessin, celui avant toute forme de dissection. Voilà pourquoi nous disons qu'ils comprennent l'existence d'un cœur permettant la vie et que tous les participants savent d'instinct qu'ils en possèdent un. Toutefois, dans la majorité des dessins du début, il n'y avait aucune représentation d'une circulation quelconque. Seul le cœur était présent dans la grande majorité des dessins. Il est clair que leurs « idées préconçues » sur la circulation sanguine n'indiquent pas de ramifications rattachées au cœur. Les réponses au questionnaire signalent pourtant une présence de *liquide essentiel à la vie*. La transposition vers la circulation sanguine ne se réalise donc qu'après leur première dissection. Le lien entre leurs réponses sur les

attributs du vivant et leur représentation de la circulation sanguine ne paraît pas s'installer spontanément.

Les croyances épistémiques influencent leur façon d'attribuer des caractéristiques aux phénomènes et aux objets. Nous réfléchissons ainsi sur leur catégorisation du phénomène de circulation sanguine et de l'élaboration de leur modèle mental. Les apprenants accordent des attributs aux objets ou aux phénomènes d'une manière subliminale, influencée par leur culture, leur entourage familial, leur environnement social ou leur milieu scolaire. Selon ces attributs, les objets ou les phénomènes sont regroupés par catégorie. Par conséquent, les catégories semblables sont voisines. Notre intention est de faire ressortir des catégories voisines à celles du vivant par notre questionnaire. Les programmes scolaires actuels, qui présentent le vivant selon ses grandes fonctions, la respiration, la reproduction, laissent certainement des empreintes dans leur pensée. Alors, nous avons pris la précaution de choisir des participants sans formation scolaire sur le système cardiovasculaire. Nous avons bâti le questionnaire selon nos catégories issues de nos années d'étude dans le domaine et de notre vécu. Toutefois, le questionnaire s'avère limité par nos propres catégories sans laisser de place à celles des élèves. Les êtres vivants que les élèves ne côtoient pas (bœuf, cochon, cigale, carpe...), ne sont pas installés dans leur modèle mental donc ils errent dans leurs pensées sans positions fixes. Ces êtres vivants se montrent tous égaux aux yeux des élèves mais il est pourtant acceptable, selon les réponses obtenues, de s'en servir pour faire des dissections. Ainsi, les réponses semblent dénudées de profondes convictions et

sont réparties sans catégories claires à nos yeux. Le mode de cueillette utilisé n'est pas à la hauteur pour déterminer le classement des êtres vivants par les élèves. Nous avons élaboré un choix à partir de nos propres catégories sans tenir compte que les participants possèdent les leurs. Il nous est explicite que les modèles mentaux sont fabriqués à l'aide de catégories qui servent d'ancrage ou d'obstacles aux nouvelles notions et les représentations du modèle mental des participants ont clairement été remodelées. Alors nous considérons que les participants ont utilisés des catégories que notre questionnaire n'a pas permis de comprendre.

Puisque cette recherche conduit à vérifier, même partiellement, les théories de Chi sur la catégorisation, nous réalisons l'existence de catégories forgées par les élèves sur le vivant mais sans en comprendre les liens entre elles. Nous aurions dû ouvrir les questions et laissé libre cours à leurs représentations sans imposer de limites.

En conséquence, les modèles déjà acquis chez les apprenants présentent une force interne mais sans rapport à la circulation sanguine. Ce concept paraît vague dans leur esprit. Ils dessinent un cœur mais il n'y apparaît aucunes connections. Les réponses aux questionnaires concèdent une richesse d'opinions chez les participants mais une faiblesse dans la transposition de ces dernières expliquant la circulation sanguine. Subséquemment aux dissections, les dessins retouchés s'améliorent par la présence de poumons et d'une certaine circulation sanguine. C'est pourquoi nous disons détenir des manifestations de modèles mentaux échafaudés par nos participants.

La seconde question de recherche se lit ainsi:

Est-ce que les représentations des modèles mentaux des élèves du secondaire seront réorganisées à la suite d'une dissection, induisant ainsi l'apprentissage de la circulation sanguine?

L'observation des données paraît montrer une réorganisation des concepts vers un modèle mental plus structuré indépendamment du mode de dissection. De fait, des concepts importants s'ajoutent au réseau préalablement dessiné. La transformation des dessins en cours d'expérimentation nous offre une représentation améliorée du modèle mental de la circulation sanguine avec les deux dissections confondues. Ce chapitre présente l'interprétation de tous les outils utilisés pour en venir à cette constatation.

D'abord, le questionnaire demande des informations sur leurs habitudes par rapport aux sciences. Il en ressort que la majorité des participants, ne jouent pas à des jeux à caractères scientifiques, n'écoutent pas de reportages scientifiques ni de quiz sur le même sujet et que la lecture scientifique est rare. Donc, nos participants s'avèrent idéaux pour une telle étude. Parce qu'ils n'ont pas assisté à des cours sur le système cardiovasculaire, nous pouvons ainsi vérifier une acquisition fraîche de connaissances sur la circulation sanguine. L'interprétation des résultats suivra donc l'ordre des expérimentations.

Le premier dessin indique une nette faiblesse quant à l'utilisation de croquis. Nous parlons d'élèves de troisième secondaire qui font un simple gribouillis sans début ni fin démunis de toutes explications. Toutefois, le cœur apparaît dans la majorité des premiers dessins. Comme nous pouvons nous y attendre, les dessins suivant les dissections se confirment comme étant un peu plus explicites. La *Figure 13* Répartition des acquisitions selon l'ordre des dissections montre un portrait des réorganisations des modèles mentaux. Nous considérons que leurs dessins sont des produits de leur pensée. Les dessins exécutés, après une première dissection sont empreints d'éléments nouveaux. Les dessins se rectifient d'une ou de plusieurs notions supplémentaires indépendamment de l'expérience exécutée. Considérant que le remaniement de la représentation d'un modèle mental est signe d'apprentissage, les deux formes de dissections permettent l'acquisition d'un réseau de concepts lié à la circulation sanguine.

Pour qu'émerge la reproduction du modèle mental de la circulation sanguine, nous exploitons la métaphore en tant qu'outil pédagogique. Puisqu'un cœur de bœuf n'est pas celui d'un humain mais qu'il lui ressemble, l'apprenant est amené à transposer ses connaissances du cœur de bœuf vers celles de l'humain. Dans les textes sur les métaphores, nous relevons que les symboles, les schémas, les modèles facilitent la structuration du savoir et sa manipulation. Il s'agit de ressources lisibles, compréhensibles, adaptées au public. De ce fait, nous observons un transfert de connaissances nouvellement acquises, par la dissection d'un cœur bovin, vers le dessin de la circulation sanguine humaine.

La troisième question de recherche se lit ainsi:

S'il existe un apprentissage conséquent aux deux types de dissection, est-ce que la dissection virtuelle interactive peut servir d'alternative à la dissection sur le vivant?

Nous n'avons pas l'intention de prouver l'efficacité d'une dissection numérique interactive mais bien d'observer un apprentissage conséquent à une autre forme de dissection que celle sur le vivant. C'est dans cette optique que nous avons travaillé avec une solution de rechange à la dissection sur le réel. Il est plausible de décrire la dissection numérique tel un outil convivial et adapté à un public adolescent. Au lieu d'utiliser un scalpel, ils utilisent une souris d'ordinateur. Dans cet ordre de pensée, les vidéos et les structures en plastiques sont de solides métaphores. Par contre, l'enseignement de la biologie au secondaire est basé sur la découverte du réel. Par la dissection interactive, qui se montre très populaire, l'apprenant découvre le vivant sous forme virtuelle. Les images ne sont pas outrageusement colorés ou tracées de contours gras mais elles sont exactement les mêmes que ce qu'ils voient lors d'une dissection réelle. À la lecture des commentaires ajoutés au verso des dessins, tous les participants ont aimé et compris la dissection en naviguant au travers du logiciel et ont eu l'impression de disséquer pour vrai. C'est ainsi que s'impose la réponse à notre dernière question de recherche. Les résultats obtenus montrent que l'émergence d'un modèle mental conséquente à la dissection sur un cœur de bœuf contrebalance celle obtenue après la dissection virtuelle interactive. Les représentations du modèle mental s'avèrent améliorées dès la première expérience peu importe qu'elle soit sur le réel ou virtuelle.

Le modèle de départ est pauvre à cause des faibles connaissances sur le phénomène de circulation du sang au travers le corps. Quelques éléments sont présents mais sans connections entre eux pareillement à des organes qui flottent dans le corps. Dès le second dessin, des reproductions de concepts nouveaux apparaissent. Nous supposons donc qu'il s'y développe un apprentissage. L'expérimentation avec les élèves s'avère concluante. Nous assistons à un apprentissage par remodelage du modèle mental émergent et nous proposons de surcroît une solution de rechange à la dissection sur le réel.

Par contre, l'analyse commande les limites de notre questionnaire. Nos catégories ne sont visiblement pas les leurs. Ils sont restreints par nos choix de réponses. Des questions ouvertes auraient été vraisemblablement plus significatives. Leur culture influence leur catégorisation. À quel endroit ont-ils vu des animaux de transport? Quand ont-ils fait le lien entre un hamburger et un bœuf d'abattage? Alors, notre analyse respecte cette limite et regarde globalement les résultats. Ainsi, bien que l'homme soit presque toujours en tête de classement, il est à noter que le singe le suit toujours de près. Ils ont tendance à restituer l'ordre appris en classe de sciences. Toutefois, la carpe et la cigale ressortent souvent en queue de liste. Ces réponses mettent en lumière la profondeur sémantique de certains mots qu'emploient les enseignants et il en est de même du vocabulaire dont les élèves ignorent le sens. Ils regroupent les inconnus à la fin de la liste plutôt par manque de vocabulaire que par croyance épistémique.

Discussion

Chapitre 6 DISCUSSION

À la lumière de la documentation et de quelques mois de recherche, nous répondons à tous nos objectifs. Ainsi, la discussion présente nos trois premiers objectifs basés sur la recherche en enseignement.

Le premier se présente ainsi:

Cette recherche tend à valider les travaux de Coquidé selon lesquels l'acquisition de notions scientifiques passe par l'expérimentation.

En effet, la dissection remodèle les schémas de concepts de la circulation sanguine, chez les élèves. Toutefois, une des ces expériences présentent des interrogations tant qu'à sa pertinence en classe de secondaire. La dissection sur le réel se pratique depuis des années. Il est connu que depuis des siècles, médecins et philosophes tentent de saisir toutes les nuances de l'humain. C'est pourquoi les analyses sur les cadavres ainsi que sur des animaux encore en vie ont entraîné une coutume acceptée de tous, des médecins et des pharmacologues particulièrement. Aujourd'hui, dans les écoles secondaires, il se fait encore la dissection sur des organes d'animaux soi-disant pour faire concevoir la vie. Mais, est-ce la seule méthode? En effet, notre recherche a permis de réaliser qu'une dissection virtuelle interactive permet le même apprentissage qu'une dissection sur le réel. Considérant les coûts reliés à la manipulation de matériel biologique, la méthode virtuelle s'impose. Par exemple, l'achat et la manipulation de déchets biologiques

entraînent des frais récurrents. Les techniciens doivent renouveler les gants et les lames de scalpel. Le transport du matériel biologique et l'incinération des déchets présentent des factures annuelles non négligeables. Sans compter la désinfection des tables et des bancs du laboratoire de dissection. Par contre, une dissection numérique interactive ne se produit qu'une seule fois, lors de son montage, sur un seul organe et peut servir pendant des générations d'élèves. En conséquence, parce que l'intention pédagogique est la découverte et l'apprentissage du vivant par l'expérimentation, quatre raisons s'imposent pour utiliser la dissection virtuelle interactive.

Premièrement, l'étude de l'anatomie humaine au secondaire amène l'élève à connaître son corps. La dissection a été introduite pour observer l'anatomie des différents organes du corps humain et aussi pour comprendre le fonctionnement de ces derniers. Dans plusieurs écoles, cette dissection se fait en démonstration devant la classe. Cette approche est peu coûteuse et impose moins de manipulation de matériel vivant. Par contre, l'élève n'a pas d'interaction avec l'expérience. Il découvre le vivant mais en restant passif. Notre posture est aussi celle de Barak (2010) selon laquelle l'apprenant doit s'investir dans son apprentissage. Un engagement volontaire favorise grandement la mise en place de nouveaux concepts dans le modèle mental. Néanmoins, il existe plusieurs expérimentations de rechange à la dissection sur le vivant. Mais les planches anatomiques et les modèles réduits en plastique ne montrent que des images exagérément colorées alors que le but reste de faire découvrir le vivant dans toute sa splendeur. De plus, les vidéos ne sont pas interactives bien qu'elles soient très

instructives. Au fond, les élèves ont visionné des vidéos sur plusieurs systèmes du corps humain, depuis des années. Ils constatent les nuances du corps humain mais ils sont des observateurs passifs alors qu'il est préférable d'expérimenter pour consolider ses acquis (Barak et al., 2011). Ainsi, nous suggérons que la dissection virtuelle interactive soit une bonne alternative à la dissection sur le vivant puisqu'elle présente les mêmes images réelles dévoilant la magnificence du corps humain.

Deuxièmement, la dissection au secondaire demeure très populaire auprès des élèves alors nous devons la maintenir. Mais l'argument est faible puisque les jeux vidéo à caractère violent le sont aussi et pourtant ils sont décriés par plusieurs spécialistes du comportement. C'est qu'en effet, l'attrait du morbide s'avère une motivation chez certains adolescents. L'intention pédagogique de la dissection n'est pas concluante lorsqu'on les voit expérimenter sans respect pour le matériel devant eux. Bien que la motivation passe par un engagement de l'élève, nous ne sommes pas tenus d'utiliser tout ce qui stimule un adolescent d'aujourd'hui. Un code moral doit diriger nos choix d'outils pédagogiques. Notre expérience nous permet de dire que la dissection sur le réel fait souvent oublier que ces organes utilisés font partie d'un être vivant entier qui a été sacrifié pour la boucherie et pour les expériences en classe. En effet, lors des dissections en classe, les organes sont traités pareillement à de simples objets que l'on triture et que l'on déchire sans égard avec les concepts à apprendre. Tandis qu'une dissection interactive n'utilise qu'une seule fois l'organe, le dissèque, le photographie ou le filme, prépare la dissection virtuelle qui servira pendant plusieurs années sans sacrifier

d'autres organes. Il en résulte que cette dissection virtuelle interactive s'utilise à la demande, permettant ainsi l'apprentissage selon le rythme de chacun. Il est impossible de manquer de respect aux images et de les modifier de façon semblable à ce qui est trop souvent le cas en laboratoire de dissection. La dissection virtuelle se déroule toujours telle quelle, sans être modifiée par des manipulations inadéquates. Les logiciels interactifs et les simulations sont de puissants outils qui apportent un soutien pédagogique plus significatif. Ces logiciels sont conviviaux et permettent des interactions éducatives par l'apprenant. De sorte que les élèves voient et constatent les subtilités de la vie sans manipuler d'organes (Barak, 2010). (Barak et al., 2011)

Troisièmement, la dissection sur le réel permet la pratique de la motricité fine donnant l'impression d'être chirurgien (Rolland & Marzin, 1996). Pourtant, dans certaines écoles de médecine et d'autres professions médicales, on a introduit des logiciels de simulations et des périodes d'observation de spécialistes. Les élèves intéressés par une profession médicale auront la possibilité d'exercer la manipulation d'un scalpel au collégial. Notre préention du départ est influencée par la constatation que la dissection sur le réel, au secondaire, n'a pas sa place.

Puisque l'enseignement est maintenant assisté par le numérique, nous observons que les attitudes des élèves, la formation des enseignants et les attentes de la société ont modifié la trajectoire qui mène au savoir. Elle est devenue plus riche et plus complexe. Le numérique change la façon de penser (Thibert, 2012). Dans ces conditions, le bon élève

n'est plus celui qui ingère des savoirs qu'il restituera sans réfléchir mais bien celui capable de manipuler, modifier et transformer ces connaissances nouvelles. L'acquisition de connaissances scientifiques passe par l'expérimentation, même virtuelle interactive.

Le deuxième objectif se présente ainsi:

Cette recherche permet d'observer la part des « idées préconçues » dans la réorganisation de modèle mental.

Vosniadou a proposé que l'apport des « idées préconçues » d'ordre épistémiques, la formation de concepts à partir d'observations réalisées par l'élève ainsi que l'information véhiculée par la culture ambiante, participent activement à l'apprentissage. De ce fait, les « idées préconçues », imprégnées chez les élèves, sont nettement illustrées dans les données. Les participants absorbent inconsciemment l'information sans trop savoir comment la restituer et comment l'associer à d'autres informations préexistantes. Sachant que le modèle mental se crée à l'occasion d'une activité cognitive et qu'il est généré par le cadre théorique de l'élève, nous observons l'enrichissement de structures conceptuelles déjà existantes. Les réponses se contredisent parfois et les premiers dessins, avant toute forme de dissection, affichent une faiblesse évidente de connaissances sur la circulation sanguine. Après la dissection, il y a émergence de combinaisons mentales représentées par beaucoup d'informations nouvelles telles la

présence de poumon, des conduits reliés au cœur et distribués à quelques endroits dans le corps.

Le troisième objectif se présente ainsi:

Cette recherche conduit à vérifier, même partiellement, les théories de Chi sur la catégorisation.

Selon Chi, dans la captation de nouvelles informations, s'il n'apparaît pas de catégorie flagrante permettant de rattacher un nouveau concept ou un nouveau phénomène, ce concept est réparti vers une catégorie appropriée mais plus haute dans la hiérarchie.

Par les réponses aux questions sur le vivant et sur la hiérarchie, nous constatons une absence de catégories en accord avec nos critères. Les catégories des participants diffèrent des nôtres mais elles dégagent un sens qui nous est difficile à identifier clairement. Toutefois, l'homme et le singe se placent presque toujours en tête de la pyramide tandis que les autres animaux se répartissent en blocs semblables, dans la plupart des données. Nous en concluons qu'il y a une catégorisation personnelle qui s'établit et qui rejoint celle de leurs collègues plutôt que celles prévues par le système scolaire. Ils semblent utiliser des « branches » supérieures dans leur organisation mentale. Les humains et les singes dominent chez tous les participants même chez ceux qui déclarent tous les animaux égaux. Il y a une forme de hiérarchie imperceptible à nos yeux, pour quelques êtres vivants et, en contre partie, une position latérale pour d'autres êtres vivants.

Chi propose aussi que lorsqu'un apprenant ne peut catégoriser un concept dans une branche supérieure, il l'établit dans une branche parallèle appelée catégorie latérale et ontologique. C'est à ce niveau que nous avons perdu le contact avec leur catégorisation. L'ontologie attribuée aux différents êtres vivants ne nous apparaît pas clairement. Une association avec toute forme connue de hiérarchie a été infructueuse. Nos croyances épistémiques sur le vivant se sont confrontées à leur catégorisation personnelle et une incompatibilité s'est installée. Des recherches subséquentes seraient intéressantes pour comprendre les catégories sur le vivant créées par des élèves de troisième secondaire.

Conclusion

Chapitre 7 CONCLUSION

Notre conclusion est en accord avec le quatrième objectif de cette recherche, soit:

Cette recherche peut offrir certaines recommandations en rapport à la dissection.

Nos suggestions concernent le monde de la pédagogie des sciences ainsi que celui de la recherche scientifique en enseignement..

En ce qui concerne la pédagogie, notre première recommandation considère l'enseignement individuel. En accord avec O'Bannon, Puckett et Rakes (2006), ainsi que Trudel, Parent et Métioui (2009), une dissection virtuelle interactive permet un apprentissage individuel au rythme de chaque élève . L'élève découvre les subtilités du vivant, selon sa capacité à conceptualiser. Par conséquent, la dissection interactive apporte un souffle nouveau à l'expérimentation puisque l'élève se concentre sur ce qu'il découvre et ne perd pas de temps pour des manipulations indésirables. Les images ne se triturent pas, elles resteront toujours les mêmes. Alors, chaque élève, à son propre rythme, dissèque virtuellement en recommençant autant de fois que nécessaire pour atteindre la compréhension des concepts de la circulation sanguine par la découverte du cœur.

Deuxièmement, tout en inculquant des notions de biologie, d'hygiène et de santé aux élèves, les enseignants ont l'occasion de parler d'éthique et de respect de la vie. Notre recherche ne donne pas une dissection supérieure à l'autre mais soutient que la

dissection virtuelle interactive permet de découvrir la circulation sanguine sans manipuler de matériel biologique. Les élèves peuvent être amenés à réfléchir sur le sort imposé à plusieurs êtres vivants. Selon les résultats, il existe un fort désaccord avec l'expérimentation sur des plantes, sur son animal de compagnie ou bien avec l'utilisation de lapin pour la fabrication de vaccin, alors qu'un bon pourcentage favorise la dissection au secondaire, le clonage humain, la manipulation de fœtus et même la fabrication de médicaments par l'utilisation d'animaux de laboratoire. De plus, selon les données, les chats ont besoin qu'on s'occupe d'eux tandis que les poissons peuvent manquer d'amour et de soins mais les insectes et autres invertébrés ne sont pas inférieurs aux mammifères. Même que tous les animaux ressortent égaux à leurs yeux, les prédateurs ne sont pas supérieurs à leurs victimes, alors que les insectes peuvent servir de matériel expérimental puisqu'ils se reproduisent rapidement et que l'abattage de vache est accepté par la moitié des participants. Il y a une confusion dans les croyances épistémiques qui serviraient d'amorce à des discussions en classe de science. L'éthique médicale deviendrait un sujet prescrit en classe de science et de technologie.

Troisièmement, une conclusion hâtive quant à l'efficacité d'une dissection plus qu'une autre est farfelue. L'intérêt des participants pour favoriser une expérimentation plus qu'une autre relève des goûts personnels plus que de l'approche pédagogique. Le choix ultime revient à l'enseignant. Plusieurs enseignants conservent la dissection sur le réel en tant qu'outil pédagogique. Nous leurs suggérons donc d'utiliser la dissection virtuelle interactive pour les élèves qui refusent de disséquer pour des raisons d'ordre

religieux ou par pur dédain. De sorte que chacun apprendrait dans un état de confort et d'ouverture. De plus, l'enseignant peut utiliser la dissection virtuelle interactive en tant que présentation des manipulations à venir, avant une dissection. Les images et la démarche sont les mêmes. C'est pourquoi nous disons que la dissection virtuelle interactive demeure un outil pédagogique, que ce soit pour un petit groupe d'élèves, pour l'enseignant qui explique les manœuvres ou comme remplacement complet de la dissection sur le réel.

Quatrièmement, le gouvernement du Québec, en 1995, a fortement encouragé le virage technologique dans les écoles. De nouveaux outils technologiques ne cessent d'être proposés. Sonia Lefebvre, professeure en technologie numérique à l'Université du Québec à Trois-Rivières (cité par Lemieux, 2013), explique que les enseignants mettent à rude épreuve leur capacité d'adaptation aux nouvelles technologies. Qu'il s'agisse des ordinateurs, du tableau blanc interactif et maintenant des tablettes, les élèves transforment le rapport au savoir en devenant parfois les maîtres en la matière. Ils utilisent la technologie de façon intuitive c'est pourquoi nous devons compenser un gros décalage entre la maison et l'école. Dubé (2013) a relevé que dans la plupart des classes montréalaises, équipées de technologies informatiques, le taux d'absentéisme des garçons a fondu. Même que les élèves ayant des difficultés d'apprentissage semblent mieux performer. Elle ajoute aussi que les enseignants ont l'occasion d'expliquer la cyber-intimidation et la prudence à exposer certaines photos de soi. L'éthique prend tout se sens et elle se déplace aussi vers l'utilisation de media sociaux. Il nous semble

donc manifeste de retirer, de nos classes, les méthodes archaïques d'enseignement, telle la dissection sur le réel, pour implanter des méthodes motivantes et adaptées à nos élèves de l'ère numérique. Notre recherche permet d'avancer que l'émergence de modèle mental représentée par les dessins des participants est manifeste conséquemment aux deux types de dissections.

Dans le domaine de la recherche, il serait intéressant de refaire l'expérience en laissant plus de questions ouvertes. Particulièrement, pour repérer la catégorisation des élèves par rapport au vivant. En limitant trop notre champ de réponses, nous avons fait face à des organisations bien différentes de celles prévues. Alors, un questionnaire différent et des rencontres individuelles ouvriraient des portes vers le modèle mental du vivant, représenté par un élève du secondaire.

De plus, maintenant que nous avons vérifié leurs dessins tracés dans une silhouette bien définie, il serait intéressant d'observer des dessins de la circulation sanguine sans imposer de silhouette, laissant ainsi libre cours à leur imagination. Peut-être apparaîtrait-il des notions surprenantes et imprévues. Fontaine (2005) affirme que nous devons tester toutes nos idées par la recherche et qu'en expérimentant, de nouvelles notions imprévues peuvent nous surprendre et ainsi nous stimuler à entreprendre de nouvelles recherches. Notre approche de la catégorisation des élèves nous a déstabilisés. Cette réaction suscite ainsi de nouvelles idées de recherche sur le modèle mental et sur la catégorisation.

C'est pour toutes ces raisons que nous considérons la dissection sur le vivant comme une méthode dépassée et facilement remplaçable, à l'ère actuelle des technologies informatiques, par un modèle virtuel interactif. Pour les enseignants actuels œuvrant à l'ère du respect du matériel vivant mais aussi à l'ère de l'informatique, est-il essentiel de maintenir la traditionnelle dissection qui requiert des méthodes sécuritaires strictes prescrites par la manutention de matériel biologique et par l'utilisation d'un scalpel extrêmement tranchant? Sachant que ces expériences nécessitent des frais récurrents très élevés qui pourraient être diminués par l'achat de matériel pédagogique interactif.

Toutefois, nous en concluons que l'expérience d'une dissection, de quelque nature que ce soit, permet l'émergence de représentations du modèle mental que l'élève se construit en regard à la circulation sanguine.

Références

RÉFÉRENCES

- Andersen, H., & Nersessian, N. (2000). Nomic concepts, frames, and conceptual change. *Philosophy of Science*, 67, S224-S241.
- Arias, Crucida Delgado. (2002). Le changement des conceptions dans la formation des enseignants: Modélisation d'un processus. Dans Logiques (Éd.), *Changement conceptuel et apprentissage des sciences*. Montréal: Québecor Média.
- Barak. (2010). Motivating self-regulated learning in technology education. *International Journal of Technology & Design Education*, 20(4), 381-401.
- Barak, Ashkar, & Dori. (2011). Learning science via animated movies: Its effect on students' thinking and motivation. *Computers & Education*, 56(3), 839-846. doi: 10.1016/j.compedu.2010.10.025
- Barnett, S. M., & Ceci, S. J. (2002). When and Where Do We Apply What We Learn? A Taxonomy for Far Transfer. *Psychological Bulletin*, 128(4).
- Bednar, M. R., & Sweeder, J. J. (2005). Defining and Applying Idea Technologies: A Systematic, Conceptual Framework for Teachers. *Computers in the Schools*, 22(3/4), 35-47.
- Bekele, T. A. (2010). Motivation and Satisfaction in Internet-Supported Learning Environments: A Review. *Journal of Educational Technology & Society*, 13(2), 116-127.
- Bernet, E. (2010). *Engagement affectif, comportemental et cognitif des élèves du primaire dans un contexte pédagogique d'intégration des TIC*. (Thèse doctorale inédite), Université de Montréal, Faculté des sciences de l'éducation.

- Berry, V. (2011). Jouer pour apprendre : est-ce bien sérieux? Réflexions théoriques sur les relations entre jeu (vidéo) et apprentissage. *Canadian Journal of Learning & Technology*, 37(2), 1-14.
- Birol, C., Bekirogullari, Z., Etcı, C., & Dagle, G. (2009). Gender and Computer Anxiety, Motivation, Self-Confidence, and Computer Use. *Cinsiyetle, Bilgisayar Endişesi, Motivasyon ve Kendine Güven Arasındaki İlişki*.(34), 185-198.
- Brassard, C., & Daele, A. (2003). Un outil réflexif pour concevoir un scénario pédagogique intégrant les TIC *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*. Strasbourg.
- Canguilhem, G. (1952). The Living and Its Milieu. *Grey Room*(3), 7-31. doi: 10.1162/152638101300138521
- Canguilhem, G. (1977). La formation du concept de régulation biologique aux XVIIIe et XIXe siècles. Dans M. S.A (Éd.), *L'idée de régulation dans les sciences* (pp. 25-39). Paris: Séminaires interdisciplinaires du Collège de France.
- Cano, F. (2005). Epistemological beliefs and approaches to learning: Their change through secondary school and their influence on academic performance. *British Journal of Educational Psychology*, 75, 203-221.
- Chi, M. (2008). Three Types of Conceptual Change:Belief Revision, Mental Model,Transformation, and Categorical Shift. *Handbook of research on conceptual change*, 61-82.
- Chi, M., Slotta, J., & de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4, 27-43.

- Chi, M. T. H. (2008). Three Types of Conceptual Change: Belief Revision, Mental Model Transformation, and Categorical Shift. Dans S. Vosniadou (Éd.), *Handbook of research on conceptual change* (pp. 62-82). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Chung Lee, Y. (2004). There is more to the dissection of a pig's heart. *Journal of Biological Education*, 38(4), 172-177.
- Clément, J. (2008). The Role of Explanatory Models in Teaching for Conceptual Change. Dans S. Vosniadou (Éd.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 417-452). New York: Routledge.
- Coquidé-Cantor, M. (2000). Le rapport expérimental au vivant dans la formation des enseignants. *Tréma*(18), 5-21. doi: 10.4000/trema.1593
- Coquidé, & LeMaréchal. (2008). Introduction. Modélisation et simulation dans l'enseignement scientifique : usages et impacts. *Aster*, 43(43, p. 7). doi: 10.4267/2042/16799
- Coquidé, M. (2007). Les pratiques expérimentales : Propos d'enseignants et conceptions officielles. *Aster*(26). doi: 10.4267/2042/8694
- Coquidé, M. (2011). Les aspects matériels et les «objets» des contenus de sciences et de technologie. *Les contenus disciplinaires*.
- Davies, J., Goel, A. K., & Nersessian, N. J. (2005). Transfer in visual case-based problem solving. *Case-based reasoning research and development, proceedings*, 3620, 163-176.
- Davies, J., Goel, A. K., & Nersessian, N. J. (2009). A computational model of visual analogies in design. *Cognitive Systems Research*, 10(3), 204-215. doi: 10.1016/j.cogsys.2008.09.006

- Dell'Angelo, M. (2008). *De l'école au collège, le rapport au vivant d'élèves de 10 à 12 ans*. (thèse doctorale inédite), École normale supérieure de Cachan, Cachan.
- Depover, C. (2007). *Enseigner avec les technologies: Favoriser les apprentissages, développer des compétences*. Québec: Québec : Presses de l'Université du Québec.
- Digregorio, P., & Sobel-Lojeski, K. (2010). The Effects of Interactive Whiteboards (IWBs) on Student Performance and Learning: A Literature Review. *Journal of Educational Technology Systems*, 38(3), 255-312. doi: 10.2190/ET.38.3.b
- Dresel, M., & Haugwitz, M. (2008). A Computer-Based Approach to Fostering Motivation and Self-Regulated Learning. *Journal of Experimental Education*, 77(1), 3-20.
- Dubé, C. (2013). Prêts pour l'classe? *Actualité*.
- Dutant, J. (2009). Connaissance et enjeux pratiques. *Revue étudiante de philosophie analytique*, volume 1, 13-19.
- Evans, E. M. (2008). Conceptual Change and Evolutionary Biology: A Development Analysis. Dans S. Vosniadou (Éd.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 263-294). New York: Routledge.
- Fluckiger. (2005). Entre pratiques scolaires et personnelles, la constitution d'une culture informatique des collégiens. *Laboratoire SUSI*.
- Gadgil, Nokes-Malach, & Chi. (2012). Effectiveness of holistic mental model confrontation in driving conceptual change. *Learning and Instruction*, 22, 47-61.

- Gentner, D. (2001). Mental Models, Psychology of Abstract. In S. a. Baltes (Éd.), *International encyclopedia of the social and behavioral sciences* (pp. 1-12). Kidlington: Elsevier Science.
- Gentner, D., & Wolff, P. (2000). Metaphor and Knowledge Change. Dans D. Markman (Éd.), *Cognitive Dynamics: conceptual change in humans and machines* (pp. 295-342): Mahwah, Erlbaum associates.
- Giordan, A. (1990). *Les origines du savoir : des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Neuchâtel: Neuchâtel : Delachaux & Niestlé.
- Giordan, A. (1995). New models for the learning process: Beyond constructivism? *Prospects*, 25(1), 101-118. doi: 10.1007/BF02334288
- Giordan, A. (1998). *Apprendre*. Paris: Belin.
- Giordan, A. (1999). *Une didactique pour les sciences expérimentales*. Paris: Belin.
- Giordan, A. (2001). *Des Idées pour apprendre*. Nice France: Z'éditions.
- Giordan, A. (2002). Après Piaget, que peut-on dire sur le changement conceptuel? Dans Logiques (Éd.), *Changement conceptuel et apprentissage des sciences* (pp. 13-29). Montréal: Québecor Média.
- Giordan, A. (2010). *Aux origines du savoir : la méthode pour apprendre*. Nice: Ovadia.
- Guner, N. (2012). Using Metaphor Analysis to Explore High School Students' Attitudes towards Learning Mathematics. *Education*, 133(1), 39-48.
- Hamon, D. (2005). *Quel sens les élèves donnent-ils à l'usage d'internet dans le cadre du collège?* Université de Paris VIII. équipe Escol.

- Hasni, A. (2010). *Enjeux contemporains de l'éducation scientifique et technologique*. Ottawa: Ottawa : Les Presses de l'Université d'Ottawa.
- Herring, J. E. (2011). Year seven students, concept mapping and the issues of transfer. *School Libraries Worldwide*, 17(1), 11-23.
- Herrington, J., & Kervin, L. (2007). Authentic Learning Supported by Technology: Ten suggestions and cases of integration in classrooms. *Educational Media International*, 44(3), 219-236. doi: 10.1080/09523980701491666
- Holschuh, J. P. (2006). Assessing beliefs: the epistemological scenario. *Academic Exchange Quarterly*, 10(2), 5.
- Hoover, M. A., & Pelaez, N. J. (2008). Blood circulation laboratory investigations with video are less investigative than instructional blood circulation laboratories with live organisms. *Advances in Physiology Education*, 32, 55-60.
- Inagaki, K., & Hatano, G. (2008). Conceptual Change in Naïve Biology. Dans S. Vosniadou (Éd.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 240-262). New York: Routledge.
- Kershner, R., Mercer, N., & Warwick, P. (2010). Can the interactive whiteboard support young children's collaborative communication and thinking in classroom science activities. *Computer-Supported Collaborative Learning*, 5, 359-383.
- Lapointe, Y. (2002). Changement conceptuel: Exemple d'utilisation d'une stratégie de modélisation pour l'apprentissage du concept d'interaction. Dans Logiques (Éd.), *Changement conceptuel et apprentissage des sciences* (pp. 117-131). Montréal: Québecor Média.

- Lavarde, A. (1994). Figurabilité dans le domaine de la circulation sanguine. *Didaskalia*, 3, 79-91.
- Lemieux, R. (2013). La recherche dans le réseau de l'Université du Québec. *Québec Science*, Novembre(VIII).
- Lodewyk, K. R. (2007). Relations among Épistémological Beliefs, Academic Achievement, and Task Performance in Secondary School Students. *Educational Psychology*, 27(3), 307-327.
- Machery, E. (2004). Concepts are not a natural kind. *Philosophy of Science*, 72(3), 444-467.
- Machery, E. (2009a). Categorization and Concept Learning *Doing without concepts*: Oxford University Press.
- Machery, E. (2009b). Induction, Concept Combination, and Neuropsychology *Doing without concepts*: Oxford University Press.
- Martinand, J.-L. (2002). Apprendre à modéliser. Dans Logiques (Éd.), *Changement conceptuel et apprentissage des sciences* (pp. 47-68). Montréal: Québecor Média.
- Miller, J. G. (1978). *Living Systems* (R. L. Weine Éd.). New York: Library of Congress Cataloging in Publication Data.
- Morange, M. (2007). La principale difficulté pour une définition de la vie: concilier continuité et discontinuité *Centre Cavallès*. Paris.
- Nersessian, N. J. (1989). Conceptual change in science and in science education. *Synthese*, 80, 163-183.
- Nersessian, N. J., & Chandrasekharan, S. (2009). Hybrid analogies in conceptual innovation in science. *Cognitive Systems Research*, 10(3), 178-188. doi: 10.1016/j.cogsys.2008.09.009

- Northcote, M., Mildenhall, P., Marshall, L., & Swan, P. (2010). Interactive whiteboards: Interactive or just whiteboards? *Australasian Journal of Educational Technology*, 26(4), 494-510.
- O'Bannon, B., Puckett, K., & Rakes, G. (2006). Using Technology to Support Visual Learning Strategies. *Computers in the Schools*, 23(1/2), 125-137.
- Orange-Ravachol, D. (2007). Classifications biologiques et problématiques. *Recherches en éducation*, 3, 1-17.
- Orange Ravachol, D. (2011). Principes structurants et construction de savoirs en sciences de la vie et de la Terre. *Education & didactique*(1), 7.
- Osbeck, L. M., & Nersessian, N. J. (2006). The Distribution of Representation. *Journal for the Theory of Social Behaviour*, 36(2), 141-160. doi: 10.1111/j.1468-5914.2006.00301.x
- Otta, M., & Tavella, M. (2010). Motivation and engagement in computer-based learning tasks: investigating key contributing factors. *World Journal on Educational Technology*, 2(1), 1-15.
- Piaget, J. (1977). L'épistémologie des régulations. Dans Maloine S.A (Éd.), *L'idée des régulations dans les sciences* (pp. I-XIII). Paris: Séminaires interdisciplinaires du Collège de France.
- Pochon, L.-O. (1994). *Théories de l'apprentissage pour apprentissage par enseignement avec l'ordinateur*. Communication présentée à la Hypermédias et apprentissage, Sévenans.
- Radvansky, G. A., Spieler, D. H., & Zacks, R. T. (1993). Mental Model Organization. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19(1), 95-114.

- Ram, A. E., Nersessian, N. J. E., & Keil, F. C. E. (1997). Conceptual Change. *JOURNAL OF THE LEARNING SCIENCES*, 6(1), 1-142.
- Rapee, R. M. B. (2012). Annual Research Review: Conceptualising functional impairment in children and adolescents (Vol. 53, pp. 454-468).
- Ravachol, D. O., & Beorchia, F. (2011). Principes structurants et construction de savoirs en sciences de la vie et de la Terre. *Éducation et didactique*, 5(1), 7-28. doi: 10.4000/educationdidactique.1016
- Rolland, A., & Marzin, P. (1996). Étude des critères du concept de vie chez des élèves de sixième. *Didaskalia*, 9, 57-82.
- Rosh, É. (1978). Principes de la catégorisation. Dans É. Rosh (Éd.), *Cognition et catégorisation* (pp. 27-49). Université de Californie.
- Samson, G. (2002). L'importance accordée aux conceptions de l'élève dans l'enseignement des sciences au secondaire. Dans Toussaint Logiques (Éd.), *Changement conceptuel et apprentissage des sciences* (pp. 97-116). Montréal: Québecor Média.
- Sinatra, G. M. (2008). Beyond knowledge : learner characteristic influencing conceptual change. Dans S. Vosniadou (Éd.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 560-582). New York: Routledge.
- Southerland, Sherry, Sinatra, Gale, & Matthews. (2001). Belief, Knowledge and Science Education. *Éducational Psychology Review*, 13(4), 325-347.
- Thibert, R. (2012). «Pédagogie + Numérique = Apprentissages 2.0». *Dossier d'actualité Veille et Analyses*, novembre(79), 1-22.

- Toussaint, R. J. c. (2002). *Changement conceptuel et apprentissage des sciences*. Montréal: Quebecor Media.
- Trudel, Parent, & Métioui. (2009). Démarche, cheminement et stratégies: une approche en trois phases pour favoriser la compréhension des concepts scientifiques. *Revue des sciences de l'éducation*, 35(3149-172).
- Van Eijck, M., Goedhart, M., & Ellermeijer, T. (2004). Logging the heart with Microcomputer-Based Labs. *Journal of Biological Education*, 39, 171-173.
- Vergnaud, G. (2009). The Theory of Conceptual Fields. *Human Development*, 52, 83-94. doi: 10.1159/000202727
- Vialle, B. (2002). Utilisation de l'ordinateur dans l'enseignement d'une science expérimentale: la biologie au lycée. *La revue de l'EPI*, 93, 199-211.
- Vosniadou, S. (1987). Children and Metaphors. *Child Development*, 58(3), 870-885.
- Vosniadou, S. (1992). Knowledge Acquisition and Conceptual Change. *Applied Psychology*, 41(4), 347-357. doi: 10.1111/j.1464-0597.1992.tb00711.x
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45-69. doi: 10.1016/0959-4752(94)90018-3
- Vosniadou, S. (1995). Analogical Reasoning in Cognitive Development. *Metaphor and Symbolic Activity*, 10(4), 297-308. doi: 10.1207/s15327868ms1004_4

- Vosniadou, S. (1996). *International perspectives on the design of technology-supported learning environments*. Mahwah, N.J. : New York: Mahwah, N.J. : New York: L. Erlbaum Associates ; Routledge.
- Vosniadou, S. (2001). What Can Persuasion Research Tell Us about Conceptual Change that We Did Not Already Know? *International Journal of Educational Research*, 35(7), 731-737.
- Vosniadou, S. (2003). Exploring the Relationships between Conceptual change and Intentional Learning.
- Vosniadou, S. (2007a). The Cognitive-Situative Divide and the Problem of Conceptual Change. *Educational Psychologist*, 1-32.
- Vosniadou, S. (2007b). The Cognitive-Situative Divide and the Problem of Conceptual Change. *Educational Psychologist*, 42(1), 55-66. doi: 10.1080/00461520701190538
- Vosniadou, S. (2007c). Conceptual Change and Education. *Human Development*, 50(1), 47-54. doi: 10.1159/000097684
- Vosniadou, S. (2007d). Conceptual change as cognitive activity in socio/cultural context. *Educational Psychologist*, 42(1), 55-73.
- Vosniadou, S. (2008). *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York: Routledge.
- Vosniadou, S. (2009). 'Conceptual Metaphor Meets Conceptual Change': Yes to Embodiment, No to Fragmentation. *Human Development*, 52(3), 198-204. doi: 10.1159/000213892
- Vosniadou, S. (2013). Model based reasoning and the learning of counter-intuitive science concepts Razonamiento basado en modelos y el aprendizaje de conceptos científicos contra intuitivos. *Infancia y Aprendizaje*, 36(1), 5-33.

- Vosniadou, S., Baltas, A., & Vamvakoussi, X. (2007). *Re-framing the conceptual change approach in learning and instruction*. Amsterdam ; London: Amsterdam ; London: Elsevier, in association with the European Association for Learning and Instruction.
- Vosniadou, S., & Ioannides, C. (1998). From Conceptual Development to Science Education: A Psychological Point of View. *International Journal of Science Education*, 20(10), 1213-1230.
- Vosniadou, S., & Saljo, R. E. (1994). Conceptual Change in the Physical Sciences. *Learning and Instruction*, 4(1), 1-121.
- Vosniadou, S., Skopeliti, I., & Gerakakis, S. L. (2008). Using analogy to foster conceptual restructuring. *International journal of psychology*, 43(3-4), 3-3.

Appendice A

Les logiciels de dissection évalués

Logiciels éducatifs pour la Biologie
http://sites.rapidus.net/mleclerc/logi_edu/logi_edu.htm

Connais-tu l'anatomie?
<http://users.skynet.be/bd/anatomie/>

Virtual Lab
http://www.mhhe.com/biosci/genbio/virtual_labs/BL_16/BL_16.html

Home Training Tools
<http://www.hometrainingtools.com/images/art/Heart1.pdf>

Human Dissection-Thorax Coronal
<http://www.clubic.com/telecharger-fiche118260-visible-human-dissection-thorax-coronal.html>

Edu Media
<http://www.edumedia-sciences.com/fr/>

Appendice B

Grille d'évaluation des réponses en fonction des écoles de pensée sur le vivant.

LÉGENDE		MODÈLES RECHERCHÉS				
1	ANIMISTE					
2	MÉCANISTE					
3	HIÉRARCHIQUE					
4	INFORMATION					
5	VITALISTE					
		1	2	3	4	5
1.	Un éléphant est un vivant puisqu'il peut se reproduire.				X	
2.	Un nuage est vivant puisqu'il apporte de l'eau essentielle à la vie.	X				
3.	Un virus est vivant parce qu'il a de l'ADN.				X	
4.	Une plante est vivante parce qu'elle respire.	X				X
5.	Une maison est vivante lorsqu'il y a beaucoup de personnes qui s'aiment à l'intérieur.		X			
6.	Une bactérie est vivante parce qu'elle peut enlever la vie.					X
7.	Un feu est vivant parce qu'il brûle de l'oxygène.					X
8.	Une voiture est vivante parce qu'elle peut avancer grâce à son moteur interne.		X			
9.	Une pomme est vivante parce qu'elle a un cœur.				X	
10.	Un virus est vivant parce qu'il s'adapte aux moyens de défense de ses hôtes.				X	
11.	Une plante est un vivant inférieur à un chat parce qu'elle n'a pas de sentiment.			X		
12.	Le Soleil est vivant puisqu'il fait constamment des réactions chimiques.					X
13.	Un arbre est un vivant inférieur à une poule parce qu'on peut manger la poule.			X		
14.	Un océan est vivant puisqu'il renferme plusieurs sortes d'animaux et de plantes.		X			
15.	L'eau est vivante puisqu'elle nourrit son chien.					X
16.	Un escargot est vivant puisqu'il a des systèmes de défense.				X	
17.	Un drapeau dans la cour est vivant parce qu'il bouge tout le temps.	X				
18.	Les insectes sont vivants parce qu'ils se multiplient beaucoup.			X		
19.	Tout ce qui est vivant a une âme.	X				
20.	Une roche est vivante parce qu'elle est naturelle	X				
21.	Le sol est vivant parce qu'il peut se déplacer et causer des tremblements de terre.		X			
22.	Les vivants sont tous ceux qui résistent à la mort.					X
23.	Un nuage est vivant parce qu'il peut devenir de plus en plus gros.	X		X		
24.	Un feu de camp est vivant parce qu'il peut mourir.					X
25.	Un chien est plus évolué qu'une vache parce qu'il comprend			X		

- les consignes de son maître.
26. Une table est vivante parce qu'elle est composée d'atomes toujours en mouvement. X
27. Une rivière est vivante parce qu'elle contient du liquide qui circule en elle. X
28. Une fleur est vivante parce qu'elle possède un liquide qui circule en elle. X
29. Un chat est vivant parce qu'il réfléchit. X
30. L'Homme est supérieur à tous les êtres vivants parce qu'il a une âme. X
-

Appendice C

Certificat d'éthique de la recherche



Université du Québec à Trois-Rivières

CERTIFICAT D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE

RAPPORT DU COMITÉ D'ÉTHIQUE :

Le comité d'éthique de la recherche, mandaté à cette fin par l'Université, certifie avoir étudié le protocole de recherche :

Titre du projet : La manipulation du vivant par des élèves du secondaire

Chercheurs : Johanne Jacques
Département des sciences de l'éducation

Organismes : Aucun

et a convenu que la proposition de cette recherche avec des êtres humains est conforme aux normes éthiques.

PÉRIODE DE VALIDITÉ DU PRÉSENT CERTIFICAT :

Date de début : 02 mars 2012

Date de fin : 02 mars 2013

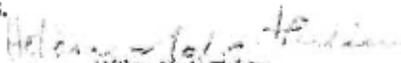
COMPOSITION DU COMITÉ :

Le comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Trois-Rivières est composé des catégories de personnes suivantes, nommées par le conseil d'administration :

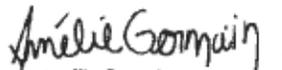
- six professeurs actifs ou ayant été actifs en recherche, dont le président et le vice-président;
- le doyen des études de cycles supérieurs et de la recherche (membre d'office);
- une personne membre ou non de la communauté universitaire, possédant une expertise dans le domaine de l'éthique
- un(e) étudiant(e) de deuxième ou de troisième cycle;
- un technicien de laboratoire;
- une personne ayant une formation en droit et appelée à siéger lorsque les dossiers le requièrent;
- une personne extérieure à l'Université;
- un secrétaire provenant du Décanat des études de cycles supérieurs et de la recherche ou un substitut suggéré par le doyen des études de cycles supérieurs et de la recherche.

SIGNATURES :

L'Université du Québec à Trois-Rivières confirme, par la présente, que le comité d'éthique de la recherche a déclaré la recherche ci-dessus mentionnée entièrement conforme aux normes éthiques.


Hélène-Marie Thérien

Présidente du comité


Amélie Germain

Secrétaire du comité

Date d'émission : 02 mars 2012

N° du certificat : CER-12-177-06.02

DECSR