



UNIVERSITÉ DE NANTES

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

en association avec

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

PENSÉE SYSTÉMIQUE ET ÉPISTÉMOLOGIE PERSONNELLE
D'ADOLESCENTS EN CLASSE DE BIOLOGIE : INCIDENCES SUR LA
CONSTRUCTION D'UNE REPRÉSENTATION DE LA CIRCULATION
SANGUINE COMME SYSTÈME COMPLEXE

THÈSE DOCTORALE

PAR
THOMAS FOURNIER

JANVIER 2015

Cette thèse intitulée :

**PENSÉE SYSTÉMIQUE ET ÉPISTÉMOLOGIE PERSONNELLE
D'ADOLESCENTS EN CLASSE DE BIOLOGIE : INCIDENCES SUR LA
CONSTRUCTION D'UNE REPRÉSENTATION DE LA CIRCULATION
SANGUINE COMME SYSTÈME COMPLEXE**

présentée par Thomas Fournier

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes :

Monsieur Ghislain Samson

Président rapporteur, Université du Québec à Trois-Rivières, Canada

Monsieur Rodolphe M. J. Toussaint,

Directeur de thèse, Université du Québec à Trois-Rivières, Canada

Monsieur Christian Orange

Codirecteur de thèse, Université de Nantes, France

Madame Patricia Schneeberger

Évaluatrice externe Université de Nantes, Université de Bordeaux 4, France

Monsieur Léon Harvey

Évaluateur externe hors UQ, Université de Rimouski, Canada

Thèse soutenue le 24 Novembre 2014



Université du Québec à Trois-Rivières

Programme offert par l'Université du Québec à Montréal (UQAM)
En association avec l'UQAC, l'UQAT, l'UQAR, l'UQO et l'UQTR

**PREMIER JURY DE THÈSE (COTUTELLE)
AVIS APRÈS SOUTENANCE**

Le 24 novembre 2014

Nous, les soussignés, membres du jury de soutenance de la thèse en éducation de monsieur Thomas Fournier, déclarons que le candidat a soutenu, devant nous, sa thèse intitulée:

«Pensée systémique et épistémologie personnelle d'adolescents en classe de biologie : incidences sur la construction d'une représentation de la circulation sanguine comme système complexe»

et confirmons la décision suivante :

- | | |
|-------------------------------------|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Acceptation unanime. La mention accordée à la majorité par le jury est: |
| <input type="checkbox"/> | Excellent |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Très bien |
| <input type="checkbox"/> | Bien |
| <input type="checkbox"/> | Refus unanime (entraînant l'exclusion du candidat) |
| <input type="checkbox"/> | Autre décision (entraînant la formation d'un second jury). |

Rodolphe Toussaint, Ph. D., directeur de recherche
Département des sciences de l'éducation
Université du Québec à Trois-Rivières

Christian Orange, DR, HDR., directeur de recherche
Département des sciences de l'éducation
Université Libre de Bruxelles, Belgique

Assistera en visioconférence

Ghislain Samson, Ph. D., président du jury
Département des sciences de l'éducation
Université du Québec à Trois-Rivières

Patricia Schneeberger, Dr, HDR., rapporteur/externe
Professeure des Universités en Didactiques des sciences
Université de Bordeaux

Assistera en visioconférence

Léon Harvey, Ph. D., rapporteur
Département des sciences de l'éducation
Université du Québec à Rimouski

Références : UQAM. Règlement no 8 des études de deuxième et troisième cycles, article 10.19.5

REMERCIEMENTS

Je tiens, en premier lieu à remercier mes directeurs de recherche, M. Rodolphe Toussaint et M. Christian Orange et qui ont permis à cette thèse d'aboutir malgré toutes les complications transatlantiques qui ont émaillé ces années franco-québécoises.

Merci à eux d'avoir pris le temps, d'avoir eu la disponibilité de m'accompagner et de ne pas avoir hésité à porter un regard critique et d'avoir eu confiance en mes capacités pour mener ce projet à son terme.

Un mot également pour remercier les élèves et enseignants du lycée de la Collinière, en particulier Mme Béatrice Guillet, qui m'ont accueilli et permis de prendre un peu de leur temps. Sans eux, sans leur accueil, leur disponibilité et leur volontariat la recherche ne pourra pas perdurer et avancer.

Un merci particulier à M. Ghislain Samson qui m'a accordé sa confiance et employé durant ses quatre années québécoises exceptionnelles. Grâce à lui, j'ai pu entrer de plain-pied dans le monde de la recherche et travailler sur des projets géniaux et tellement passionnants. Merci de m'avoir permis de vivre et de découvrir tout ceci.

Un grand merci à mes collègues du LERTIE (Maud, Maude, Sandra, Gabrielle) qui m'ont accompagné durant ces années. Bon courage à vous pour la suite. Vous voyez, on en arrive à bout d'une thèse. Et bien sûr un clin d'œil particulier à Alex, mon ami, sans qui la période LERTIE n'aurait pas été ce qu'elle est !

Une pensée à mes camarades de doctorat et aux personnes qui ont croisé ma route, pour leur aide, leur support et leur amitié, en particulier Claire, camarade de ma première journée depuis mon retour.

Enfin, un grand merci à ma famille. Pour votre compréhension, votre soutien, votre support durant ces années éloignées. Merci d'avoir été là et d'être cette famille formidable !

Je conclurai ses remerciements par la personne la plus importante. Merci Mousse d'avoir accepté toutes ses privations, cet éloignement. Merci d'être encore là et de m'avoir permis d'aller jusqu'au bout. Maintenant place à une vie à deux.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	v
TABLE DES MATIÈRES	vii
LISTE DES APPENDICES	xi
LISTE DES FIGURES.....	xiii
LISTE DES TABLEAUX.....	xiv
RÉSUMÉ	xviii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I.....	3
PROBLÉMATIQUE.....	3
1.1 La didactique des sciences et les représentations.....	4
1.2 Le concept de circulation sanguine	8
1.3 La circulation sanguine et son apprentissage	9
1.4 L’approche systémique et la pensée systémique.....	12
1.5 L’épistémologie personnelle	13
1.6 Le problème de recherche	16
1.7 La pertinence de la recherche.....	17
CHAPITRE II	19
CADRE CONCEPTUEL ET THÉORIQUE	19
2.1 Du concept aux représentations	19
2.1.1 La référence au concept	20
2.1.2 Concepts quotidiens par rapport aux concepts scientifiques	21
2.1.3 Concept scientifique.....	22
2.2 Les représentations.....	23
2.2.1 Les connaissances ou les croyances ?	23

2.3	Les représentations sociales	27
2.3.1	De la représentation sociale à la représentation cognitive	30
2.3.2	Une définition opératoire	31
2.4	L'épistémologie personnelle	32
2.4.1	Diverses approches de l'épistémologie personnelle	33
2.4.2	Trois paradigmes de l'épistémologie personnelle.....	38
2.4.3	D'une approche multidimensionnelle à l'approche « double track »	42
2.5	Le système complexe et l'approche systémique	47
2.5.1	Le développement de l'approche systémique	50
2.5.2	D'une approche systémique à la notion de système complexe.....	51
2.5.3	Le concept de système	53
2.5.4	L'approche systémique et l'éducation	60
2.5.5	Un système complexe : la circulation sanguine	61
2.5.6	La circulation sanguine comme système complexe	67
2.5.7	La pensée systémique et les habiletés cognitives.....	71
2.6	Objectifs de recherche.....	76
CHAPITRE III		77
MÉTHODOLOGIE.....		77
3.1	Les croyances épistémiques et la représentation.....	78
3.1.1	Le questionnaire portant sur les croyances épistémiques	80
3.1.2	Le choix de l'instrument	82
3.2	La représentation d'un système complexe	86
3.2.1	Les situations problème présentée aux élèves.....	88
3.2.2	Le dossier de presse remis aux élèves.....	90
3.2.3	La construction des ateliers présentés en classe.....	91
3.2.4	Le cahier de science présenté aux élèves	92
3.3	Le raisonnement de l'élève quant à l'élaboration d'un système complexe	93

3.4	Opérationnalisation et instrumentation de la méthodologie retenue.....	93
3.5	L'échantillonnage.....	95
3.6	Les critères de l'analyse et la pertinence quant aux divers concepts	97
3.6.1	Les croyances épistémiques	98
3.6.2	La représentation d'un système complexe	99
3.6.3	La construction d'une représentation d'un système complexe	101
3.7	Les temps de l'analyse	106
CHAPITRE IV		111
ANALYSE DES RÉSULTATS		111
4.1	Les caractéristiques de la pensée systémique	114
4.1.1	La perception structurelle.....	117
4.1.2	La perception dynamique	120
4.1.3	La perception cyclique	122
4.1.4	La perception temporelle.....	126
4.1.5	Analyse comparative des perceptions	128
4.2	Les croyances épistémiques démontrées par les élèves	141
4.2.1	La source du savoir	143
4.2.2	La certitude du savoir.....	144
4.2.3	Le développement du savoir	144
4.2.4	La justification du savoir.....	144
4.3	La représentation par les élèves d'un système complexe	146
4.3.1	La complexité de la représentation chez les élèves.....	146
4.3.2	Le caractère holistique de la représentation chez les élèves	152
4.4	La description de la circulation sanguine comme système complexe	161
4.4.1	Le modèle « Structure, Comportement, Fonction » (SCF).....	162
4.4.2	La variation du modèle SCF et l'impact du cahier de science.....	167

4.5	Mise en relations entre croyances épistémiques, représentation du système complexe et pensée systémique	170
4.5.1	Les croyances épistémiques et la représentation d'un système complexe	171
4.5.2	La réflexion de l'élève sur la compréhension d'un système complexe	176
4.5.3	Les croyances épistémiques et la réflexion de l'élève sur l'élaboration d'un système complexe	182
4.6	Conclusion	187
CHAPITRE V		191
DISCUSSION		191
5.1	La représentation d'un système complexe	191
5.1.1	La représentation schématique	192
5.1.2	Le caractère holistique de la représentation	195
5.2	Les croyances épistémiques	200
5.2.1	La source du savoir	200
5.2.2	La certitude du savoir	201
5.2.3	Le développement du savoir	201
5.2.4	La justification du savoir	202
5.3	L'élaboration d'un système complexe	203
5.3.1	Les caractéristiques de la pensée systémique	204
5.3.2	La description d'un système complexe	207
5.3.3	La réflexion de l'élève sur la compréhension d'un système complexe	209
5.4	L'incidence des croyances épistémiques	212
5.4.1	Croyances épistémiques et représentation	214
5.4.2	Croyances épistémiques et réflexion	217
CONCLUSION		220
RÉFÉRENCES		227
APPENDICES		249

LISTE DES APPENDICES

APPENDICE A.....	250
Typologie des systèmes complexes	250
APPENDICE B	252
Questionnaire sur les croyances épistémiques	252
(Tiré de Laliberté, 2012, traduit et adapté de Conley <i>et al.</i> , 2004)	252
APPENDICE C	254
Consignes pour remplir le questionnaire.....	254
APPENDICE D.....	255
Situation 1	255
APPENDICE E	257
Dossier de presse.....	257
APPENDICE F	266
Cahier de science.....	266
APPENDICE G.....	268
Situation 2	268
APPENDICE H.....	270
Le système cardiovasculaire : les logiciels	270
APPENDICE I	271
Le système cardiovasculaire : le texte.....	271
APPENDICE J	276
Le système respiratoire : les logiciels	276
APPENDICE K.....	277
Le système respiratoire : le texte.....	277

APPENDICE L	283
Caractéristiques pour chaque type de modèle mental sur la circulation sanguine	283
(tiré d’Azevedo <i>et al.</i> , 2004)	283
APPENDICE M	288
Le système respiratoire : Catégorisation « SCF ».....	288
APPENDICE N.....	290
Le système cardiovasculaire : Catégorisation « SCF ».....	290
APPENDICE O.....	292
Résultats d’analyses	292
APPENDICE P	296
Schéma de la circulation sanguine au secondaire	296
APPENDICE Q.....	297
Exemple de catégorisation des modèles mentaux.....	297
APPENDICE R.....	301
Certificat d’éthique.....	301

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Définition de la systémique	58
Figure 2. Conception de la circulation sanguine selon Galien (tiré de Voisin, 2011)	63
Figure 3. Circuit pulmonaire de Ibn Al Nafis (tiré de Zbinden Sapin, 2006)	65
Figure 4. Triangle hiérarchique tiré de Ben-Zvi Assaraf et Orion (2005)	74
Figure 5. Étapes du devis méthodologique	95
Figure 6. Habiletés démontrées par les élèves pour les situations 1 et situations 2 (comparaison entre les deux situations) (N=162).	129
Figure 7. Répartition des effectifs des élèves en fonction de la présence des habiletés à la situation 1 (N=167).	292
Figure 8. Répartition des effectifs des élèves en fonction de la présence ou de l'absence des habiletés à la situation 2 (N=162).	293

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Synthèse de modèles du développement épistémique pour les adolescents et les jeunes adultes, tiré de Hofer et Pintrich (1997, p. 92)	34
Tableau 2. Les quatre dimensions de l'épistémologie personnelle selon le modèle d'Hofer (2004),	40
Tableau 3. Comparaison entre les approches analytique et systémique (De Rosnay, 1975)	49
Tableau 4. Dimensions théoriques, descriptions et exemples d'items du questionnaire portant sur les croyances épistémiques en sciences	85
Tableau 5. Caractéristiques de la population d'élèves	97
Tableau 6. Portrait épistémique de l'élève en fonction des dimensions épistémique.	99
Tableau 7. Caractère holistique de la représentation	100
Tableau 8. Caractéristiques de la réflexion d'un élève sur la complexité d'un système (adapté de Ben-Zvi Assaraf et Orion, 2004)	104
Tableau 9. Mise en relation des critères d'analyse et des objectifs de recherche	109
Tableau 10. Regroupement des habiletés par perceptions	116
Tableau 11. Habileté 1 : Identification structurelle. Tableau croisé des effectifs entre les deux situations	134
Tableau 12. Habileté 2 : Identification relationnelle. Tableau croisé des effectifs entre les deux situations	134
Tableau 13. Habileté 5 : Relations dynamiques. Tableau croisé des effectifs entre les deux situations.....	135
Tableau 14. Habileté 3 : Organisation relationnelle. Tableau croisé des effectifs entre les deux situations	138

Tableau 15. Habileté 7 Compréhension cyclique. Tableau croisé des effectifs entre les deux situations.....	138
Tableau 16. Dimensions épistémiques : Comparaison des moyennes et écarts-types (N=167).....	142
Tableau 17. Dimensions épistémiques : Corrélations.....	142
Tableau 18. Caractéristiques du modèle mental des élèves à la situation 1 : Effectifs	148
Tableau 19. Caractéristiques du modèle mental des élèves à la situation 2 : Effectifs	149
Tableau 20. Caractéristiques des modèles mentaux des élèves : Tableau croisé entre les deux situations	151
Tableau 21. Caractère holistique de la représentation des élèves à la situation 1 : Effectifs.....	158
Tableau 22. Caractère holistique de la représentation des élèves à la situation 2 : Effectifs.....	158
Tableau 23. Caractère holistique (CH) de la représentation des élèves entre les deux situations : Tableau croisé.....	160
Tableau 24. Modèle mental (MM) et Caractère Holistique (CH) : Corrélations.....	161
Tableau 25. Caractéristiques du Modèle SCF des représentations d'élèves aux deux situations : Statistiques descriptives (N=162).....	163
Tableau 26. Modèle SCF : Score des Structures aux deux situations. Tableau croisé	163
Tableau 27. Modèle SCF : Score des Comportements aux deux situations. Tableau croisé	164
Tableau 28. Modèle SCF : Score des Fonctions aux deux situations. Tableau croisé	164
Tableau 29. Caractéristiques du Modèle SCF des représentations d'élèves aux cahiers de science : Statistiques descriptives (N=162).....	166

Tableau 30. Modèle SCF : Score des Structures à la situation 1 et variation du score aux deux situations. Tableau croisé	168
Tableau 31. Dimensions épistémiques, modèles mentaux (MM) et caractère holistique (CH) : Corrélations.....	173
Tableau 32. Analyse ANOVA de la qualité du modèle	173
Tableau 33. Ajustement du modèle de régression	174
Tableau 34. Régression multiple des variables indépendantes sur la variation du modèle mental	175
Tableau 35. Corrélations entre les variables (N = 162)	177
Tableau 36. Analyses de régression multiple hiérarchique prédisant la variation du modèle mental à partir des variations de la perception structurelle, dynamique, cyclique, temporelle et de la variation « Structure », « Comportement » et « Fonction » du modèle SCF.....	179
Tableau 37. Analyse de régression multiple hiérarchique prédisant la variation du caractère holistique à partir des variations de la perception structurelle, dynamique, cyclique, temporelle et de la variation « Structure », « Comportement » et « Fonction » du modèle SCF.....	181
Tableau 38. Régression multiple des variables indépendantes sur la variation de la perception dynamique	183
Tableau 39. Régression multiple des variables indépendantes sur la variation de la perception cyclique	184
Tableau 40. Régression multiple des variables indépendantes sur la variation de la structure du modèle SCF.....	186
Tableau 41. Régression multiple des variables indépendantes sur la variation du comportement du modèle SCF.....	186
Tableau 42. Exemples de relation entre le caractère holistique et la complexité de la représentation	198

Tableau 43. Effectifs des élèves en fonction de la perception du système complexe à la situation 1 (N=162)	294
Tableau 44. Effectifs des élèves en fonction de la perception du système complexe à la situation 2 (N=162)	295

RÉSUMÉ

Cette étude en didactique de la biologie au secondaire s'inscrit dans le domaine de l'épistémologie personnelle (Hofer et Pintrich, 1997 ; Royce, 1978) qui sous-tend que les apprenants puissent entretenir certaines croyances relatives au savoir, et de l'approche systémique (Ullmer, 1986). Sachant que les croyances épistémiques sont susceptibles d'influer sur les processus cognitifs (Mason, 2010), dont la représentation est à la fois le processus et le produit (Blanc, 2011 ; Gentner et Stevens, 1983), cette étude tente de déterminer l'incidence de celles-ci sur le raisonnement que l'élève se fait lorsqu'il est confronté à un système complexe.

Par ailleurs, cette étude recense les habiletés systémiques que des élèves de seconde mettent en œuvre lorsqu'ils abordent la complexité du système circulatoire humain et la représentation qu'ils s'en font. Ces habiletés systémiques sont également mises en lien avec les croyances épistémiques des élèves.

Dans un contexte de classe entière, l'analyse des réponses de 169 élèves de seconde confrontés à la circulation sanguine s'est faite selon une stratégie méthodologique multi-instrumentale : questionnaire sur les croyances épistémiques, situation, cahier de science, dossier de presse. Cette étude descriptive-exploratoire mixte (alliant données quantitatives et qualitatives) a permis de décrire et d'analyser les liens entre les habiletés systémiques, les croyances épistémiques et les représentations des élèves confrontés au système complexe de la circulation sanguine.

Notre étude a démontré que les croyances épistémiques des individus entretiennent un impact sur les processus cognitifs mis en place, sur l'élaboration et sur le produit de la représentation que les élèves se font de la circulation sanguine. Les croyances épistémiques ont une place importante dans l'esprit des élèves. En plus de participer à la vision qu'ils entretiennent avec la science, les croyances épistémiques semblent guider leur réflexion et les apprentissages qui en découlent.

Notre recherche démontre également que la pensée systémique, du moins les habiletés utilisées par les élèves, est accessible pour des élèves de niveau secondaire, elle n'est pas l'apanage d'une réflexion d'ordre supérieure exclusive à des personnes expertes. L'approche systémique concernant les systèmes complexes grâce au développement d'habiletés spécifiques est donc possible et nécessaire pour permettre à l'élève d'appréhender le monde complexe qui l'entoure. De plus, notre étude amène la supposition que le raisonnement de l'élève, sa compréhension d'un système complexe et, *a fortiori*, l'incidence de ses croyances épistémiques dépendent de la

direction dans laquelle l'élève engage sa réflexion, et, par extension, sur la manière dont il est encouragé à le faire par son professeur, le chercheur ou toute autre personne, en fonction de la question qui lui est posée, du contenu d'apprentissage qui lui est proposé.

Enfin, la compréhension et la description de la circulation sanguine comme système complexe, de la part d'un élève de seconde, s'avèrent être deux choses différentes. Nos résultats nous poussent à exprimer que la complexité de la circulation sanguine ne peut être entendue sans une conceptualisation de ce système selon une approche systémique, en essayant de mettre à jour la pensée systémique de l'élève. De plus, il faut différencier description et compréhension du système complexe. Les élèves de seconde sont plus à même d'appréhender la circulation sanguine sous l'angle de la compréhension que sous l'angle descriptif. Ils possèdent, de plus, une pensée plus efficiente lorsqu'il s'agit d'interpréter la complexité du système à travers une compréhension systémique plus large. Une étude plus approfondie du lien entre les croyances épistémiques et la pensée systémique s'avère une des suites nécessaires à explorer.

INTRODUCTION

Cette étude en didactique de la biologie s'inscrit dans une tentative exploratoire d'un rapprochement entre les croyances épistémiques d'apprenants et la représentation d'un système complexe à travers la caractérisation d'une pensée systémique.

Le premier chapitre a pour but de situer dans le contexte actuel de la didactique des sciences, et principalement de la biologie, la place des représentations des élèves pour la construction d'un concept scientifique, et la difficulté de se représenter le concept de circulation sanguine, complexe par nature. Nous soulevons qu'une façon adéquate d'appréhender la complexité est d'approcher le concept de la circulation sanguine à travers une pensée systémique. Par la suite, nous inscrivons la prise en compte des représentations dans le courant de l'épistémologie personnelle afin de faire émerger le fait qu'il semble que des liens puissent être effectués entre les croyances épistémiques des élèves et les représentations qu'ils possèdent.

Dans le second chapitre, nous définissons les différents concepts qui sous-tendent la recherche, à savoir les représentations, l'épistémologie personnelle et le système complexe. Nous inscrivons cette étude à la fois dans l'approche de la cognition située pour la compréhension des représentations, liée à une juxtaposition avec l'approche « double-voie » pour les croyances épistémiques, et également de la pensée systémique pour la compréhension d'un système complexe.

Le troisième chapitre présente la méthodologie de recherche élaborée à travers les trois concepts clés de notre étude. Une présentation des différents outils et des analyses qui sont pratiquées est effectuée.

L'analyse des données est l'objet du quatrième chapitre. Nous énonçons et assemblons les résultats observés afin de guider les réponses aux questions de recherche qui se rapportent aux liens entre les croyances épistémiques des apprenants et la construction d'une représentation d'un système complexe.

Le dernier chapitre est quant à lui consacré à la discussion des résultats. Il présente les différents constats de notre étude et conclut en soulevant certaines questions qui pourraient être l'objet de futures recherches.

CHAPITRE I

PROBLÉMATIQUE

L'objet de cette étude découle d'une réflexion personnelle à la suite de notre cursus scolaire et à notre passion pour la biologie et son apprentissage. Nous sommes principalement parti d'un constat établi lors de la passation de notre maîtrise ainsi que de notre expérience professionnelle quant à la difficulté pour les élèves d'appréhender le concept de circulation sanguine et de l'intégrer à leur connaissance scientifique, et ce, quel que soit le cursus scolaire effectué.

À travers les lectures effectuées, nous nous sommes orienté vers les difficultés rencontrées par les élèves lorsqu'ils sont confrontés à ce système. Nous avons également essayé d'entrevoir une solution qui permettrait de dépasser ces obstacles et faire que le concept enseigné soit intégré dans les connaissances de l'élève. Nous en sommes arrivé à envisager une approche systémique de l'apprentissage de ce concept et à prendre en compte les croyances épistémiques de l'élève quant à sa perception du savoir et son impact sur l'élaboration d'une représentation d'un système complexe.

Ce chapitre a pour but d'examiner les éléments de la problématique afin d'arriver à une question de recherche qui nous permettra de définir notre cadre conceptuel, établi au chapitre II.

1.1 La didactique des sciences et les représentations

Notre étude s'inscrit avant tout dans le domaine de la didactique des sciences et principalement dans celui de la biologie. La didactique des sciences a pour but la production de nouvelles connaissances en ce qui a trait aux processus de transmission et d'acquisition de connaissances scientifiques. Astolfi (2002) précise que la didactique travaille à la prise en compte des contenus d'enseignement comme objets d'étude et à l'approfondissement de l'analyse des situations de classe. Comme l'expriment Johsua et Dupin (2003),

on pourrait dire que la didactique d'une discipline est la science qui étudie, pour un domaine particulier [...], les phénomènes d'enseignements, les conditions de transmission de la « culture » propre à une institution (singulièrement ici les institutions scientifiques) et les conditions de l'acquisition de connaissances par un apprenant (p. 3).

La didactique est avant tout spécifique à une discipline, elle analyse le processus de gestion des connaissances, des savoir-faire, des stratégies d'appropriation et de l'évaluation de ces dernières. Elle réfléchit à la fois sur l'amont des concepts enseignés et sur la manière dont ils sont enseignés et intégrés par les élèves avec comme point d'entrée une réflexion sur les savoirs qui sont alors considérés comme des objets vivants, évolutifs et changeants. Son ambition est d'étudier les processus d'enseignement et d'apprentissage en situation, en prenant en charge l'évolution des rapports aux savoirs, des aspects sociaux, langagiers et relationnels qui structurent ces processus.

Tout le travail de la didactique consiste à rendre possibles des dispositifs didactiques composites, lesquels conduisent à des dépassements intellectuels, mais n'y conduiront que mieux s'ils sont ancrés dans les structures cognitives de départ qu'il s'agit précisément de faire évoluer. (Astolfi et Develay, 1989, p. 69)

Cette notion de structures cognitives de départ qu'évoquent Astolfi et Develay est un des piliers de la didactique des sciences. Tout élève possède déjà, avant tout apprentissage, une idée, une connaissance de la notion qui est considérée. Dès lors, la didactique des sciences s'est intéressée à ce « déjà là », à cette représentation.

Emprunté à la sociologie (Durkheim, 1898 ; Moscovici, 1961) et à la psychologie (Therriault, 2008; Therriault, Harvey et Jonnaert, 2010), le terme « représentation » renvoie à « un ensemble cognitif organisé de manière spécifique, et régi par des règles de fonctionnement qui lui sont propres » (Therriault et Bader, 2009, p. 8). La représentation renvoie à la capacité que possède chacun d'entre nous de (se) construire une image d'un objet, de penser à cet objet (Sallaberry, 1996). Elle est, de plus,

une forme de connaissance, socialement élaborée et partagée, ayant une visée pratique et concourant à la construction d'une réalité commune à un ensemble social. Également désignée comme savoir de « sens commun » ou encore savoir naïf, naturel, cette forme de connaissance est distinguée, entre autres, de la connaissance scientifique. (Jodelet, 2003, p. 53)

C'est donc à la fois un processus et un produit d'une activité mentale. Nous entendons par « processus » le fait que chaque sujet élabore ou modifie sans cesse ses représentations, et ce, de manière « intracognitive ». Et « produit » du fait que lorsque le sujet décrit cette représentation, lorsqu'il la partage, elle devient la saisie d'un résultat à un moment précis du processus.

La didactique des sciences, avec la prise en compte des représentations mentales des élèves, représentations qui leur permettent d'interpréter les phénomènes qui les entourent, tente de produire des savoirs sur les conditions de passage d'une

représentation initiale, et spontanée, à un modèle compatible avec le concept scientifique.

Dans le cadre des programmes officiels français et québécois de l'enseignement de la biologie, il est explicité que cette discipline a pour but d'aider à la construction d'une culture scientifique, et de participer à la formation de l'esprit critique et à l'éducation citoyenne dans un cadre social et culturel (ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport [MELS], 2007). Par ailleurs, la didactique des sciences s'est intéressée depuis les années 80 à la notion de représentation de l'élève et à leur prise en charge dans l'environnement didactique, dans des domaines aussi variés que les mathématiques (Janvier, Charbonneau et de Cotret, 1989 ; Vergnaud, 1983), la physique (Désautels, 1989 ; Robardet, 1997), mais aussi dans le domaine de la géologie (Orange Ravachol, 2003) et de la biologie (Astolfi, Peterfalvi et Vérin, 1991), notamment en ce qui concerne la circulation sanguine (Orange et Orange, 1995 ; Paccaud, 1994 ; Sauvageot-Skibine, 1993).

Depuis plusieurs années, nombre de chercheurs se sont aperçus qu'ils ne pouvaient nier l'existence de représentations que les élèves possèdent avant tout apprentissage (Cain et Dweck, 1995; Dweck, 2000; Giordan, Girault et Clément, 1994; Kinlaw et Kurtz-Costes, 2007; Mueller et Dweck, 1998). Selon eux, avant tout enseignement d'une notion, quelle qu'elle soit, l'élève semble avoir déjà construit des représentations à travers ses expériences quotidiennes.

Ce savoir de « sens commun » se définit comme un ensemble de savoirs, immédiats et socioculturellement déterminés, à l'œuvre dans l'action quotidienne (Jodelet, 2003; Moscovici, 2003) nourrie de prêts-à-penser qui peuvent s'adapter aux contextes et se contredire. Ce que nous qualifions de représentations initiales. Ces dernières correspondent à une structure organisée comme un modèle explicatif, simple et logique, construit en fonction du niveau de connaissance de l'individu. Elles peuvent

également être qualifiées de représentations sociales dans le sens où elles se construisent en fonction du contexte socioculturel et psychoaffectif de l'individu.

Comme De Vecchi (2003) l'exprime, nous pensons que c'est principalement ce pendant social de la représentation qui en fait une aide à l'apprentissage de nouveaux concepts. En effet, l'élève s'est probablement déjà constitué un ensemble de représentations qui peut être « faux » d'un point de vue scientifique, mais qui est fonctionnel dans sa vie quotidienne.

L'élève possède donc une structure cognitive sur laquelle il va s'appuyer pour donner un sens à la réalité perçue. De fait, toute information nouvelle sera traitée en fonction de cette représentation déjà présente. Différents auteurs (Lhoste, 2008 ; Orange, 2005) ont alors analysé l'environnement didactique s'appliquant à l'émergence et la prise en compte de ces représentations. D'un côté, il y a la représentation initiale, provenant d'une construction sociale et individuelle de l'élève, et de l'autre la représentation dite scientifique, telle qu'enseignée en classe. Ces deux savoirs semblent pouvoir coexister chez l'élève et il utiliserait l'un ou l'autre en fonction de la situation. Selon DiSessa (2004), l'élève conserverait les deux représentations, voire oublierait la représentation scientifique au fur et à mesure des années pour ne garder que celle qui possède une plus grande utilité dans sa vie quotidienne.

Un des concepts de biologie où nous retrouvons cette difficulté d'intégration du concept scientifique dans la vie quotidienne de l'élève est le concept de circulation sanguine.

1.2 Le concept de circulation sanguine

Au vu de la recension des écrits, il s'avère que les recherches démontrent des difficultés pour l'élève d'arriver à une représentation scientifique de la circulation sanguine, et ce, quel que soit leur niveau d'études. Ces difficultés sont dues à la complexité du système du fait qu'il englobe différents concepts biologiques qui sont reliés entre eux (Robitaille, 1997). La circulation sanguine détient un rôle central dans l'organisme humain. Elle est, par exemple, soumise à des mécanismes physiologiques particuliers tout en influant en retour sur ces mécanismes (diffusion, osmose, homéostasie). Elle possède une dynamique qui lui est propre et regroupant divers systèmes (respiration, digestion, excrétion,...).

Des difficultés d'intégrer les connaissances anatomiques et la conceptualisation fonctionnelle de la circulation sanguine ressortent de plusieurs études. Par exemple, Arnaudin et Mintzes (1985) se sont intéressés à l'évolution de la représentation de la circulation sanguine selon les niveaux de scolarité. Ils stipulent que seulement 7 à 15 % des répondants souscrivent à une représentation de la circulation sanguine en tant que double circulation, pulmonaire et systémique (petite et grande circulation), une difficulté de relier les phénomènes se déroulant au niveau microscopique (au niveau cellulaire) et le fonctionnement de l'organe au niveau macroscopique. Kaufman, Patel et Madger (1992) ont démontré que même pour des élèves de médecine, des représentations erronées continuent de persister, et ce, même après de nombreuses années d'études. Feltovich *et al.* (1988) ont constaté que les étudiants ont pour principe de réduire la complexité conceptuelle, ce qui a pour effet de maintenir ou d'acquérir une représentation erronée : « Par exemple, il y'a une tendance à comprendre le système cardiovasculaire en évitant les interprétations dynamiques en faveur d'une vision plus statique, comme lorsque les élèves assimilent le flux sanguin

à un volume. » (Traduction libre, p. 11)¹. Et d'entraîner une mauvaise représentation de la dynamique du système cardio-vasculaire :

La restriction des effets d'opposition à la résistance est conforme avec une vue du système cardio-vasculaire comme un circuit à "courant continu" par opposition à un "courant alternatif", ce qui est renforcée par la non-reconnaissance des propriétés accélératrices de la circulation sanguine en raison à une pression pulsatoire. Elle est également compatible avec une vision du système vasculaire comme un simple résultat des effets du cœur. (Traduction libre). (Feltovich *et al.*, 1988, p. 14)

Cette réduction de la complexité nous amène à nous poser la question de la façon dont l'élève conçoit la complexité. Comment faire en sorte que l'élève puisse appréhender un système complexe tel que la circulation sanguine ?

1.3 La circulation sanguine et son apprentissage

Comprendre le système circulatoire nécessite ce que les philosophes appellent « l'explication systémique » (Haugeland, 1978), à savoir que nous devons comprendre les interactions coopératives « organisées » qui se produisent dans le système. Une telle interaction coopérative peut s'expliquer par l'interaction systématique des composants distincts, à tous les niveaux du système (Chi, De Leeuw, Chiu et LaVanher, 1994). Cependant, les étudiants développent peu ce raisonnement, car l'apprentissage qu'ils font est souvent axé sur les éléments composant le système plutôt que sur les processus intégrant celui-ci, notamment lorsqu'ils apprennent un appareil aussi vaste que le corps humain (Ben-Zvi Assaraf, Dodick et Tripto, 2011).

¹ "For example, there is a tendency in understanding cardiovascular system to eschew dynamic interpretations in favor of a more static view, as when students equate blood flow with volume"

Le concept de la circulation sanguine peut-être entendu comme un système complexe caractérisé par une organisation hiérarchique, des interactions et des processus dynamiques à plusieurs niveaux. Si nous considérons la circulation sanguine dans son ensemble, elle est structurée en deux circulations, la petite et la grande. Ces deux circulations sont en interaction, et chacune d'entre elles fait intervenir une organisation qui lui est propre, des interactions particulières ainsi que des sous-systèmes possédant les mêmes propriétés (la petite circulation fait intervenir l'organisation des poumons, l'interaction entre le sang et l'oxygène, la respiration, etc.). Ces différents niveaux sont reliés par des boucles de rétroaction et s'organisent de façon hiérarchique.

La didactique des sciences s'intéresse à la compréhension des élèves des systèmes complexes (Jacobson et Wilensky, 2006; Lesh, 2006; Orange et Orange, 1995; Verhoeff, Waarlo et Boersma, 2008). Selon une étude de Lhoste (2006), la notion de circulation sanguine apparaît comme un concept difficile à appréhender et à construire pour les élèves. Il semblerait que l'organisme soit perçu, au départ, avec une vision mécaniste. L'élève assimile les organes aux pièces d'un moteur agissant les unes sur les autres grâce à leur proximité et étant simplement reliées par des tuyaux lorsqu'elles doivent communiquer (Sauvageot-Skibine, 1993). Cette vision semble être renforcée du fait de la perte des liens entre les différents concepts qui interviennent dans la circulation sanguine. Le concept tel qu'il est enseigné est le résultat d'un ensemble de fonctions qui sont interreliées et qui constituent un tout. Ces fonctions de digestion, de respiration et de circulation sont souvent vues de manière indépendante dans le cadre scolaire – dans plusieurs manuels scolaires, ce sont différents chapitres sans aucun lien précis entre eux. Ce découpage semble augmenter la difficulté des élèves à construire une conception intégrée de la circulation (Banet et Nunez, 1997).

Cette approche dite analytique de l'enseignement du concept de circulation sanguine, c'est-à-dire de décomposer l'objet d'étude en des éléments plus simples qui sont analysés les uns après les autres, de façon séparée et séquentielle, semble être critiquée par plusieurs chercheurs depuis un certain nombre d'années (Le Moigne, 1990 ; Morin, 1992 ; von Bertalanffy, 1973). Ces chercheurs estiment qu'une approche systémique, c'est-à-dire considérer un système dans son ensemble, dans sa globalité et de prendre en compte les relations et les interactions entre ses différentes parties, serait plus appropriée lors de l'apprentissage d'un système complexe (Cambien, 2008; Lesne, 2009). De plus, comme le souligne De Rosnay (1975), il semble que notre éducation ne nous ait pas encouragés à avoir une vision globale de l'univers et des ensembles qui nous entourent.

Dans le cas de la circulation sanguine, tout est présenté de manière fragmentée, isolée. Les élèves apprennent la digestion, la respiration puis l'apport des nutriments à un muscle, et ce, à différents moments de leur cursus scolaire (la digestion est vue en cinquième, la respiration en troisième et la fonction nutritive du sang en seconde, avec la mise en relation de tous ces systèmes).

Les liens entre chaque notion ne sont pas abordés, ou le sont peu, du moins avant d'avoir fait le tour des différents systèmes. Il semble alors difficile de se représenter la circulation sanguine dans son ensemble, dans toute sa complexité, dans tout son dynamisme. De plus, comme le souligne Robitaille (1997), « l'élève qui étudie la circulation sanguine aborde le problème de la gestion de la distribution du sang au niveau cellulaire, ensuite au niveau des tissus et organes et finalement au niveau de l'organisme systémique » (p. 39).

Nous pouvons ainsi supposer que les élèves possèdent des représentations de la circulation sanguine fragmentées à la suite d'un enseignement analytique, ce qui

engendre que l'intégration des différentes parties, pour en faire un tout, représente une difficulté possible à la compréhension du concept de circulation sanguine. Les élèves de seconde partent du microscopique pour arriver au macroscopique et ils ont beaucoup de mal à appréhender la globalité du système, les aspects de la dynamique et du contrôle de la circulation (Robitaille, 1997). Une approche systémique de ce système complexe semble ainsi plus adaptée.

1.4 L'approche systémique et la pensée systémique

Certains scientifiques pensent que l'adoption d'une approche systémique afin d'analyser les phénomènes naturels serait plus pertinente. Dans le cadre particulier de la biologie, il est courant de représenter le corps humain comme un ensemble hiérarchique de structures interagissant les unes avec les autres et créant ainsi un enchaînement d'événements dans l'ensemble du système. Ainsi, l'enseignement de systèmes complexes, selon une approche systémique, s'avère plus intéressant, car ces systèmes permettent d'intégrer la compréhension des phénomènes dans une approche globale.

Néanmoins, comprendre ces systèmes nécessite une attitude de l'esprit (Ullmer, 1986) permettant de faire face à la complexité. Cette attitude, cette pensée systémique est, pour certains chercheurs (Jacobson, 2013; Resnick, 1987; Wilensky, 1997), réservée à une catégorie « d'experts » et alors considérée comme une compétence d'ordre supérieur requise dans le domaine des sciences. Il existe pourtant peu d'études sur l'application de cette approche dans le cadre de l'enseignement des sciences (Senge, 2006). Et la question de savoir s'il existe une rencontre entre la complexité d'un système et la pensée systémique que développe l'élève n'est pas considérée dans la littérature.

Il peut être alors être intéressant de considérer cette approche et d'essayer de percevoir si un élève de seconde est capable de développer cette pensée systémique afin d'appréhender de manière plus efficiente un système complexe tel que la circulation sanguine. Ainsi, si nous prenons en compte :

- que les connaissances initiales que possèdent les élèves s'avèrent très résistantes à un enseignement scientifique scolaire ;
- que la construction du concept de la circulation sanguine n'est pas chose aisée d'un point de vue analytique ;
- qu'il peut être intéressant de l'aborder selon une approche systémique, mais que pour ce faire l'élève doit être en mesure de développer des processus cognitifs d'un niveau plus complexe.

Il nous semble alors important, d'une part de déterminer si un élève de seconde est capable d'appréhender un système dans sa globalité, et d'autre part, de comprendre comment l'élève perçoit le savoir qui lui est enseigné, comment il construit ses propres connaissances lorsqu'il se retrouve confronté à un système complexe. Pour ce faire, l'étude s'inspire d'un courant de recherche ayant émergé depuis les années 70. Ce courant aborde l'épistémologie personnelle des individus.

1.5 L'épistémologie personnelle

La question de l'épistémologie personnelle regroupe deux idées : l'idée que les apprenants puissent entretenir certaines croyances relatives au savoir et l'idée que ces croyances épistémiques puissent évoluer avec le temps.

L'épistémologie personnelle fait partie intégrante du paysage de la recherche sur l'apprentissage depuis environ une trentaine d'années (Baxter Magolda, 1995 ; Hofer et Pintrich, 1997 ; Kitchener, 1983 ; Perry, 1970a ; Schommer, 1990).

Comme le mentionne Bendixen et Rule (2004), ce champ d'études doit être encore appuyé par des recherches afin d'arriver à un consensus permettant de guider les recherches. Il existe différentes approches regroupées en quatre catégories permettant de conceptualiser l'épistémologie personnelle des individus (Franco *et al.*, 2012), catégories que nous citons ci-dessous sans entrer dans les détails, puisque nous y reviendrons dans notre cadre conceptuel :

- le modèle développemental (King et Kitchener, 1994 ; Kuhn, Cheney et Weinstock, 2000),
- la perspective multidimensionnelle (Hammer et Elby, 2002 ; Hofer et Pintrich, 2004 ; Schommer, 1990),
- la perspective métacognitive (Hofer, 2004 ; Kitchener, 1983 ; Kuhn, 1999, 2000),
- le cadre intégré (Muis, Bendixen et Haerle, 2006).

Bien que ces recherches divergent sur la façon d'approcher l'épistémologie personnelle, il semble y avoir un certain consensus que Hofer et Pintrich ont exprimé (1997, 2004) grâce à une méta-analyse de différentes recherches quant à la dimension épistémique du savoir et de l'apprentissage. Ils ont permis de montrer qu'il est désormais courant de concevoir que les croyances épistémiques à l'égard du savoir évoluent avec le temps. La question de l'épistémologie personnelle et du développement épistémique permet donc une meilleure compréhension des apprenants et de leur développement.

Nous retrouvons comme lien commun entre ces différentes approches le fait que l'épistémologie personnelle affecte les apprentissages des étudiants. Comme le révèle l'étude de Schommer, Crouse et Rhodes (1992), les croyances épistémiques affectent directement et indirectement les apprentissages. Cette étude est par ailleurs renforcée

par d'autres (Cano, 2005 ; Dahl, Bals et Turi, 2005 ; Kardash et Howell, 2000 ; Ryan, 1984) qui ont conduit les chercheurs à faire l'hypothèse que les croyances épistémiques jouent un rôle important dans l'apprentissage.

Les chercheurs en épistémologie personnelle en arrivent à la conclusion qu'il faut dorénavant se tourner vers des recherches qui vont au-delà des simples études portant sur les effets de l'épistémologie personnelle. Il faut maintenant voir les interactions dynamiques qui existent entre les croyances épistémiques des élèves et les contextes d'apprentissage, par exemple, ou le climat épistémique. C'est ce que Bromme, Pieschl et Stahl (2010) appellent l'approche à « double voie » (*double track*) en faisant référence aux recherches sur les croyances épistémiques. Recherches se basant sur l'interprétation des effets de ces croyances sur l'apprentissage, en analysant les contenus d'apprentissage dans lesquels l'individu s'engage.

Or, comme l'expriment Franco *et al.* (2012, p. 65, traduction libre) : « Un des aspects du contenu d'apprentissage ayant reçu peu d'attention dans la littérature sur les croyances épistémiques à ce jour est la représentation des connaissances. » De ce fait, il semble important d'essayer de comprendre la relation qui semble lier l'épistémologie personnelle et les représentations des élèves. En outre, il est à noter que toutes les recherches citées précédemment portent principalement sur des étudiants de niveau universitaire et qu'il existe peu, à notre connaissance, de recherches portant sur l'épistémologie personnelle d'adolescents du secondaire. Ce champ d'études semble intéressant à explorer afin d'étudier des pistes qui, à l'heure actuelle, n'ont pas encore été examinées.

1.6 Le problème de recherche

Comme nous l'avons mentionné, il apparaît exister un lien entre les représentations et l'épistémologie personnelle lors de l'apprentissage de nouveaux concepts. Nous souhaitons décrire cette relation dans le cadre de l'apprentissage d'un concept scientifique en biologie caractérisé comme un système complexe, ici la circulation sanguine.

Nous présumons que la façon dont un individu conçoit l'émergence des connaissances intervient dans ses processus d'apprentissage. Il est également logique de postuler que les élaborations conceptuelles des individus sont affectées par leurs représentations épistémiques, tout en fournissant à la réflexion épistémologique ses matériaux de base (Crahay et Fagnant, 2007).

Il semble, au vu de ces éléments, que la prise en compte conjointe de ces deux notions peut être intéressante dans le cadre d'une recherche afin d'explorer de façon plus précise les liens qui semblent exister. Nous posons la question suivante : Quelle est l'incidence de l'épistémologie personnelle sur l'élaboration des représentations d'élèves lors de la construction d'un système complexe tel que la circulation sanguine ?

1.7 La pertinence de la recherche

Dans un premier temps, cette recherche dispose d'une pertinence scientifique du fait de sa nature. Très peu de recherches ont mis en exergue l'existence des liens entre les représentations et l'épistémologie personnelle des adolescents dans le cadre de l'apprentissage d'une notion. Bien que ces liens semblent avoir été exprimés (Cobern, 2000), il apparaît, comme le mentionnent Crahay et Fagnant (2007), que nous devons poser les bases d'un questionnement sur le « rôle de la réflexion épistémologique sur la construction des connaissances scientifiques » (p. 14).

L'étude des interactions entre l'épistémologie personnelle et les représentations sociales d'adolescents que nous proposons permettra peut-être de clarifier ces interactions et d'améliorer la compréhension du processus d'apprentissage à l'œuvre lorsque les élèves apprennent de nouveaux concepts. De plus, cette prise en compte conjointe permettra probablement d'ancrer de manière durable les notions scientifiques apprises à l'école et permettra un transfert plus simple de ces savoirs vers d'autres disciplines ou dans la vie quotidienne de l'élève.

Dans un second temps, la pertinence sociale est liée à cette dernière visée. Dans le cas où la prise en compte des représentations et de l'épistémologie personnelle peut permettre de contribuer à l'ancrage des notions apprises, et donc à leur utilisation dans la vie courante, la pertinence sociale sera importante. Si la notion de circulation sanguine s'ancre de manière durable pour l'apprenant et qu'elle devient fonctionnelle dans sa vie quotidienne, le bénéfice sur le plan de la santé et de l'économie ne peut qu'être avantageux.

Dans le contexte où le système de santé semble montrer quelques failles, la connaissance du fonctionnement de son corps peut s'avérer extrêmement importante.

Elle permet de constater de façon plus circonstanciée des causes de dysfonctionnement, d'apprendre à devenir responsable de sa santé et de se situer par rapport aux autres (Bornancin, 1988). De plus, comme nous l'avions explicité dans notre mémoire (Fournier, 2009), une compréhension plus scientifique de sa physiologie par l'apprenant facilite grandement l'interaction qui s'établit entre le médecin et le patient (Schmidt, 2001 ; Toyama, 2000), ce qui permet un diagnostic plus adéquat et donc une réduction possible des prescriptions superflues, d'où un gain économique non négligeable.

CHAPITRE II

CADRE CONCEPTUEL ET THÉORIQUE

Ce chapitre a pour but de définir les différents concepts qui composent notre recherche. Dans un premier temps, nous définissons le terme de concept et nous expliquons en quoi nous faisons la différence entre concepts scientifiques et concepts quotidiens afin d'amener le concept de représentation. Nous indiquons alors en quoi celui-ci est central à notre étude. Par la suite, nous définissons ce que nous entendons par l'épistémologie personnelle et comment ce concept est relié aux représentations dans le cadre d'une inscription dans une approche « double-voie » (Bromme, Pieschl et Stahl, 2010). Enfin, nous abordons le concept de système complexe, de complexité, et de pensée systémique et en quoi cette dernière est rattachée aux précédents concepts.

2.1 Du concept aux représentations

Avant d'aborder le concept de représentation, il nous semble nécessaire de définir ce que nous sous-entendons par la notion de concept.

2.1.1 La référence au concept

À partir du moment où nous parlons de concept, nous faisons forcément référence à une science ou un système de pensée, une représentation. Le terme de concept ne vient pas sans une référence à la représentation mentale. De plus, ce terme est souvent employé dans le sens de concept « scientifique » suivant des règles, des lois. À partir du moment où nous l'employons, nous faisons référence à quelque chose de scientifique, de théorique. Il prend alors tout son sens dans le cadre d'un problème, d'une problématique.

Un concept est un faisceau de possibilités, inscrites dans le temps, l'espace et le vécu, selon Bailly, Raffestin et Reymond (1980). Ils rajoutent que : « les concepts sont des signes, des représentations de symboles exprimés en fonction des règles sémantiques. Ils s'expriment au travers des propriétés du langage » (p. 282-283). Le principal intérêt d'un concept est d'être opérationnel, de rassembler les informations dans un champ conceptuel, et il intervient pour classer, ordonner, préparer un projet. Il aide à fournir une représentation à un objet qui peut-être abstrait d'un premier abord. Carey (2009) va même plus loin en indiquant que :

les concepts sont des représentations mentales. En effet, ils ne constituent qu'une partie de notre stock de représentations mentales, les discussions doivent dès lors faire la distinction entre les différentes représentations mentales afin de savoir celles qui sont des concepts. (traduction libre) (p. 4)

Pour l'auteure, il existe deux types de représentations conceptuelles : « celles intégrées dans les systèmes de connaissances de base et celles intégrées dans les systèmes de connaissances explicites » (Carey, 2009, p. 4). Comme nous le verrons dans la partie concernant les représentations, cette recherche s'intéresse particulièrement aux représentations intégrées dans le système de la cognition, à l'impact de celle-ci sur l'évolution des représentations. Mais cette dichotomie amène

à penser qu'il peut exister une différence entre des concepts à partir du moment où nous les percevons comme des représentations mentales et en fonction de leur élaboration.

2.1.2 Concepts quotidiens par rapport aux concepts scientifiques

Pour Vygotski (1997), les concepts quotidiens seraient davantage dus au développement. Les concepts scientifiques, quant à eux, proviendraient de l'apprentissage, notamment de l'apprentissage scolaire. Comme le mentionne toutefois Vergnaud (1989), « Vygotski dénonce quelques naïvetés (il ne suffit pas de montrer ou d'expliquer pour que l'enfant apprenne), et il considère qu'une approche développementale est utile également pour étudier les apprentissages scolaires. (p. 112) » Néanmoins, la compréhension des concepts quotidiens semble découler d'une expérience spontanée, mais non organisée de l'enfant à l'intérieur même de son environnement naturel. Contrairement à la compréhension des concepts scientifiques, qui proviendrait d'une action finalisée et intentionnelle, principalement dans le milieu scolaire.

Les concepts scientifiques seraient liés de manière étroite au langage et au discours de l'enseignant, tandis que les concepts quotidiens interviendraient au travers d'activités variées qui ne seraient pas obligatoirement langagières.

Nous l'avons souligné, le concept prend tout son sens dans le cadre d'une problématique, dans un contexte scientifique. Nous allons maintenant nous attarder sur ce que nous sous-entendons par concept scientifique.

2.1.3 Concept scientifique

Le fait de s'intéresser aux concepts scientifiques et à leurs processus de formation, est dû au fait que ces derniers résument à eux seuls les divers aspects et moyens qui ont permis de faire d'une connaissance un savoir scientifique. Pour qu'un concept scientifique soit considéré comme tel, qu'il en possède le statut, il doit être défini par des spécificités, des caractéristiques particulières :

- la possibilité d'en proposer une définition opératoire (Bachelard, 1967; Canguilhem, 1968; Ullmo, 1967),
- la possibilité de les intégrer dans un système (Bachelard, 1967; Barth, 1987; Canguilhem, 1968),
- leur « réfutabilité », ou plus précisément leur « rectifiabilité » (Bachelard, 1967; Canguilhem, 1968; Popper, 1934).

Il est nécessaire de nuancer ces propos dans le cadre de notre recherche. Nous parlons ici, à travers ces caractéristiques énoncées, d'un niveau « ultime » pour un concept scientifique. Il va de soi que c'est le but recherché à partir du moment où nous souhaitons qu'un individu acquiert un concept scientifique. Néanmoins, un élève, tel que ceux participant à notre recherche, a pour but de construire, d'approfondir son « concept quotidien » lors d'un apprentissage. Ceci afin d'acquérir ces spécificités et de s'approcher le plus possible de ce niveau de conceptualisation. Dès lors, il semble normal de penser que cette conceptualisation ne se fera pas de façon complète pour chaque caractéristique dans le cas d'un élève de secondaire. L'élève s'approchera des spécificités d'un concept scientifique, mais sans les atteindre toutes ; ce qui n'enlève en rien le caractère scientifique du concept appris, dont le niveau sera naturellement simplifié.

Ainsi, si nous partons du principe que l'élève élabore des représentations d'un concept et qu'il existe une confrontation entre un concept quotidien et un concept scientifique, l'élève partant de l'un pour arriver à l'autre, par apprentissage, il convient de définir ce que nous sous-entendons par le terme de « représentation ». Pour ce faire, nous développons ce concept dans la partie suivante.

2.2 Les représentations

Dans cette partie, nous abordons l'un des concepts centraux de notre étude. Nous partons du concept de représentation pour en arriver au concept de représentation mentale et son inscription dans le courant de la cognition située. Avant cela, il convient de faire un détour par la différence que nous souhaitons établir entre une connaissance et une croyance, puisque nous parlons de représentation dans le cadre d'un contexte scolaire, en vue d'un apprentissage, et donc d'une élaboration d'une connaissance scientifique.

2.2.1 Les connaissances ou les croyances ?

Il semble difficile de définir le concept de croyance ; Pajares (1992) mentionne deux définitions. La première, strictement opératoire, renvoie la croyance à « toute proposition simple, consciente ou inconsciente, inférée à partir de ce qu'une personne dit ou fait, pouvait être précédée par la phrase “je crois que...” » (p. 314). La deuxième définition considère la croyance comme « une représentation que se fait un individu de la réalité ; celle-ci possède assez de validité, de vérité, ou de crédibilité pour guider la pensée et le comportement » (p. 313). Cette dernière renvoie à l'idée d'un « produit » cognitif véhiculant une expérience.

Certains auteurs (Hofer et Pintrich, 1997 ; Nespor, 1987) ont tenté de clarifier cette distinction entre croyances (*beliefs*) et connaissances (*knowledge*), notamment pour démontrer la différence de statut épistémique entre ces deux termes. Pour leur part, Crahay, Wanlin et Issaieva (2011) estiment que les connaissances sont justifiées par des preuves ou des arguments validant ainsi la proposition retenue. Ils supposent également un « accord entre les esprits » (p. 3) ayant été validé de façon rigoureuse.

À l’opposé, les croyances, bien qu’elles puissent être répandues au sein d’une communauté, ne supposent pas d’accord intersubjectif. Elles se définissent « lorsque l’assentiment n’est suffisant qu’au point de vue subjectif et qu’il est tenu pour insuffisant au point de vue objectif » (Lalande, 2002, p. 198).

Selon d’autres auteurs (Borko et Putnam, 1996; Pajares, 1992; Vause, 2009; Woolfolk Hoy, Davis, et Pape, 2006), nous pouvons retenir que les connaissances font référence à des éléments empiriques, alors que les croyances renvoient plutôt à des suppositions, des idéologies. Les croyances, bien que d’origine sociale, impliquent une adhésion individuelle. Elles sont à la fois des constructions cognitives et sociales.

Cette distinction entre croyances et connaissances se retrouve également dans les travaux de Bachelard (1967).

Bachelard estime que les croyances, qu’il qualifie de connaissances communes, vulgaires, sont celles de la réalité des êtres dépourvus de formation scientifique. Mais elles sont également utilisées par les hommes instruits et les savants dans le sens où ils s’en servent dans leurs actions quotidiennes, hors de leur laboratoire. Ces croyances ne sont donc jamais complètement remplacées par les connaissances scientifiques. Elles en sont même obligatoirement le point de départ et le prolongement.

Elles contrastent avec les connaissances scientifiques du fait qu'elles sont souvent le produit d'une élaboration spontanée de la raison alors que la connaissance scientifique résulte d'une élaboration réfléchie, méthodique et volontaire.

Il met ainsi en garde sur la manière de voir la connaissance scientifique. Pour lui, cette connaissance n'est pas détachée de l'esprit humain, elle ne peut être vue comme une connaissance totalement objective. Il faut dès lors faire attention de ne pas tomber dans des croyances qui nous empêcheraient de voir et de contaminer la connaissance scientifique.

En poussant un peu plus loin, Crahay, Wanlin et Issaieva (2011) estiment que les croyances sont une caractéristique psychologique de l'individu, se rapprochant ainsi du concept de représentation. Apostolidis, Duveen et Kalampalikis (2002) estiment d'ailleurs que les croyances sont liées aux représentations : « C'est le pouvoir des croyances qui fournit à la fois la force à travers laquelle les représentations constituent nos réalités et rendent possibles nos affiliations » (p. 7). Elles sont à la base des représentations, car elles forment les champs constituants des représentations. Elles sont en quelque sorte le point d'ancrage d'où les représentations vont émerger.

Ces dernières :

[prenant] forme à travers un objet qui les constitue comme tel et qu'elles structurent, les croyances sont plus diffuses. [...] Dans la genèse des représentations à travers les interactions et la communication, les croyances fournissent un arrière-fond culturel des significations partagées. (Apostolidis *et al.*, 2002, p. 9-10)

Comme le mentionne Österholm (2010a) :

le thème principal lors de la définition des croyances est de décider, en fonction de ce qui est étudié, quelle perspective est la plus appropriée pour définir les

croyances, le social ou l'individu, puis d'être cohérent dans ce seul point de vue (traduction libre) (p. 161).

Dans le cadre de cette recherche, nous prenons un point de vue cognitif quant aux croyances, c'est-à-dire que nous nous plaçons dans le cadre de l'individu, et nous prenons la croyance non plus comme un simple objet mental, mais comme un processus mental. Dès lors, nous tentons de mettre en parallèle représentation et épistémologie personnelle dans le cadre d'un processus cognitif.

Avant d'élaborer pour chacun de ces concepts, il convient d'indiquer l'importance de ce choix dans l'approche des croyances et connaissances. L'apport du point de vue cognitif entraîne, selon Österholm (2010 b), le fait qu'une croyance

n'est pas principalement perçue comme quelque chose qu'une personne a, mais quelque chose qu'une personne fait. Ainsi, la « croyance » est peut-être plus clairement définie comme une notion analytique, car elle se réfère plus clairement à la suite d'analyses d'observations empiriques et non à un type plus abstrait de l'entité existante au sein des individus (traduction libre) (2010 b, p. 39).

De ce fait, d'un point de vue méthodologique, nous ne pouvons sortir les croyances de leur contexte. Il faut alors prendre en compte cet aspect lorsque nous mettons en place les outils méthodologiques puisque, comme le soulignent Hammer et Elby (2002), pour permettre d'analyser ces croyances, dont la dépendance contextuelle est forte, il faut utiliser un contexte plus naturaliste. Si l'on s'intéresse aux représentations et à l'épistémologie personnelle de l'élève, nous devons étudier des situations où l'individu se rapporte à, utilise ces dernières.

2.3 Les représentations sociales

Dans cette partie, nous cherchons à définir le concept de représentation en définissant sa structure et ses composantes à travers le filtre de notre recherche.

Avant toute chose, il est important de préciser que depuis des années, la recherche en éducation s'est penchée sur ces raisonnements de « sens commun ». Ces derniers ont eu droit à toutes sortes d'appellations (Giordan *et al.*, 1994). Mais de cette masse de termes, deux principaux se sont dégagés, soit représentation et conception. Ces deux mots, que nous retrouvons souvent agrémentés d'un qualificatif (spontanée, initiale, alternative, erronée), font depuis l'objet d'un débat sur leur emploi, certains auteurs préférant le terme de conception (Astolfi, 2002 ; Clément, 1994 ; Giordan et Martinand, 1983), tandis que d'autres le terme de représentation (Urdapilleta, 2007).

Pour notre part, nous utilisons le terme de représentation (Fournier, 2013), qui nous semble le plus adéquat.

Afin d'en comprendre l'essence et d'en tirer une définition opératoire dans le cadre de notre recherche, il semble pertinent de partir des représentations collectives.

Des représentations collectives...

Le terme de représentation collective a été employé pour la première fois par Durkheim (1898) qui le distingue des représentations individuelles. Il affirme entre autres la primauté de la pensée sociale sur la pensée individuelle et met en avant que les faits sociaux sont « indépendants des individus et extérieurs aux consciences individuelles » (Durkheim, 2001, p. 16). Selon lui, la société, dont le substrat est l'ensemble des individus associés et non la somme des individualités qui la compose, est une entité en soi. Les représentations collectives ne « dérivent pas des individus pris isolément, mais de leurs concours » (Ibid., p. 17). Elles sont donc extérieures aux consciences individuelles.

... aux représentations sociales

Moscovici (1989) va par la suite renouer avec la tradition sociologique de Durkheim en définissant les représentations sociales comme des éléments de la conscience sociale extérieure aux individus et s'imposant à eux. Il part de « l'hypothèse que nous pourrions expliquer les phénomènes à partir des représentations et des actions qu'elles autorisent » (p. 66). Il va reformuler le concept des représentations collectives de Durkheim, concept qui sera d'ailleurs abandonné au profit du concept des représentations sociales, résultats de l'interaction individuelle et collective. « En reconnaissant que les représentations sont à la fois générées et générantes, on leur enlève ce côté préétabli, statique, qu'elles avaient dans la vision classique. Ce ne sont pas les substrats, mais les interactions qui comptent. » (Moscovici, 1989, p. 81) Les représentations sociales sont à la fois un produit humain en tant qu'image évolutive que l'individu se fait de son environnement, et un processus par lequel il interagit avec cet environnement.

Par la suite, Jodelet (1989a) définira les représentations sociales comme « une forme de connaissance, socialement élaborée et partagée, ayant une visée pratique et concourant à la construction d'une réalité commune à un ensemble social » (p. 36). Une représentation dite sociale correspond à une structure organisée comme un modèle explicatif, simple et logique, construit, en fonction de son niveau de connaissance, mais également en fonction du contexte socioculturel et psychoaffectif (De Vecchi, 2003). Par ailleurs, Jodelet (1989b) note que « le concept de représentation sociale désigne une forme de connaissance spécifique, le savoir de sens commun, dont les contenus manifestent l'opération de processus génératifs et fonctionnels socialement marqués » (p. 361). Cette chercheuse perçoit les représentations non pas dans une perspective opposant le rationnel à l'irrationnel, mais dans une perspective plus objectiviste. « Il s'agit d'une connaissance "autre" que celle de la science, mais qui est adaptée à, et corroborée par, l'action sur le monde » (Jodelet, 1994, p. 14).

À cela, Fischer (2010) rajoute que « la représentation sociale est un processus, un statut cognitif, permettant d'appréhender les aspects de la vie ordinaire par un recadrage de nos propres conduites à l'intérieur des interactions sociales » (p. 118). Cette connaissance se constitue à partir de nos expériences, mais aussi des informations, savoirs et modèles de pensée que nous recevons et transmettons par la tradition, l'éducation, la communication (Cedraschi, Allaz et Piguët, 1998).

À la lumière de ce qui précède, la cognition entre en ligne de compte dans l'étude sur les représentations sociales. Nous estimons, dans le cadre de cette recherche, que l'on ne peut considérer la cognition et l'action que par rapport à la situation dans laquelle elles se déroulent. C'est pourquoi il semble intéressant de se pencher sur ce que peut apporter la cognition située dans le cadre de notre recherche, car les tenants de la cognition située ont amplifié l'idée de prendre en compte la cognition et l'action non

seulement par rapport à la situation, mais en y ajoutant les aspects sociaux et historiques de l'acteur (Salembier, 1996).

2.3.1 De la représentation sociale à la représentation cognitive

La cognition située permet de rendre présent le statut cognitif de l'individu, de son action. Nous pouvons alors mettre en avant que l'individu utilise des processus mentaux. C'est de ces processus cognitifs que les représentations émergent, elles en sont même le fondement. Comme l'exprime Clancey (1991), « les représentations ne sont plus au centre de l'esprit, elles émergent des interactions des processus mentaux avec l'environnement » (p. 109). Urdapilleta (2007, p. 31) rajoute que le terme de représentation « désigne des connaissances ou croyances qui sont bien stabilisées dans la mémoire du sujet, mais qui peuvent se modifier sous l'effet de l'expérience ou de l'enseignement ». Nous parlons alors de représentations cognitives.

Ces dernières sont définies comme des produits cognitifs issus de l'interaction de l'individu avec le monde (Denis, 1989), pouvant soit être stockées en vue d'une utilisation ultérieure, soit être utilisées à court terme.

Ces représentations cognitives ont la particularité de ne pas être homogènes puisque le terme désigne à la fois l'activité qui produit la représentation et l'entité elle-même (Denis, 1989). Ces représentations que nous qualifions de mentales sont donc à la fois processus et produit (Abric, 1994).

Par « processus », nous mettons en relief que chaque sujet élabore ou modifie sans cesse ses représentations, et ce, de manière « intracognitive ». Par produit, nous désignons le recours et le partage de ces représentations par l'apprenant à un moment

précis dudit processus. Les représentations mentales² sont élaborées au sein d'un système cognitif dont le contenu reflète la situation évoquée. Elles sont le produit de l'interaction entre la situation et les connaissances générales ou spécifiques mises en œuvre (Blanc, 2011). Elles favorisent la compréhension, le raisonnement et la prévision (Gentner et Stevens, 1983).

2.3.2 Une définition opératoire

Le terme de représentation que nous utilisons dans notre étude découle en droite ligne de la notion de représentation sociale définie par Jodelet (1989). À cette définition, s'y ajoute le cadre théorique de la cognition située, ce qui sous-tend que la représentation, en plus de posséder un caractère social, s'inscrit dans un contexte particulier puisque viennent s'y ajouter « les interactions sujets-environnements, le rôle actif et constructif du sujet dans cette interaction, l'importance des dimensions culturelles dans l'apprentissage et le développement, le poids de la subjectivité dans l'expérience » (Saury, Ria, Sève et Gal-Petitfaux, 2006, p. 5). Nous estimons ainsi que la représentation devient cognitive et se présente sous deux formes : issue de processus cognitifs mis en place par l'individu lorsqu'il confronte la situation à ces connaissances, mais également définie comme produit à partir du moment où il partage le résultat de ce processus, de sa réflexion.

Le terme de représentation à l'intérieur de cette recherche désigne : le produit cognitif d'un processus réflexif permanent mis en place par un individu lorsqu'il confronte ses connaissances générales et/ou spécifiques avec son environnement dans le but

² Il est à noter que bien que nous parlons ici de représentations mentales, celles-ci ont certes des spécificités individuelles, mais elles s'inscrivent tout autant dans un univers social puisque selon Denis (1999), elles possèdent également un noyau partagé par la plupart des individus d'une même culture.

d'appréhender, de décrire, d'interpréter une information, une situation particulière³. Notre étude vise ainsi à analyser les représentations des élèves à travers la réflexion qu'ils engagent afin de produire une représentation d'un système complexe. Nous analysons ainsi le produit et le processus de la représentation.

Le fait d'analyser le processus entraînant la production d'une représentation nous amène à considérer le lien que les élèves entretiennent vis-à-vis du savoir. En effet, si une représentation est le produit d'une confrontation entre une situation particulière avec les connaissances d'un individu, il est intéressant de comprendre comment l'élève conçoit la nature de la connaissance et la nature de l'acte de connaître. C'est pourquoi cette étude s'attarde au concept d'épistémologie personnelle.

2.4 L'épistémologie personnelle

La question de l'épistémologie personnelle, l'idée que les apprenants puissent entretenir certaines croyances relatives au savoir, et du développement épistémique des apprenants, idée que ces croyances évoluent avec le temps, fait partie intégrante du paysage de la recherche sur l'apprentissage depuis environ une trentaine d'années (Baxter Magolda, 1995 ; Hofer et Pintrich, 1997 ; Kitchener, 1986 ; Perry, 1970 b ; Schommer, 1990).

Hofer et Pintrich (1997, 2004), grâce à une comparaison des différentes recherches, ont permis de dégager des principes généraux quant à la dimension épistémique du savoir et de l'apprentissage. Ils ont démontré qu'il est désormais normal de concevoir

³ Certains auteurs utilisent la notion de modèle mental pour parler de représentation. C'est le cas d'Azevedo, Cromley et Seibert (2004) dont nous utilisons l'outil. La référence au terme de modèle mental dans la suite de cette étude fera référence au concept de représentation tel que nous le définissons dans ce paragraphe.

que les croyances d'apprenants à l'égard du savoir évoluent avec le temps. L'apprenant passant d'une vision dualiste du savoir, une chose est considérée comme vraie ou fausse, à une posture relativiste⁴, la nature du savoir dépendant alors du contexte dans lequel se trouve l'apprenant.

2.4.1 Diverses approches de l'épistémologie personnelle

La question de l'épistémologie personnelle et du développement épistémique des apprenants permet une meilleure compréhension des apprenants et de leur développement. Afin de préciser un peu plus cette question et de clarifier ce concept, nous allons effectuer un survol des cinq approches relatives à l'épistémologie personnelle. Ce survol permettant de décrire les composantes principales de ces diverses approches et des relations qu'elles entretiennent (voir Tableau 1, p. 34).

⁴ On entend par relativiste, dans ce cas et dans ce qui suit, que le savoir dépend du référentiel dans lequel il est employé. Il n'est pas dichotomique (blanc ou noir), il n'y a ni raison ni moyen de trancher entre deux croyances opposées.

Tableau 1. Synthèse de modèles du développement épistémique pour les adolescents et les jeunes adultes, tiré de Hofer et Pintrich (1997, p. 92)

Intellectual and ethical development (Perry, 1970a, b)	Women's way of knowing (Belenky et al., 1986)	Epistemological reflection (Baxter Magdola, 2002)	Reflective judgment (King et Ketchener, 2004)
Positions	Epistemological perspectives	Ways of knowing	Reflective judgment stages
Dualism	Silence Received knowledge	Absolute knowing	Pre-reflective thinking
Multiplicity	Subjective knowledge	Transitional knowing	Quasi-reflective thinking
Relativism	Procedural knowledge a) Connected knowing b) Separate knowing	Independent knowing	
Commitment within relativism	Constructed knowledge	Contextual knowing	Reflective thinking

- Le développement intellectuel et éthique des étudiants de Perry

Considérée comme l'une des plus importantes études relatives aux notions d'épistémologie personnelle et de développement épistémique, l'étude de Perry (1970b) porte sur le développement intellectuel et éthique d'étudiants durant leurs premières années d'études universitaires. Le modèle qui en découle permet d'examiner les interrelations entre l'apprenant, la matière à apprendre et le processus de compréhension des apprenants (Moore, 2002).

Dans cette étude, Perry (1970b) examine le développement de la pensée des étudiants à l'égard du savoir, développement qui suivrait différents stades selon un continuum. Son modèle repose sur un schéma développementaliste par stades hiérarchiquement organisés. L'étudiant débiterait à un stade dit « dualiste », le savoir est alors soit noir, soit blanc, vrai ou faux. À ce stade, la figure d'autorité de l'énonciateur affecte la nature du savoir exprimé. À la fin du continuum développemental, l'étudiant se retrouve à un stade dit « relativiste ». Le savoir est très rarement noir ou blanc, vrai ou faux. Le contexte d'énonciation, à ce stade, est plus important que l'énonciateur lui-même. L'étudiant prend alors conscience que le professeur peut avoir tort, ou que lui-même peut ne pas être en accord avec ce que l'enseignant énonce. « La connaissance est perçue comme construite, contingente et contextuelle, et l'action de connaître (*knowing*) est coordonnée avec la justification et l'argumentation. » (Crahay et Fagnant, 2007, p. 81). Entre ces deux extrémités du continuum, Perry (1970b) a identifié différents stades intermédiaires caractérisant le développement épistémique potentiel des étudiants et le rapport que ceux-ci entretiennent au savoir.

- La perspective du genre de Belenky, Clinchy, Goldberger et Tarule

Ces auteurs (Belenky, Clinchy, Goldberger et Tarule, 1986) se sont inspirés du modèle de Perry, mais en l'appliquant au genre féminin (Perry, 1970b, portant presque exclusivement sur l'analyse d'hommes) afin d'examiner les représentations relatives au savoir qu'elles entretenaient. La recherche montre l'existence de cinq perspectives selon lesquelles les femmes envisagent l'autorité. Les extrêmes, « silence » et « savoir connecté », peuvent être reliés aux catégories de Perry, respectivement dualisme et relativisme. Cependant, les catégories intermédiaires ne forment pas un continuum. Elles s'apparentent plus à des catégories indépendantes comme dans le cas du système de croyances de Schommer-Aikins (2002).

- La réflexion épistémologique des étudiants de Baxter Magolda

Dans la lignée de Perry, mais en prenant davantage en compte l'environnement social de l'apprenant, Baxter Magolda (1995, 2002) a étudié les représentations d'étudiants universitaires à l'égard du savoir et de l'acte de connaître. Il ressort des études longitudinales qu'elle a effectuées que les étudiants commençant l'université ont tendance à distinguer le savoir comme absolu. Dans ce cas, l'approche à l'égard de l'acte de connaître est vue comme visant la maîtrise du savoir. À la fin de leur parcours, les étudiants ont plus tendance à percevoir le savoir comme contextualisé. Cette approche est une construction active d'intégration et d'application.

- Le jugement réflexif des apprenants de Kitchener et King

Ces auteures (King et Kitchener, 2004 ; Kitchener et King, 1990) ont examiné le développement épistémique d'apprenants par l'entremise de leurs habiletés réflexives à l'égard de leurs représentations relatives au savoir. Elles cherchent principalement à clarifier les dimensions réflexives en partant de l'idée que la résolution de problèmes en situation d'apprentissage repose sur des dimensions cognitives, métacognitives et réflexives. Elles distinguent alors un modèle décrivant divers stades de développement en matière de « compétences réflexives ». Le stade le moins avancé est le stade du « raisonnement préreflexif ». À ce stade, l'apprenant perçoit le savoir comme absolu et il ne cherche pas à clarifier la véracité de la preuve sur laquelle repose ce savoir. Le stade le plus développé est le stade du « raisonnement réflexif ». L'apprenant perçoit le savoir comme contextualisé et il ne croit pas pouvoir affirmer quelque chose avec certitude. Il faut fournir le plus de preuves possible pour pouvoir renforcer le caractère « raisonnable » d'une affirmation. Le savoir est alors évolutif en fonction du contexte et des preuves fournies à l'apprenant. Entre ces deux stades, il existe, pour Kitchener et King (1990), des stades intermédiaires qualifiés de stades de « raisonnement quasi réflexif ».

- Les croyances des étudiants à l'égard du savoir de Schommer-Aikins

L'auteure rompt avec la perspective unidimensionnelle des modèles précédents. Pour elle, l'épistémologie personnelle va plus loin que la simple représentation entretenue par un apprenant à l'égard du savoir (Schommer-Aikins, 2002). Elle serait plutôt un système ou un ensemble de croyances (représentations), possiblement indépendantes les unes des autres, entretenues directement ou indirectement à l'égard du savoir (Schommer, 1990). Ce système comprend des croyances relatives à la stabilité du savoir, à sa structure, à sa source ou à son acquisition. Ainsi, l'apprenant peut envisager le savoir comme étant très stable, mais tout en remettant en question les sources de celui-ci. Schommer-Aikins (2002) recense où se situe l'apprenant à l'égard de diverses dimensions du savoir, plutôt que de placer le positionnement de celles-ci sur un continuum. Ce modèle permet alors de mieux comprendre les apprenants et de choisir de manière plus adéquate des stratégies d'enseignement. C'est dans cette direction que nous souhaitons orienter notre étude, en prenant en compte les croyances épistémiques des élèves selon une perspective multidimensionnelle.

2.4.2 Trois paradigmes de l'épistémologie personnelle

À travers ce survol, nous voyons bien que les notions de l'épistémologie personnelle ont été examinées et conceptualisées de différentes façons par les auteurs. Nous pouvons dégager des différentes recherches, bien que se réclamant toutes de Perry, trois paradigmes de recherche.

- Le développement épistémique

Ce courant de recherche comporte les modèles de Perry, Baxter Magolda et King et Kitchener. Il se situe principalement dans une perspective développementaliste, plaçant les individus sur un continuum. Il consiste à caractériser la pensée des étudiants en fonction de leur rapport au savoir, tout en y étudiant le développement tout au long du cursus de ces derniers. Le point de vue est essentiellement unidimensionnel.

- Les croyances épistémiques

À l'encontre du précédent paradigme, et initié par Schommer-Aikins, l'épistémologie personnelle est ici constituée d'un ensemble de croyances se développant de façon plus ou moins indépendante les unes par rapport aux autres, et surtout selon un point de vue multidimensionnel.

- Les théories épistémiques

Ce paradigme regroupe les deux précédents en les unissant sous un cadre théorique unique. Proposé par Hofer et Pintrich (1997), ils considèrent l'épistémologie personnelle comme composée de dimensions finies, élaborées à la suite d'une synthèse des recherches, organisées selon deux thématiques (voir Tableau 2, page suivante) et reliées entre elles de manière cohérente. Chacune d'elles possède la capacité de se développer selon un continuum de peu à très sophistiqué, dans une perspective développementale.

Tableau 2. Les quatre dimensions de l'épistémologie personnelle selon le modèle d'Hofer (2004), traduites par Crahay et Fagnant (2007)

Thèmes	Nature de la connaissance		Nature de l'acte de connaître	
Dimensions	Certitude	Simplicité	Source	Justification
Définitions	Degré avec lequel la connaissance est conçue comme certaine.	Exprime le caractère isolé ou, au contraire, intégré des connaissances	Relation entre le sujet connaissant et l'acte de connaître. Relatif au lieu du savoir : soit en dehors de soi, soit l'individu est acteur de la construction.	Relatif aux représentations individuelles sur la manière dont la science justifie ses résultats, ou la justification des savoirs auxquels on adhère.
Description du continuum	De l'existence de la vérité absolue au savoir considéré comme changeant et provisoire.	Des connaissances comme des faits connus sans lien entre eux au savoir relatif contingent et contextuel.	De la connaissance, résidant et provenant d'autorités externes, aux connaissances issues des interactions entre individus.	De la justification des idées auxquelles on adhère, parce que fondées sur des arguments d'autorité ou d'opinions personnelles, à la justification raisonnée prenant en compte des opinions diverses.

Selon Hofer et Pintrich (1997, 2004), la nature du savoir renvoie aux théories personnelles des élèves concernant le degré de *certitude* attribué aux connaissances scientifiques ; soit ces théories sont représentées comme définitives, arrêtées une fois pour toutes, peu soumises à la révision, ou à l’opposé, elles sont provisoires et évolutives. Les croyances portent aussi sur le degré de *complexité* d’un savoir scientifique. Tout comme la nature, il peut être divisé en deux ; soit constitué d’une vaste accumulation de faits, de concepts, de lois et de méthodes, ou au contraire, d’un réseau de ces différents éléments, fortement reliés entre eux. Par exemple, une vision dualiste envisage le savoir sous le mode dichotomique du vrai/faux, scientifique/non scientifique, tandis que dans la multiplicité, l’élève accepte l’existence d’une pluralité de points de vue et d’interprétations d’un même phénomène. Il se fait aussi à l’idée que des connaissances peuvent être, dans quelques domaines, provisoires et incertaines.

La création du savoir se rapporte à son développement, à sa *source*, c’est-à-dire soit à la détention par une autorité savante, ou au contraire au fait que le savoir est le produit d’une activité humaine, datée et contextualisée et que leur valeur de vérité dépend de la démonstration de la preuve.

La question de l’épistémologie personnelle des apprenants nous permet ainsi d’obtenir une meilleure compréhension de ces derniers et de leur développement.

2.4.3 D'une approche multidimensionnelle à l'approche « double track⁵ »

Cette vision multidimensionnelle de l'épistémologie personnelle avait aussi été privilégiée par Royce (1978). Ce dernier proposait de considérer les croyances épistémiques selon deux dimensions : la provenance du savoir (*how knowledge is derived*) et la justification du savoir (*how knowledge is justified*). Pour lui, l'individu pouvait se définir selon trois approches : le rationalisme, l'empirisme et le métaphorisme. Les individus prônant le rationalisme croient que le savoir provient de la raison et de la logique. Les individus empiristes privilégient l'observation et l'expérimentation. Le métaphorisme caractérise les individus croyant que le savoir provient de l'intuition et se justifie par l'universalité (*universality*).

Selon ce modèle, le profil épistémique influencerait les processus cognitifs. À titre d'exemple, un individu à prédominance rationaliste recherche la conceptualisation et la signification du savoir, tandis qu'un individu dont le profil est empiriste privilégie la perception spatiovisuelle. Le métaphorisme implique la symbolisation, l'expressivité des idées et des mots et il sollicite une grande part d'imagination (Franco, 2012). Royce (1978) reconnaît que les trois dimensions n'agissent pas indépendamment, mais que chaque personne possède un profil prédominant. Selon lui, les croyances épistémiques jouent un rôle important dans la compréhension du monde.

Cette approche a été reprise par certains chercheurs afin de créer une nouvelle voie quant à l'utilisation des croyances épistémiques. Jusqu'à récemment, certaines recherches ont certes démontré que ces croyances possédaient effectivement des effets directs et indirects sur l'apprentissage, mais en mettant en avant l'effet qu'une vue plus sophistiquée ou constructiviste de la connaissance entraînait un meilleur

⁵ Nous utilisons ici le terme anglais de cette approche afin d'insister sur l'origine de cette vision. Par la suite, l'emploi du terme « double-voie » sera privilégié.

apprentissage dans le cadre d'une approche constructiviste par exemple, qu'une vision moins sophistiquée ou moins constructiviste. Ces recherches sous-entendaient ainsi que certaines croyances épistémiques étaient « supérieures » en fonction de l'apprentissage considéré et de la façon dont il était présenté (Franco, 2012).

Pour remettre cette idée en question, des chercheurs (Bromme, Kienhues, et Stahl, 2008 ; Cano, 2005 ; Elby et Hammer, 2001 ; Greene, Muis, et Pieschl, 2010 ; Kardash et Howell, 2000 ; Muis et Franco, 2009 ; Schommer, 1990) ont plutôt suggéré que la sophistication épistémologique se composait d'un éventail plus large de croyances au sujet du savoir et de la connaissance, et que c'est surtout le cadre dans lequel l'individu s'inscrit qui détermine l'accessibilité à cette sophistication épistémologique (Franco, 2012). Par exemple, Hammer et Elby (2002) ont démontré que, bien que pour certains modèles la croyance épistémique sous-entendant que la « connaissance est provisoire » démontre une vue sophistiquée du point de vue de la certitude, dans certaines situations elle devient improductive pour certains types de connaissances. « La Terre est ronde », « le cœur pompe le sang », ne peuvent être considérées comme des connaissances provisoires, par exemple.

L'approche « double-voie » (Bromme *et al.*, 2010) a été créée afin d'aller au-delà de la simple vision des effets des croyances épistémiques sur l'apprentissage. Cette nouvelle approche a pour but :

« de tenir compte des interactions dynamiques entre les élèves, les croyances épistémiques et les aspects du contexte d'apprentissage (Elby & Hammer, 2001 ; Hofer & Pintrich, 1997 ; Muis et al., 2006). [L'approche « *double track* » sous-tend une] recherche sur les croyances épistémiques dans lesquelles les prédictions et les interprétations des chercheurs sur les effets des croyances épistémiques sur l'apprentissage sont analysées en complémentarité du contenu d'apprentissage avec lequel les individus s'engagent » (traduction libre ; Franco, 2012, p. 49-50)

Si nous suivons cette approche, l'hypothèse selon laquelle il y aurait une correspondance entre les croyances épistémiques et la représentation des connaissances serait plus consistante qu'une correspondance entre les croyances épistémiques et l'épistémologie sous-jacente au domaine considéré (Muis, Kendeou et Franco, 2011). Pour expliciter ce fait, Franco (2012) considère, en reprenant l'approche multidimensionnelle de Royce (1978), que comme pour l'individu, chaque discipline de la connaissance sous-entend l'implication des trois épistémologies qu'il a définies (le rationalisme, l'empirisme et le métaphorisme⁶), mais celles-ci sont pondérées différemment. « Autrement dit, chaque discipline peut être caractérisée par une structure hiérarchique du rationalisme, de l'empirisme et du métaphorisme. » (Franco, 2012, p. 54)

En suivant ce raisonnement, Franco émet l'hypothèse qu'il serait possible de prévoir que les individus possédant des croyances épistémiques qui seraient en accord avec le contenu d'enseignement performeraient mieux que des individus dont les croyances épistémiques s'en écarteraient. C'est ce que, par exemple Muis *et al.* (2011), démontrent par leur recherche. Les auteurs ont établi que des individus ayant des croyances épistémiques plus « métaphoristes » performaient mieux dans l'apprentissage d'un concept de physique, pourtant rationaliste, quand les représentations utilisées pour l'apprentissage étaient des métaphores. Cela souligne bien l'importance de la représentation des connaissances dans l'évaluation des effets des croyances épistémiques des individus au cours de l'apprentissage.

⁶ Pour Royce (1978) par exemple, la physique est considérée comme un domaine dont le rationalisme prédomine, car elle est composée de lois et de théorèmes. Elle comporte également une partie (plus faible) d'empirisme, ces lois et théorèmes sont testés empiriquement par des observations. Si nous suivons cette caractérisation, nous pouvons, de notre point de vue, qualifier que la biologie est également dominée par le rationalisme même si l'empirisme est plus présent qu'en physique.

Or, selon Franco *et al.* (2012), il reste encore beaucoup de recherches à effectuer dans cette approche : « un aspect du contenu d'apprentissage qui a reçu peu d'attention dans la littérature sur les croyances épistémiques à ce jour est la représentation des connaissances » (p. 65). Nous proposons de s'inspirer de cette approche en prenant en compte l'incidence des croyances épistémiques des élèves à la fois sur la construction d'une représentation, mais également sur leur compréhension d'un système complexe, comme nous allons le définir, touchant ainsi aux processus cognitifs que l'élève met en place.

Même s'il reste nombre de recherches à faire sur ce thème (Hofer et Sinatra, 2010), le rapprochement entre l'épistémologie personnelle et la cognition semble connaître un renouveau depuis quelques années (Crahay et Fagnant, 2007 ; Hofer, 2004a ; Muis, 2008) à la suite des premiers travaux de Kitchener (1983). Selon Mason (2010),

les croyances épistémiques peuvent avoir non seulement une influence directe, mais également indirecte sur le processus de restructuration conceptuelle par la médiation cognitive et l'utilisation de stratégies métacognitives. Il semble donc qu'il existe une tendance selon laquelle les croyances épistémiques soient susceptibles de façonner les perceptions des tâches des apprenants et donc la façon dont elles sont abordées (traduction libre) (p. 276).

Ainsi, comme le souligne Schommer (2004) si les apprentissages scolaires étaient influencés par les croyances épistémiques des étudiants, et comme Crahay et Fagnant (2007) l'expliquent :

l'épistémologie s'intéresse aussi à la façon dont l'individu acquiert ou plus précisément élabore des connaissances. Ce n'est pas sur le processus lui-même qu'elle se focalise, mais sur le raisonnement critique que le sujet développe face à ce processus et par extension au produit de ce processus, la connaissance (p. 104).

Il faut noter qu'à ce stade, le terme de « croyances épistémiques » employé ne doit pas être confondu avec la pensée de Bachelard sur l'utilité des croyances et leur incidence sur la notion d'obstacles épistémologiques. L'utilisation de ce terme pose comme principe que l'individu possède et développe des croyances et des théories à propos des connaissances et de leur acquisition. Et que ces croyances épistémiques influencent les processus cognitifs de pensée et de raisonnement de l'individu. Elles ne sont pas vues comme un obstacle à l'apprentissage, mais sont à considérer du fait qu'elles façonnent la perception de la tâche et donc la façon dont l'individu l'aborde.

Nous cherchons ainsi, à travers les croyances épistémiques, à comprendre leur incidence sur l'élaboration de représentation d'élèves. Nous essayons de déterminer si ces croyances ont des répercussions sur le processus et le produit d'une représentation.

Pour ce faire, cette recherche se penche sur la construction d'une représentation d'un système complexe et essaye de déterminer si les croyances épistémiques influent également sur la compréhension que l'élève se fait de ce système complexe. Nous allons à présent définir ce que nous entendons par système complexe et les raisons qui sous-tendent l'utilisation de ce concept.

2.5 Le système complexe et l'approche systémique

Selon Lapointe (1993), la méthode analytique semble celle qui a eu le plus grand impact sur le développement du savoir humain en Occident. Cette méthode, parfois aussi qualifiée de scientifique ou de rationaliste, repose sur une conception de la science où la compréhension d'un système complexe serait impossible sans la décomposition, la réduction et l'isolement de l'objet ou du phénomène de son environnement afin de pouvoir mieux l'étudier. Ce précepte de réductionnisme serait pour plusieurs chercheurs le fondement même du rationalisme (Checkland, 1999; Fourez, 1974; Kerlinger, 1986; Le Moigne, 1990) qui s'appuie, selon Checkland (1975), sur certaines règles qu'il présente de cette manière :

Nous pouvons réduire la complexité de la variété du monde réel dans des expériences dont les résultats sont validés par leur répétitivité, et acquérir des connaissances par la réfutation d'hypothèses. [...] la caractéristique essentielle de la science est le réductionnisme de son approche (traduction libre) (p. 128-129).

Cette approche a pour objectifs d'expliquer, de comprendre et de contrôler la vérité (Lapointe, 1993). Or, des doutes sont soulevés par des chercheurs (Checkland, 1981; Le Moigne, 1990; Watzlawick, 1988) à cause de la complexification du monde et de l'émergence de problèmes de plus en plus complexes qui ne se contentent plus de se limiter localement, mais peuvent parfois atteindre une échelle plus importante, voire planétaire⁷. Ce phénomène de complexification des ensembles a amené ces chercheurs à réclamer l'utilisation d'une autre approche afin de prendre en compte la complexité des systèmes considérés, et ce, de manière globale. C'est ce que cherche à faire l'approche systémique.

⁷ L'effet de certaines émissions de gaz n'est plus un simple problème pour une région spécifique, mais peut dorénavant avoir un impact à l'échelle de notre planète entière.

Pour mieux comprendre les différences entre l'approche analytique et l'approche systémique, la comparaison faite par de Rosnay (1975) et résumée dans le Tableau 3, permet de faire ressortir les différences principales qui distinguent ces deux approches.

Tableau 3. Comparaison entre les approches analytique et systémique (De Rosnay, 1975)

Approche analytique	Approche systémique
Isole, se concentre sur les éléments.	Relie, se concentre sur les interactions entre les éléments.
Considère la nature des interactions.	Considère les effets des interactions.
S'appuie sur la précision des détails.	S'appuie sur la perception globale.
Modifie une variable à la fois.	Modifie des groupes de variables simultanément.
Indépendante de la durée : les phénomènes considérés sont réversibles.	Intègre la durée et l'irréversibilité.
La validation des faits se réalise par la preuve expérimentale dans le cadre d'une théorie.	La validation des faits se réalise par comparaison du fonctionnement du modèle avec la réalité.
Modèles précis et détaillés, mais difficilement utilisables dans l'action (exemple : modèles économétriques).	Modèles insuffisamment rigoureux pour servir de base de connaissances, mais utilisables dans la décision et l'action (p. ex., modèles du Club de Rome).
Approche efficace lorsque les interactions sont linéaires et faibles.	Approche efficace lorsque les interactions sont non linéaires et fortes.
Conduit à un enseignement par discipline (juxtadisciplinaire).	Conduit à un enseignement pluridisciplinaire.
Conduit à une action programmée dans son détail.	Conduit à une action par objectifs.
Connaissance des détails, buts mal définis.	Connaissance des buts, détails flous.

Il est à noter que ces deux approches partant de postulats épistémologiques différents, préconisent de percevoir la réalité différemment et utilisent des méthodologies qui leur sont propres. L'étude des ensembles qu'elles abordent possédant des niveaux de complexité divers, nous allons développer cette approche systémique afin de mieux l'appréhender.

2.5.1 Le développement de l'approche systémique

Deux approches ont émergé lorsqu'il est apparu aux chercheurs qu'il fallait composer avec la complexité du monde.

La première suppose qu'il est impossible dans un système complexe d'atteindre la compréhension de l'ensemble en étudiant ses parties de manière dissociée. C'est par ailleurs la position de von Bertalanffy (1973), qui rapporte que :

la tendance à analyser les systèmes comme un tout plutôt que comme des agrégations de parties est compatible avec la tendance de la science contemporaine à ne plus isoler les phénomènes dans des contextes étroitement confinés, à ne plus décortiquer les interactions avant de les examiner, à regarder des « tranches de nature » de plus en plus larges (p. 8).

La seconde approche soutient que pour connaître un ensemble, il faut passer par l'étude des relations et des interactions que possède cet ensemble avec son environnement puisque nous ne pouvons considérer que l'environnement et le système ne possèdent aucune influence mutuelle. C'est ce que précisent Watzlawick *et al.* (1972) en expliquant qu'« un phénomène demeure incompréhensible tant que le champ d'observation n'est pas suffisamment large pour qu'y soit inclus le contexte dans lequel ledit phénomène se produit » (p. 15). Ce qui revient à exprimer l'opposé du concept réductionniste tel que nous l'avons décrit plus haut.

L'approche systémique, que nous allons décrire ci-après, permet de prendre en compte ce que sous-tendent ces hypothèses, à savoir qu'il est préférable de ne plus réduire les éléments en partie et de considérer le tout comme un ensemble afin de ne pas modifier sa nature par rapport à son environnement (Lapointe, 1993).

2.5.2 D'une approche systémique à la notion de système complexe

Selon Le Moigne (1990), la systémique se déploie suivant quatre volets dont les buts sont de :

- développer la théorie de l'univers considéré comme système ;
- modéliser la complexité ;
- rechercher les concepts, lois et modèles de même forme pouvant s'appliquer à différents ensembles ;
- conceptualiser des artefacts ou outils.

Pour Donnadieux *et al.* (2003), la systémique combine : « en permanence connaissance et action [...] elle se présente comme l'alliance indissoluble d'un savoir et d'une pratique » (p. 2). Elle se forme de deux parties : un savoir et des concepts d'un côté, et une méthode et un apprentissage de l'autre.

Pour Durand (2006), il existe quatre concepts fondamentaux⁸ :

- L'interaction : la relation entre deux éléments n'est généralement pas de type causal de A sur B ($A \rightarrow B$), mais comporte une double action de A sur B et B sur A ($A \leftrightarrow B$).

⁸ Dans un article plus récent, cet auteur remplace le terme d'« organisation » par celui de « système » (Donnadieux et Durand, 2003). Pour une question de compréhension, nous préférons garder celui d'organisation afin d'éviter la confusion avec le terme de système qui sera explicité par la suite.

- La globalité : comme l'exprime von Bertalanffy (1973), un système est un tout non réductible à ses parties. « Cette globalité exprime à la fois l'interdépendance des éléments du système et la cohérence de l'ensemble » (Donnadieu *et al.*, 2003, p. 4). Le tout est à la fois plus que la somme des parties, mais en même temps, la partie est plus que la fraction du tout.
- La complexité : la complexité n'est pas synonyme de complication (Morin, 1990). La complexité d'un système tient à trois causes :
 - celles inhérentes à la composition même du système, au nombre et aux caractéristiques de ses éléments et surtout de ses liaisons ;
 - celles provenant de l'incertitude et des aléas propres à son environnement ;
 - celles enfin qui tiennent aux rapports ambigus entre déterminisme et hasard apparent, entre ordre et désordre (Durand, 2006).
- L'organisation : c'est le concept central de la systémique. C'est à la fois un processus et un état. État, car elle représente l'agencement des composants ou individus et les relations qui les lient, formant ainsi une unité nouvelle possédant des qualités que ne possèdent pas les composants à eux seuls. Et processus dans la façon dont sont agencées l'information, la matière et l'énergie mises en œuvre par le système.

Comme le soulignait déjà de Rosnay (1975), il semble que notre éducation ne nous ait pas encouragés à avoir une vision globale de l'univers et des ensembles qui nous entourent. La réalité que nous étudions en classe semble découpée en disciplines, en « chapitres » fragmentés et isolés. Il nous semble alors compliqué de considérer la réalité dans son ensemble, dans sa complexité dynamique, comme le soulignent les partisans du courant systémique. C'est pour permettre de relier les ensembles, d'avoir une vision globale que le concept de système est apparu.

2.5.3 Le concept de système

L'un des premiers à avoir abordé le concept de système est von Bertalanffy (1973) qui le définit comme un ensemble d'unités en interrelations mutuelles. Pour Le Moigne et Morin (1999, Perriault *et al.*, 2011), le concept de système est une unité globale organisée d'interrelations entre les éléments, les actions ou les individus. Pour sa part, de Rosnay (1975) considère le système « comme un ensemble d'éléments en interaction dynamique organisé en fonction d'un but » (p. 93). Toutes ces définitions impliquent que dans tout système, il existe un ordre, une hiérarchie, une organisation qui est observable. Un système peut par ailleurs être décrit sous plusieurs aspects.

- L'aspect structurel d'un système

Un système, sous son aspect structurel, comprend trois composantes (Durand, 2006 ; Lapointe, 1993). La première est l'idée d'une frontière séparant le système, plus ou moins perméable selon son degré de fermeture ou d'ouverture⁹. Pour de Rosnay (1975), un système ouvert est constamment en interaction avec son environnement. L'environnement du système est extérieur à celui-ci et est constitué de tous les objets dont les attributs, subissant une variation, affectent le système et peuvent être affectés par le comportement du système. La seconde composante est l'idée de réservoirs stockant les matières, l'énergie, l'information dont a besoin le système pour fonctionner. Enfin, la troisième composante est l'idée que les réseaux de transport, de relation et de communication permettent de véhiculer les matières, l'énergie ou l'information à travers le système.

⁹ C'est par ailleurs von Bertalanffy (1973) qui a instauré cette idée de système ouvert en opposition au système fermé. Nous y revenons un peu plus loin.

- L'aspect fonctionnel d'un système

Ces composantes sont reliées au processus du système. Celui-ci comporte des flux, de matières, d'énergies ou d'informations, circulant dans divers réseaux et transitant par les réservoirs du système (Durand, 2006). Ces flux sont régulés par l'action des centres de décisions recevant les informations. La mise en œuvre du système est assurée par des boucles de rétroaction permettant d'informer les centres de décisions de ce qui se passe en aval. Les délais, enfin, permettent de procéder à l'ajustement dans le temps nécessaire au bon fonctionnement du système.

De plus, si nous voulons comprendre un système dans son ensemble, il est nécessaire de prendre en compte les propriétés du système observé. Il existe plusieurs propriétés qui sont dépendantes du système observé et qui diffèrent en fonction de leur caractère. Un système « naturel » (atome, Terre, etc.) n'aura pas forcément les mêmes propriétés qu'un système vivant (cellule, cerveau, etc.) ou un système social (entreprise, famille, économique). Plutôt que de passer en revue toutes les propriétés existantes dans ces divers systèmes, nous nous intéressons à certaines qu'ils possèdent en commun. Nous cheminons plus spécifiquement vers les propriétés d'un système vivant lorsque nous abordons le système de la circulation sanguine.

- La finalité ou l'aspect téléonomique (Lapointe, 1993)

Une bonne façon de reconnaître un système consiste d'abord à identifier les buts pour lesquels il a été créé. Tout système a une finalité, un but, des objectifs.

Les notions de finalité, de processus et de structure sont importantes puisqu'elles nous suggèrent une séquence par laquelle une analyse de système peut être effectuée. Les systèmes doivent être identifiés à travers leurs finalités, lesquelles sont traduites et interprétées en termes de buts et d'objectifs à atteindre. Les finalités, les buts et les objectifs d'un système en justifient l'existence, précisent ce qui doit être accompli par le système et déterminent les processus nécessaires à leur réalisation. Les structures, c'est-à-dire les éléments

sur lesquels s'appliquent les processus, sont choisies en fonction de leur capacité à atteindre les finalités, les buts ou les objectifs du système (p. 15).

- L'ouverture ou la fermeture.

C'est en fonction de cet attribut qu'un système et son environnement sont en relation l'un avec l'autre (Durand, 2006 ; Lapointe, 1993). Un système ouvert est un système dont les échanges avec son environnement seront nombreux, un système fermé n'échangera rien. Selon Durand (2006), un système fermé « n'est qu'un concept théorique, un cas limite et en fait, il n'existe que des systèmes plus ou moins ouverts sur leur environnement » (p. 15).

Cette interaction constante entre l'environnement et le système constitue pour ce dernier des entrées et des sorties, comme le souligne de Rosnay (1975) : « les entrées résultent de l'influence de l'environnement sur le système et les sorties de l'action du système sur l'environnement » (p. 101). Lapointe (1993) rajoute :

en plus de produire des extrants « conformes » aux exigences de l'environnement dans lequel il fonctionne, un système doit œuvrer en fonction des contraintes imposées par ce même environnement et par les autres systèmes avec qui il échange matière, énergie et information. Les ressources (humaines, matérielles et financières) que l'environnement rend disponibles à un système donné sont habituellement limitées et le système est également jugé sur la façon dont ces ressources sont utilisées afin de produire les extrants qu'on attend de lui. Enfin, le système fonctionne dans un environnement dont les besoins sont multiples, diversifiés et fluctuants. Il doit donc prévoir la mise en place de mécanismes informant des exigences du milieu, sinon il risque que l'écart entre les extrants qu'il produit et les exigences de l'environnement dans lequel il fonctionne s'amplifie et atteigne un point de non-retour. Ce qui pourrait signifier la disparition éventuelle du système (p. 17).

- La complexité

Cet attribut que nous avons déjà évoqué précédemment permet de classer le système en fonction de sa complexité. Il existe plusieurs typologies suivant les auteurs qui ont traité des systèmes complexes (Bunge, 1979 ; Le Moigne, 1990 ; Lesourne, 1976 ; von Bertalanffy, 1973). Par exemple, von Bertalanffy (1973) et Le Moigne (1990) proposent une typologie en neuf niveaux (voir Appendice A).

Ce qui est essentiel, et ce, peu importe la typologie employée, c'est que nous retrouvons cette notion de hiérarchie, d'ordre des systèmes. Nous passons d'un système simple à un système plus complexe à chaque niveau. Chaque niveau émerge du précédent, un peu comme la complexification de notre monde.

L'utilisation d'une approche systémique semble essentielle lorsque nous souhaitons comprendre le monde complexe qui nous entoure. Le concept de système nous aide à comprendre la complexité du monde en l'observant comme un système composé d'ensembles dynamiques inter reliés. C'est principalement cette notion de complexité que nous abordons dans notre étude.

Pour appréhender la complexité, il faut développer une pensée complexe, car une pensée simplifiante mutile la complexité du réel (Morin, 2005). Il faut alors comprendre les relations entre le tout et les parties. Mais la connaissance des parties à elle seule n'est pas suffisante. Tout comme la connaissance du tout en tant que tout. L'individu doit alors faire un va-et-vient entre le tout et ses parties pour réunir l'ensemble.

Or, pour Morin (1990), notre éducation nous a appris à séparer. C'est ce qu'il entend lorsqu'il écrit « la pathologie moderne de l'esprit est dans l'hypersimplification qui rend aveugle à la complexité du réel » (p. 23). Notre culture est régie selon un

principe de disjonction, de séparation entre les disciplines, les notions, entre le sujet et l'objet de connaissance, et un principe de réduction.

Afin de contrer ces principes et d'accéder à la pensée complexe, Morin (2005) propose de les substituer par deux autres principes. Un principe de distinction permettant de distinguer sans disjoindre et d'établir des relations entre les éléments, de même qu'un principe de conjonction qui conçoit une relation entre l'ordre, le désordre et l'organisation et permet ainsi de saisir les liaisons, les interactions et les implications mutuelles au sein du système. Ces deux principes sont entrelacés. Le principe de distinction maintient donc la distinction, mais tout en concevant la conjonction sous la forme d'une relation d'implications mutuelles entre les éléments considérés. Pour résumer ce qu'est la systémique, nous utilisons la Figure 1 ci-dessous proposée par Durand (2006).

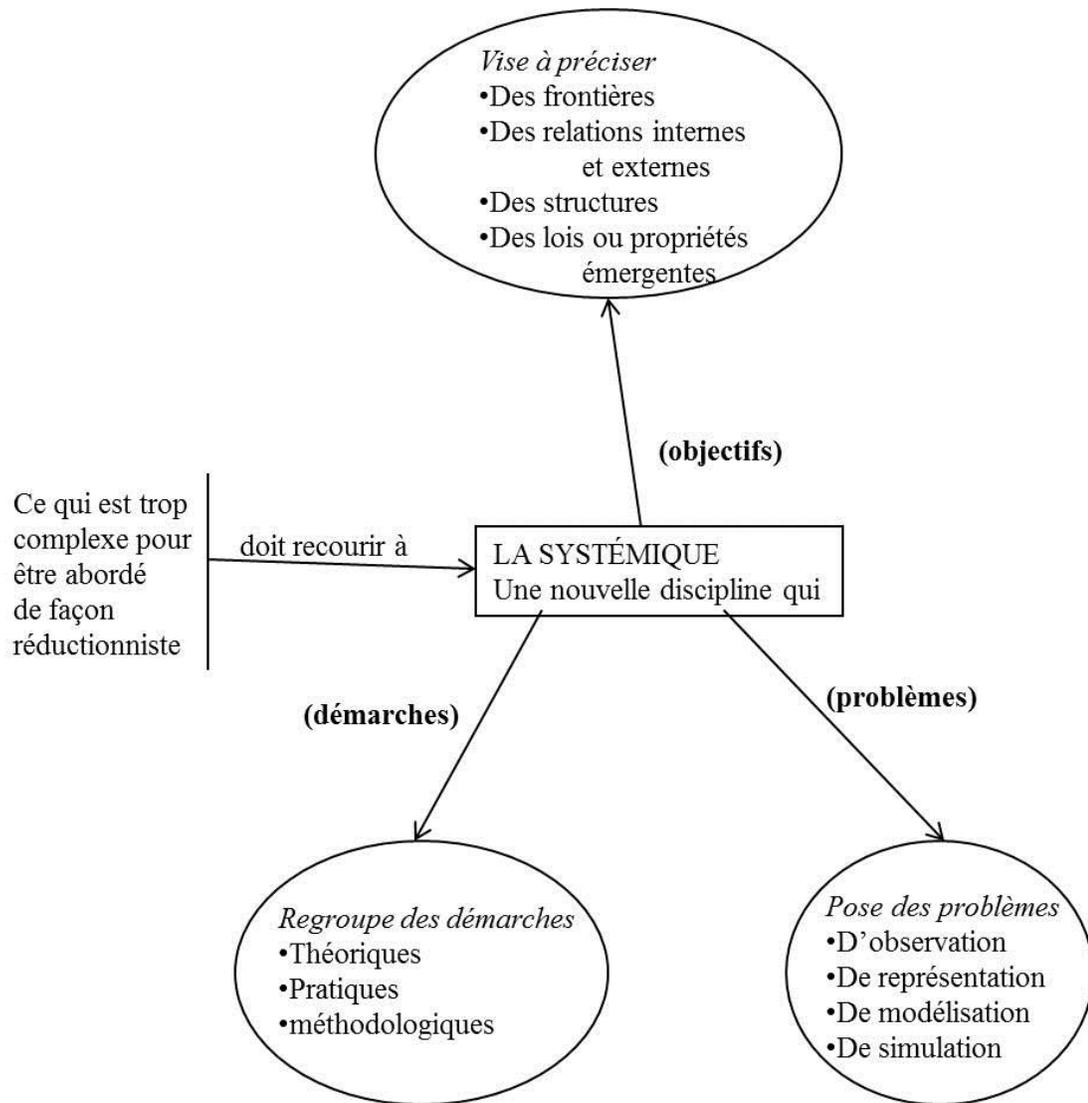


Figure 1. Définition de la systémique

C'est l'application du concept de système à la définition et à la résolution des problèmes qui définit l'approche systémique. Comme le souligne Lapointe (1993), cette approche fournit une stratégie quant à la prise de décision qui comporte :

- une insistance marquée sur l'identification et la définition, des finalités, des buts et des objectifs du système et une énumération de critères et d'indices

suffisamment précis et nombreux nous permettant d'en vérifier « objectivement » le degré d'atteinte ;

- un examen minutieux des différents aspects qui caractérisent les intrants ;
- une identification des meilleures alternatives possibles concernant les fonctions et les structures favorisant l'atteinte des objectifs d'un système ;
- l'identification, l'intégration et la mise en œuvre de mécanismes autocorrectifs (rétroaction/régulation) ajustant les objectifs du système à ceux de l'environnement et à ceux des autres systèmes avec lesquels il interagit, les extrants aux objectifs du système et les variables d'action en fonction de la qualité et de la validité des extrants ;
- l'analyse du système global en sous-systèmes, en repérant les intrants, les variables de transformation, les extrants de chaque unité et leurs points d'interface avec d'autres systèmes et avec l'environnement ;
- l'implantation progressive du système et l'évaluation des extrants par rapport aux critères de performance identifiés au préalable.

Cette notion de système complexe selon une approche systémique semble très intéressante dans le cadre de l'éducation et notamment en didactique.

2.5.4 L'approche systémique et l'éducation

Selon Yoon (2008a), l'utilisation d'un paradigme des systèmes complexe, en mettant l'accent sur l'étude des interactions et des processus dynamiques, permettrait une plus grande évolution de la compréhension des événements mondiaux. L'approche systémique est un bon outil pédagogique afin de former les étudiants à des aptitudes permettant d'acquérir une pensée systémique. Celle-ci leur aidant à comprendre et à surmonter les difficultés de compréhension des mécanismes individuels actifs derrière les phénomènes globaux (Yoon, 2008 b), puisque cette incapacité à comprendre l'interaction des mécanismes individuels et la confusion des différents niveaux impliqués, sous-tendant l'apparition de phénomènes globaux est, pour Chi (2001), considérée comme la source principale des malentendus.

C'est cette confusion des niveaux qui semble être considérée comme la source des idées fausses, à la fois dans l'étude formelle de la science, mais également dans les expériences de vie quotidienne (Wilensky et Resnick, 1999). Jacobson (2001) ainsi que Wilensky et Resnick (1999) considèrent que l'adoption d'une approche systémique permettrait de faire la distinction entre des individus « experts » et des « novices ». Ils ont constaté que les « novices » tendent à favoriser, pour un système complexe, une causalité simple, un contrôle central et une prévisibilité, tandis que les experts démontrent une pensée décentralisée, des causes multiples et l'utilisation de processus stochastiques et d'équilibration (Wilensky, 1997).

Il semble que la compréhension des systèmes complexes sous-entend qu'il faut penser à de multiples niveaux, interdépendants les uns aux autres ; que la causalité est non linéaire et que l'émergence des concepts est dans l'ensemble contre-intuitive et donc difficilement maîtrisable (Jacobson et Wilensky, 2006). L'ontologie employée par les « novices » et par les « experts » est sensiblement différente (Jacobson, 2001, 2013).

Lorsque nous abordons l'analyse de la pensée systémique, il semble exister deux grandes approches (Assaraf, Dodick et Tripto, 2013). La première concerne l'approche du domaine général dans laquelle le but est de faire comprendre aux étudiants les attributs communs aux différents systèmes afin de les appliquer à un contexte scientifique (Jacobson et Wilensky, 2006; Wilensky et Reisman, 2006; Yoon, 2008a). La seconde est plus spécifique au domaine. Les élèves ont pour but d'analyser le comportement d'un système particulier dans un contexte de résolution de problème. La pensée systémique agit alors comme un outil cognitif permettant à l'étudiant d'analyser les différentes caractéristiques du système (Ben-Zvi Assaraf et Orion, 2005 ; Duncan et Reiser, 2007).

C'est dans cette dernière approche que nous plaçons cette recherche, comme nous allons le justifier. Mais dans un premier temps, il convient de faire un détour sur le système complexe que nous allons étudier à travers cette recherche, à savoir, la circulation sanguine.

2.5.5 Un système complexe : la circulation sanguine

Avant d'indiquer la raison qui fait que, pour nous, la circulation sanguine peut être caractérisée comme un système complexe, il convient de faire un petit détour historique sur les diverses découvertes qui ont permis d'arriver au concept actuel.

➤ Détour historique¹⁰

Le but de cette partie n'est pas de faire exposé complet de l'histoire du concept à travers les siècles, mais de donner certains éléments fondamentaux qui ont permis d'arriver au concept tel qu'il est défini aujourd'hui. Pour ce faire, nous détaillons principalement quatre types de conceptions de la circulation sanguine à travers quatre auteurs (Galien, Ibn Al Nafis¹¹, Césalpin et Harvey)

- Galien (vers 130 à 200 apr. J.-C.) est considéré comme le père de la physiologie expérimentale grâce à ses diverses expérimentations sur les veines et artères. Pour lui, le sang est fabriqué au niveau du foie et du cœur à la suite de l'ingestion des aliments. Il se dirige ensuite vers la tête et les membres à travers les veines, le cœur, les poumons et les veines faisant partie du système respiratoire (voir Figure 2).

¹⁰ Pour un détour historique un peu plus complet, les articles de Bouchet (1998), Escande (1998), Jarry et Hermida (1998), SAKKA (1998) et Vanneville (1998), réunis dans les Dossiers d'Archéologie, peuvent constituer une lecture intéressante.

¹¹ Ou Ibn Nafis, de son vrai nom Ala-al-din abu Al-Hassan Ali ibn Abi-Hazm al-Qarshi al-Dimashqi.

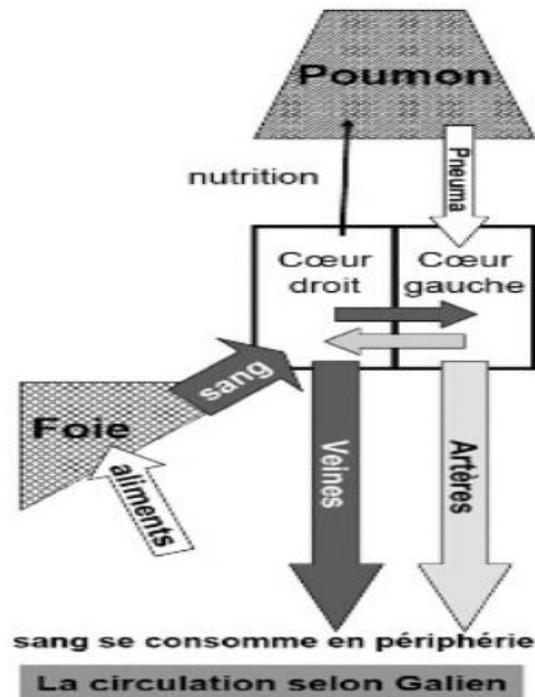


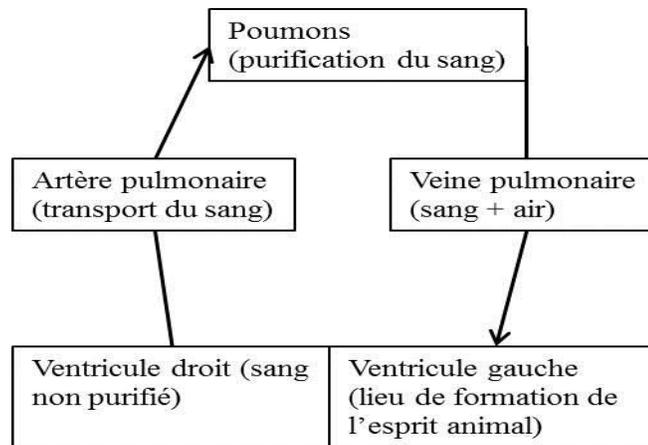
Figure 2. Conception de la circulation sanguine selon Galien (tiré de Voisin, 2011)

Le sang qui arrive au niveau du ventricule droit passe par la veine artérielle en direction des poumons, tandis qu'une partie traverse la cloison du ventricule pour se retrouver dans le cœur gauche et ainsi se mélanger avec l'air amené par les veines pulmonaires. C'est ce mélange d'air et de sang qui réalise l'esprit vital (le sang artériel) essentiel à la vie des organes. L'apport important de Galien est le fait de trouver du sang dans les artères. On pensait alors que les artères ne servaient qu'à faire passer l'air. Les rôles de ces dernières sont : le rafraichissement des organes, l'élimination des déchets et le fait de nourrir les organes plus légers puisqu'elles sont constituées de « sang vaporeux ». Ce sont ces travaux qui vont perdurer pendant tout le Moyen Âge jusqu'à la Renaissance.

Le mouvement du sang est un phénomène de flux et reflux à la manière des marées, grâce à l'attraction exercée par les organes ainsi que de contractions au niveau des veines.

Le sang veineux est élaboré à partir des aliments dont les produits de digestion sont conduits au foie par la veine porte, il est alors distribué par les veines sus-hépatiques à la partie inférieure du corps à la partie supérieure, dont le cœur droit et les poumons. Ce sang veineux passe également à travers le septum interventriculaire par de fines porosités. Le cœur gauche reçoit de l'air veineux des poumons qui est brassé avec le sang qui a filtré à travers le septum. Il s'agit du sang vital, dont la chaleur risque d'être excessive du fait du mouvement du cœur, et c'est pourquoi les poumons sont chargés de la rafraîchir. (Galien, cité par Le Guillou, 2007)

- Ibn Al Nafis (1210-1288) est le premier scientifique à découvrir l'existence de la petite circulation en démontrant que du fait de l'absence d'un passage entre le ventricule droit et le ventricule gauche, le sang qui était raffiné dans le ventricule droit, et devant obligatoirement se retrouver dans le ventricule gauche car c'est à cet endroit que se formait l'esprit vital, devait emprunter un passage différent (voir la Figure 3).



Cœur :

- Cloison interventriculaire non poreuse
- Nourri par les vaisseaux coronaires

Figure 3. Circuit pulmonaire de Ibn Al Nafis (tiré de Zbinden Sapin, 2006)

Ibn Al Nafis démontra que le sang passait par les poumons où, une fois mélangé avec l'air, il redescendait dans le ventricule gauche. Cette découverte bien qu'importante pour l'époque ne fut jamais connue à cette période. Elle profitera d'une traduction de l'arabe vers le latin pour inspirer les scientifiques à la renaissance (Josset, 2005).

- Andrea Cesalpino, dit Césalpin (1519-1603) serait le premier à avoir parlé de la circulation sanguine et de mouvement perpétuel, allant ainsi à l'encontre de la conception de Galien. Il attribue au cœur la fonction de distribution et décrit la fonction des valvules veineuses. Il suppose également l'existence des capillaires en affirmant que le sang se distribue en fines branches et entre en contact avec l'air au niveau des poumons.

- William Harvey (1578-1667), dans son traité *Exercitatio anatomica de motu cordis et Sanguinis in Animalibus* (1628), est le premier à décrire la circulation sanguine dans son ensemble. Par une méthode de calcul¹², il démontre que la théorie de la sécrétion continue ne pouvait être exacte et pose les bases d'une circulation en circuit fermé. Il décrit le cœur comme une pompe aspirante et refoulante grâce aux valvules empêchant le reflux sanguin à chaque contraction. Il présuppose également l'existence des capillaires sanguins reliant artères et veines, mais ne peut observer visuellement leur existence (contrairement à Malpighi en 1661). Il démontre également la relation entre le pouls et les battements cardiaques.

Nous avons, à travers ces quatre auteurs, un aperçu de l'évolution du concept de circulation sanguine. Il est néanmoins nécessaire d'ajouter deux autres auteurs pour amener le principe de la circulation sanguine comme système complexe.

Dans un premier temps, Lavoisier et Seguin (1792) établissent le lien entre respiration, nutrition et transpiration.

Le calorique (fluide caractéristique de la chaleur) et l'oxygène (que Lavoisier désignait par l'air respirable) étant fournis par la respiration, le combustible par la nutrition. Le refroidissement du corps par la transpiration permet d'éviter une élévation de la température au-delà du seuil fixé par la nature (cités dans Zbidi, 2010, p. 34-35).

¹² « Le cœur renferme 2 onces⁽¹⁾ de sang. Le pouls bat 72 fois par minute, en une heure le ventricule gauche aura envoyé dans l'artère aorte une quantité de sang correspondant à 8 640 onces de sang [72 x 2 x 60 = 8 640], c'est-à-dire à 540 livres⁽²⁾, ce qui fait 3 fois le poids du corps humain. D'où une pareille quantité de sang peut-elle donc venir ? Où peut-elle aller ? [...] Nous sommes amenés à conclure que le sang des animaux est poussé selon un trajet fermé comme un cercle et qu'il est en état de perpétuel mouvement. Tout démontre donc que le sang, sous l'impulsion des ventricules, parcourt les artères de toutes les parties du corps. Par les pores de la chair, il trouve son chemin des artères aux veines ». Extrait de Harvey (1628), *Exercitatio Anatomica de Motus Cordis et Sanguinis in Animalibus*.
 (1) 1 once équivaut à peu près à 28 g. (2) 1 livre = 489,5 g.

Dans un second temps, Claude Bernard (1813-1878) propose de rompre avec Harvey en explicitant que chaque organe possède sa propre circulation, et ce, indépendamment du circuit général, sa nutrition, son fonctionnement étant distinct de celui du voisin : « Donc la théorie de la circulation telle qu'elle est présentée par Harvey, ne permet d'expliquer que le fonctionnement global de l'organisme » (Ducros, 1989, p. 155).

Nous voyons bien, à travers ces deux auteurs, poindre la complexité du système. C'est ce que nous allons déterminer dans la partie suivante.

2.5.6 La circulation sanguine comme système complexe

Comprendre le système circulatoire nécessite ce que les philosophes ont appelé l'explication systémique (Haugeland, 1978), à savoir que nous devons comprendre les interactions coopératives « organisées » qui se produisent dans le système. Une telle interaction coopérative peut s'expliquer par l'interaction systématique des composants distincts, à tous les niveaux du système (Chi, De Leeuw, Chiu et LaVancher, 1994). Cependant, les étudiants développent peu ce système de pensée puisque l'apprentissage qu'ils font est principalement axé sur les éléments composant le système plutôt que sur les processus intégrant le système, notamment lorsqu'ils apprennent un système aussi vaste que le corps humain (Ben-Zvi Assaraf, Dodick et Tripto, 2011).

Selon Lesne (2011), un système complexe est défini de la façon suivante :

- le système est composé d'un grand nombre d'éléments ;
- souvent les éléments sont de plusieurs types et possèdent une structure interne qui ne peut être négligée ;

- les éléments sont reliés par des interactions non linéaires, souvent de différents types ;
- le système est soumis à des influences extérieures à différentes échelles.

La principale caractéristique d'un système complexe est sa causalité circulaire, en termes plus explicites l'existence de rétroactions des comportements collectifs et des propriétés émergentes (macroscopiques) sur le comportement des éléments (microscopiques).

Les éléments vont collectivement modifier leur environnement, qui en retour va les contraindre et modifier leurs états ou comportements possibles. Dans un système complexe, connaître les propriétés et le comportement des éléments isolés n'est pas suffisant pour prédire le comportement global du système.

Au cours des dernières années, les sciences de l'éducation ont connu une augmentation du nombre de recherches portant sur les systèmes complexes et leur compréhension par les élèves (Ben-Zvi Assaraf *et al.*, 2011; Hmelo-Silver, Marathe et Liu, 2007; Hmelo-Silver et Pfeffer, 2004; Jacobson et Wilensky, 2006; Lesh, 2006; Verhoeff, Waarlo et Boersma, 2008). Comme Kitano (2002) l'exprime, pour comprendre les systèmes complexes (biologique) nous devons :

changer notre notion de « ce qu'il faut chercher » en biologie, » d'un simple examen des composants du système, à la compréhension de sa structure et de la dynamique. Cela est dû au fait que le système n'est pas seulement un ensemble de gènes et de protéines ; ses propriétés ne peuvent pas être pleinement comprises simplement en dessinant des diagrammes de leurs interconnexions » (traduction libre) (p. 1662).

Nombre de recherches en enseignement de la biologie avaient pour but d'analyser la compréhension des concepts en biologie, tels que la sélection naturelle (Brumby,

2006), la photosynthèse (Prosser, 1994 ; Rumelhard, 1985), la respiration (Sanders, 1993), la diffusion (Marek, Cowan et Cavallo, 1994), le système digestif (Sauvageot-Skibine, 1993 ; Teixeira, 2000) ou encore la circulation sanguine (Arnaudin et Mintzes, 1985; Yip, 1998). Pour chacune de ces recherches, la plupart des individus possédaient des représentations incomplètes du fait de la difficulté de compréhension de l'ensemble du concept étudié.

Le concept de circulation sanguine peut être considéré comme le système complexe le plus important, mais aussi le plus difficile du programme de biologie (Sadi et Çakiroğlu, 2010) du fait des différents concepts biologiques qu'il englobe. La circulation sanguine possède un rôle central dans l'organisme. C'est en comprenant ce rôle central et le fonctionnement mécanique de la circulation sanguine à travers le corps humain, par la circulation du sang, que les élèves vont pouvoir comprendre la relation avec les différents systèmes et leurs interrelations (Alkhaldeh, 2007). Les élèves doivent faire le lien entre chacun des concepts qu'englobe la circulation sanguine tout en les intégrant dans un système plus général. Ils doivent être capables de mettre en relation divers systèmes tels que le système digestif, le système de la respiration ou encore le système immunitaire avec leur influence respective sur la circulation sanguine, mais également comprendre que la circulation sanguine va influencer en retour sur ses systèmes. Tous ces systèmes étant à la fois dépendants et indépendants les uns des autres.

Or, au vu de certaines recherches, ce système est très peu appréhendé par les élèves, bien qu'il l'aborde à plusieurs niveaux d'enseignement. Par exemple, selon Michael *et al.* (2002), les étudiants en médecine ont des problèmes dans la compréhension du système cardiovasculaire central dû au fait qu'ils ont du mal à faire le lien entre les caractéristiques physico-chimiques du système et ses caractéristiques spécifiques.

Alors même que l'examen d'entrée portait sur ce concept et qu'il continue à être enseigné au fur et à mesure de la scolarité.

Pour Yip (1998), ce sont les enseignants eux-mêmes qui ont du mal à faire la relation entre le débit sanguin, la pression artérielle et le diamètre des vaisseaux. Chi (2005) et Arnaudin et Mintzes (1985) révèlent dans leur étude que l'une des principales difficultés est de comprendre que le cœur agit comme une double boucle, que c'est une « pompe » divisée en quatre.

Ces différentes études, appuyées par d'autres (Alkhaldeh, 2013 ; Boo, 2005 ; Chi, Slotta et De Leeuw, 1994 ; Gadgil, Nokes-Malach et Chi, 2012 ; Lhoste, 2006 ; Mikkilä-Erdmann, Södervik, Vilppu, Kääpä et Olkinuora, 2012; Orange et Orange, 1995 ; Paccaud, 1994 ; Sungur et Tekkaya, 2003; Windschitl, 2001), montrent les difficultés d'intégrer les connaissances anatomiques et la conceptualisation fonctionnelle de la manière de fonctionner de la circulation sanguine. Lopez-Manjon et Angon (2009) démontrent même que malgré des années d'instructions obligatoires ou une formation de deux semaines intensives sur le système circulatoire, il est difficile d'acquérir une représentation de la trajectoire scientifique du sang.

La circulation sanguine est composée d'une grande variété de concepts en interaction les uns avec les autres, ce qui en fait un des concepts les plus difficiles à comprendre dans son ensemble. Pour le saisir dans toute sa complexité, il est nécessaire de posséder une réflexion systémique, de l'apprendre sous une approche systémique.

2.5.7 La pensée systémique et les habiletés cognitives

Comme nous l'avons mentionné précédemment, cette étude se place dans une approche qui considère la pensée systémique comme un outil cognitif permettant à l'étudiant d'analyser les différentes caractéristiques du système (Ben-Zvi Assaraf et Orion, 2005, 2010 ; Duncan et Reiser, 2007).

Pour Ullmer (1986), l'approche systémique est une attitude de l'esprit permettant de faire face à la complexité. Cette attitude, cette pensée systémique est, selon Senge (2006), considérée comme une compétence d'ordre supérieur requise dans le domaine de la science, de la technologie et la vie quotidienne. Mais elle est peu étudiée dans le cadre de l'enseignement des sciences. Elle permet d'apprendre à structurer ces relations par des moyens plus efficaces et efficients de la pensée. Elle serait même un cadre conceptuel de la connaissance apportant des outils et des principes qui permettent l'observation au sein de l'interdépendance et des liens mutuels nécessaires afin de déterminer les tendances changeantes et la répétition des phénomènes dans un système complexe (Ben-Zvi Assaraf et Orion, 2005; Senge, 2006).

Nous percevons ici le lien entre les modèles mentaux (les représentations) et la pensée systémique. Par ailleurs, des auteurs (Kim, 1999 ; O'Connor et McDermott, 1997) stipulent que les penseurs systémiques sont capables de changer leurs modèles mentaux, de contrôler leur façon de penser et de traiter avec le processus de résolution de problèmes.

Certains chercheurs (Ossimitz, 2000; Pala et Vennix, 2005; Sweeney et Sterman, 2000) suggèrent que cette pensée est une habileté incluant des capacités cognitives particulières : a) penser en termes de processus dynamiques ; b) comprendre le comportement du système résulte de l'interaction de ses agents au cours du temps (complexité dynamique) ; c) concevoir la découverte et la représentation des

processus de rétroaction qui sous-tendent les tendances observées dans le comportement du système ; d) identifier les stocks et les flux de relations ; e) reconnaître des retards et comprendre leurs impacts ; f) admettre des non-linéarités et g) la pensée scientifique impliquant la capacité à quantifier les relations, à faire et à tester des hypothèses et des modèles (Ben-Zvi Assaraf et Orion, 2005).

Ces capacités nécessitant un bon raisonnement scientifique (Sweeney et Sterman, 2000), il est nécessaire qu'elles fassent partie d'une réflexion d'un ordre supérieur afin d'être optimales dans leur utilisation d'une compréhension d'un système complexe (Resnick, 1987). Or, les systèmes complexes peuvent être vus à tous niveaux scolaires, ce qui fait dire à Penner (2000), par exemple, qu'il est nécessaire de tenir compte du type de l'activité afin de faciliter la réflexion des élèves, mais surtout, d'étudier la façon dont les connaissances spécifiques du domaine et l'heuristique explicative guident l'apprentissage.

Partant de ces défis, Gudovitch (1997, cité par Ben-Zvi Assaraf et Orion, 2005) a exploré les systèmes de pensées des élèves du secondaire en élaborant un programme orienté sur la compréhension d'un système complexe¹³ en quatre étapes. La première étape comprend une explication des différents systèmes de la Terre et une prise de conscience de la transformation de la matière dans ces systèmes. La seconde étape explicite les processus spécifiques causant cette transformation. La troisième étape fait comprendre les relations réciproques entre les systèmes. La dernière étape intègre la perception du système dans son ensemble. Ces principes ont été appliqués par Kali, Orion et Eylon (2003), qui ont déterminé que la pensée systémique chez les élèves de secondaire suit un continuum, allant d'une vue complètement statique du système à

¹³ Dans ce cas, le cycle du carbone.

une compréhension de la nature cyclique du système ; ce qui allait à l'encontre d'une réflexion d'ordre supérieur nécessaire à la compréhension d'un système complexe.

Ben-Zvi Assaraf et Orion (2005, 2010) ont démontré qu'il n'était effectivement pas essentiel d'avoir cette réflexion d'ordre supérieur, mais qu'il était nécessaire que les élèves développent des habiletés spécifiques à la compréhension d'un système complexe. Ils dénotent ainsi huit caractéristiques émergentes de la pensée systémique, regroupées en quatre groupes : 1) l'habileté à identifier les composants d'un système et les processus au sein du système ; 2) l'habileté à identifier les relations entre les composants du système ; 3) l'habileté d'organiser les composants et les processus des systèmes dans un cadre de relations ; 4) l'habileté de faire des généralisations ; 5) l'habileté d'identifier les relations dynamiques du système ; 6) l'habileté à comprendre les dimensions cachées du système ; 7) l'habileté de comprendre la nature cyclique des systèmes et 8) l'habileté de penser temporellement : rétrospective et prévision. Le tableau 10 (p. 116) regroupe ces différentes caractéristiques selon les quatre perceptions établies par ces auteurs : structurelle, dynamique, cyclique et temporelle.

Au vu des résultats de leur recherche, les auteurs vont émettre l'hypothèse que ces habiletés représentent une sorte de continuum de la pensée systémique. Ils démontrent que la perception dynamique est obligatoire pour la mise au point d'une perception cyclique d'un système complexe (Figure 4).

Cette constatation pourrait nous conduire à une hypothèse très importante que ces quatre groupes sont hiérarchiques et que chaque groupe de compétences sert de base pour le développement du prochain groupe de compétences plus élevé. Cette notion hiérarchique est bien démontrée par les relations entre la perception dynamique et la perception cyclique du système (Ben-Zvi Assaraf et Orion, 2005, p. 556-557).

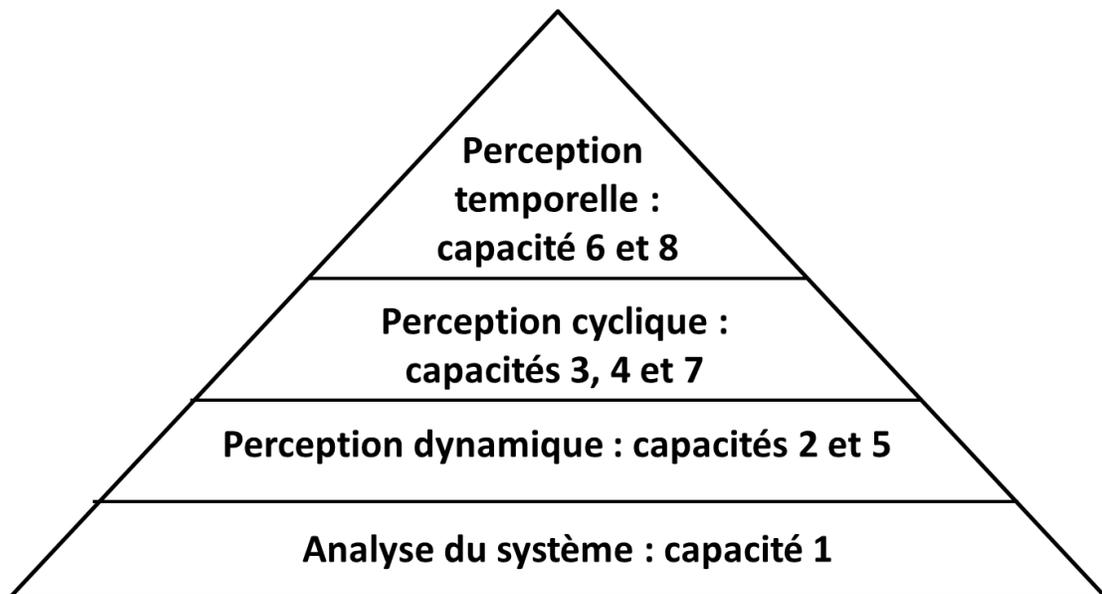


Figure 4. Triangle hiérarchique tiré de Ben-Zvi Assaraf et Orion (2005)

La pensée systémique se présenterait sous forme d'un continuum que l'élève parcourt au fur et à mesure des apprentissages. Ben-Zvi Assaraf et Orion (2005) nuancent cette observation du fait du peu de recherches effectuées selon ce modèle et que les résultats actuels et leur interprétation doivent être testés sur d'autres systèmes, à savoir technologiques, physiques, biologiques et sociologiques.

Néanmoins, si nous envisageons cette possibilité d'un continuum selon lequel l'élève se déplace au cours de ses apprentissages, il serait intéressant de mettre en parallèle ce dernier avec l'épistémologie personnelle.

En effet, nous avons vu précédemment que l'épistémologie personnelle possède une incidence sur la cognition de l'élève en façonnant, par exemple, la perception des tâches des apprenants. Nous venons de voir que l'élève utilise des habiletés particulières, et que ces dernières découlent les unes des autres au fur et à mesure que

l'élève fait l'apprentissage du système complexe, qu'il conçoit la complexité du système, qu'il change son modèle mental. Il nous semble utile de déterminer si les croyances épistémiques à l'égard du savoir ont une incidence sur l'évolution ou l'utilisation des habiletés nécessaires à la compréhension d'un système complexe.

De plus, il apparaît logique de penser que le développement d'une pensée systémique, de son émergence au fur et à mesure de la compréhension de la complexité du système, joue un rôle sur la représentation que l'élève va se faire. On peut parler ici d'une représentation systémique dans le sens où, en lien avec la pensée systémique, elle va s'attacher à décrire la structure, la dynamique, la cyclicité et la temporalité du système.

Nous insistons ici sur le fait que la pensée systémique, la structuration que l'élève va se faire au niveau de sa pensée, et la complexité du système sont deux concepts distincts, mais qui se rencontre lorsque nous abordons le système complexe sous l'angle de l'approche systémique.

La représentation systémique serait donc la traduction de la pensée systémique de l'élève, de son développement suite à une démarche synthétique pour représenter la globalité du système étudié. Et non analytique par la description des simples composants du système. La construction d'une représentation d'un système complexe devrait donc être en adéquation avec l'élaboration d'une pensée systémique.

2.6 Objectifs de recherche

Au vu des différents points soulevés au cadre conceptuel et en conformité avec la question de recherche sous-tendant cette étude, l'objectif principal est le suivant : Identifier et décrire l'incidence de l'épistémologie personnelle sur la construction d'une représentation d'un système complexe.

Il a noté que l'objectif principal, et les sous objectifs qui en découlent, sous-entendent que la circulation sanguine et la pensée systémique sont en toile de fond.

L'objectif principal se subdivise en trois sous-objectifs :

- Identifier l'incidence de l'épistémologie personnelle d'élèves en fonction de son incidence sur les représentations.
- Décrire l'incidence de l'épistémologie personnelle sur la construction d'un système complexe.
- Décrire l'élaboration d'une représentation lors de la construction d'un système complexe.

Ces objectifs renvoient chacun à un pan précis de notre recherche et s'associent par la suite à une analyse particulière telle que décrite au chapitre III. Sans entrer dans les détails puisqu'ils seront explicités ci-après, le premier objectif rejoint une analyse sur le produit de la représentation. Le second porte lui sur le processus de la représentation. Le dernier, enfin, se rapporte à la pensée systémique de l'élève.

CHAPITRE III

MÉTHODOLOGIE

Ce chapitre décrit la méthodologie de la recherche. Compte tenu du fait que notre étude comporte trois pôles majeurs, soit les représentations, les croyances épistémiques et l'étude d'un système complexe, la méthodologie choisie et son opérationnalisation sont argumentées en fonction des approches méthodologiques utilisées dans ces trois domaines de recherche de la didactique des sciences.

Cette étude dont le but est de comprendre l'incidence de l'épistémologie personnelle sur la construction d'une représentation d'un système complexe s'inscrit dans une méthodologie exploratoire-descriptive, c'est-à-dire qu'elle vise à nommer, classifier, décrire une population ou conceptualiser une situation (Fortin, Rigault et Côté, 1996). Elle est utilisée dans ce cas, car les connaissances relatives au domaine de recherche sont peu connues, comme le mentionnent Franco *et al.* (2012). Elle découle d'une vision très pragmatique dans le sens de Dewey puisque nous cherchons à comprendre le raisonnement et l'incidence de l'épistémologie personnelle sur ce dernier, à propos d'un système complexe que les élèves se font sous l'angle de la construction de leurs représentations. L'utilisation de divers instruments et outils amène au fait que notre étude renvoie à une méthodologie mixte mêlant une approche quantitative et qualitative dans le but de prendre en compte les différents concepts que nous souhaitons analyser. Les stratégies employées comportent un questionnaire, un dossier de presse ainsi que des ateliers, dont la passation s'est faite en contexte de classe entière.

Cette complémentarité multiméthodologique quant aux données recueillies permet de répondre de la façon la plus précise possible aux questions de recherche.

Par ailleurs, la recherche s'inscrit également dans l'approche de la cognition située, d'où le fait de procéder à l'étude en classe entière et de chercher à prendre en compte la partie cognitive de la représentation de l'élève à travers les instruments utilisés. En effet, les fondements de la cognition située justifient le choix d'une cueillette de données en situation réelle de classe. Notre étude, par son déroulement, favorise cette idée de prise en compte de l'environnement naturel de l'élève au cœur même de son quotidien. Dans le cadre exploratoire du raisonnement que l'élève établit quand il construit une représentation d'un système complexe, le respect de sa spontanéité et de l'authenticité de son raisonnement sont des aspects essentiels pour notre recherche. Nous partons de l'expérience réelle de l'élève, nous inscrivant dans un contexte particulier, dans une culture et à un moment précis.

3.1 Les croyances épistémiques et la représentation

Du fait de sa nature, notre recherche s'inspire de l'approche que Bromme, Pieschl et Stahl (2010) appellent « double voie » (double track¹⁴). Nous cherchons à comprendre le lien qui semble lier les représentations qu'un élève se fait et son épistémologie personnelle. En outre, nous tentons de comprendre le type de raisonnement qu'il déploie quand il s'agit d'appréhender la notion de système complexe. Nous allons analyser le contenu que l'élève développe en lien avec son épistémologie personnelle.

¹⁴ « Approche de la recherche sur les croyances épistémiques dans laquelle les prédictions et les interprétations des chercheurs sur les effets de ces croyances sur l'apprentissage doivent être renseignées par une analyse complémentaire du contenu d'apprentissage avec laquelle les individus s'engagent » [traduction libre] (Franco *et al.*, 2012, p. 65).

Selon la littérature, ce courant étant très récent, il n'existe que très peu de recherches s'inscrivant dans la « double voie » (*double-track*), comme le soulignent Franco *et al.* (2012) : « one aspect of the learning content that has received little attention in the epistemic beliefs literature to date is knowledge representation » (p. 65). De plus, aucune des études que nous avons relevées ne porte sur la relation entre les croyances épistémiques et la représentation d'élèves en contexte.

Windschitl et Andre (1998) se sont intéressés à l'interaction entre les croyances épistémiques et le type d'apprentissage. Pour leur part, Muis et Duffy (2012) ont examiné les relations entre le climat épistémique d'une classe et les croyances épistémiques des étudiants diplômés dans un contexte d'apprentissage de statistique. Ces deux recherches s'attachent surtout aux représentations que Haerle et Bendixen (2008) avaient mises en avant, à savoir les représentations que sont les textes scolaires, les évaluations ou le climat épistémique. Aucune de ces recherches ne s'intéresse spécifiquement à l'incidence de l'épistémologie personnelle sur l'élaboration des représentations qu'un élève se fait. Les outils que ces chercheurs ont employés ne sont alors pas adéquats dans l'optique de répondre à nos questions de recherche.

Nous allons mettre en place une méthodologie appropriée regroupant plusieurs outils méthodologiques permettant de récolter les données nécessaires, de façon pertinente, afin d'examiner l'épistémologie personnelle et les représentations d'un système complexe.

3.1.1 Le questionnaire portant sur les croyances épistémiques

Il existe quantité de tests portant sur l'épistémologie personnelle de l'élève. Sur une recension de 37 articles portant uniquement sur l'épistémologie personnelle et les sciences, Yang et Tsai (2011) ne relèvent pas moins de 22 recherches utilisant un questionnaire. Le questionnaire élaboré par Schommer (2002) – *Schommer's Epistemology Questionnaire* – ou un dérivé (Enman et Lupart, 2000 ; Lodewyk, 2007) est utilisé. Celui de Kuhn, Cheney et Weinstock (2000) – *The Epistemic Beliefs Assessment* – se retrouve également dans une recherche (Nussbaum, Sinatra et Poliquin, 2008). Pour sa part, Yang (2005) utilise le *Learning Environment Preference* développé par Moore (1989). Ces questionnaires ont pour vocation de se focaliser sur la nature de la connaissance et de l'apprentissage ou sur les dimensions développées par Perry (1970a). D'autres questionnaires s'attachent plus à une épistémologie d'un domaine spécifique tel que le *Greek Epistemological Beliefs Evaluation Instrument* de Stathopoulou et Vosniadou (2007), ainsi que le *Pomeroy's* (Pomeroy, 1993) utilisé par Tsai (1998). Les trois questionnaires se rapportent au domaine de la physique, tandis que d'autres renvoient plus aux connaissances scientifiques, tels que le *Scientific Epistemological Views* de Tsai et Liu (2005), l'*Epistemological Beliefs Questionnaire* d'Elder (2002), dérivé du *EBQ* de Conley *et al.* (2004), ou le *Conception of Learning Science* de Lee, Johanson et Tsai (2008). Tous ses questionnaires se focalisent principalement sur la nature de la connaissance en science, sa justification, ses caractères sociaux et culturels et les croyances des élèves à propos de l'apprentissage en sciences.

Notre étude portant sur ces mêmes dimensions, nous restons dans ce domaine de questionnaire méthodologique. Néanmoins, comme nous souhaitons porter notre attention sur la circulation sanguine, il convient de se pencher sur l'épistémologie personnelle de l'élève en rapport à notre domaine d'étude. Nous faisons ainsi une recension des différents questionnaires existant dans ce domaine spécifique.

La recherche de Stahl, Pieschl et Bromme (2006) fait partie d'un projet plus important qui vise à étudier l'impact des convictions épistémiques sur l'étalonnage métacognitif pendant les processus d'apprentissage au sein d'un système hypermédia complexe. Cet article s'intéresse plus précisément à savoir si les apprenants adaptaient leurs objectifs, planifiaient leur comportement d'apprentissage en fonction de la complexité de la tâche, et si le comportement d'apprentissage était influencé par les croyances épistémiques. Stahl, Pieschl et Bromme utilisent, pour les croyances épistémiques des 72 étudiants en biologie, trois sortes de questionnaires. Pour analyser les croyances épistémiques relatives au domaine, ils ont recours à une version réduite de l'*Epistemological Beliefs Instrument* de Jacobson et Jehng (1999) qui mesure les dimensions suivantes : *certainty knowledge*, *simple view of knowledge*, *Omniscient authority* et *Quick learning*. Pour mesurer les croyances épistémiques propres à la discipline, ils rajoutent les dimensions *Texture of knowledge* et *Variability of knowledge* en s'appuyant sur le questionnaire *Connotative Aspect of Epistemological Beliefs* de Stahl et Bromme (2007) et la version allemande du *Domain-Specific Aspect of Epistemological Beliefs Questionnaire* d'Hofer (2000). Ces trois questionnaires permettent d'analyser certaines dimensions en les reliant au domaine de la biologie. Néanmoins, certaines de ces dimensions ne sont pas pertinentes pour notre étude, et le questionnaire de Jacobson et Jehng (1999), qui comportent deux dimensions congruentes avec notre étude, reste d'un niveau de compréhension qui nous semble un peu trop complexe pour des élèves du groupe d'âge spécifique à notre recherche.

Qui plus est, il semble important de soulever le problème de consistance interne qui résulte de ce genre de questionnaire portant sur les croyances épistémiques. Dans le but d'évaluer les instruments de mesure des croyances épistémiques, DeBacker *et al.* (2008) ont effectué une analyse factorielle (exploratoire et confirmatoire) de trois

questionnaires administrés à des élèves de niveau préuniversitaire : 935 élèves ont répondu au questionnaire de Schommer (1990), 795 à l'*Epistemic Beliefs Inventory* de Schraw *et al.* (2002) et autant d'élèves à l'*Epistemic Belief Survey* de Wood et Kardash (2002). Ces chercheurs ont relevé dans les trois instruments certains problèmes psychométriques, dont une faible consistance interne.

3.1.2 Le choix de l'instrument

L'un des questionnaires qui s'y rapproche le plus, dans ce que nous venons de passer en revue, est celui de Schommer (2002), soit le *Schommer's Epistemology Questionnaire*. Il comporte cependant quelques inconvénients dans sa structure et dans sa consistance interne. Plusieurs auteurs se sont toutefois inspirés de ce questionnaire afin de créer le leur en essayant de résoudre les problèmes soulevés par le questionnaire de Schommer, tout en gardant les deux aspects de l'épistémologie personnelle qui sont analysés (la nature de la science et la nature du processus d'acquisition de l'apprentissage). Schraw *et al.* (2002) ont conçu le questionnaire *Epistemic Beliefs Inventory* afin de démontrer de façon empirique le facteur lié à la source du savoir (Autorité omnisciente). Il comporte 32 items portant sur cinq dimensions épistémiques définies par Schommer : la source (5 items), la simplicité (7 items) et la certitude du savoir (8 items), la vitesse (5 items) et les habiletés d'apprentissage (7 items). Malgré une bonne consistance interne (coefficient de 0,58 à 0,68), d'autres études ont démontré que seules la simplicité, la certitude et les habiletés possédaient un bon rendement statistique.

Conley *et al.* (2004), tout en s'inspirant du questionnaire de Schommer (1990), ont retiré les dimensions liées à la vitesse de l'apprentissage et aux capacités cognitives de l'élève. Ils n'ont retenu que quatre dimensions, soit la source, la certitude, le développement et la justification du savoir. Selon l'analyse factorielle que Conley *et*

al. (2004) ont menée pour confirmer la fiabilité et la validité du questionnaire, le coefficient de fiabilité alpha des dimensions ci-dessus a été respectivement de 0,82 ; 0,79 ; 0,66 et 0,76.

Ce questionnaire a été utilisé par la suite dans plusieurs autres études (Kaynar, Tekkaya et Cakiroglu, 2009; Laliberté, 2012; Peer et Atputhasamy, 2005). Pour chacune d'elle, la consistance interne de l'instrument a été validée. De plus, d'autres validations ont été effectuées par Laliberté (2012), qui a vérifié la fidélité (il fournit toujours la même mesure) et la validité (il mesure bien ce qu'il vise à mesurer) en faisant une pré-expérimentation permettant de valider la compréhension des élèves des différents items traduits en français par cette chercheuse selon les étapes méthodologiques proposées par Vallerand (1989).

Nous utilisons ce questionnaire, qui nous semble, au vu de sa consistance et des résultats positifs obtenus dans diverses recherches l'utilisant, être le plus adéquat afin de recueillir les quatre dimensions que nous cherchons à analyser dans notre recherche.

De plus, les quatre dimensions de Conley *et al.* (2004) représentent les deux domaines généraux qu'Hofer et Pintrich (1997) soutiennent être au cœur des théories épistémologiques des individus, à savoir les croyances sur la nature de la connaissance (*knowledge*) et les croyances sur la nature de l'acte de connaître (*knowing*). Les dimensions de la source et de la justification renvoient aux croyances sur la nature de l'acte de connaître. La source est relative au lieu du savoir (de la connaissance est détenue par une autorité, à la connaissance provient des interactions entre individus). La justification concerne les façons dont les étudiants utilisent des preuves (de la justification des idées auxquelles on adhère parce que fondées sur des arguments d'autorité ou d'opinions personnelles, à la justification raisonnée en prenant en compte des opinions et des preuves diverses). Le développement et la certitude reflètent les croyances au sujet de la nature de la connaissance. Tandis que

la certitude fait référence au degré avec lequel la connaissance est considérée comme certaine (de la croyance en UNE bonne réponse à la croyance en plusieurs réponses à des problèmes complexes, en un savoir changeant et provisoire), le développement concerne la conviction que la science est en constante évolution et que les idées et théories peuvent changer sur la base de nouvelles preuves et données.

Le Tableau 4 présente les dimensions théoriques, les descriptions et des exemples d'items du questionnaire de notre étude (adapté de Conley *et al.* 2004 par Laliberté, 2012).

Tableau 4. Dimensions théoriques, descriptions et exemples d'items du questionnaire portant sur les croyances épistémiques en sciences

Dimensions théoriques	Descriptions	Exemples d'items
Source du savoir (<i>knowing</i>)	Croire que la connaissance en science appartient à une autorité (5 items)	<i>Tout le monde doit croire ce que disent les scientifiques.</i>
Certitude (<i>knowledge</i>)	Croire que la science a une seule bonne réponse (6 items)	<i>Les connaissances scientifiques sont toujours vraies.</i>
Développement (<i>knowledge</i>)	Croire que le savoir évolue (6 items)	<i>De nouvelles découvertes peuvent changer ce que les scientifiques pensent être vrai.</i>
Justification (<i>knowing</i>)	Avoir le sens de la preuve (9 items)	<i>En sciences, il peut y avoir plus d'une façon pour les scientifiques de vérifier leurs idées.</i>

Ce questionnaire ayant été traduit en français et destiné à des élèves de niveau primaire de l'école québécoise, il a été nécessaire de procéder à une pré-expérimentation auprès d'élèves français du même âge que notre population afin de valider la compréhension des items. Il en a résulté une légère modification d'un item. L'expression « pas mal tout » ayant été remplacée par « presque tout ».

Une fois établi le choix de l'instrument pour les croyances épistémiques (*Appendice B*), nous nous sommes intéressé aux différents outils qui nous permettent d'aborder la représentation de l'élève.

3.2 La représentation d'un système complexe

Avant toute chose, il convient de connaître la représentation initiale d'un élève quant à un système complexe. Il nous faut savoir d'où part l'élève afin de comprendre comment il construit sa représentation au fur et à mesure de son apprentissage. Pour ce faire, nous avons échafaudé nos outils méthodologiques afin de prendre en compte cette représentation initiale et la représentation finale que l'élève aura construite. De plus, notre but étant de comprendre le raisonnement qu'il emploie dans un processus de construction, il convient de mettre en place d'autres outils afin de suivre ce raisonnement et la construction qui en découle.

Dès lors, nous avons décidé d'employer des outils permettant de différencier ces différents pendants de la représentation. D'un côté des outils analysant le processus de la représentation, de l'autre le produit de celle-ci. Et, dans le but de prendre en compte la globalité du système circulatoire sanguin, sa complexité, les différents outils se rapportent soit au niveau macroscopique, soit au niveau microscopique du système (Cf. Tableau 9, p. 109).

Notre méthodologie se divise en plusieurs parties. Une partie concernant la collecte de données portant sur la représentation initiale et finale d'un élève et une partie qui s'intercale entre les deux et permet de recueillir l'évolution de la construction de la représentation. Nous pouvons ainsi percevoir une certaine progression dans la méthodologie que nous employons. Or, il nous semble que le meilleur moyen pour

tenir compte de cette progression et des buts que poursuit cette recherche est de se baser sur l'approche du *problem based-learning* ou « apprentissage par problème ».

Cette approche permet de soumettre à l'élève un problème pour lequel il ne possède pas les connaissances suffisantes pour y répondre. Cette façon l'encourage à découvrir des notions nouvelles de façon active en y étant poussé par les nécessités du problème soumis (Boud et Feletti, 1998). On utilise le plus souvent des problèmes complexes, basés sur la réalité du monde de la personne considérée, ce qui a pour effet de motiver les élèves à s'inscrire dans ce processus d'apprentissage (Hmelo-Silver, 2004).

De plus, cette approche sous-tend la mise en place par l'élève de processus métacognitifs leur permettant de choisir les données qui leur semblent utiles à travers ce qui leur est présenté (Barrows, 2000; Hmelo et Guzdial, 1996; Torp et Sage, 1998).

Comme le souligne Rey (2005), « la problématisation peut être décrite comme le mouvement par lequel se déterminent mutuellement les faits à prendre en compte et le modèle qui permet de les interpréter » (p. 104). Si nous mettons en perspective cette idée avec les buts de la recherche, le problème doit permettre à l'élève de prendre conscience de la complexité du système circulatoire sanguin.

Cette complexité n'est donc pas seulement vue du seul côté biologique du système, mais de son organisation hiérarchique d'un point de vue systémique. Le problème doit alors fournir les éléments qui permettent à l'élève d'appréhender cette notion de système complexe dès le début de la résolution de problème.

Par ailleurs, comme le soulignent Ben-Zvi Assaraf et Orion (2005) ou Duncan et Reiser (2007), la mise en place d'une pensée systémique de la part de l'élève agirait comme un outil cognitif afin d'analyser les différentes caractéristiques du système concerné. La construction d'outils partant de cette approche de *problem based* nous permet de relever les données que l'élève a considérées comme pertinentes pour

répondre au problème complexe que la circulation sanguine pose. Nous allons indiquer comment les outils méthodologiques ont été construits.

3.2.1 Les situations problèmes présentées aux élèves

La situation problème (*Appendices D et G*) permet de prendre en compte la représentation initiale et la représentation finale que l'élève a construites. Le but est également de mettre en place le problème qui sera posé à l'élève et qu'il devra résoudre. Selon Dumas-Carré et Goffard (1997) :

Pour qu'il y ait problème, il doit y avoir une question qui a du sens et nécessite une réponse qui n'est pas connue, sinon il n'y aurait que rappel de connaissances mémorisées. La résolution d'un problème consiste à élaborer un raisonnement qui conduit de la question à la réponse, en utilisant des connaissances déjà acquises. Si le chemin était connu, il s'agirait aussi de rappel de connaissances (p.9).

En prenant ceci en compte, mais également le fait que nous étudions le système complexe de la circulation sanguine d'un point de vue systémique, nous avons mis en place un problème qui regroupe ces trois aspects. D'un côté, le problème qui est posé ne peut être résolu par l'élève avec les connaissances qu'il possède. De l'autre, le problème doit mettre l'élève face à la complexité du système qui lui est présenté d'un point de vue hiérarchique.

Notre choix s'est alors porté sur la prise en compte de l'impact que possède la circulation sanguine dans notre organisme. Nous avons élaboré des problèmes qui portaient sur cet aspect et nous les avons soumis à des enseignants de biologie de secondaire, à des professeurs en didactique et à des étudiants de notre laboratoire LERTIE (Laboratoire Études et recherches transdisciplinaires et interdisciplinaires en éducation) au cours d'un groupe de discussion (*focus group*). Il en est ressorti dans un

premier temps que la plupart des problèmes soumis ne cadraient pas avec notre approche systémique du système. Néanmoins, au cours de la discussion, un d'entre eux fût remanié avec les personnes présentes de sorte qu'il englobe les différents aspects que nous souhaitions mettre en place. Le problème qui fut élaboré porte sur les causes des maladies cardiovasculaires (MVC) et leurs impacts sur la santé. À travers le problème posé, la circulation sanguine est le système qui permet de faire le lien entre les différentes causes et leurs impacts sur le corps humain. Le but pour l'élève est de démontrer l'importance de la circulation sanguine pour le corps humain et la manière dont elle est reliée aux différents systèmes mis en cause par les MVC.

Dans le but que l'élève puisse résoudre cette problématique, nous avons mis en place des ateliers qui lui permettent de prendre conscience de la hiérarchisation du système circulatoire et de sa complexité en expérimentant son utilité, son fonctionnement et son comportement à travers les systèmes qui lui sont reliés. Néanmoins, lors du groupe de discussion, il s'est avéré que les ateliers qui étaient proposés n'allaient pas dans le sens de la vision systémique que nous voulions mettre en place. Il a été soulevé le problème que l'élève passait d'un problème qui se basait sur cette approche systémique de la circulation sanguine à des expérimentations analytiques de différents systèmes du corps humain, ce qui ne permettrait pas à l'élève de comprendre l'importance de la circulation sanguine dans son ensemble. De plus, la manière dont ces ateliers étaient abordés provoquait une rupture complète avec le problème posé et n'aidait en rien à la compréhension d'un système complexe.

Afin de répondre à cette notion de coupure, il a été décidé de mettre en place un cahier de presse et de reconstruire les ateliers.

3.2.2 Le dossier de presse remis aux élèves

Il n'existe pas à notre connaissance d'études portant sur l'utilisation de dossier de presse dans le cadre d'une résolution de problème. Nous avons dû construire le nôtre en nous basant sur les buts de notre recherche et l'utilité que nous souhaitions qu'il possède. Étant donné que notre problème renvoie aux causes des maladies cardiovasculaires, nous avons recherché des articles portant sur différentes causes entraînant ce type de maladies. De plus, les articles devaient tous permettre de faire le lien entre la circulation sanguine et son rôle dans l'impact des substances mises en cause et ce qu'elles provoquaient, mais également d'être d'un niveau accessible à la compréhension pour la population ciblée. Ainsi, nous avons choisi trois types d'articles pour deux substances provoquant des MVC (le tabac et le cholestérol). Pour chacune d'elle, les articles choisis suivent une progression. Le premier article présente la substance concernée et ce qu'elle induit dans un système particulier (par exemple, la fumée du tabac qui provoque des broncho-pneumopathies chroniques obstructives, ou BPCO). Ensuite, le second explicite de manière aisément compréhensible pour un élève de l'âge visé, ce qu'est la maladie provoquée par la substance (par exemple, l'explication de ce qu'est une BPCO et comment elle est provoquée). Enfin, un dernier article reprend la substance concernée en expliquant que cette dernière peut atteindre d'autres systèmes du corps humain (pour la cigarette, on parle d'une atteinte des reins et de la vessie).

Un dernier type d'articles a été ajouté afin de mettre un peu plus l'accent sur l'importance de la circulation sanguine pour le corps humain. Cet article relate les bienfaits du sport sur divers organes du corps humain. Il est à noter qu'à aucun moment il n'est explicitement fait référence à la circulation sanguine comme telle. Tous les articles mettent en avant son importance et sa complexité en tant que système, mais de façon implicite.

Une fois les articles déterminés, il a été mis en place le choix des ateliers qui permettent le recueil des données portant sur le raisonnement que l'élève élabore pour la compréhension d'un système complexe et comment il élabore la construction de sa représentation.

3.2.3 La construction des ateliers présentés en classe

En plus de relier les ateliers à la problématique posée à l'élève et ce qu'il a lu dans le dossier de presse, il a été décidé de convertir ces ateliers sous une forme multimédia, car il semble plus simple pour un élève de comprendre un système complexe quand un texte est accompagné d'une animation, permettant ainsi une meilleure élaboration d'un modèle mental (Mayer, 2002). Les ateliers comportent un texte ainsi que plusieurs animations présentant divers systèmes en lien avec les articles du dossier de presse. La construction de ces ateliers a respecté plusieurs principes :

- Les principes établis par Hegarty, Narayanan et Freitas¹⁵ (2002) ont été suivis dans le choix des animations qui seront utilisées.
- Chaque atelier est composé d'un texte et de plusieurs animations, les élèves pouvant naviguer librement sur chacune d'elles.
- Les ateliers possèdent tous la circulation sanguine en toile de fond, permettant ainsi de poursuivre la compréhension de ce système par l'élève.
- Enfin, chaque élément possède des indications sur le fonctionnement, la structure et le comportement du système auquel il réfère.

¹⁵ Les principes sont les suivants (les quatre premiers découlent de la construction d'un modèle mental) : 1. Le principe de segmentation ; 2. Le principe de préconnaissances ; 3. Le principe des références multiples ; 4. Le principe de simulation mentale ; 5. L'identification de l'enchaînement des événements qui se déroulent dans le système étudié ; 6. La construction d'un système mental dynamique qui intègre les informations sur le comportement de chaque composante pour comprendre le mécanisme du système entier.

Le but de ces ateliers est d'inciter l'élève à prendre conscience que chacun des systèmes fait partie d'un tout plus complexe (ils sont tous reliés à la circulation sanguine) et qu'ils sont eux-mêmes des systèmes complexes. Ces ateliers sont accompagnés d'un outil qui permet à l'élève de récupérer les éléments qu'il juge essentiels afin de résoudre le problème de départ et qui nous permet d'analyser la construction que l'élève développe quant à un système complexe. Cet outil s'appelle le « cahier de science ».

3.2.4 Le cahier de science présenté aux élèves

En lien avec le dossier de presse, le « cahier de science » reprend les éléments que l'élève aura lus en lui posant deux questions qui nous permettent de comprendre le raisonnement qu'il met en place afin d'y répondre (une sur les effets du tabac, l'autre sur les effets du cholestérol). Ces questions sont des sous-questions au problème posé initialement à l'élève. Elles leur permettent ainsi de préciser leur raisonnement en se concentrant sur des aspects particuliers de la circulation sanguine, en l'occurrence en focalisant sur son impact au niveau des sous-systèmes qui la composent. Chacun des outils qui viennent d'être explicités a, par ailleurs, été élaboré en suivant l'idée principale de la notion de complexité qui sous-tend le système de la circulation sanguine, comme nous allons le voir.

Il est à noter que ces différents outils ont été testés auprès d'une population d'élèves de l'âge de notre population cible afin de vérifier la compréhension et l'adéquation de l'opérationnalisation. Il en est ressorti quelques changements quant à l'emploi de certains termes dans le dossier de presse, notamment, ainsi qu'une reformulation de la question posée initialement dans le « cahier de science » ; la tournure initiale de la question ne permettant pas de recueillir les données souhaitées par le chercheur.

3.3 Le raisonnement de l'élève quant à l'élaboration d'un système complexe

Le but de cette recherche étant de comprendre le raisonnement de l'élève sur l'appréhension d'un système complexe, il est obligatoire que tous les outils¹⁶ qui sont utilisés, et faisant référence à la circulation sanguine, doivent avoir pour but de recueillir des données permettant de comprendre cette notion. De ce fait, une attention particulière a été apportée à leur élaboration. Afin d'être certain que les outils présentés aux élèves leur permettent de percevoir la complexité du système, les ateliers et les articles ont été choisis en fonction des caractéristiques que nous nous attendons à récupérer à la suite des analyses que nous décrivons ci-après. Chacun des articles et des ateliers comporte l'essentiel des éléments composant un système complexe comme nous l'avons défini dans le chapitre II.

3.4 Opérationnalisation et instrumentation de la méthodologie retenue

Notre devis comporte trois temps différents qui se sont déroulés sur trois semaines.

Dans un premier temps, les élèves ont répondu au questionnaire portant sur les croyances épistémiques de Conley *et al.* (2004) (*Appendices B et C*). Ce questionnaire comporte 26 affirmations, sous forme d'échelle de Likert en 5 points et portant sur les quatre dimensions retenues : la certitude, la source, le développement et la justification du savoir. Puis, une fois le questionnaire rempli, la situation 1 (*Appendice D*) leur a été donnée.

À la fin de la séance, il a été expliqué aux élèves que pour la séance suivante, les ateliers, qui ont eu lieu quinze jours plus tard, chaque élève devait lire le dossier de

¹⁶ Nous reviendrons sur le contenu exact des différents outils dans la partie opérationnalisation de la méthodologie.

presse (*Appendice E*). Ce dossier, composé de quatre articles de presse évoquant les causes possibles de certaines maladies cardiovasculaires : le tabac et le cholestérol et un article portant sur les bienfaits du sport afin d'éviter des maladies cardiovasculaires, était disponible en téléchargement sur la page d'accueil du portail du lycée. Des copies papier ont également été mises à disposition des élèves n'ayant pas accès à Internet.

Dans un second temps, au cours suivant (quinze jours plus tard), les élèves ont reçu le « cahier de science » (*Appendice F*). Ce cahier comporte plusieurs parties qui leur ont été explicitées. Chacun des élèves a eu pour consigne de répondre aux questions qui y figuraient.

Pour ce faire, ils ont eu à leur disposition, pendant une heure et demie, un ordinateur (un par élève) avec des pages Internet portant sur le système respiratoire et le système cardiovasculaire¹⁷ (*Appendices H à K*), ainsi qu'une copie du dossier de presse (*Appendice E*), qu'ils avaient préalablement lu. Le but était d'utiliser les informations fournies par ces différents supports et qu'ils jugeaient pertinentes, pour répondre aux questions posées.

Dans un dernier temps, une semaine plus tard, la situation 2 leur a été remise. Ils l'ont complétée comme la première, ce qui nous a permis d'avoir la représentation finale qu'ils ont construite (*Appendice G*). La Figure 5 résume les étapes du devis méthodologique de recherche et l'instrumentation de la collecte de données.

¹⁷ Les pages Internet étaient composées de plusieurs animations ainsi que d'un texte et faisaient référence aux deux systèmes mentionnés.

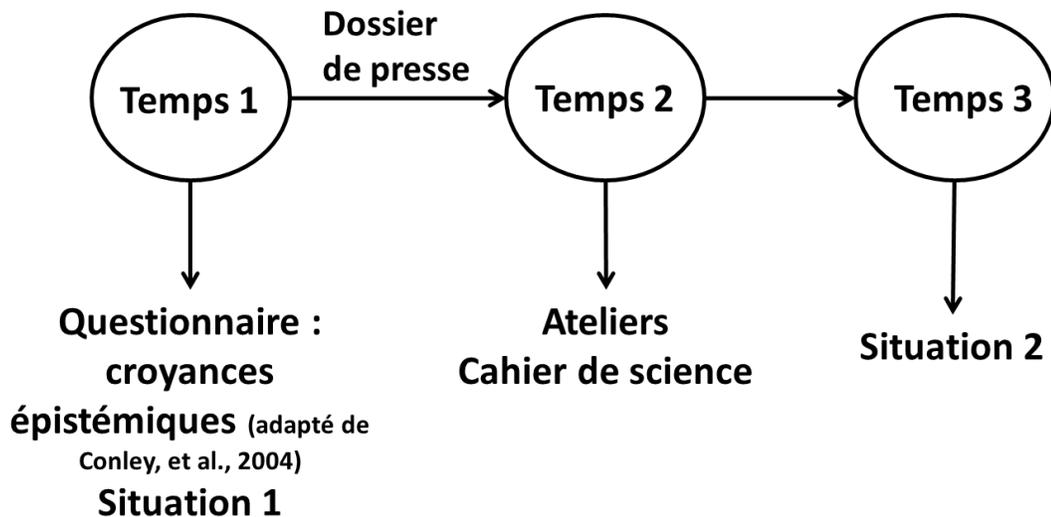


Figure 5. Étapes du devis méthodologique

3.5 L'échantillonnage

L'échantillonnage est de type intentionnel. Compte tenu de la nature des savoirs impliqués (système circulatoire, système respiratoire, système digestif, etc.) et du niveau de complexité de l'investigation, les sujets ciblés sont des élèves du cycle du secondaire. Le choix de ces participants s'explique du fait que nous ne souhaitons pas imposer notre présence dans le cheminement scolaire de l'élève. Or, c'est à ce niveau que l'enseignement du concept de circulation sanguine est effectué.

Notre recherche s'est intégrée dans le cheminement classique de l'élève, ne nécessitant pas grand bouleversement dans la planification de l'enseignant. Il est également utile de mentionner que la mise en place de la collecte de donnée s'est faite avant que l'enseignant n'aborde la notion de circulation sanguine inscrite au programme. Notre recherche a servi, selon les dires des professeurs, comme un préalable à leur cours.

Les écoles ont été choisies à la suite des contacts établis par l'envoi d'une demande courriel à tous les lycées de Nantes et de sa proche banlieue. Deux réponses positives ont été reçues et un seul lycée a été choisi, car celui-ci nous permettait l'accès à cinq classes de seconde (de 14 à 17 ans), nous permettant ainsi un gain de temps et de ressource. Nous avons eu accès à un total de 171 élèves répartis sur les 5 classes.

Il va de soi que la recherche a été présentée et que l'accord des participants et de toutes les personnes touchées, de près ou de loin (parents, enfants, enseignants, direction), a été demandé comme le prévoyait la demande de certificat d'éthique (*Appendice R*). Cette présentation s'est faite auprès de chaque classe, en présence de l'enseignant et du chercheur, environ un mois avant la collecte, laissant ainsi le temps de récupérer les accords de participation. Le proviseur du lycée a également été rencontré en présentiel. Nous pouvons ajouter que ce choix de population peut être un des biais de notre recherche, puisque la population n'a pas été choisie de manière aléatoire.

Il est à noter qu'à la suite de la présentation, deux élèves ont refusé de participer à la recherche. Après une discussion entre ces élèves et leur professeur, il a été convenu qu'elles réaliseraient les différents temps de la recherche, mais leurs réponses, sur les différentes feuilles, ont été déchirées et mises à la poubelle en leur présence. Le nombre total d'élèves interrogés était de 169. Le Tableau 5 décrit les caractéristiques de la population étudiée.

Tableau 5. Caractéristiques de la population d'élèves

Classe	Effectifs	Pourcentage
Seconde 11	35	20,7
Seconde 15	30	17,8
Seconde 2	35	20,7
Seconde 5	35	20,7
Seconde 8	34	20,1
Total	169	100
Sexe		
Fille	94	55,6
Garçon	75	44,4
Âge		
14	9	5,3
15	124	73,4
16	34	20,1
17	2	1,2

3.6 Les critères de l'analyse et la pertinence quant aux divers concepts

L'analyse des données est effectuée selon un cadre qui comporte deux axes principaux : les croyances épistémiques et la construction d'une représentation à travers la pensée systémique. Nous allons spécifier ci-dessous chacune de ces analyses en indiquant l'outil et/ou l'instrument analysé, comment il l'a été et à quoi cette analyse nous a servi.

3.6.1 Les croyances épistémiques

Les croyances épistémiques sont déterminées grâce à l'analyse des réponses aux questionnaires (*Appendice B*). Cette analyse a été effectuée selon les critères développés par Conley *et al.* (2004) et repris par Laliberté (2012), comme indiqué dans le Tableau 6.

Les réponses des échelles de Likert (réponses chiffrées en cinq points) ont été rapportées dans la base de données (utilisation du logiciel SPSS), ce qui nous a permis, grâce aux résultats rapportés et à la moyenne de chaque dimension, d'indiquer le portrait épistémique des élèves. Nous avons ensuite procédé à une corrélation entre les quatre dimensions du questionnaire afin de vérifier leur existence

Tableau 6. Portrait épistémique de l'élève en fonction des dimensions épistémique

Dimensions théoriques	Profil épistémique progressif
Source du savoir (<i>knowing</i>)	<i>autoritarisme/sens de l'évidence, de la raison</i>
Certitude (<i>knowledge</i>)	<i>absolutisme/dualisme/savoir en évolution</i>
Développement (<i>knowledge</i>)	<i>absolutisme/multiplisme/évaluativisme</i>
Justification (<i>knowing</i>)	<i>réalisme/scepticisme/sens de la preuve</i>

3.6.2 La représentation d'un système complexe

Avant d'exprimer le comment de cette analyse, il convient d'indiquer que pour comprendre le raisonnement que l'élève développe quant à la compréhension d'un système complexe, il est nécessaire de savoir d'où l'élève part et où il arrive. Pour ce faire, nous avons analysé les situations 1 et situations 2 en pratiquant deux analyses.

- *L'analyse selon le caractère holistique de la représentation (adapté de Hmelo-Silver et al., 2007)*

Cette analyse de contenu a pour but de catégoriser chaque élève en fonction du caractère holistique de sa représentation et de la compréhension systémique qu'il possède du système complexe. Cette analyse s'est faite selon les indications mentionnées au Tableau 7 et nous sert à analyser le produit de la représentation sous un angle macroscopique du système.

Tableau 7. Caractère holistique de la représentation

Représentation	Caractéristique(s) de la représentation
Aucune représentation	Aucune caractéristique
Égocentrique	Caractérisé par une compréhension limitée des systèmes impliqués. Les systèmes sont censés exister indépendamment, et leurs connexions ne sont pas comprises.
Simple système	La circulation sanguine est considérée comme un système central, mais l'élève a également une compréhension limitée des autres systèmes (respiratoire, digestif, etc.). Bien qu'il comprenne que les autres systèmes influent sur la circulation sanguine, les relations fonctionnelles ne sont pas comprises.
Système global	La compréhension est centrée sur la circulation sanguine dans son ensemble. Il y a une certaine compréhension de l'interdépendance et des interactions entre les différents systèmes dans leur fonction et leur comportement.
Pragmatique	Un point de vue « expert » avec un système élaboré de façon systémique dans son comportement et dans ses connexions fonctionnelles. La circulation sanguine est au centre et les autres systèmes rayonnent autour.
Hierarchique	Un point de vue « expert » avec un système élaboré de façon systémique dans son comportement et dans ses connexions fonctionnelles. Il y a une compréhension de la centralité des mécanismes de contrôle (par exemple la régulation par le système nerveux) pour le bon fonctionnement de la circulation sanguine dans son ensemble.

Ce tableau donne une description de ce que chaque représentation doit posséder en fonction de sa catégorisation, et de ce que l'élève indique comme faisant partie d'un système complexe et de sa hiérarchisation.

- *L'analyse selon la complexité de la représentation (Azevedo, Cromley et Seibert, 2004)*

Dans un second temps, nous utilisons une classification de la représentation mentale de l'élève. Pour ce faire, les schémas produits par les élèves aux situations 1 et situations 2 sont utilisés. Cette analyse permet de déterminer la complexité de la représentation construite par l'élève (*Appendice L*). Nous sommes toujours ici au niveau du produit de la représentation, mais sous un angle plus microscopique du système.

3.6.3 La construction d'une représentation d'un système complexe

Pour comprendre la manière dont l'élève construit une représentation d'un système complexe, nous utilisons le « cahier de science » et les réponses qui sont données. Le but des ateliers est double. D'une part, il permet de faire comprendre à l'élève que la circulation sanguine relie les divers systèmes du corps humain et qu'elle est centrale dans l'organisme. D'autre part, cela sert à comprendre comment l'élève élabore la construction d'un système complexe, à un niveau plus simple (un seul système) et si cette compréhension lui a servi pour élaborer le système complexe de la circulation sanguine dans son ensemble. Nous analysons ainsi l'évolution de la construction de l'élève en analysant à la fois les situations 1 et situations 2, mais également le « cahier de science ».

- *L'analyse selon le modèle « Structure – Comportement – Fonction » (Goel et al., 2009)*

Ce modèle a permis de coder la présence ou l'absence des différentes composantes d'un système complexe tel que décrit dans les *Appendices M et N*, la structure étant définie comme la mention d'un élément du système considéré, seul ou en relation avec un comportement ou une fonction. Par exemple, toute mention d'un organe (poumons, cœur, estomac, valves, etc.) a été codée comme structure. En ce qui concerne le comportement, celui-ci se définit comme une description de la façon dont la structure « travaille » pour exécuter une ou plusieurs fonctions.

Afin d'être codé comme « comportement », il a fallu que l'élève démontre sa compréhension du mécanisme de l'action. Par exemple, « le cœur se contracte et se relâche » peut fournir la preuve que l'élève comprend comment le cœur se comporte pour envoyer le sang à travers l'organisme. La fonction, quant à elle, décrit pourquoi la structure est présente et quel est son rôle dans le système considéré. Si nous remettons l'exemple précédent, la mention « le cœur envoie le sang dans l'organisme » a été codée comme fonction seulement. Comme autre exemple, la mention « le sang transporte l'oxygène » a été codée comme fonction, alors que « l'oxygène se fixe au sang qui assure son transport » a été codée comme un comportement.

Chaque structure, comportement ou fonction identifiée n'a été codée qu'une seule fois. Même si ceux-ci revenaient plusieurs fois, elles n'ont pas été comptées séparément.

Cette analyse permet d'établir la compréhension sous une forme descriptive que l'élève possède d'un système complexe. Nous obtenons alors un score en fonction du degré de compréhension de l'élève. Ce score est utile pour catégoriser les élèves en fonction de la proportion des différentes catégories. De plus, le fait d'analyser également le « cahier de science » permet de révéler les éléments que l'élève a

considérés comme pertinents pour répondre aux questions posées en s'aidant du dossier de presse et des ateliers présentés, ainsi nous entrevoyons les relations établies par l'élève et la façon dont il les comprend.

Il est à noter que le but de cette analyse n'est pas de quantifier le plus grand nombre d'éléments indiqués pour un système par l'élève, mais de voir s'il est capable de mettre en relation la structure, la fonction et le comportement au sein d'un système. Cette capacité de mise en relation des divers éléments ayant été analysée à travers les trois outils, nous avons pu comparer l'évolution de la représentation en passant d'un système complexe global à un système complexe plus simple, puis un retour au système global.

Contrairement aux analyses évoquées précédemment (point 3.6.2), nous sommes ici au niveau de l'analyse du processus de la représentation. Cet outil renvoie plus spécifiquement au niveau microscopique du système circulatoire sanguin.

- *Caractéristiques de la réflexion d'un élève sur la complexité d'un système (adapté de Ben-Zvi Assaraf et Orion, 2004)*

Nous utilisons cette analyse pour décrire les habiletés que l'élève utilise afin de construire une représentation d'un système complexe (Tableau 8 en page suivante). Cette analyse nous permet de caractériser l'élève en fonction des habiletés qu'il emploie dans la compréhension d'un système complexe plus simple que la circulation sanguine.

Ici, cet outil, bien qu'il renvoie toujours au processus de la représentation, nous permet d'aborder le système complexe sous un angle macroscopique.

Tableau 8. Caractéristiques de la réflexion d'un élève sur la complexité d'un système
(adapté de Ben-Zvi Assaraf et Orion, 2004)

Habiletés de l'élève	Description (et exemples)
1 L'habileté à identifier les composants d'un système et des processus au sein du système	Le sens de cette caractéristique par rapport au système complexe est l'habileté à identifier les composants de la circulation sanguine et les processus intervenants : digestion, respiration, excrétion, battements du cœur, etc.
2 L'habileté à identifier les relations entre les composantes du système	L'expression de cette caractéristique dans le système complexe est, par exemple, la reconnaissance du lien entre le fait de respirer et l'apport de l'oxygène à un muscle pour son fonctionnement, ou la compréhension des effets du cholestérol sur les mouvements du cœur.
3 L'habileté d'organiser les composants et les processus des systèmes dans un cadre de relations	Cette caractéristique consiste à prendre conscience des interrelations entre les systèmes et des propriétés causales ascendantes et descendantes et au niveau hiérarchique.
4 L'habileté de faire des généralisations	Cette généralisation peut être exprimée en sachant que ce système est dynamique et cyclique. Cette compréhension pourrait ensuite être mise en œuvre pour prévenir les menaces du tabac ou du cholestérol, dans le cadre du système.
5 L'habileté à identifier les relations dynamiques dans le système	Comprendre les relations qu'un effort entraîne une augmentation du rythme cardiaque et des respirations plus rapides.
6 Comprendre les dimensions cachées du système	Reconnaître les régularités et les interrelations qui ne sont pas accessibles directement. L'échange de l'oxygène et du dioxyde de carbone au niveau de la cellule, par exemple.
7 L'habileté de comprendre la nature cyclique des systèmes	Comprendre le système comme un cycle composé de plusieurs sous-cycles : cycle de la circulation sanguine composé du cycle de la respiration, du cycle de la digestion, etc.
8 Penser temporellement : rétrospective et prévision	Comprendre qu'une partie de l'interaction présentée au sein du système a eu lieu dans le passé, alors que les événements futurs pourraient être le résultat d'interactions actuelles.

- *L'analyse selon le caractère holistique de la représentation (Hmelo-Silver et al., 2007)*

Tout comme pour les situations 1 et situations 2, cette analyse permet de comprendre le caractère de la représentation de l'élève dans la compréhension systémique du système. Cette analyse de contenu met en avant le raisonnement complexe que l'élève se fait en catégorisant les caractéristiques qu'il met en œuvre pour comprendre un système complexe, comme indiqué dans le Tableau 7 (p. 100). Cette analyse sera effectuée sur les situations 1 et situation 2 et sur les réponses au « cahier de science ». Elle sera mise en parallèle des résultats obtenus aux précédentes analyses.

Avant de définir les différents temps d'analyse, il est important de revenir sur la pensée systémique qui sous-tend notre recherche à travers la perspective de considérer la circulation sanguine comme un système complexe.

Les analyses portant sur la construction de la représentation et celles sur le produit de la représentation sont liées entre elles et renvoient à la pensée systémique déployée par l'élève.

À travers cette pensée, nous retrouvons les deux principes de distinction/conjonction exprimés par Morin (2005). Les analyses pratiquées ici s'en inspirent. Ces deux principes sont par essence entrelacés, mais il nous apparaissait plus pertinent de les distinguer, ne serait-ce qu'à travers des outils différents afin de percevoir leur interrelation au niveau de notre recherche. Ainsi, les analyses portant sur la complexité du modèle mental¹⁸ (Azevedo, Cromley et Seibert, 2004) ainsi que l'analyse « SCF » (Goel et al., 2009) renvoient au principe de distinction. Nous

¹⁸ Le terme de modèle mental provient du nom de l'outil donné par Hmelo-Silver *et al.* et renvoie selon la définition des auteurs à la définition que nous donnons du terme de représentation (Cf. à la citation p. 147)

mettons en avant le fait de décrire le système et de décrire les parties du système, tout en les mettant en relation. Tandis que le principe de conjonction est visible à travers le caractère holistique de la représentation (Hmelo-Silver et al., 2007) et les caractéristiques de la réflexion d'un élève sur la complexité d'un système (Ben-Zvi Assaraf et Orion, 2004) puisque permettant de saisir si l'élève conçoit les liaisons, les interactions et les implications mutuelles au sein du système.

3.7 Les temps de l'analyse

Le but de cette étude, en plus de comprendre le raisonnement que l'élève produit quant à la compréhension d'un système complexe, est de mettre à jour une possible corrélation entre les croyances épistémiques de l'élève et son raisonnement. Nous avons pratiqué une analyse corrélationnelle entre les diverses dimensions épistémiques de l'élève et, d'une part, la représentation d'un système complexe qu'il possède, et de l'autre, du raisonnement qu'il emploie. L'ordre des analyses ci-dessous n'est pas forcément indiqué de façon chronologique. Néanmoins, le temps 6 fut le dernier mis en place puisque les résultats descriptifs obtenus aux analyses précédentes (celles de l'épistémologie personnelle, des représentations et de la compréhension d'un système complexe) ont permis de quantifier le degré statistique de corrélation entre les variables épistémiques, les représentations et la compréhension développée par l'élève.

➤ Temps 1 : Analyse descriptive de l'épistémologie personnelle

Dans un premier temps, les résultats moyens des groupes d'élèves pour chacune des dimensions épistémiques retenues ont été présentés dans un tableau. Ensuite, une analyse factorielle a permis de regrouper toutes les variables épistémiques fortement corrélées entre elles en un certain nombre de facteurs.

➤ Temps 2 : Analyse de contenu

Nous avons procédé à une analyse de contenu des différentes réponses des élèves aux situation 1 et situation 2 afin de pouvoir catégoriser adéquatement leurs réponses en fonction de ce que nous sous-entendions pour chacune des caractéristiques de la réflexion établies au Tableau 8.

➤ Temps 3 : Analyse descriptive des représentations

Cette analyse décrit en détail les résultats des élèves pour chaque catégorie quant à leur représentation initiale et finale, ainsi que le « cahier de science » pour l'analyse selon le modèle « SCF ». Une analyse comparative a été pratiquée.

➤ Temps 4 : Analyse descriptive des habiletés réflexives d'un système complexe

L'analyse des habiletés utilisées a permis de catégoriser l'élève en fonction des différentes catégories qu'il a perçues à travers le « cahier de science ». Couplées à l'analyse portant sur le caractère holistique de la représentation (Hmelo-Silver, Marathe et Liu, 2007), ces deux analyses ont été corrélées, affinant ainsi la compréhension que l'élève perçoit de la complexité d'un système en fonction des habiletés utilisées.

➤ Temps 5 : Analyse descriptive de la réflexion mise en place par l'élève

Cette analyse est le résultat de la mise en relation des trois temps précédents. Pratiquée parallèlement sur les divers outils, elle nous a permis de comprendre le raisonnement mis en place par l'élève au fur et à mesure de l'avancée de la méthodologie.

➤ Temps 6 : Relations entre les différentes variables

Cette dernière étape a permis d'estimer le degré de corrélation entre les variables épistémiques, la construction d'une représentation et la réflexion des élèves. Une analyse corrélationnelle a été appliquée, permettant ainsi de dégager les variables qui sont les plus fortement corrélées.

Ainsi, pour répondre aux objectifs de recherche énoncés à la fin du chapitre II, il est souhaitable de respecter ces étapes d'analyse. Le Tableau 9 permet de revenir sur les objectifs soulevés et de les mettre en lien avec les outils qui seront utilisés afin de recueillir les données et avec les analyses qui seront pratiquées. Nous indiquons également à quelle vision chaque analyse se rattache en ce qui concerne la question macro/microscopique du système circulatoire et du produit ou du processus de la représentation

Tableau 9. Mise en relation des critères d'analyse et des objectifs de recherche

Objectifs de recherche	Instruments de collecte de données	Analyses pratiquées	Vision	Analyse portant sur :
Identifier l'incidence de l'épistémologie personnelle d'élèves en fonction de son incidence sur les représentations	Questionnaire Conley <i>et al.</i> (2004)	Portrait épistémique de l'élève en fonction des dimensions épistémiques (Conley <i>et al.</i> , 2004)		
	Situation 1 et situation 2	Analyse selon le caractère holistique de la représentation (Hmelo-Silver, Marathe et Liu, 2007)	Vision macroscopique	Produit de la représentation
Décrire l'incidence de l'épistémologie personnelle sur la construction d'un système complexe	Situation 1 et Situation 2	Analyse selon la complexité de la représentation (Azevedo <i>et al.</i> , 2004)	Vision microscopique	
	Questionnaire Conley <i>et al.</i> (2004)	Portrait épistémique de l'élève en fonction des dimensions épistémiques (Conley <i>et al.</i> , 2004)		
	Cahier de science	Caractéristiques de la réflexion d'un élève sur la complexité d'un système (adapté de Ben-Zvi Assaraf et Orion, 2004)	Vision macroscopique	Processus de la représentation
Décrire l'élaboration d'une représentation lors de la construction d'un système complexe	Situation 1 et Situation 2	L'analyse selon le modèle « Structure – Comportement – Fonction » (Goel <i>et al.</i> , 2009)	Vision microscopique	
	Situation 1 et Situation 2	Caractéristiques de la réflexion d'un élève sur la complexité d'un système (adapté de Ben-Zvi Assaraf et Orion, 2004)	Vision macroscopique	
	Cahier de science	L'analyse selon le modèle « Structure – Comportement – Fonction » (Goel <i>et al.</i> , 2009)	Vision microscopique	Pensée systémique
	Cahier de science	Analyse selon le caractère holistique de la représentation (Hmelo-Silver <i>et al.</i> , 2007)	Vision macroscopique	
	Cahier de science	Analyse selon la complexité de la représentation (Azevedo <i>et al.</i> , 2004)	Vision microscopique	

CHAPITRE IV

ANALYSE DES RÉSULTATS

Notre étude présente un caractère multiméthodologique. Dans le sens où une interprétation qualitative a été réalisée dans le but de définir les critères permettant d'établir les catégories, ce qui a permis de conduire à une analyse quantitative plus conséquente. Ainsi, ce chapitre présente de manière entrecroisée les résultats qualitatifs et quantitatifs de notre recherche.

À la suite de la collecte de données, les différents outils, le cahier de science et les situations 1 et situations 2 ont été repris afin d'y appliquer les critères d'analyses établis dans le chapitre III. Dans un premier temps, nous procédons à une analyse de contenu des réponses des élèves, ce qui permet de délimiter, de façon pertinente, les critères des habiletés se référant à la pensée systémique de l'élève. Cette analyse de contenu s'avère essentielle dans le but de pouvoir catégoriser chaque élève en fonction de la présence des habiletés déployées.

Dans un second temps, les schémas des élèves sont catégorisés en fonction de la complexité de la représentation dans la foulée des travaux de Hmelo-Silver *et al.* (2007). Cette catégorisation est complétée d'une analyse de contenu des réponses écrites des élèves afin de déterminer le caractère holistique de la représentation. L'ajout des réponses écrites, et donc d'une analyse plus qualitative en vue de déterminer les critères spécifiques à chaque catégorie, nous permet ainsi d'accéder à la compréhension systémique que l'élève se fait de la circulation sanguine.

Ces différentes analyses sont faites sur les situations 1 et situations 2 exclusivement. Enfin, nous effectuons une analyse quantitative des réponses au cahier de science et aux situations en prenant comme critère le modèle « Structure, Comportement, Fonction », nous permettant ainsi d'obtenir pour chaque élève un score pour chacune des dimensions du modèle.

Une fois ces étapes terminées, les données brutes sont regroupées, juxtaposées et comparées de manière à conduire à l'interprétation des résultats.

Ce chapitre présente ces différentes étapes en fonction du regroupement des résultats. Dans la première partie, que nous pourrions qualifier de descriptive, nous explicitons l'analyse de contenu permettant d'établir les caractéristiques de la représentation selon les habiletés systémiques. S'ensuit une analyse quantitative des résultats.

Par la suite, l'analyse des résultats portant sur les croyances épistémiques des élèves est abordée. Puis, la représentation d'un système complexe est évoquée à partir des données portant sur la complexité de la représentation et le caractère holistique de celle-ci.

L'analyse de la compréhension de la circulation sanguine comme système complexe termine cette partie avec les résultats provenant d'une analyse quantitative des données issues du modèle « Structure, Comportement, Fonction ».

Dans un second temps, les résultats, plus exploratoires, sont énoncés à travers la mise en relation des différentes variables explicitées lors de la première partie. Cette seconde partie est exprimée en fonction des objectifs de notre recherche et permet ainsi de déterminer les résultats pertinents dans le but de répondre aux objectifs fixés.

En premier lieu, les croyances épistémiques sont mises en relation avec la représentation d'un système complexe. Puis, nous abordons la réflexion de l'élève quant

à la compréhension d'un système complexe. Enfin, les croyances épistémiques et la réflexion de l'élève sont mises en relation.

Dans un souci de clarification, il convient de donner une explication sur les tests statistiques utilisés dans ce chapitre.

D'un point de vue statistique, du fait de la nature des données récoltées, nous avons utilisé des tests non paramétriques. Certaines de nos données ne possédant pas d'échelle d'intervalles, certaines étant nominales, d'autres exprimées en rang, il a été décidé d'effectuer, après concertation avec M. Morin, statisticien, des tests non paramétriques.

Les tests principaux sont le test de McNemar et le test de Wilcoxon de rang signé lorsque nous voulions comparer des données. Le premier est un test de comparaison de proportions sur un échantillon non indépendant et binaire. Le second est utilisé pour des échantillons appariés dans le cas où les rangs sont ordonnés et supérieurs à deux échantillons. Chacun des tests nous permet de constater s'il y a eu une évolution significative entre les situations 1 et situations 2 et s'effectue sur la somme des rangs positifs.

4.1 Les caractéristiques de la pensée systémique

Pour cette analyse, nous sommes partis des habiletés que proposait l'étude de Ben-Zvi Assaraf et Orion (2005). Ces habiletés sont, pour ces auteurs, des habiletés spécifiques nécessaires à l'émergence d'une pensée systémique chez l'élève, pensée permettant d'accéder à une compréhension globale d'un système complexe. L'analyse de contenu, décrite ci-après pour chaque habileté, nous permet d'examiner si ces dernières sont présentes chez les élèves interrogés et en quoi elles vont leur permettre d'accéder à une vision plus complète de la circulation sanguine.

Ainsi, les représentations que nous avons observées, à travers les dessins et les réponses des élèves, nous ont permis de voir les habiletés spécifiques mises en place par les élèves, habiletés qui permettent de caractériser et d'organiser la pensée systémique.

Pour rappel, les habiletés sont aux nombres de huit :

- 1) l'habileté à identifier les composants d'un système et les processus au sein du système,
- 2) l'habileté à identifier les relations entre les composants du système,
- 3) l'habileté d'organiser les composants et les processus des systèmes dans un cadre de relations,
- 4) l'habileté de faire des généralisations,
- 5) l'habileté d'identifier les relations dynamiques du système,
- 6) l'habileté de comprendre les dimensions cachées du système,
- 7) l'habileté de comprendre la nature cyclique des systèmes,
- 8) l'habileté de penser temporellement : rétrospective et prévision.

Ces habiletés se regroupent par ailleurs en quatre pensées distinctes, comme indiqué dans le Tableau 10, se déclinant selon un continuum. L'élève ne peut accéder à la

pensée cyclique sans avoir préalablement développé une pensée dynamique du système après une pensée structurelle.

Tableau 10. Regroupement des habiletés par perceptions

Habiletés	Perceptions			
	Structurelle	Dynamique	Cyclique	Temporelle
1 : Identification structurelle	✓			
2 : Identification relationnelle		✓		
3 : Organisation relationnelle			✓	
4 : Généralisation			✓	
5 : Relations dynamiques		✓		
6 : Dimensions cachées				✓
7 : Compréhension cyclique			✓	
8 : Compréhension temporelle				✓

Cette recherche se base sur les réponses données aux questions¹⁹ des situations 1 et situations 2, nous permettant ainsi de catégoriser la réponse de l'élève selon les habiletés qu'il emploie. Il s'avère que ces habiletés ont dû être retraduites dans le but de s'adapter au sujet qui est le nôtre. Ces habiletés avaient été développées dans le but d'appréhender le cycle de l'eau. Nous sommes parti des définitions données par ces auteurs et avons extrait des réponses des élèves nos propres caractéristiques concernant ces habiletés. Nous expliquons, à travers des exemples, comment cette catégorisation s'est effectuée dans les paragraphes suivants.

Par ailleurs, l'analyse de contenu est abordée en fonction du regroupement des habiletés par perception, de façon à mieux appréhender le continuum supposé par Ben-Zvi Assaraf et Orion (2005).

¹⁹ Les questions pour les deux situations étaient les suivantes : Explicite en quoi la circulation sanguine est le système le plus important du corps humain et comment elle est reliée aux divers systèmes du corps humain. Et : Que se passe-t-il dans ton organisme quand tu pratiques une activité sportive ?

4.1.1 La perception structurelle

Cette perception concerne l'aptitude à identifier les composantes et les processus intervenant dans le système. Catégoriser l'absence de l'habileté chez l'élève est assez simple. Les réponses²⁰ sont courtes, sans explications et semblent nous renvoyer à une compréhension vague de la circulation sanguine. C'est le cas d'Amy²¹ :

Le sang circule plus vite.

Ou de Laure :

Le cœur bat plus vite.

Nous y percevons certes l'idée que le sang ou le cœur sont des éléments de la circulation sanguine, mais cela reste succinct, sans autre indication ou lien explicite.

C'est l'ajout d'explications, d'éléments ou de processus intervenant dans la circulation sanguine qui nous amène à catégoriser l'élève comme possédant l'habileté 1. Dans certains cas, cette catégorie exprime le fait que les élèves se sont principalement attardés aux composants de la circulation sanguine, à ses constituants.

Comme pour Audrey :

Le sang est transporté à travers des tuyaux plus ou moins gros comme les artères ou les veines.

Ou Camille :

²⁰ Toutes les réponses indiquées proviennent des situations 1 ou 2 et ne font aucune distinction entre les deux questions posées, sauf mention explicite. La caractérisation de l'élève, selon la présence ou non de la capacité considérée, a été effectuée sur les réponses données aux deux questions.

²¹ Afin de conserver l'anonymat des participants, le prénom utilisé est fictif. De plus, dans le but de faciliter la lecture, les fautes d'orthographe et les erreurs grammaticales ont été corrigées.

Elle (la circulation sanguine) est reliée aux divers systèmes du corps humain grâce aux artères, veines. Elle est, par exemple, reliée au cœur, au cerveau, deux éléments du corps importants.

Chez d'autres élèves, c'est la mise en avant des processus qui interviennent dans le système qui illustre cette habileté 1. C'est le cas de Léna :

Le cœur fait des pulsations, des battements et chaque fois du sang arrive dans un côté du cœur et repart dans l'autre.

Certains, cependant, font preuve d'une habileté plus élaborée, car ils sont capables de démontrer une compréhension à la fois de la structure et des processus du système.

C'est le cas de Lilliana qui indique :

La circulation sanguine est le système le plus important du corps humain, car c'est elle qui permet la répartition correcte du sang (globules rouges) à travers les vaisseaux et les artères, et donc de l'O₂ ainsi que le rejet du CO₂ grâce aux pulsations du cœur.

Ainsi, l'élève possède une compréhension portée soit sur les composants, soit sur les processus ou sur les deux. Dans ce dernier cas, nous estimons que l'élève possède cette habileté au plus haut niveau puisqu'il est capable d'associer les composants aux processus. Cette habileté, qui est par ailleurs la seule indiquant si l'élève possède une perception structurelle du système, est l'habileté qui compose la base de la perception systémique. Elle est, de surcroît, la plus simple à interpréter à partir des réponses données par les élèves. Les habiletés suivantes sont plus complexes à caractériser.

Si nous regardons les résultats portant sur les réponses données à la situation 1, comme indiqué dans la Figure 7 (*Appendice O*), nous relevons que les élèves possèdent en majorité (129 d'entre eux²², 79,6 %) une perception structurelle²³ de la circulation sanguine. Si nous examinons plus attentivement les réponses des élèves, il s'avère que cette habileté est, pour une majorité d'entre eux, principalement basée sur une vision strictement structurelle (74 élèves, 45,7 %)²⁴ du système.

La compréhension des processus est moins présente (24 d'entre eux, 14,8 %), mais il n'en reste pas moins que 31 élèves (19,1 %) sont capables de faire le lien entre les processus et les structures impliqués dans le système. Cette perception semble aisément compréhensible pour une grande majorité des élèves, et ce, même si la compréhension structurelle est plus dominante que celle des processus.

Nous pouvons ainsi supposer que le fait d'avoir une perception structurelle est assez commun pour des élèves de seconde, et qu'en plus ils sont capables de la schématiser facilement.

Ce constat se retrouve également au niveau des situations 2. L'habileté 1 reste la plus présente dans les réponses des élèves. La perception structurelle est présente pour 136 élèves (84 %), comme indiqué dans la Figure 8 (*Appendice O*). Une analyse plus détaillée des résultats montre que les composants sont cités par 58 élèves (35,8 %), 38 citent les processus (23,5 %), alors que les 40 élèves restants (24,7 %) sont capables d'associer les structures aux processus se déroulant dans le système²⁵.

²² Tous les résultats qui vont suivre sont donnés sur un total de 162 élèves, correspondant aux élèves ayant été présents lors des trois temps de la méthodologie.

²³ La capacité 1 renvoie à cette perception du système.

²⁴ Pour les détails de chacune des capacités à la situation 1, se référer au Tableau 43 de l'*Appendice O*.

²⁵ Pour les détails de chacune des capacités à la situation 2, se référer au Tableau 44 de l'*Appendice O*.

4.1.2 La perception dynamique

La perception dynamique du système regroupe les habiletés 2 et 5 et renvoie à la compréhension des interactions dynamiques se déroulant dans le système. L'habileté 2 renvoie à l'habileté de l'élève à identifier les relations entre les composantes du système, comme Stéphanie, qui explique :

La circulation sanguine est un système qui parcourt le corps entier, transportant nutriments et oxygène ingérés que l'estomac et les poumons ont transmis au sang.

Ou comme Clara qui indique :

Le sang permet d'acheminer toutes les substances nécessaires au fonctionnement des organes. Le sang est partout dans le corps humain. Il est transporté dans des veines ou des artères, il est propulsé par les pulsations du cœur. Il amène par exemple de l'oxygène aux organes qui provient des poumons.

Les élèves expriment ici leur compréhension des relations entre les poumons apportant l'oxygène au sang et la distribution de l'oxygène par ce dernier à travers l'organisme.

Par ailleurs, nous pouvons constater que des élèves comme Clara vont plus loin dans leur compréhension dynamique du système puisqu'ils introduisent la notion de pulsation du cœur, permettant la circulation du sang et de l'oxygène provenant des poumons, ce qui se rapproche presque de l'habileté 5 qui renvoie à l'habileté d'identifier les relations dynamiques se produisant dans le système. Cette habileté se retrouve plus aisément dans des réponses telles que celle de Bastien :

Lorsque l'on pratique une activité sportive, plusieurs choses se passent :

- Le cœur accélère ses battements pour apporter plus d'O₂ et des nutriments aux muscles.*
- La respiration s'accélère pour que le sang puisse transporter plus d'O₂.*
- Je pense aussi que les nutriments passent plus dans le sang.*

Dans ces exemples, nous mettons l'accent sur la difficulté que nous avons eue à certains moments de pouvoir différencier les habiletés 2 et 5. La différence entre Bastien et Stéphanie est aisément observable, contrairement à celle entre Clara et Bastien. Nous avons considéré que l'ajout de la notion de dynamisme à l'habileté 5 impose que les élèves catégorisés comme possédant cette habileté doivent démontrer une compréhension moins séquentielle des relations existantes. Leur perception du système dans ce cas précis doit être basée sur une compréhension plus complète du dynamisme opérant à l'intérieur du système, comme lors de changements physiologiques que le sport peut entraîner, par exemple.

Lorsque nous observons les résultats qui résultent de cette catégorisation, nous retrouvons 67 fois l'habileté 2 (41,4 % des élèves) et 55 fois l'habileté 5 (34 %) au niveau de la situation 1, pour un total de 95 élèves (58,64 %).

Quand nous analysons ces résultats de plus près, nous constatons qu'ils ne sont que 27 élèves (16,7 %) à posséder à la fois l'habileté d'identifier les relations entre les composants des systèmes (habileté 2) et les relations dynamiques (habileté 5). Les 68 autres (42 %) perçoivent l'une ou l'autre (39 possèdent l'habileté 2 et 27 l'habileté 5).

Ces résultats sont par ailleurs assez paradoxaux, dans le sens où nous avons des élèves qui sont capables d'indiquer des relations dynamiques se déroulant à l'intérieur du système, mais sans percevoir, ou du moins sans donner d'indications quant à leur compréhension des relations entre les composants. C'est le cas de Bertrand, par exemple, qui indique :

Lorsque je fais du sport, mon rythme cardiaque s'accélère pour fournir l'énergie suffisante à l'effort.

Nous percevons ici que cet élève entrevoit bien la relation dynamique qui se produit entre le fait de faire du sport et l'augmentation du rythme cardiaque qui en résulte, mais

il n'explique pas quelles composantes du système interviennent dans le processus. Il semblerait, d'après les élèves catégorisés comme possédant la seule habileté 5, que ces derniers possèdent les connaissances nécessaires afin d'explicitier ce que l'effort entraîne au niveau de la circulation sanguine, mais sans en comprendre les tenants et les aboutissants de ce que cela implique, sans pouvoir relier les sensations qu'ils ressentent aux structures et aux composants intervenant dans la pratique d'un sport.

Cette particularité se retrouve également au niveau de la situation 2 où les élèves, qui ont exprimé la seule habileté 5, expriment le même type de réponse. L'habileté 2 se retrouve sur 103 situations 2 (63,6 % des élèves), tandis que 92 réponses (56,8 %) démontrent la présence de l'habileté 5. Au total, ce sont 137 élèves (84,57 %) qui sont désormais aptes à percevoir cette habileté dynamique ; 58 (35,8 %) possèdent l'habileté d'identifier à la fois les relations entre les composants des systèmes (habileté 2) et les relations dynamiques (habileté 5), les 79 autres (48,78 %) perçoivent l'une ou l'autre (45 possèdent l'habileté 2 et 34 l'habileté 5).

4.1.3 La perception cyclique

La perception cyclique est catégorisée par les habiletés 3, 4 et 7. Elle concerne l'habileté de l'élève à percevoir et interpréter les relations cycliques se déroulant dans le système. Lorsque nous prenons en compte le contenu des réponses des élèves pour percevoir la perception cyclique, nous avons quelques difficultés avec l'habileté 3 qui renvoie à l'habileté d'organiser les composants et les processus des systèmes dans le cadre de relations. Cette habileté se rapproche de l'habileté 2 décrite ci-dessus.

Prenons par exemple ce qu'écrit Pierre :

C'est la circulation qui permet d'apporter les choses essentielles aux organes vitaux. La circulation sanguine est reliée à tout dans le corps humain grâce au pompage du cœur. Pour faire passer l'oxygène des poumons au sang, il y a les

alvéoles pulmonaires qui vont passer l'oxygène des poumons au sang. Le cœur sert ainsi à envoyer le sang riche en oxygène dans la circulation qui se charge de l'envoyer dans le reste du corps, mais aussi à envoyer le sang appauvri en oxygène, mais enrichi en CO₂ vers les alvéoles pulmonaires pour qu'il y soit évacué.

Nous pouvons voir que ce qui est écrit se rapproche fortement de la réponse de Clara (au point 4.1.2). Pourtant, il nous apparaît que Pierre va plus loin dans sa compréhension de la circulation sanguine dans le sens où il introduit la notion de cycle avec l'évacuation du dioxyde de carbone. Cette conception est encore plus présente dans ce qu'écrit Mathilde :

Lorsque je pratique une activité sportive, mon organisme va fonctionner plus rapidement. Mon cœur va s'accélérer afin de transporter plus de sang pour oxygéner les muscles. L'oxygène va donner de l'énergie aux muscles afin de leur permettre de fonctionner correctement et rapidement. Puis, une fois utilisés, les muscles vont recracher leurs déchets dans le sang, qui va retracer son parcours jusqu'aux alvéoles pulmonaires afin d'échanger le sang chargé de CO₂ avec du sang neuf (O₂). De plus, pour pouvoir fonctionner, les muscles ont aussi besoin d'énergies qui proviennent de la nourriture. Ils vont donc brûler des graisses.

La différence avec l'habileté 2 est traduite ici par l'introduction de la cyclicité des relations et de l'organisation du système. C'est surtout la présence de cette compréhension cyclique qui fait qu'un élève est considéré comme possédant l'habileté 3.

Un élève est catégorisé comme possédant l'habileté 4 à partir du moment où il lui est possible de faire des généralisations. Il conçoit que le système est à la fois dynamique et cyclique. Marion indique :

Lorsque l'on pratique une activité sportive, les muscles sont en action et ont besoin de plus d'oxygène. La respiration s'accélère et le cœur pompe davantage de sang pour apporter cet oxygène.

Trice rajoute :

Mes poumons inspirent et expirent plus vite pour apporter de l'O₂ nécessaire à mes muscles. Mon cœur bat plus vite pour que le sang riche en O₂ parvienne aux muscles. Je brûle des calories, ce qui me donne de l'énergie. Je sue pour rafraîchir mon corps.

L'élève possédant cette habileté dispose d'une vision plus complète du système et est capable de percevoir les effets de substances nocives et ce qu'elles peuvent induire sur la circulation sanguine. Il est apte à prévenir les menaces du tabac ou du cholestérol.

Dans le cadre de notre étude, c'est surtout ce critère qui a déterminé la catégorisation de l'élève comme ayant recours à une habileté de généralisation. C'est le cas de Laure :

Les organes vitaux sont alimentés en O₂ et autres grâce à la circulation sanguine, qui passent par les artères. Si une artère se bouche (p. ex., à cause du cholestérol), le sang ne circule plus et cela provoque la mort de l'individu. Pour éviter ce genre de cas, il faut avoir une alimentation saine afin d'éviter l'excédent de cholestérol dans les artères (ce qui les bouche). Mais il faut également éviter de fumer et faire du sport. En effet, la nicotine contenue dans le tabac accélère le rythme cardiaque, provoque une diminution des vaisseaux (ce qui défavorise la circulation sanguine) et remplace en partie l'oxygène dans le sang par de l'oxyde de carbone. Il faut aussi penser à faire du sport, car sans ça le cœur se fatigue beaucoup plus rapidement, ce qui peut être dangereux en cas de maladies cardiovasculaires.

L'habileté 7 sous-entend que l'élève conçoit la nature cyclique de la circulation sanguine avec la présence de différents sous-systèmes. Nous retrouvons cette habileté chez Alice :

Ce système est relié à la respiration dans laquelle le sang puise le dioxygène qui est indispensable à la vie, ainsi qu'à l'estomac où le sang puise les nutriments (glucose, etc.) de la digestion.

Ou encore chez Marc :

Le sang est le moyen de transport de l'oxygène, nutriments, énergie, qui dessert les organes. Il se déplace grâce à la contraction du cœur, se charge en oxygène dans les poumons. Et il reçoit des nutriments aux intestins. Tout est ensuite amené aux muscles, au cerveau et d'autres organes. Ne restent plus que les déchets dans le sang, alors il est lavé par les reins et se redirige vers le cœur.

Ces élèves ont clairement perçu la nature cyclique de la circulation sanguine et des divers sous-systèmes la composant.

Lorsque nous regardons les résultats à la situation 1, nous notons que les trois habiletés citées dans ce paragraphe sont beaucoup moins présentes que les habiletés évoquées dans les points précédents. L'habileté d'organiser les composants et les processus dans un cadre de relations (habileté 3) n'est présente que 28 fois (17,8 %) et se décompose ainsi : 24 élèves ne mentionnent que les composants du système, 2 élèves seulement les processus, et 3 mentionnent les deux.

L'habileté de faire des généralisations (habileté 4) est présente 33 fois (20,4 %).

L'habileté 7, reliée à la compréhension de la nature cyclique des systèmes, n'est abordée que dans une seule copie, par un élève qui possède, par ailleurs, la perception « au complet », dans le sens où sa réponse comporte également les habiletés 3 et 4.

Au total, seuls 53 élèves (32,7 %) ont une perception de la dimension cyclique de la circulation. Il semble que cette perception soit plus délicate pour l'élève dans sa compréhension. La cyclicité du système semble plus complexe à percevoir. Nous constatons des réponses plus élaborées pour la situation 2. Ils sont désormais 99 élèves (61,11 %) à en avoir une certaine compréhension. Ce qu'il est intéressant de noter, c'est que les trois habiletés sont présentes en parts égales. Ce sont 47 élèves (29 %) qui démontrent l'habileté 3, 51 (31,5 %) l'habileté 4, et l'habileté 7 est quant à elle entendue par 46 élèves (28,4 %). Si nous étudions plus attentivement ces résultats, nous constatons que 62 élèves (38,3 %) ont une compréhension d'au moins une des trois habiletés, 30 (18,5 %) en comprennent au moins deux, et 7 (4,3 %) possèdent les trois habiletés. Il semble y avoir une meilleure compréhension cyclique de la circulation sanguine à l'intérieur des réponses des élèves, ou du moins un ajout des sous-cycles constituant ce système.

4.1.4 La perception temporelle

Enfin, pour les deux dernières habiletés (la 6 et la 8) renvoyant à la perception temporelle, la catégorisation de l'élève est délicate puisque cette perception est très peu présente dans les réponses des élèves.

Dans le cas de l'habileté 6 qui renvoie à la compréhension des dimensions cachées, nous pouvons émettre l'hypothèse que cette habileté est présente chez l'élève lorsqu'il reconnaît les régularités et les interrelations qui ne sont pas accessibles directement.

L'élève doit ainsi démontrer une compréhension à une échelle que nous pouvons qualifier de microscopique. Comme l'échange de l'oxygène et du dioxygène à l'échelle de la cellule, par exemple. Cette habileté se retrouve très peu au niveau des réponses des élèves. Les seules annotations que nous pouvons catégoriser pour cette habileté

renvoient soit au passage de l'oxygène au niveau des alvéoles pulmonaires, comme l'exprime Éliane :

L'oxygène traverse les bronchioles et se diffuse dans les vaisseaux sanguins à travers les alvéoles pulmonaires.

ou à des éléments qui ne font pas référence à la circulation sanguine. C'est le cas de Fanny, qui indique :

Le cerveau produit de la dopamine, ce qui donne cette sensation de bien-être.

L'habileté 8, « penser temporellement », n'a pas été trouvée dans les réponses des élèves. Cette habileté semble hors de portée de la compréhension d'un étudiant de seconde ou est difficilement exprimable à travers les questions posées aux situations. La catégorisation de cette perception indique que les élèves de seconde semblent moins appréhender cette temporalité. Ils ne sont que quatre élèves à indiquer une compréhension des dimensions cachées du système, et aucun n'a exprimé une temporalité. Lorsque nous observons les résultats aux situations 2, le constat semble identique. La perception temporelle est exprimée par dix élèves, mais toujours énoncée à l'aide de l'habileté 6. De plus, si nous pouvons penser que cette proportion a doublé depuis la situation 1, cela ne représente que 6,2 % des élèves, ce qui n'est pas significatif. *In fine*, les dimensions cachées semblent plus faciles à aborder que la vision rétrospective et la prévision.

Ces résultats démontrent que les perceptions des élèves de seconde se basent principalement sur une perception structurelle du système. Cette perception semble par ailleurs être à la base de la compréhension systémique de la circulation sanguine dans le sens où la présence des autres perceptions ne peut se faire sans une compréhension des composantes du système. Nous ne retrouvons que 4 élèves qui indiquent une perception dynamique ou cyclique sans posséder la perception structurelle. C'est le cas de Basile

qui n'a répondu qu'à la question concernant les effets du sport (*Que se passe-t-il dans ton organisme quand tu pratiques une activité sportive ?*) en indiquant :

Le rythme cardiaque augmente, l'afflux du sang est plus important. C'est pour cela qu'on l'on peut devenir tout rouge. Je crois que l'apport en oxygène est plus important pour permettre à nos muscles de fonctionner.

Nous retrouvons le même type de réponse pour les trois autres étudiants, qui ont seulement répondu à la question sur le sport qui demandait une réponse avec une vision plus dynamique du système. En ce qui a trait aux situations 2, ils sont seize élèves à ne pas avoir utilisé la perception structurelle. Néanmoins, sur ces 16 élèves, onze n'ont répondu qu'à la question sur le sport et les cinq autres ont certes répondu aux deux questions, mais ils n'ont produit qu'un schéma non annoté à la première question et ne représentant qu'un cœur. Il est difficile de déterminer si l'habileté 1 renvoyant à la perception structurelle est présente chez ces élèves.

Dans la section suivante, nous détaillons de façon plus statistique les résultats que nous venons d'évoquer en comparant les situations 1 et les situations 2.

4.1.5 Analyse comparative des perceptions

La Figure 6 présente les résultats portant sur les 162 élèves ayant répondu aux deux passations (situations 1 et situations 2).

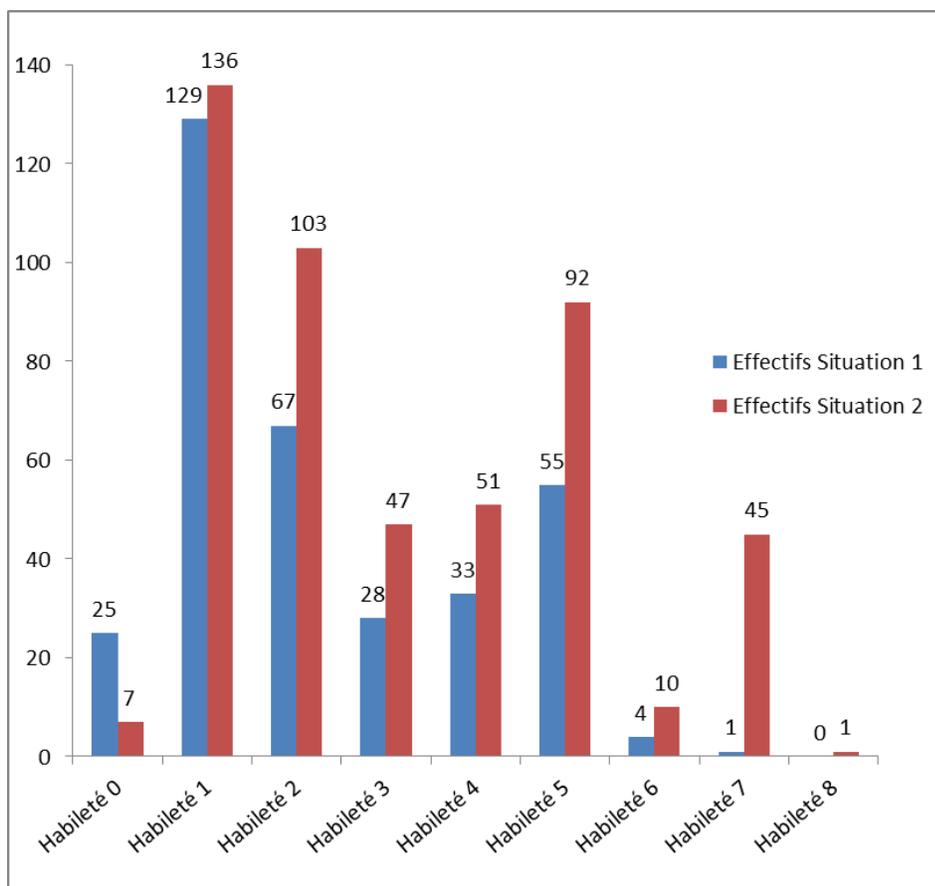


Figure 6. Habiletés démontrées par les élèves pour les situations 1 et situations 2 (comparaison entre les deux situations) (N=162).²⁶

Il est à noter que nous cherchons, à travers ces résultats, à comprendre la réflexion que l'élève développe lorsqu'il se retrouve confronté à un système complexe.

Comme nous l'avons expliqué dans le chapitre III, des ateliers ont été mis en place entre les deux situations²⁷. Leur but était de présenter aux élèves tous les éléments composant

²⁶ Signification des habiletés : 0 = Aucune habileté relevée ; 1 = Identification structurelle ; 2 = Identification relationnelle ; 3 = Organisation relationnelle ; 4 = Généralisation ; 5 = Relations dynamiques ; 6 = Dimensions cachées ; 7 = Compréhension cyclique ; 8 = Compréhension temporelle

²⁷ Nous rappelons ici que le temps de passation entre les deux situations était de 3 semaines.

la circulation sanguine à la fois à travers les structures, les comportements et les fonctions se déroulant dans le système, permettant ainsi aux élèves de récupérer les éléments qui leur semblaient essentiels afin de construire leur propre représentation de la circulation sanguine.

Nous percevons ici que la différence de la perception structurelle de la circulation sanguine est peu importante ; seuls 7 élèves ont développé l'habileté 1 entre les deux passations. Néanmoins, si nous détaillons les résultats²⁸, 9 élèves de plus ont développé la perception dans son ensemble en étant aptes à identifier les composantes et les processus du système. Par contre, ils sont 16 de moins à identifier les seuls composants du système, mais 14 de plus ont identifié seulement les processus.

D'après ces observations, nous émettons l'hypothèse que pour que la perception structurelle se développe chez l'élève, celui-ci doit, dans un premier temps, se concentrer sur les composants du système, et dans un deuxième temps, il doit se concentrer sur les seuls processus avant de pouvoir les mettre en relation²⁹. On retrouve ce développement de la réflexion chez Brahim, qui écrit dans la situation 1 :

La circulation sanguine est le système le plus important du corps humain, car elle est présente partout et est reliée aux divers systèmes du corps humain par des veines et des artères.

puis répond ainsi à la situation 2 :

La circulation sanguine a un rôle central dans l'organisme humain, car elle est présente dans tout le corps. Elle permet de transporter le dioxygène nécessaire au bon fonctionnement des muscles. Mais le sang transporte aussi des corps malsains tels que l'oxyde de carbone.

²⁸ Pour les détails de chacune des capacités aux situations 1 et 2, se référer au Tableau 43 et au Tableau 44 de l'Appendice O.

²⁹ Nous reprenons cette observation dans le chapitre suivant.

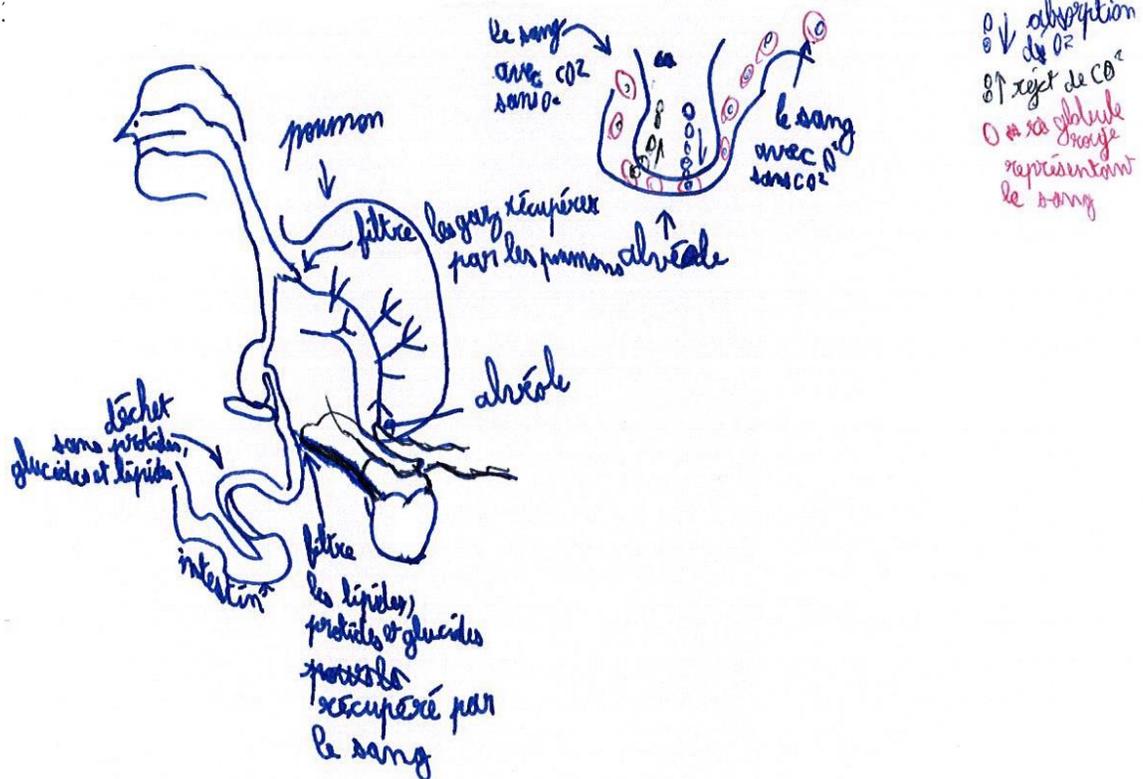
Nous saisissons bien le passage d'une compréhension spécifique aux composants du système à une compréhension des processus que le système implique avec le transport des éléments.

C'est également le cas dans la compréhension de Florentin à la situation 1 :

La circulation sanguine règle le corps en le nourrissant, ce qui signifie que la circulation sanguine sert à transporter la nourriture. Le sang transporte aussi l'oxygène pour faire respirer les muscles et autres organes.

Par contre, sa compréhension évolue au moment de la situation 2.

1.



Nous percevons bien le passage d'une simple compréhension des processus à l'association de ces derniers avec les composants du système.

Il semble que l'élève doit appréhender au fur et à mesure la perception structurelle et que le passage d'une habileté à identifier les composants à une habileté à identifier les processus et les composants du système doit s'accompagner pour certains élèves d'une compréhension des seuls processus du système. Cependant, certains élèves arrivent à relier directement les composants et les processus une fois qu'ils comprennent les tenants et aboutissants du système à ce niveau. C'est le cas d'Ygor, qui mentionne dans la situation 1 :

La circulation sanguine est reliée aux divers systèmes du corps humain par des veines. Elles traversent tout notre corps.

Puis à la situation 2 :

La circulation sanguine permet d'apporter de l'énergie aux muscles tels que les protéines, elle transmet aussi le cholestérol indispensable, et de l'O₂. Elle a donc un rôle essentiel à notre corps, car elle permet de transporter des éléments vitaux à travers tout le corps par le biais de veines, de vaisseaux sanguins... Bien évidemment, le point de commencement de la circulation sanguine est le cœur. Les veines qui le relient aux différentes parties du corps en partent.

À cela, nous pouvons rajouter que si nous effectuons un tableau croisé de l'évolution de la perception (Tableau 11), nous obtenons une évolution significative ($Z = -2,857$; $p = ,004$), ce qui nous permet d'entrevoir que cette perception est assez rapidement compréhensible et utilisable par les élèves.

Il semble que les élèves soient capables de retranscrire la perception dynamique plus aisément une fois que les éléments leur sont présentés. Si nous regardons l'habileté 2, elle se retrouve dans 67 réponses à la situation 1 et 103 à la situation 2, ce qui représente une amélioration de 54 %. Cette tendance se retrouve également pour l'habileté 5, présente dans 55 situations 1 et 92 situations 2, soit une amélioration d'environ 67 % dans les réponses des élèves. Au total, nous sommes passé de 95 élèves possédant cette perception structurelle (soit l'une ou l'autre des habiletés, soit les deux) à 137 élèves la détenant, soit une augmentation de 44 %. En ce qui concerne la réflexion mise en place par l'élève entre les deux passations, il est difficile d'arriver à une conclusion avec ces résultats. Certes, l'évolution semble significative lorsque nous effectuons le test non paramétrique de McNemar pour un tableau croisé ($\chi^2 = 19,758$, $p = 0,000$ pour l'habileté 2, Tableau 12; $\chi^2 = 16,831$, $p = 0,000$ pour l'habileté 5, Tableau 13).

Tableau 11³⁰. Habileté 1 : Identification structurelle. Tableau croisé des effectifs entre les deux situations

		Habileté 1 Situation 2				Total	
		Code	0	1	2		3
Habileté 1 Situation 1	0	Aucune habileté	13	13	5	2	33
	1	Seulement les composants	11	32	13	18	74
	2	Seulement les processus	2	7	12	3	24
	3	Les deux	0	6	8	17	31
Total			26	58	38	40	162

Tableau 12. Habileté 2 : Identification relationnelle. Tableau croisé des effectifs entre les deux situations

		Habileté 2 Situation 2			Total
		Code	0	1	
Habileté 2	0	Aucune habileté	46	49	95
Situation 1	1	Relations identifiées	13	54	67
Total			59	103	162

³⁰ Dans un souci de clarté et pour éviter de surcharger cette thèse, les tableaux présentés dans cette partie ne concernent que les résultats qui s'avèrent significatifs dans le cadre de notre étude.

Tableau 13. Habileté 5 : Relations dynamiques. Tableau croisé des effectifs entre les deux situations

		Habileté 5 Situation 2			
		Code	0	1	Total
Habileté 5	0	Aucune habileté	50	57	107
Situation 1	1	Relations dynamiques identifiées	20	35	55
Total			70	92	162

Mais lorsque nous regardons le contenu des réponses des élèves, le développement de cette perception ne semble pas être dépendant de l'une ou l'autre des habiletés. Bien que l'identification des relations dynamiques (habileté 5) semble *a priori* dépendre de l'habileté à identifier les relations entre les composants (habileté 2), les réponses ne vont pas forcément dans ce sens. L'élève est capable d'identifier les relations dynamiques sans indiquer les relations des composants.

Par exemple, Roxanne reste sur l'habileté des relations dynamiques à l'intérieur du système dans le cas de la situation 1 et de la situation 2 :

Quand on pratique une activité sportive, mon organisme s'accélère tel que le cœur bat plus rapidement. La respiration s'accélère, les poumons se gonflent plus rapidement.

Alors qu'Yvan reste sur les relations entre les composants du système :

Quand on fait du sport, notre fréquence cardiaque s'accélère parce que notre corps a besoin de plus d'oxygène pour alimenter les muscles et l'oxygène est véhiculé par le sang dans le corps.

D'un côté, les relations dynamiques semblent comprises par Roxanne, qui s'attarde sur les effets du sport sur l'organisme, mais sans avancer de lien entre les composants eux-

mêmes. De l'autre, Yvan explicite les relations entre la fréquence cardiaque et le transport d'oxygène, mais ne développe pas l'augmentation de la respiration.

Nous pouvons exprimer, des différentes réponses des élèves, que la question sur le sport est sujette à des différences d'interprétations. Soit l'élève reste sur une réflexion plus sensorielle et de ce fait, exprime des relations dynamiques entre l'augmentation des battements du cœur et l'augmentation du débit respiratoire. Soit il se concentre sur le système et met en relation le but d'une augmentation de la fréquence cardiaque, à savoir le fait d'apporter plus d'oxygène aux muscles en mouvement.

La question semble être comprise différemment suivant les élèves. Est-ce un simple effet d'interprétation de la part de l'élève ou le fait qu'il ne possède que l'une ou l'autre des habiletés ? Il est difficile de donner une explication claire à cette réponse, dans le sens où certains élèves répondent à cette question soit en déployant les deux habiletés, soit en n'en déployant aucune. Ou encore que des élèves comme Flore utilisent ces habiletés pour répondre à la question sur l'importance de la circulation sanguine, mais ne réutilisent pas cette perception pour le sport. Il est délicat à première vue d'arriver à une conclusion sur l'utilisation de cette perception chez l'élève. Ce que nous pouvons avancer, par contre, est que lorsque l'élève est capable de s'informer sur la circulation sanguine, avec les ateliers, il est capable de déployer cette perception dynamique plus aisément et de l'intégrer à sa représentation.

La perception cyclique semble beaucoup plus problématique pour les élèves. L'habileté d'organiser les composants et les processus dans un cadre de relations (habileté 3) est présente dans un premier temps dans 28 réponses à la situation 1, puis dans 47 réponses à la situation 2. Bien que cela représente un taux d'amélioration de 67 %, l'habileté 3 n'est présente que chez 29 % des élèves à la situation 2, ce qui traduit une difficulté pour l'élève d'utiliser ou d'appréhender cette habileté 2.

L'habileté de faire des généralisations (habileté 4) se retrouve chez 33 élèves à la situation 1 et 51 élèves à la situation 2 (55 % d'amélioration). L'habileté 7, enfin, est celle qui connaît la plus forte évolution puisqu'elle passe de 1 élève à 45 élèves (4 400 % d'amélioration). À l'instar de ces constatations, le test de McNemar révèle une signification plutôt faible pour l'habileté 3 ($\chi^2 = 7,902$, $p = 0,005$, Tableau 14), mais une signification forte pour l'habileté 7 ($\chi^2 = 42,023$, $p = 0,000$, Tableau 15), et non significative pour l'habileté 4³¹.

Les élèves semblent à même d'intégrer la nature cyclique des systèmes présents dans la circulation sanguine et de définir cette dernière comme composée de plusieurs cycles.

C'est le cas d'Hubert qui indique que :

Les nutriments sont apportés pas le système digestif et l'O₂ par le système respiratoire.

Tout comme la perception dynamique, il ne semble pas y avoir de continuité dans la réflexion de l'élève. La compréhension d'une habileté n'est pas *sine qua non* au développement d'une autre. Un élève peut très bien ne démontrer qu'une seule des trois habiletés, ou l'habileté 3 associée à la 7, la 4 associée à la 3, et ainsi de suite.

³¹ Pour rappel, les tableaux non significatifs n'ont pas été intégrés dans cette thèse afin d'éviter de surcharger le tout.

Tableau 14. Habileté 3 : Organisation relationnelle. Tableau croisé des effectifs entre les deux situations

		Habileté 3 Situation 2					
		Code	0	1	2	3	Total
Habileté 3 Situation 1	0	Aucune habileté	104	17	9	4	134
	1	Seulement les composants	9	6	3	6	24
	2	Seulement les processus	1	1	0	0	2
	3	Les deux	1	1	0	0	2
Total			115	25	12	10	162

Tableau 15. Habileté 7 Compréhension cyclique. Tableau croisé des effectifs entre les deux situations

		Habileté 7 Situation 2			
		Code	0	1	Total
Habileté 7 Situation 1	0	Aucune habileté	117	44	161
	1	Relations cycliques identifiées	0	1	1
Total			117	45	162

Seul un élève, Mathieu, démontre dans ses réponses une perception cyclique totale du système, et ce, seulement à la situation 2 :

La circulation sanguine est à la base de tous les échanges qui se passent dans le corps humain. C'est grâce à la circulation sanguine que nos muscles reçoivent du dioxygène et des nutriments, ainsi qu'ils rejettent du dioxyde de carbone. C'est le cœur qui permet d'avoir du sang qui circule plus ou moins vite. Ce sont les poumons qui permettent l'apport du dioxygène et le rejet du dioxyde de carbone à partir du sang. Enfin, c'est l'intestin grêle qui permet l'apport de nutriments dans le sang. Mais attention, comme le système dessert tout le corps humain, le moindre sucre, le moindre gras, le moindre tabac et un effort sportif auront des répercussions plus ou moins importantes sur tout notre organisme.

La comparaison entre la situation 1 et la situation 2 nous amène à penser que la perception cyclique semble « à portée » de compréhension pour une majorité d'élèves, au moins pour certaines des habiletés la composant. De plus, suite aux ateliers, 44 élèves sont capables de comprendre par eux-mêmes le fait que la circulation sanguine est un cycle composé de sous-cycles. Il semble que des élèves de seconde soient aptes à aborder la circulation sanguine d'un point de vue systémique et d'en déduire les caractéristiques cycliques qui en font un système complexe, et ce, *a priori*, sans aide extérieure et sans leçon de la part de l'enseignant.

Cette vision systémique reste à modérer du fait que la perception temporelle semble très délicate à comprendre pour les élèves, ou du moins à expliciter. Cette perception ne se retrouve, sous la forme de l'habileté 6, à savoir les dimensions cachées du système, que chez 6 élèves de plus au niveau de la situation 2.

En outre, les 4 élèves qui ont indiqué cette habileté lors de la situation 1 ne se retrouvent pas dans les 10 qui l'ont exprimée lors de la situation 2. Ceci peut renforcer notre

interprétation de la difficulté pour des élèves de seconde soit d'appréhender cette habileté, soit de la retranscrire par écrit. Nous pouvons également supposer que l'absence de cette perception, notamment avec l'absence totale de l'habileté 8, « penser temporellement », peut provenir de l'interprétation des questions posées aux élèves puisqu'aucune de leurs réponses n'envisageait l'utilisation de cette perception pour l'élève, du moins pas explicitement. Nous revenons sur cette perception dans le chapitre V portant sur la discussion des résultats.

Au vu de l'ensemble des résultats révélés ci-dessus, nous pouvons mettre en avant plusieurs constats qui nous serviront dans notre discussion :

- Dans un premier temps, des élèves de seconde semblent capables de développer une compréhension de la complexité d'un système d'un point de vue systémique en utilisant au moins trois perceptions différentes pour une majorité d'entre eux : la perception structurelle, la perception dynamique et la perception cyclique inhérente à la complexité.
- Dans un second temps, les perceptions semblent suivre un continuum dans l'élaboration de la réflexion de l'élève quant au système. Il semble que la perception structurelle soit une base nécessaire pour accéder à la perception dynamique puis à la perception cyclique.

De plus, à l'intérieur de la perception structurelle, l'élève semble développer en premier lieu une habileté à identifier les composants d'un système, puis viennent l'habileté d'identifier les processus et enfin l'association des deux, pour aboutir à la perception complète.

Nous allons maintenant aborder la partie concernant les résultats obtenus pour les croyances épistémiques à partir des réponses données aux questionnaires lors de la situation 1 (*Appendice D*).

4.2 Les croyances épistémiques démontrées par les élèves

L'épistémologie personnelle (l'ensemble des croyances épistémiques) a été observée à la suite de la passation d'un questionnaire comportant 26 questions sous forme d'échelle de Likert constituée des échelons 1 à 5, l'échelon 5 représentant l'accord total à l'affirmation proposée. Ce questionnaire comportait quatre dimensions : la source du savoir (cinq questions), la certitude du savoir (six questions), le développement du savoir (six questions) et la justification du savoir (neuf questions). L'alpha de Cronbach est respectivement de 0,80, 0,58, 0,72, 0,60. Il est à noter que les deux premières dimensions étant inverses dans le questionnaire, nous avons décidé, de manière à faciliter l'analyse, d'inverser les scores des élèves lors de la transcription des affirmations 1 à 11. Ainsi, un score élevé renvoie à un plus haut niveau dans la hiérarchie des croyances épistémiques pour toutes les dimensions considérées.

La moyenne de chaque dimension témoigne que les élèves possèdent, dans l'ensemble, des croyances épistémiques sophistiquées puisqu'ils ont répondu au-dessus de 3, en moyenne, pour chacune d'entre elles (Tableau 16), la source étant la dimension dont le score est le moins élevé avec 3,22, et le développement étant la dimension dont le score est le plus élevé avec 4,30.

Les dimensions dont les corrélations sont significatives positivement entre elles sont d'un côté la source du savoir en lien avec la certitude, et de l'autre côté, le développement avec la justification du savoir. On observe également une corrélation positive entre la certitude du savoir et le développement, comme l'indique le Tableau 17.

Tableau 16. Dimensions épistémiques : Comparaison des moyennes et écarts-types
(N=167)

Dimensions	Moyenne de la dimension (écart-type)
Source	3,22 (.80)
Certitude	3,92 (.53)
Développement	4,30 (.43)
Justification	4,07 (.37)

Tableau 17. Dimensions épistémiques : Corrélations

Variable	1	2	3	4
1. Source	1	0,344**	0,192	0,161
2. Certitude		1	0,368**	0,120
3. Développement			1	0,241**
4. Justification				1

** p < 0,01

La source et la certitude s'associent, car elles mettent en jeu des entités épistémiques similaires. La source peut supposer le recours à l'autorité, la certitude renvoyant quant à elle à une croyance absolutiste. De l'autre côté, le développement du savoir et la justification renvoient tous deux à la vérification empirique, à l'observation. Ces dimensions semblent liées par une certaine forme d'empirisme. De plus, notre étude exprime une corrélation entre la certitude et le développement, ce qui peut s'expliquer par fait que ces deux dimensions se rapportent à la nature de la connaissance.

La prochaine section va permettre d'analyser les réponses des élèves pour chacune des dimensions étudiées.

4.2.1 La source du savoir

Pour cette première dimension, il s'avère que les élèves remettent quelque peu en question l'hégémonie de la détention du savoir par les scientifiques. Pour plus de la majorité d'entre eux (questions 1 et 5, moyenne de 3,22), les scientifiques ne sont pas omniscients en ce qui concerne les sciences ; ils ne détiennent pas la vérité absolue. Certains vont jusqu'à refuser toute autorité des scientifiques, ce qui rejoint l'un des impératifs de Bachelard concernant le refus de l'argument d'autorité.

Au sujet des informations scientifiques présentées dans des livres, les élèves sont plutôt mitigés sur leur véracité (questions 2 et 4, moyenne de 3). Il est néanmoins intéressant de remarquer que lorsqu'il est question de croire les informations contenues dans un livre, un peu plus de la moitié des élèves leur accordent une certaine véracité (question 2, moyenne de 2,79), alors que lorsque la question indique de lire ces informations, ils sont plus à même d'envisager la non-véracité de ce qu'ils lisent (question 4, moyenne de 3,19). Il semblerait que pour des élèves de cet âge, il existerait une différence entre croire « sur parole » et le fait de se retrouver confrontés aux informations qu'ils lisent par eux même.

Enfin, vis-à-vis du savoir de l'enseignant, les élèves possèdent des opinions très mitigées (question 3, moyenne de 2,96) sur l'autorité de celui-ci quant à la véracité de ce qu'il exprime quant à la certitude de son savoir.

4.2.2 **La certitude du savoir**

La deuxième dimension fournit des résultats qui convergent avec ceux de la première dimension. Les élèves font état d'un désaccord avec l'existence de « la » bonne réponse en sciences (questions 6, 7 et 10, moyenne de 3,92) et le fait que la nature de la connaissance est immuable. Pour eux, la science ne détient pas « la » bonne réponse. Le savoir détenu par les scientifiques est également remis en question par les élèves, et ce, tant au niveau de l'autorité qu'ils peuvent dégager que sur la concertation entre eux dans le but de valider la connaissance scientifique (questions 8, 9 et 11, moyenne de 3,94).

4.2.3 **Le développement du savoir**

Pour cette troisième dimension, les élèves affirment clairement que le savoir scientifique évolue avec le temps (questions 12 à 17, moyenne de 4,30). Ils remettent principalement en question la stabilité en science (question 12, et 15, moyenne de 4,38), du fait que de nouvelles découvertes peuvent admettre une remise en cause les connaissances actuelles (question 16, moyenne de 4,49). Il faut sans cesse concéder à une mise à jour les livres scientifiques puisque le savoir des scientifiques peut être remis en cause.

4.2.4 **La justification du savoir**

La quatrième et dernière dimension met en évidence l'importance que les élèves accordent à propos de la vérification expérimentale (questions 18 à 26, moyenne de 4,07). Cette idée serait d'ailleurs la base de l'investigation scientifique pour les élèves et c'est elle qui permettrait la mise en place d'expérimentations multiples et variées (questions 19, 21 et 23, moyenne de 4,22), les élèves démontrant ainsi un certain sens de la preuve.

Deux affirmations de cette dimension portent plus spécifiquement sur le rôle des scientifiques dans la construction des connaissances (questions 22 et 25, moyenne 4,02), rejoignant ainsi la dimension de la source du savoir, mais surtout le doute que les élèves entretiennent à l'égard de l'autorité du scientifique. Pour ces deux affirmations : « Les bonnes idées en sciences peuvent provenir de n'importe qui, pas uniquement des scientifiques » et « Les idées en sciences peuvent provenir de tes propres questionnements et de tes propres expériences », 75 % des élèves estiment que les scientifiques ne sont pas les seuls à pouvoir faire des sciences et donc à œuvrer pour le développement de la connaissance.

Au vu de l'analyse des résultats de ces quatre dimensions, nous pouvons entrevoir que les élèves possèdent une vision de la science assez évoluée puisqu'ils estiment que celle-ci ne cesse de progresser, ce qui constitue une relative vérité. Le savoir scientifique se doit d'être justifié par des expériences multiples et il n'est pas l'apanage des seuls scientifiques, leur autorité étant clairement remise en cause par les élèves à travers les diverses dimensions qui se chevauchent et se superposent les unes aux autres. Néanmoins, les réponses aux deux premières dimensions (la source et la certitude) présentent une certaine ambivalence, surtout pour la première (la source). Il est possible que les affirmations, posées avec une valeur statistique négative, puissent avoir désarçonné les élèves.

La prochaine section traite des résultats portant sur la représentation d'un système complexe.

4.3 La représentation par les élèves d'un système complexe

Dans cette partie, nous traitons les analyses effectuées afin d'interpréter la représentation de l'élève à propos de la circulation sanguine. Nous détaillons de façon systématique les résultats des situations 1 et des situations 2. Il est utile de rappeler que la situation 1 nous permet de connaître la représentation initiale de l'élève avant la passation des ateliers. C'est cette représentation qui nous sert de support de base dans le but de comprendre le raisonnement mis en place par l'élève dans la construction d'un système complexe. Cette analyse permet d'exposer les changements qui sont survenus entre les deux situations. Nous réservons les explications plausibles pour le chapitre V.

La représentation de l'élève a été caractérisée en fonction de deux analyses distinctes. Dans un premier temps, nous explicitons les représentations de l'élève en fonction de la complexité du schéma produit aux situations 1 et situations 2. Cette analyse est ensuite complétée par une autre sur le caractère holistique de la représentation de l'élève de même que sur la vision systémique qu'il possède de la circulation sanguine.

4.3.1 La complexité de la représentation chez les élèves

Le modèle mental est analysé en fonction des schémas réalisés par les élèves aux différentes situations. Ces schémas ont été catégorisés en fonction des critères établis par Azevedo, Cromley et Seibert (2004). Nous posons la question suivante : « Explicité en quoi la circulation sanguine est le système le plus important du corps humain et comment elle est reliée aux divers systèmes du corps humain. Il est important que tu te serves d'un schéma permettant de démontrer le rôle central de la circulation sanguine. »

Il est à noter que dans la suite du texte, le terme de « modèle mental » qui est employé renvoie à la représentation de l'élève, comme nous l'avons défini dans le chapitre II.

L'utilisation de ce terme provient du nom donné à l'outil créé par Azevedo, Cromley et Seibert (2004), qui le définissent de la façon suivante :

un modèle mental est une représentation mentale interne de certains domaines ou d'une situation qui prend en charge la compréhension, la résolution de problèmes, le raisonnement et la prévision dans les domaines riches en connaissances, y compris le système circulatoire (p. 347).

Pour la situation 1, un total de 162 schémas a été catégorisé³². Comme l'indique le Tableau 18, une partie des élèves interrogés possèdent une représentation initiale très élémentaire. Ils sont 28 (16,3 %) à ne schématiser qu'une simple idée du concept, à savoir, le sang qui circule. La grande majorité des élèves (78,4 %) ont une représentation initiale qui implique une boucle simple : le sang partant du cœur et circulant dans le corps, en passant ou non par des organes (selon la catégorie). Ils sont 99 (61,1 %) à concevoir la circulation sanguine comme une boucle simple, avec, pour 4 d'entre eux, un lien avec au moins un système du corps humain (digestif ou excréteur, voire un organe non nommé), auquel on rajoute 28 élèves (17,3 %) qui indiquent que le sang passe par les poumons. Le concept de double circulation (codé sous l'appellation « double boucle »), ce qui constitue la représentation scientifique enseignée en classe de seconde, est abordé par seulement 2 élèves. Et il est à noter que l'un d'eux est un redoublant.

³² Les catégories ont été établies au point 3.6.2 et sont développées à l'*Appendice L*. Quelques exemples sont présentés à l'*Appendice Q*.

Tableau 18. Caractéristiques du modèle mental des élèves à la situation 1 : Effectifs

Code	Caractéristique du modèle mental Situation 1	Effectif	%
0	Aucune production	5	3,1
11	Concept global de base	22	13,6
12	Concept global avec un but	6	3,7
21	Boucle simple de base	61	37,7
22	Boucle simple avec but	34	21
23	Boucle simple avancée	4	2,5
31	Boucle simple avec poumons	10	6,2
32	Boucle simple avec poumons avancé	9	5,6
33	Boucle simple avec poumons avancé 2	9	5,6
41	Concept de double boucle	1	0,6
42	Double boucle de base	1	0,6
	Total	162	100,0

Tableau 19. Caractéristiques du modèle mental des élèves à la situation 2 : Effectifs

Code	Caractéristique du modèle mental Situation 2	Effectif	%
0	Aucune reproduction	7	4,3
11	Concept global de base	8	4,9
21	Boucle simple de base	35	21,6
22	Boucle simple avec but	15	9,3
23	Boucle simple avancée	8	4,9
31	Boucle simple avec poumons	33	20,4
32	Boucle simple avec poumons avancé	33	20,4
33	Boucle simple avec poumons avancé 2	13	8,0
41	Concept de double boucle	4	2,5
42	Double boucle de base	4	2,5
51	Double boucle avancée 1	1	0,6
52	Double boucle avancée 2	1	0,6
	Total	162	100,0

L'analyse de la situation 2 révèle qu'ils ne sont plus que 8 élèves indiquant que le sang circule (codé Concept global de base). La notion d'une boucle simple reste présente pour 58 élèves (35,8 %, Tableau 19). À cette notion, nous pouvons rajouter 79 élèves (48,8 %) qui mentionnent le passage du sang par les poumons. Seuls 9 élèves (5,5 %) possèdent une représentation faisant intervenir la notion de double circulation et établissent des liens entre les divers systèmes du corps humain.

Si nous comparons les modèles mentaux des élèves à travers un tableau croisé (Tableau 20), nous pouvons remarquer que pour une grande majorité d'élèves, le modèle mental évolue vers une complexification. Cette évolution est par ailleurs significative lorsque nous effectuons le test de Wilcoxon de rang signé ($Z = - 6,334$; $p = 0,000$). 96 élèves

(58,5 %) ont amélioré leur score entre les deux situations. Il y a bel et bien un changement de la représentation qu'un élève se fait d'un système complexe entre les deux situations. La plus grande progression a été le passage d'une catégorisation en boucle simple avec un but (Code 22) à une catégorisation en concept de double boucle (Code 41).

En conclusion, il apparaît que la représentation de la circulation sanguine chez un élève de seconde reste assez éloignée de la représentation scientifique qui lui est enseignée, qu'il devra apprendre. Il semble difficile pour l'élève d'accéder de lui-même à la représentation telle qu'elle lui sera apprise avec la notion de double boucle. La connexion entre la circulation sanguine et les poumons semble difficile à schématiser, même si l'élève indique que le sang transporte du dioxygène. Entrevoir la notion de double boucle devient plus complexe encore. De plus, le lien entre la circulation sanguine et les autres systèmes du corps est peu compris, excepté comme un simple arrêt afin d'apporter l'oxygène ou les nutriments aux muscles, par exemple. La notion d'échange, d'interconnexion semble très délicate à appréhender pour l'élève, ou du moins à être représentée schématiquement. Il n'est pas rare que l'élève indique l'apport de nutriments aux muscles, mais sans en mentionner la provenance.

Tableau 20. Caractéristiques des modèles mentaux des élèves : Tableau croisé entre les deux situations

Code	MM2												Total	
	0	11	21	22	23	31	32	33	41	42	51 Double boucle avancée 1	52 Double boucle avancée 2		
0	Aucune production	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
11	Concept global de base	2	2	4	1	0	9	2	2	0	0	0	0	22
12	Concept global avec un but	0	0	1	1	0	1	3	0	0	0	0	0	6
21	Boucle simple de base	3	1	24	7	3	9	9	3	1	1	0	0	61
22	Boucle simple avec but	0	2	2	4	4	6	9	4	2	1	0	0	34
MM1	23	Boucle simple avancée	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	4
	31	Boucle simple avec poumons	0	1	3	0	0	4	2	0	0	0	0	10
	32	Boucle simple avec poumons avancé	0	0	0	1	0	2	3	1	0	1	0	9
	33	Boucle simple avec poumons avancé 2	0	0	0	0	0	1	4	2	1	1	0	9
	41	Concept de double boucle	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	42	Double boucle de base	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Total		7	8	35	15	8	33	33	13	4	4	1	1	162

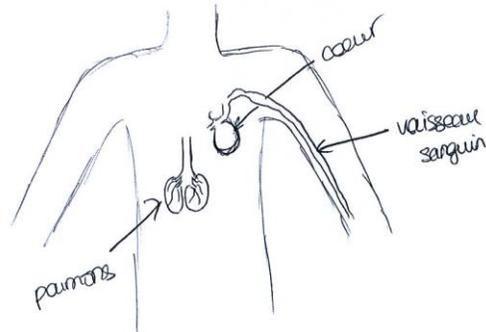
4.3.2 Le caractère holistique de la représentation chez les élèves

Les réponses aux situations 1 et situations 2 des élèves ont été catégorisées en fonction des critères établis par Hmelo-Silver *et al.* (2007) en prenant en compte le schéma produit, ainsi que les textes accompagnant ces derniers. Cette analyse nous permet de hiérarchiser l'élève en fonction de la compréhension systémique qu'il possède de la représentation d'un système complexe.

La représentation égocentrique (codée 10) se définit comme une compréhension élémentaire des systèmes impliqués. Les systèmes sont censés exister indépendamment, et leurs connexions ne sont pas comprises. Nous avons décidé de catégoriser les élèves qui, soit comme Valère, n'indiquent aucun autre système et donc aucune autre connexion :



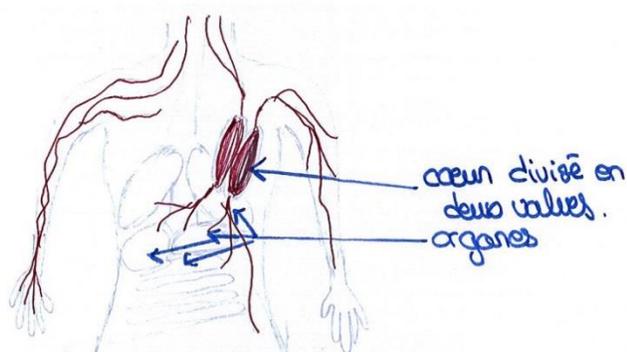
ou comme Amélie, qui indique bien d'autres organes, mais sans relation :



Les vaisseaux sanguins permettent d'apporter du sang au cœur et donc de le faire battre.

La représentation en simple système (codée 20) situe la circulation sanguine comme un système central avec une compréhension par l'élève d'autres systèmes, mais sans qu'il ne perçoive les relations fonctionnelles. C'est le cas d'Émilie qui écrit :

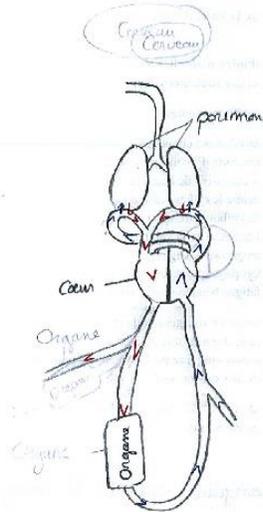
La circulation sanguine part du cœur, c'est pour cela qu'il bat, pour pomper et évacuer le sang vers les autres organes et muscles. C'est le sang qui transporte les besoins des muscles et organes. Puis, après avoir fait le tour du corps, il revient dans le cœur et puis est expulsé dans le corps. Le cerveau a besoin de sang pour fonctionner. Sans les vaisseaux sanguins, aucun organe ne marcherait et on ne pourrait pas vivre.



Nous percevons bien ici le fait qu'elle considère la circulation sanguine comme essentielle au corps humain, et qu'elle conçoit que le sang « transporte les besoins des muscles et organes ». Néanmoins, les relations fonctionnelles ne semblent pas perçues ou explicitées, que ce soit dans le schéma ou dans la réponse écrite, contrairement à Hiliias, par exemple qui indique une relation entre les poumons et le coeur :

La circulation sanguine apporte le sang riche en O_2 aux organes (muscles, cerveau, etc.) et ramène le sang pauvre en O_2 aux poumons. Le sang est propulsé dans tout le corps grâce aux pulsations du cœur. Les organes transforment l' O_2 en énergie, ce qui permet leur fonctionnement, et rejettent du CO_2 .

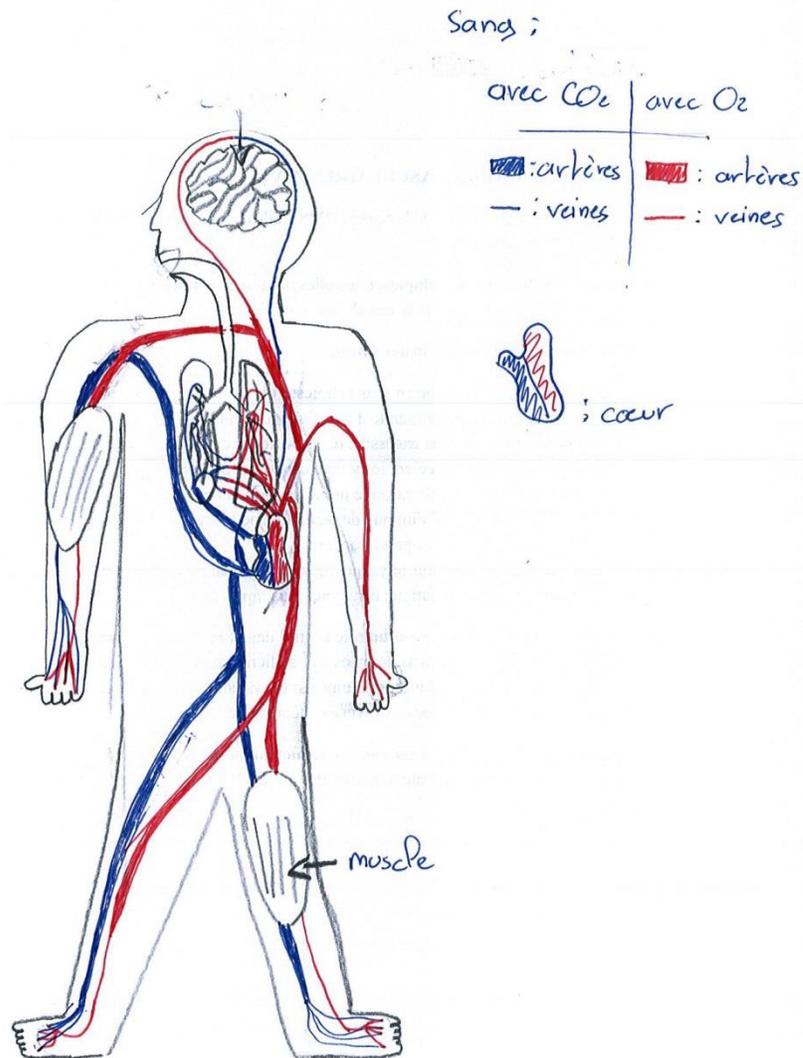
- > sang riche en O_2
- > sang pauvre en O_2 et riche en CO_2
- ↕ échange d' O_2 et de CO_2 dans le sang



Ce dernier décrit bien les relations entre les différents organes à la fois dans les interactions qui s'y déroulent et dans les comportements. La représentation de cet élève a donc été catégorisée comme système global. À la suite de l'analyse de contenu de toutes les situations, nous nous sommes rendu compte qu'aucun élève

n'atteignait une représentation pragmatique, c'est-à-dire une vision systémique de la circulation sanguine. Le cas d'Hilias s'en rapproche, mais nous constatons que la description qu'il fait est encore trop séquentielle dans son approche.

Comme il existait des disparités entre des élèves qui n'indiquaient des relations qu'entre un seul système et d'autres qui en indiquaient plusieurs, nous avons divisé le code « système global » en deux. La catégorisation dans le système global 1 (codée 31) renvoie à une compréhension de relations fonctionnelles avec un seul système, c'est le cas d'Hilias. Le système global 2 évoque une compréhension des relations fonctionnelles avec au moins deux systèmes. C'est par exemple le cas d'Alex, qui lui indique en plus de la relation poumons/cœur, l'apport de l'oxygène aux muscles et le retour du CO₂ aux poumons :



À partir de l'analyse du caractère holistique 1 (CH1) issue des réponses de la situation 1, il apparaît que la compréhension systémique de la circulation sanguine de l'élève reste peu appréhendée. Sur les 162 élèves ayant répondu, un total de 154 (95,1 %) possèdent une compréhension non systémique de la circulation sanguine. 67 d'entre eux (41,4 %) ne possèdent aucune compréhension d'un système complexe, 52 (31,1 %) estiment que les systèmes existent indépendamment les uns des autres, et 35 (21,6 %) n'établissent aucune relation fonctionnelle entre les divers systèmes du

corps humain en liaison avec la circulation sanguine. Seuls 8 élèves (5 %) ont une vision plus globale de la circulation sanguine, mais leur compréhension de l'interdépendance et des interactions s'effectuant à travers le système dans son entier reste séquentielle (Tableau 21).

Tableau 21. Caractère holistique de la représentation des élèves à la situation 1 :

Effectifs			
Code	Caractère holistique	Effectifs	%
0	Aucune représentation	67	41,4
10	Égocentrique	52	32,1
20	Simple système	35	21,6
31	Système global 1	3	1,9
32	Système global 2	5	3,1
Total		162	100,0

Tableau 22. Caractère holistique de la représentation des élèves à la situation 2 :

Effectifs			
Code	Caractère holistique	Effectifs	%
0	Aucune représentation	14	8,6
10	Égocentrique	45	27,8
20	Simple système	59	36,4
31	Système global 1	34	21,0
32	Système global 2	10	6,2
Total		162	100

Lorsque nous analysons les réponses données à la situation 2, nous constatons que le caractère holistique 2 (CH2) des élèves a progressé (

Tableau 22). Ils sont 119 (73,5 %) à avoir une compréhension non systémique de la circulation sanguine comme système complexe. Mais ils sont désormais 45 (27,8 %) à estimer que les systèmes sont indépendants les uns des autres, et 59 (36,4 %) d'entre eux sont à même de comprendre qu'il existe une certaine incidence des divers systèmes sur la circulation sanguine, mais sans toutefois l'appréhender dans sa totalité.

L'élément notable est le fait qu'ils sont 44 (27,2 %) à avoir développé une vision globale de la circulation sanguine avec une certaine compréhension des interdépendances et des interactions entre les différents systèmes, à la fois dans leur comportement et dans leur fonction (soit une progression de 450 %). Il est néanmoins important de souligner qu'aucun élève n'a réussi à développer un point de vue d'« expert », c'est-à-dire caractérisé par une vision holistique hiérarchique ou pragmatique de la représentation, avec un système élaboré de façon systémique dans son comportement et dans ses connexions.

Nous pouvons néanmoins exprimer, en regardant le tableau croisé (Tableau 23), que les élèves progressent entre les deux tests. Le caractère holistique de leur représentation évolue vers une meilleure vision systémique du système de la circulation sanguine. Cette différence entre les situations 1 et situations 2 est significative, comme le souligne le test de Wilcoxon ($Z = - 8,634$; $p = 0,000$). Le nombre d'élèves ayant changé positivement de caractère holistique sur leur représentation est plus important que le nombre d'élèves ayant changé négativement.

Tableau 23. Caractère holistique (CH) de la représentation des élèves entre les deux situations : Tableau croisé

Code		CH2					Total	
		0	10	20	31	32		
CH1	0	Aucune représentation	10	26	22	8	1	67
	10	Égocentrique	3	11	25	11	2	52
	20	Simple système	1	8	12	10	4	35
	31	Système global 1	0	0	0	2	1	3
	32	Système global 2	0	0	0	3	2	5
Total			14	45	59	34	10	162

La compréhension de la circulation sanguine s'affine, mais elle reste pour la majorité des élèves très difficile à assimiler dans sa globalité, dans ses relations et ses interdépendances qui se déroulent en son sein.

Un dernier point qu'il paraît utile de considérer est la forte corrélation que nous retrouvons entre ces deux variables (Tableau 24).

Tableau 24. Modèle mental (MM) et Caractère Holistique (CH) : Corrélations

Variable		1	2	3	4
1.	MM1	1	0,708***	0,387***	0,333***
2.	CH1			0,406***	0,397***
3.	MM2				0,640***
4.	CH2				1

*** $p < 0,001$

MM1 : Modèle mental à la situation 1 ; MM2 : Modèle mental à la situation 2

CH1 : Caractère Holistique à la situation 1 ; CH2 : Caractère Holistique à la situation 2

Si nous associons les scores aux modèles mentaux et le caractère holistique pour chaque situation, nous obtenons de fortes corrélations. Pour la situation 1, la corrélation de Spearman est de $r = 0,708$ ($p = 0,000$), et de $r = 0,640$ ($p = 0,000$) pour la situation 2. Il apparaît qu'il existe un lien entre la complexité de la représentation de l'élève et son caractère holistique.

Dans la partie suivante, les raisonnements des élèves sont étudiés, c'est-à-dire leur façon de concevoir et d'appréhender la complexité du système.

4.4 La description de la circulation sanguine comme système complexe

Cette partie vient en complément de l'analyse de contenu effectuée au point 4.1, et elle permet de la mettre en relation avec des éléments plus statistiques concernant la compréhension d'un système complexe à l'aide du modèle élaboré par Hmelo-Silver et Pfeffer (2004).

4.4.1 Le modèle « Structure, Comportement, Fonction » (SCF)

L'analyse en fonction du modèle SCF porte sur les réponses données aux situations 1 et situations 2. Nous avons également relevé les résultats des réponses au cahier de science, permettant ainsi de comprendre les éléments que l'élève juge pertinents de prendre en compte lorsqu'il est confronté à la complexité d'un système. En mettant en lien les réponses au cahier de science et les réponses aux situations, cette analyse aide à comprendre la réflexion élaborée par l'élève.

Les élèves semblent avoir une compréhension plus grande de ce qui fait la structure d'un système complexe, de ses composants (Tableau 25). Ils ont annoté un plus grand nombre d'éléments structurels, que ce soit pour les situations 1 (3,15 en moyenne) ou pour les situations 2 (3,48 en moyenne), avec un maximum de neuf structures distinguées. Les moyennes correspondant au nombre de comportements ou de fonctions explicités par les élèves sont relativement basses. Elles sont de 0,69 élément annoté au niveau de la situation 1, et atteignent 0,94 élément de moyenne pour la situation 2 dans le cas des comportements, avec un maximum de quatre comportements exprimés. Pour les fonctions, les moyennes sont de 0,67 à la situation 1 et 1,19 à la situation 2 avec un maximum de 5 fonctions révélées. Néanmoins, lorsque nous réalisons un tableau croisé pour chacune des dimensions (tableaux 26 à 28, ci-dessous), nous percevons que le score de l'élève augmente majoritairement entre les deux situations.

Tableau 25. Caractéristiques du Modèle SCF des représentations d'élèves aux deux situations : Statistiques descriptives (N=162)

	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum
Structure situation 1	3,15	1,45	0	7
Structure situation 2	3,48	1,59	0	9
Comportement situation 1	0,69	0,59	0	3
Comportement situation 2	0,94	0,77	0	4
Fonction situation 1	0,67	0,75	0	3
Fonction situation 2	1,19	1,00	0	5

Tableau 26. Modèle SCF : Score des Structures aux deux situations. Tableau croisé

		Structure situation 2										Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Structure situation 1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	3
	1	0	4	4	2	4	0	0	0	0	0	14
	2	0	2	7	7	14	7	1	1	0	0	39
	3	1	5	10	19	6	2	2	1	0	0	46
	4	0	0	4	4	13	5	4	1	1	1	33
	5	0	0	4	4	3	3	1	2	0	0	17
	6	1	0	1	1	1	2	0	0	0	0	6
	7	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	4
Total		3	12	30	38	43	21	8	5	1	1	162

Tableau 27. Modèle SCF : Score des Comportements aux deux situations. Tableau croisé

		Comportement situation 2					Total
		0	1	2	3	4	
Comportement situation 1	0	25	29	6	1	0	61
	1	19	54	15	3	1	92
	2	2	2	4	0	0	8
	3	0	1	0	0	0	1
Total		46	86	25	4	1	162

Tableau 28. Modèle SCF : Score des Fonctions aux deux situations. Tableau croisé

		Fonction situation 2					Total	
		0	1	2	3	4		5
Fonction situation 1	0	35	27	16	1	0	0	79
	1	12	17	24	5	0	1	59
	2	1	7	9	4	1	0	22
	3	0	0	1	1	0	0	2
Total		48	51	50	11	1	1	162

Cependant, le test de Wilcoxon de rang signé révèle que l'évolution entre les situations 1 et situations 2 n'est significative que pour le comportement ($Z = -3,539$; $p = 0,000$) et la fonction ($Z = -6,105$; $p = 0,000$). Il est faiblement significatif pour les structures ($Z = -2,257$; $p = 0,024$; $p < 0,05$). Le nombre d'éléments annotés est certes supérieur pour les structures composant les systèmes, mais les élèves progressent de façon beaucoup plus significative sur les comportements et les fonctions entre les deux situations.

Par l'analyse sur le cahier de science, nous avons relevé pour les trois éléments (Structure, Comportement, Fonction) ce que les élèves ont écrit pour chaque atelier. Nous avons trois scores différents, un score pour l'atelier sur le système respiratoire, un autre pour l'atelier sur le système cardiovasculaire et un dernier qui correspond au total des deux. Le Tableau 29 établit un récapitulatif des moyennes obtenues. Il est essentiel de rappeler que le but du cahier de science était de fournir aux élèves tous les éléments leur permettant d'appréhender un système complexe et d'essayer de comprendre sur quels éléments ils portent leur attention dans le but de construire le concept de circulation sanguine.

Tableau 29. Caractéristiques du Modèle SCF des représentations d'élèves aux cahiers de science : Statistiques descriptives (N=162)

	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum
Structure système respiratoire	4,71	2,484	0	13
Comportement système respiratoire	0,86	0,690	0	5
Fonction système respiratoire	0,61	0,904	0	4
Structure système cardiovasculaire	2,94	1,747	0	11
Comportement système cardiovasculaire	0,22	0,444	0	2
Fonction système cardiovasculaire	0,75	0,761	0	3
Structure totale	7,64	3,426	0	20
Comportement total	1,08	0,821	0	5
Fonction totale	1,36	1,251	0	6

Ce tableau nous permet d'établir les mêmes remarques que précédemment. La structure d'un système complexe est ce que l'élève semble le mieux à même de comprendre et qu'il annote plus facilement lorsqu'il répond aux questions posées. La moyenne générale pour les structures est de 7,64 avec un maximum de 20 structures différentes mentionnées par l'élève. L'écart avec les éléments annotés pour le comportement du système ou de sa fonction est également assez important puisque la moyenne est de 1,08 pour l'ensemble des comportements et 1,36 pour l'ensemble des fonctions.

Un autre élément qui semble important de relever est la grande différence entre les moyennes portant sur le système respiratoire et le système cardiovasculaire, et ce, quelle que soit la dimension considérée. Il apparaît que le système cardiovasculaire soit plus difficile à concevoir pour l'élève, au vu des faibles moyennes indiquées. Ceci pourrait expliquer les faibles scores aux situations 1 et situations 2. Si l'élève

connaît des difficultés à appréhender le système cardiovasculaire, qui est à la base de la circulation sanguine, cela expliquerait les difficultés rencontrées lorsqu'il lui est demandé d'exprimer la globalité du système.

Cette partie met en évidence que les dimensions portant sur le comportement et le fonctionnement d'un système complexe sont celles qui sont le moins citées et relevées par les élèves, et ce, même s'ils ont à leur disposition les informations nécessaires, comme cela a été le cas lors des ateliers.

Dans la partie suivante, nous allons mettre en relation les situations 1 et situations 2 avec le cahier de science afin d'essayer d'établir de possibles corrélations nous permettant d'estimer le raisonnement mis en place par l'élève dans sa construction du système complexe.

4.4.2 La variation du modèle SCF et l'impact du cahier de science

L'analyse pratiquée ici est assez particulière. Lorsque nous examinons l'impact du cahier de science sur la variation du score (aux structures, comportements et fonctions) entre les situations 1 et situations 2, il s'avère que cette dernière se répartit selon trois axes. Pour exemple, si nous effectuons un tableau croisé du score obtenu aux « Structures » de la situation 1 et de la variation entre les situations 1 et situations 2 (Variation Structures), comme indiqué dans le Tableau 30, nous constatons que lorsque le score initial de l'élève est bas, la variation est positive. Lorsque le score est haut lors de la situation 1, la variation est négative.

Tableau 30. Modèle SCF : Score des Structures à la situation 1 et variation du score aux deux situations. Tableau croisé

		Variation Structures											Total
		-6	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	
Score structure situation 1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	3
	1	0	0	0	0	0	4	4	2	4	0	0	14
	2	0	0	0	0	2	7	7	14	7	1	1	39
	3	0	0	1	5	10	19	6	2	2	1	0	46
	4	0	0	0	4	4	13	5	4	1	1	1	33
	5	0	0	4	4	3	3	1	2	0	0	0	17
	6	1	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	6
	7	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	4
Total		1	2	7	16	21	47	24	24	14	4	2	162

Cette particularité se retrouve également lorsque nous prenons en compte les scores aux « Comportements » et aux « Fonctions ». Nous avons décidé d'effectuer les analyses en tenant compte de ces paramètres. De fait, en vue de vérifier la correspondance entre les scores au cahier de science et la variation entre les situations, nous avons analysé les corrélations en regroupant les groupes d'élèves selon ces principes.

Dans le cas de la « Structure », nous avons divisé les élèves en trois groupes. Ceux dont le score à la situation 1 était compris entre 1 et 2, ceux dont le score était de 3 à 4, et enfin ceux dont le score était de 5 à 6. Les scores extrêmes ont été occultés délibérément, car il ne peut y avoir de variation négative quand le score initial est de 0 ou de variation positive quand le score est de 7.

Le test de Wilcoxon de rang signé a été appliqué pour les trois groupes dans le but de confirmer les regroupements que nous avons perçus. Pour le premier et le dernier groupe, nous obtenons les résultats respectifs suivants : $Z = -5,539$, $p = 0,000$ et $Z = -3,072$, $p = 0,002$. Dans le cadre du second groupe, le résultat n'est pas significatif, ce qui est aisément compréhensible puisque nous comptons 24 variations négatives, 23 variations positives et 79 dont le score reste identique. À partir de ces groupes, le test de Pearson est effectué afin de démontrer s'il existe une corrélation entre le score obtenu au cahier de science et la variation du score aux Structures entre les deux situations. Ce test donne une corrélation significative ($p < 0,05$) pour le premier et le deuxième groupe seulement (respectivement $r = 0,311$, $p = 0,23$ et $r = 0,251$, $p = 0,031$).

Ainsi, il apparaît que les questions posées lors du cahier de science permettent aux élèves de mieux comprendre la circulation sanguine, principalement pour ceux ayant un score initial faible ou modéré aux « Structures ». Lorsque nous appliquons la même procédure sur la catégorie « Comportement », nous constatons que le score des « Comportements » au cahier de science ne possède aucune incidence, quelle que soit la variation.

Par contre, nous retrouvons une incidence significative pour le score de la catégorie « Fonction » ($p < 0,05$). Il est à noter que pour cette catégorie, seuls deux groupes ont été créés au vu du petit effectif. Pour le premier, le test de Wilcoxon de rang signé démontre une valeur significative ($Z = -6,748$, $p = 0,000$). Pour le second, le test de Wilcoxon n'est pas significatif, l'effectif de 24 personnes n'étant pas assez important pour une bonne utilisation du test (5 élèves qui ont une variation positive, 9 élèves une variation négative, et 10 élèves aucune variation). Le coefficient de Pearson est relativement faible : respectivement $r = 0,192$, $p = 0,28$ et $r = -0,476$, $p = 0,022$. Nous

remarquons que pour le deuxième groupe, le coefficient est négatif, ce qui sous-entend qu'un faible score au cahier de science entraîne une augmentation de la variation positive.

D'après ces constatations, il semble que l'exercice du cahier de science possède une incidence sur la représentation des élèves pour certaines caractéristiques d'un système complexe. Mais ces incidences sont particulières, dans le sens où elles dépendent du score initial de l'élève en fonction de la catégorie analysée. Nous discutons de cette particularité dans le chapitre suivant.

Dans la section suivante, nous développons les analyses qui mettent en relations les différentes variables que nous venons d'aborder.

4.5 Mise en relations entre croyances épistémiques, représentation du système complexe et pensée systémique

Dans cette partie, nous ne détaillons pas toutes les manipulations que nous avons effectuées pour mettre en relation les différentes variables. Nous explicitons les seuls résultats qui nous semblent significatifs pour notre recherche de manière à répondre aux objectifs. Il convient d'ajouter que les analyses prennent en compte le « niveau initial » de l'élève pour chacun des éléments. Par exemple, lors d'une analyse de régression sur l'impact des dimensions épistémiques sur l'évolution de la représentation de l'élève, nous avons pris en compte le score de l'élève qu'indiquait l'analyse de la situation 1.

Dans le cadre de notre recherche, nous souhaitons comprendre le raisonnement mis en place par l'élève lorsqu'il est confronté à un système complexe. De ce fait, nous

sommes obligé de partir de ce qu'il connaît, de ce qu'il se représente au premier abord. Nous ne pouvons passer sous silence les scores des situations 1 pour comprendre l'impact des différentes analyses.

4.5.1 Les croyances épistémiques et la représentation d'un système complexe

Les analyses doivent déterminer si les dimensions des croyances épistémiques possèdent une incidence sur la représentation qu'un élève se fait du système de la circulation sanguine comme système complexe.

Il s'est avéré que lorsque nous avons tenté d'établir des corrélations entre les dimensions et les analyses pratiquées sur la représentation, à savoir l'analyse de la représentation (nous utilisons ici la catégorisation effectuée au point 4.3.1, avec le score du modèle mental) et des caractères holistiques de ce modèle aux situation 1 et situation 2, qu'aucune corrélation n'a pu être établie, comme le distingue le Tableau 31, mise à part une faible corrélation entre la source et le modèle mental de la situation 2 ($r = 0,159$, $p = 0,043$).

Néanmoins, dans le but de mieux comprendre ces résultats, nous avons décidé de vérifier s'il existait une incidence, non plus avec la représentation de l'élève à un instant t , mais avec la variation des scores aux différentes analyses. Nous avons effectué un test de corrélation entre la différence du score obtenu par l'élève entre les situation 1 et situation 2 avec les dimensions épistémiques. En procédant de cette façon, nous trouvons une corrélation significative modérée négative entre la source et la variation du modèle mental ($r = -0,224$, $p = 0,004$). Nous avons alors procédé à une régression linéaire pour déterminer la variance. Dans un premier temps, nous avons évalué la qualité du modèle de régression en procédant à une analyse ANOVA (Tableau 32). Nous constatons à la lecture du tableau que la valeur F est fortement

significative ($F = 9,434$, $ddl = 5$, $p = 0,000$), ce qui établit que nous avons moins de 0,1 % de chance de nous tromper en affirmant que le modèle contribue à mieux prédire la variation de la représentation.

Tableau 31. Dimensions épistémiques, modèles mentaux (MM) et caractère holistique (CH) : Corrélations

	MM1	MM2	CH1	CH2
Source	0,075	-0,159*	-0,024	-0,100
Certitude	0,027	0,029	0,082	0,121
Développement	0,027	-0,021	0,036	0,091
Justification	0,124	-0,029	0,083	0,104

*p < 0,05

Tableau 32. Analyse ANOVA de la qualité du modèle

Modèle		ddl	Moyenne des carrés	F	Sig.
Modèle 1	Régression	5	6,148	9,434	0,000 ^b
	Résidu	156	0,656		
	Total	161			

a. Variable dépendante : Variation du Modèle Mental

b. Valeurs prédites : (constantes), MM1, Source, Certitude, Développement, Justification

Par la suite, l'ajustement du modèle de régression aux données est présenté dans le Tableau 33. Les résultats nous permettent de confirmer que la variation de F est fortement significative ($p < 0,001$) et que le R^2 explique 23 % de la variance ($R^2 = 0,232$).

Tableau 33. Ajustement du modèle de régression

Modèle	R	R-deux	R-deux ajusté	Variation de R-deux	Changement dans les statistiques			Sig. Variation de F
					Variation de F	ddl1	ddl2	
Modèle 1	0,482 ^a	0,232	0,208	0,232	9,434	5	156	0,000

a. Valeurs prédites : (constantes), MM1, Source, Certitude, Développement, Justification

Enfin, le Tableau 34 affiche les résultats de la régression multiple des variables indépendantes (en l'occurrence les dimensions épistémiques) sur la variation du modèle mental. Cela nous permet de déterminer précisément quelle variable explique le mieux cette variance. En l'occurrence la source. Elle est la variable possédant le coefficient le plus significatif avec cette variation ($\beta = -0,217$, $t = -2,881$, $p = 0,005$).

Une fois cette observation effectuée, nous avons décidé de garder cette méthode pour les analyses suivantes. D'une part, en prenant en compte à la fois la variation des scores, et d'autre part, comme nous l'avons mentionné plus haut, en prenant en compte le score initial.

Tableau 34. Régression multiple des variables indépendantes sur la variation du modèle mental

Modèle	A	ET A	Bêta	t
(Constante)	2,233	1,267		1,762
Source	-0,242	0,084	-0,217	-2,881**
Certitude	0,126	0,132	0,075	0,957
Développement	0,204	0,341	0,045	0,600
Justification	-0,368	0,310	-0,085	-1,188
MM1	-0,501	0,090	-0,398	-5,667***

a. Variable dépendante : Variation de MM

** p < 0,01.

*** p < 0,001.

MM1 : Modèle mental à la situation 1

En suivant cette méthode, nous avons procédé à l'analyse du caractère holistique de la représentation en lien avec les dimensions épistémiques. Les résultats de l'analyse ANOVA démontrent une valeur de F fortement significative ($F = 13,956$, ddl = 5, $p = 0,000$), ce qui est confirmé par les résultats de l'ajustement du modèle de régression ($R^2 = 0,309$). Les dimensions épistémiques expliquent 31 % de la variance sur la variation du caractère holistique de la représentation. Néanmoins, la variable qui possède le plus fort coefficient de corrélation avec la variation du caractère holistique, soit la source, est non significative ici ($\beta = -0,139$ $t = -1,937$, $p = 0,055$).

D'après ces analyses, il est mis en évidence que seule la dimension de la source possède une incidence sur la représentation que l'élève élabore lorsqu'il est confronté à un système complexe. De plus, cette incidence semble négative dans le sens où, quand le score à la dimension diminue, la variation du modèle mental de la représentation augmente.

Dans la partie suivante, nous mettons en relation les résultats des diverses analyses qui nous permettent de comprendre le raisonnement établi par l'élève lorsqu'il doit appréhender un système complexe.

4.5.2 La réflexion de l'élève sur la compréhension d'un système complexe

Dans ce paragraphe, nous allons mettre en rapport la représentation de l'élève avec les caractéristiques résultant de la réflexion qu'il emploie pour appréhender un système complexe. Lorsque nous effectuons une analyse corrélationnelle entre la variation du modèle mental (Variation MM) et les variables exprimant la compréhension de l'élève sur la circulation sanguine (les habiletés employées ainsi que les catégories du modèle « Structure, Comportement, Fonction »), comme le présente le Tableau 35, nous obtenons des corrélations significatives essentiellement pour ce qui a trait aux perceptions d'un système complexe.

Tableau 35. Corrélations entre les variables (N = 162)³³

Variable	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Variation MM	0,492**	0,389**	0,305**	0,189*	0,311**	0,083	0,114	-0,426**
2. Variation structurelle		0,306**	0,270**	0,082	0,199*	0,214**	0,250**	-0,268**
3. Variation dynamique			0,127	0,043	0,200*	0,246**	0,146	-0,341**
4. Variation cyclique				0,064	0,092	0,121	0,235**	0,076
5. Variation temporelle					0,052	0,053	0,265**	0,064
6. Variation Structure						0,142	0,174*	-0,162*
7. Variation Comportement							0,020	-0,064
8. Variation Fonction								0,153
9. MM1								

*p < 0,05.

** p < 0,01.

Les variations au niveau de la perception structurelle, au niveau dynamique et au niveau cyclique ont toutes une signification à $p = 0,000$. Nous retrouvons également la variation au niveau des structures pour un même niveau de signification.

³³ L'ajout du modèle mental de la situation 1 (MM1) permet de respecter ce que nous avons explicité plus haut à savoir que la prise en compte de la représentation initiale de l'élève ne peut être occultée dans le cadre de notre recherche.

Dans le but de déterminer quelle perception semble la plus à même d'expliquer la représentation de l'élève, nous avons effectué une régression multiple hiérarchique entre ces différentes variables. Il en ressort six modèles différents permettant d'expliquer jusqu'à 44 % de la variance pour le modèle le plus complet (conforme au Tableau 36).

Tableau 36. Analyses de régression multiple hiérarchique prédisant la variation du modèle mental à partir des variations de la perception structurelle, dynamique, cyclique, temporelle et de la variation « Structure », « Comportement » et « Fonction » du modèle SCF

Modèle	A	ET A	Bêta	t
1 Variation structurelle	0,413	0,058	0,492	7,148***
2 Variation structurelle	0,342	0,056	0,407	6,067***
MM1	-0,398	0,084	-0,317	-4,722***
Variation structurelle	0,278	0,057	0,331	4,891***
3 MM1	-0,447	0,082	-0,355	-5,433***
Variation cyclique	0,275	0,074	0,242	3,696***
Variation structurelle	0,257	0,056	0,305	4,558***
4 MM1	-0,419	0,081	-0,333	-5,162***
Variation cyclique	0,263	0,073	0,231	3,600***
Variation Situation	0,085	0,031	0,175	2,796**
Variation structurelle	0,244	0,055	0,291	4,410***
MM1	-0,438	0,080	-0,349	-5,488***
5 Variation cyclique	0,257	0,072	0,227	3,597***
Variation Structure	0,082	0,030	0,168	2,724**
Variation temporelle	0,492	0,181	0,164	2,721**
Variation structurelle	0,223	0,056	0,265	4,005***
MM1	-0,389	0,082	-0,309	-4,724***
Variation cyclique	0,244	0,071	0,215	3,431***
6 Variation Situation	0,074	0,030	0,153	2,491*
Variation temporelle	0,478	0,179	0,159	2,669**
Variation dynamique	0,140	0,067	0,138	2,110*

Modèle 1 : $R^2 = 0,242$, $F = 51,090$, $p < 0,001$

Modèle 2 : $R^2 = 0,335$, $F = 40,095$, $p < 0,001$

Modèle 3 : $R^2 = 0,388$, $F = 33,410$, $p < 0,001$

Modèle 4 : $R^2 = 0,417$, $F = 28,092$, $p < 0,001$

Modèle 5 : $R^2 = 0,444$, $F = 24,871$, $p < 0,001$

Modèle 6 : $R^2 = 0,459$, $F = 21,926$, $p < 0,001$

* $p < 0,05$ ** $p < 0,01$. *** $p < 0,001$.

Il est intéressant de constater que la variation structurelle apparaît être la plus importante dans la représentation de l'élève. Par la suite, la perception cyclique vient s'ajouter à cette compréhension, puis la variation « Structure », qui se rapproche fortement de la perception structurelle du système, d'où probablement le faible écart de R^2 entre le modèle 3 et 4. Les variations temporelle puis dynamique viennent compléter ce modèle explicitant ainsi les 44 % de la variance observée. Ce qui est assez paradoxal est de voir la variation temporelle précédant la variation dynamique au vu du faible score à cette dimension pour la grande majorité des élèves.

Nous pouvons également relever que l'ajout du score MM1 n'est considéré qu'après la variable variation structurelle et qu'il est d'un coefficient négatif, ce qui nous renvoie à l'explication donnée plus haut comme quoi un faible score au MM1 entraîne une variation plus importante qu'un score initialement élevé.

Lorsque nous effectuons la même démarche, mais concernant la variation du caractère holistique de la représentation, les résultats divergent légèrement. Les corrélations sont désormais significatives ($p < 0,01$) entre la variation du caractère holistique et les variations structurelles ($r = 0,274$), dynamiques ($r = 0,468$), cycliques ($r = 0,274$), et significatives à $p < 0,01$ pour la « Structure » ($r = 0,219$) et la « Fonction » ($r = 0,191$). L'analyse de régression hiérarchique donne les résultats présentés dans le Tableau 37. On ne dénote ici que trois modèles permettant de démontrer jusqu'à 45 % de la variance. Contrairement à la variation du modèle mental, le score du CH1 est présent comme toute première variable explicative, mais de manière négative, tout comme le score au modèle mental de la situation 1. Par la suite, ce sont les variables cyclique puis dynamique qui interviennent, et enfin la variation de la « Fonction » du système.

Tableau 37. Analyse de régression multiple hiérarchique prédisant la variation du caractère holistique à partir des variations de la perception structurelle, dynamique, cyclique, temporelle et de la variation « Structure », « Comportement » et « Fonction » du modèle SCF

Modèle	A	ET A	Bêta	t
1 CH1	-0,576	0,073	-0,528	-7,869***
2 CH1	-0,620	0,068	-0,569	-9,148***
Variation Cyclique	4,319	0,786	0,341	5,492***
3 CH1	-0,508	0,071	-0,467	-7,114***
Variation Cyclique	3,789	0,769	0,300	4,930***
Variation Dynamique	2,751	0,744	0,243	3,698***

Modèle 1 : $R^2 = 0,279$, $F = 61,913$, $p < 0,001$

Modèle 2 : $R^2 = 0,394$, $F = 51,681$, $p < 0,001$

Modèle 3 : $R^2 = 0,444$, $F = 42,075$, $p < 0,001$

* $p < 0,05$.

*** $p < 0,001$.

MM1 : Modèle mental à la situation 1 ; MM2 : Modèle mental à la situation 2

CH1 : Caractère Holistique à la situation 1 ; CH2 : Caractère Holistique à la situation 2

Pour conclure cette partie, nous percevons que les caractéristiques de la représentation de la circulation sanguine chez l'élève semblent dépendre de certaines habiletés que l'élève démontre de la compréhension d'un système complexe. Néanmoins, en fonction de la manière dont la circulation sanguine est abordée, soit d'un côté structurel, soit d'un côté plus systémique, les habiletés engagées sont différentes.

Dans la partie suivante, nous mettons en relation les dimensions épistémiques avec la compréhension que l'élève se fait de la circulation sanguine comme système complexe. Comme nous venons de le voir, les habiletés que l'élève semble engager dans la construction de la circulation sanguine divergent. Nous essayons de

déterminer si les croyances épistémiques des élèves sont responsables de ces disparités.

4.5.3 Les croyances épistémiques et la réflexion de l'élève sur l'élaboration d'un système complexe

Cette analyse s'est effectuée en deux étapes, d'un côté la mise en relation des dimensions épistémiques, avec d'une part les résultats d'analyses portant sur les caractéristiques de la perception d'un système complexe, et d'autre part avec les résultats provenant du modèle « Structure, Comportement, Fonction ».

L'exploitation des résultats entre les dimensions épistémiques et la perception du système, et en reprenant la même démarche qu'au point 4.5.2, restitue des valeurs significatives pour certaines dimensions (la source et la certitude). Dans le cadre de la perception structurelle du système complexe ainsi que pour la perception temporelle, aucune des dimensions ne semble avoir une incidence significative, bien que la prise en compte de ces dimensions explique 28 % de la variance ($R^2 = 0,281$, $F = 12,169$, $p < 0,001$) pour la perception structurelle et 30 % pour la perception temporelle ($R^2 = 0,308$, $F = 13,897$, $p < 0,001$). Mais ce pourcentage s'explique principalement par le fait que nous prenons en compte les scores de la situation 1, qui explique à eux seuls la variance observée.

Néanmoins, nous retrouvons une incidence significative lorsque la perception dynamique du système est prise en compte, comme le suggère le Tableau 38.

Tableau 38. Régression multiple des variables indépendantes sur la variation de la perception dynamique

Variable	A	ET A	Bêta	t
(Constante)	-0,544	0,714		-0,761
Source	-0,143	0,069	-0,130	-2,083*
Certitude	0,278	0,110	0,167	2,535*
Développement	0,050	0,133	0,024	0,377
Justification	0,19	0,147	0,079	1,297
Perception dynamique	-0,828	0,073	-0,671	-11,420***
Situation 1				

$R^2 = 0,468$, $F = 27,484$, $p < 0,001$

* $p < 0,05$.

*** $p < 0,001$.

La source ($\beta = -0,143$, $t = -2,083$, $p = 0,039$) et la certitude ($\beta = 0,278$, $t = 2,535$, $p = 0,012$) sont significatives lorsqu'elles sont intégrées au modèle, la certitude ayant par ailleurs un impact plus important que la source dans la variation de la perception dynamique de l'élève.

Ces deux dimensions se retrouvent de nouveau lorsque nous prenons en compte la variation de la perception cyclique (Tableau 39), la certitude ($\beta = 0,219$, $t = 2,648$, $p = 0,009$) étant plus significative que la source ($\beta = -0,157$, $t = -2,014$, $p = 0,046$).

Tableau 39. Régression multiple des variables indépendantes sur la variation de la perception cyclique

Variable	A	ET A	Bêta	t
(Constante)	-1,986	0,806		-2,463
Source	-0,157	0,078	-0,160	-2,014*
Certitude	0,327	0,123	0,219	2,648**
Développement	0,292	0,150	0,159	1,951
Justification	0,142	0,168	0,066	0,848
Perception cyclique	-0,292	0,087	-0,254	-3,180***
Situation 1				

$R^2 = 0,156$, $F = 5,769$, $p < 0,001$

* $p < 0,05$.

** $p < 0,01$.

*** $p < 0,001$.

L'épistémologie personnelle semble jouer un rôle sur la compréhension systémique d'un système complexe, notamment sur les dimensions cyclique et dynamique s'y déroulant. Cette observation est par ailleurs corroborée lorsque nous observons l'incidence des dimensions épistémiques en lien avec le modèle « Structure, Comportement, Fonction » (SCF).

Nous retrouvons des résultats similaires, notamment sur l'absence d'incidence, lorsque nous prenons en compte la catégorie « Fonction » du modèle. La variance, bien que significative, n'étant que de 14 % ($R^2 = 0,119$ $F = 4,208$, $p = 0,001$) est principalement due à la prise en compte du score « Fonction » de la situation 1 ($\beta = -$

0,437, $t = -4.505$, $p = 0,000$). Les dimensions deviennent significatives lorsque nous considérons les catégories « Structure » et « Comportement », comme l'indiquent les Tableau 40 et 41.

On y retrouve, d'une part, la source ($\beta = -0,197$, $t = -2,885$, $p = 0,005$) et la certitude ($\beta = 0,180$, $t = 2,519$, $p = 0,013$) pour la Structure, et d'autre part la justification pour le Comportement ($\beta = 0,140$, $t = 1,985$, $p = 0,049$).

Il est intéressant de noter que, comme pour la représentation d'un système complexe, la source possède une incidence significative négative. Plus le score de la source diminue, plus la variation, ici de la structure du modèle SCF mais également de la perception cyclique et dynamique, augmente. Ce qui n'est pas le cas pour l'incidence de la justification ou de la certitude.

Tableau 40. Régression multiple des variables indépendantes sur la variation de la structure du modèle SCF

Variable	A	ET A	Bêta	t
(Constante)	-0,223	1,656		0,134
Source	-0,451	0,158	-0,197	-2,865**
Certitude	0,626	0,249	0,180	2,519*
Développement	0,110	0,302	0,026	0,365
Justification	0,344	0,335	0,068	1,026
Structure Situation 1	-0,738	0,083	-0,573	-8,899***

$R^2 = 0,369$, $F = 18,271$, $p < 0,001$

** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Tableau 41. Régression multiple des variables indépendantes sur la variation du comportement du modèle SCF

Variable ^s	A	ET A	Bêta	t
(Constante)	-1,344	0,806		-1,668
Source	-0,106	0,077	-0,098	-1,370
Certitude	0,044	0,123	0,027	0,359
Développement	0,214	0,149	0,107	1,439
Justification	0,328	0,165	0,140	1,985*
Comportement Situation 1	-0,716	0,099	-0,492	-7,249***

$R^2 = 0,288$, $F = 12,640$, $p < 0,001$

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Pour achever cette partie, nous pouvons signaler que les dimensions épistémiques, pour certaines d'entre elles, paraissent posséder une incidence sur l'évolution à la fois de la représentation de l'élève, mais également sur le raisonnement qu'il établit pour aboutir à la compréhension des caractéristiques qui font de la circulation sanguine un système complexe.

4.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons tenu à évoquer les principaux résultats qui ressortent de notre étude. Certains faits ont été soulignés et mis en avant, car nous pensions qu'ils nous seraient utiles pour répondre aux objectifs de recherche définis dans le chapitre II.

D'un point de vue descriptif :

- Les croyances épistémiques des élèves de seconde renvoient à une vision assez évoluée de la science. Les scores aux différentes dimensions sont dans l'ensemble élevés et démontrent un certain sens de la raison, bien que cette dimension soit la plus faible de notre étude à l'égard de la source du savoir. Les élèves possèdent également une vision du développement qui semble basée sur l'évaluativisme (*evaluativism*), une certitude que le savoir est en évolution, et une justification du savoir devant être démontrée par un sens de la preuve. Les élèves sont très critiques face à la science, font preuve de scepticisme, d'évaluativisme et se détachent d'une épistémologie naïve et d'une vision purement rationaliste de la science.
- La représentation de l'élève d'un point de vue de sa transcription schématique reste assez éloignée de la représentation scientifique qui lui est enseignée à ce niveau scolaire.

- Les élèves de seconde semblent capables de développer une compréhension de la complexité d'un système d'un point de vue systémique en utilisant au moins trois perceptions différentes pour une majorité d'entre eux : la perception structurelle, la perception dynamique et la perception cyclique inhérente à la complexité. Ces perceptions semblent par ailleurs suivre un continuum dans l'élaboration de la réflexion de l'élève.
- L'élève semble également percevoir la circulation sanguine avant tout à travers ses structures. Les comportements et fonctionnements du système sont plus complexes à appréhender.

D'un point de vue exploratoire :

- Certaines croyances épistémiques semblent jouer un rôle sur l'évolution de la représentation de l'élève et sur le caractère holistique de celle-ci.
- Certaines croyances paraissent avoir une incidence sur la réflexion que l'élève se fait de la circulation sanguine, et la manière dont il l'appréhende, et ce, tant sur la façon dont il aborde la complexité du système, d'un point de vue structurel, que sur la façon d'appréhender la globalité du système, d'un point de vue systémique.
- Le raisonnement de l'élève sur l'élaboration d'un système complexe se fait surtout par le biais de l'utilisation des habiletés systémiques ; à la fois, sur la construction du schéma de la circulation sanguine, mais également sur l'explication que les élèves donnent sur l'importance de ce système. Les élèves restent dans une compréhension globale de la circulation sanguine et ont beaucoup plus de mal à intégrer la description précise des comportements et des fonctions spécifiques à un niveau plus microscopique.

Dans le chapitre suivant, nous entamons la discussion nous permettant de répondre à nos objectifs, tout en nous appuyant sur les résultats qui viennent d'être présentés.

CHAPITRE V

DISCUSSION

Ce chapitre a pour but de mettre en perspective les développements théoriques proposés au chapitre II, les objectifs de recherches et les résultats des analyses conduites au chapitre IV. Pour ce faire, la discussion reprend la même logique que le chapitre IV. Nous présentons dans un premier temps les résultats observés en les plaçant en parallèle avec notre cadre conceptuel, à savoir :

- la représentation d'un système complexe ;
- la pensée systémique ;
- l'épistémologie personnelle.

Puis, dans un second temps, nous traitons des conclusions qui découlent de cette mise en parallèle en fonction des objectifs de l'étude.

5.1 La représentation d'un système complexe

La représentation de la circulation sanguine est abordée dans une perspective de complexité d'un système. Nous avons tenté de prendre en compte jusqu'où un élève est capable d'appréhender la complexité en suivant les principes de Morin (2005). Afin d'aborder le principe de distinction, la représentation de l'élève a été catégorisée selon la complexité du schéma qu'il élabore, nous permettant ainsi d'entrevoir distinctement les éléments de la circulation mis en avant dans un cadre de relation. Nous regardons dans cette partie le produit de la représentation des élèves à travers la schématisation et le caractère holistique de ces représentations.

5.1.1 La représentation schématique

De prime abord, la schématisation de la circulation sanguine semble poser une difficulté conceptuelle pour des élèves de seconde. Si nous regardons les résultats, très peu d'élèves expriment une représentation qui se rapproche du concept scientifique qui leur est enseigné à ce niveau (*Appendice P*). En cause, la notion de double circulation.

Cette notion apparaît comme délicate à appréhender par les élèves principalement du fait que le cœur n'est pas considéré comme une pompe subdivisée en quatre cavités.

Or, cette compréhension structurelle est essentielle pour comprendre et expliciter la double circulation. Nous retrouvons ici la difficulté pour l'élève d'intégrer les connaissances anatomiques et la conceptualisation fonctionnelle de la circulation sanguine.

Nous pouvons néanmoins poser la question de savoir si cette représentation de la circulation constitue un réel intérêt fonctionnel pour l'élève, ce qui pourrait expliquer que bien qu'il se soit retrouvé confronté avec des informations sur la structure du cœur, il n'estime pas qu'elles soient suffisamment importantes pour être incluses dans sa représentation.

Mis à part cette difficulté, il existe une évolution significative de la complexité de la représentation schématique de l'élève entre les deux situations. L'une des principales complexifications que les élèves démontrent renvoie à la mention des poumons comme étant reliée à la circulation sanguine.

Dans le cadre de la situation 1, la majorité des élèves exprime que la circulation sanguine permet, à travers la circulation du sang, le transport de l'oxygène et du

dioxyde de carbone à travers le corps. Pourtant, les élèves ne citent que très rarement les poumons comme structure permettant à ces éléments d'arriver au niveau du sang. Or, lors de la situation 2, la mention des poumons, et le passage du CO₂ et de l'O₂ dans le sang (parfois avec l'annotation des alvéoles pulmonaires) est beaucoup plus présente. Nous sommes ici proche d'une « réorganisation du savoir » selon Bachelard (1967, p. 11), permettant la construction d'un savoir scientifique grâce à l'accès à des « principes de nécessité », dans le sens où l'élève ayant effectué une tâche sur le fonctionnement du système circulatoire, a peut-être entrevu la nécessité d'inclure les poumons dans le trajet du sang.

Néanmoins, bien que la mention des poumons devienne plus présente, l'élève développant peu la notion de double circulation, il intègre cet organe comme faisant partie d'une seule circulation. Il ne perçoit pas que la circulation pulmonaire est une circulation différente de la circulation systémique et qu'elle amène le sang veineux, par l'intermédiaire de l'artère pulmonaire provenant du ventricule droit, au contact des alvéoles pulmonaires pour le ré oxygéner et éliminer le gaz carbonique en excès, avant de retourner dans l'oreillette gauche par les veines pulmonaires. Puisque, comme nous l'avons mentionné précédemment, la structure particulière du cœur (le cœur droit et le cœur gauche contenant chacun deux espaces distincts : les oreillettes et les ventricules) est peu appréhendée, peu d'élèves font la différence entre les différentes artères ou veines.

Cette idée de la notion de nécessité semble renforcée à travers l'exemple des nutriments. Lorsque nous nous penchons sur l'annotation de l'apport « de nutriments » aux muscles par l'intermédiaire du sang, nous constatons que celle-ci est très présente à la fois dans les situations 1 et dans les situations 2. Mais elle est très rarement accompagnée de la mention des intestins ou du foie comme organes permettant au sang de s'approvisionner en nutriments. Nous pouvons supposer que

comme la digestion n'a pas été abordée lors des ateliers, les élèves n'estiment pas nécessaire de raccorder la circulation sanguine aux organes intervenant dans la digestion, et donc ne rajoutent pas une complexification supplémentaire à leur représentation. Ils ne représentent que ce qu'ils estiment nécessaire pour que leur représentation schématique soit fonctionnelle.

Une vision macroscopique de la schématisation

En se basant sur les résultats obtenus, l'élève est capable de schématiser une certaine complexité de la circulation sanguine, principalement à un niveau macroscopique, en faisant intervenir des relations spécifiques qui lui semblent essentielles entre certains organes et la circulation sanguine, lui permettant ainsi d'explicitier certaines caractéristiques qu'il schématise.

Cependant, la complexification de la représentation, par l'ajout de certaines relations, semble être indiquée pour une majorité d'entre eux, car elles ont été abordées à un moment de la recherche. L'élève s'est retrouvé confronté à des informations qu'il a jugées utiles d'être intégrées dans sa représentation.

Le fait d'aborder, par eux-mêmes, certains éléments de la circulation permet aux élèves de réfléchir sur leur représentation schématique et de rajouter des éléments qu'ils n'avaient pas intégrés lors de la situation 1, même si, dans l'ensemble, la complexité ajoutée est surtout macroscopique dans la relation entre la circulation sanguine et un organe, et non microscopique, au niveau cellulaire, par exemple. Est-ce dû à la question posée et au fait qu'il peut être difficile pour un élève de secondaire de représenter à un niveau microscopique les échanges sanguins à travers un schéma ? Ou est-ce dû au fait que l'élève semble réfléchir à un niveau macroscopique et qu'il ne voit pas la nécessité d'explicitier le niveau microscopique ?

Nous revenons sur ces questions lorsque nous élaborerons la réflexion de l'élève sur la compréhension d'un système complexe (point 5.3.3).

5.1.2 Le caractère holistique de la représentation

D'un point de vue holistique, la représentation des élèves de seconde montre une difficulté à percevoir la circulation sanguine dans toute sa totalité. Nous retrouvons ici les résultats soulevés par Hmelo-Silver *et al.* (2007) sur le fait que les élèves perçoivent le système complexe comme un système global. C'est-à-dire, dans le cas de notre étude, que la compréhension est centrée sur la circulation sanguine et que les élèves conçoivent que les autres systèmes (respiratoire, digestif, musculaire et endocrinien, pour une minorité d'élèves) interagissent avec la circulation sanguine.

Mais cette compréhension de l'interdépendance et des interactions entre les différents systèmes reste peu appréhendée au niveau fonctionnel et comportemental, pour la plupart d'entre eux. Par exemple, lors d'un effort, les élèves perçoivent que le rythme cardiaque augmente et que le besoin en oxygène étant plus important, la fréquence respiratoire augmente également. Mais ils ne semblent pas avoir l'idée que le volume d'air lors de la ventilation pulmonaire augmente, ni que les flux sanguins vont être différents en fonction des organes impliqués grâce à la vasodilatation et la vasoconstriction des vaisseaux sanguins.

Nous pouvons discerner une évolution du caractère holistique de la représentation entre les deux situations. Les élèves réalisent une progression dans la perception du système, mais ils ne dépassent pas cette représentation d'un système global du fait que les relations fonctionnelles et comportementales semblent difficiles à être appréhendées. Nous revenons sur les raisons qui peuvent expliquer ces résultats lorsque nous aborderons la réflexion de l'élève à travers le modèle « Structure, Comportement, Fonction » puisque les résultats observés à travers ce modèle

pourraient expliquer le fait que l'élève, au lieu d'utiliser une vision « microscopique » afin de bien comprendre la nature du système, semble plus à l'aise avec une vision « macroscopique ». Il ne semble pas s'attarder sur les fonctions et les comportements du système. Ceci expliquerait, par conséquent, cette difficulté de compréhension des relations fonctionnelles et comportementales qui lui permettrait d'accéder à une représentation d'un niveau holistique plus complexe.

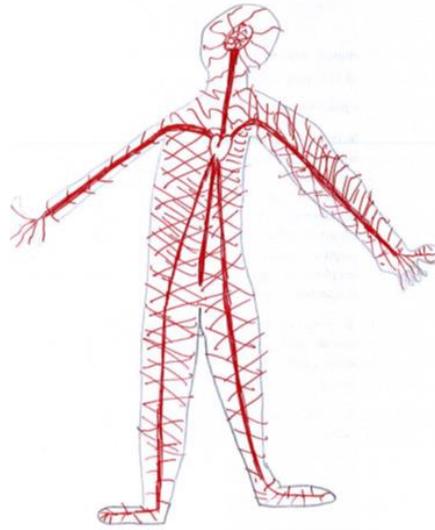
Nous observons également une forte corrélation entre la complexité de la représentation schématique et le caractère holistique de la représentation générale de l'élève. Il s'avère qu'au regard des résultats, il y a une dépendance entre ces deux représentations. Plus la représentation schématique est complexe, plus son caractère holistique sera « global ».

Nous pouvons même pousser le raisonnement, en accord avec López-Manjón et Postigo-Angón (2009), en estimant que les élèves qui possèdent un caractère holistique basé sur une compréhension du système global sont en majorité ceux qui démontrent une compréhension de la double circulation sanguine. Ils entendent le cœur comme une « double pompe » et indiquent à la fois la circulation systémique et la circulation pulmonaire (Dessin 3, Tableau 42). Les élèves possédant une vision de simple système conçoivent le cœur comme une pompe, mais ils indiquent une mauvaise relation entre le cœur et les poumons. Ils visualisent la circulation sanguine comme une circulation simple, partant du cœur et revenant au cœur après être passée par les divers organes. Le cœur n'étant pas perçu comme une « double pompe », ils ne peuvent concevoir la double circulation (Dessin 2, Tableau 42).

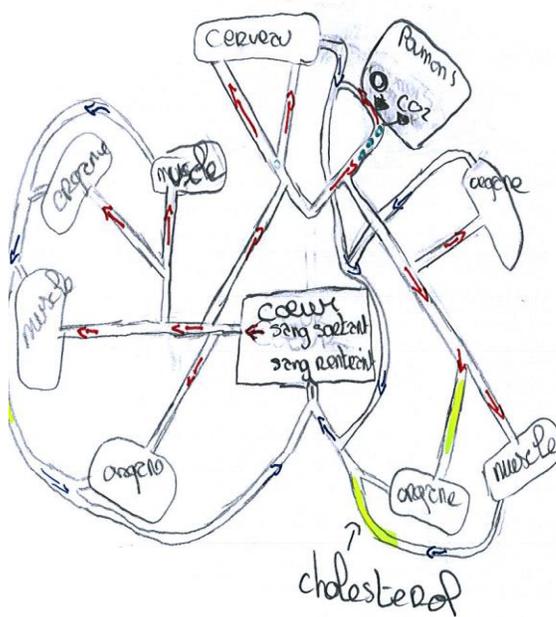
Enfin, les élèves dont le caractère holistique de la représentation est égocentrique ne représentent pas les poumons au niveau de la représentation schématique. Ils perçoivent le cœur comme une pompe, mais n'indiquent aucune relation avec aucun

un autre système (Dessin1, Tableau 42). Pour eux, le sang circule dans le corps grâce au cœur.

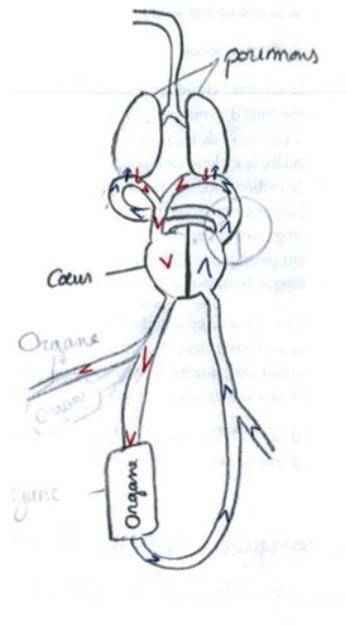
Tableau 42. Exemples de relation entre le caractère holistique et la complexité de la représentation



Dessin 1 : Caractère holistique égocentrique



Dessin 2 : Caractère holistique simple système



Dessin 3 : Caractère holistique système global

En résumé, au niveau du produit de la représentation, plusieurs points sont soulevés.

Dans un premier temps, nous pouvons exprimer que la représentation schématique de la complexité d'un système dépend de la vision holistique du système que possède l'élève. Plus la représentation schématique de l'élève est complexe, plus le caractère holistique de la représentation écrite sera important. Et inversement.

Dans un second temps, et ce point nous apparaît essentiel, c'est l'existence d'une congruence entre « l'augmentation » du caractère holistique de la représentation avec la connaissance systémique du cœur à travers son rôle, sa structure et son comportement.

Concrètement, cela signifie que plus la connaissance de l'anatomie et du fonctionnement du cœur sera complète, plus l'élève peut développer une vision holistique de la circulation sanguine et entendre la double circulation (circulation systémique et circulation pulmonaire). Cette observation sous-entend que si l'on souhaite élaborer une approche systémique de la circulation sanguine, il peut s'avérer judicieux de prendre comme point de départ la compréhension systémique du cœur.

La connaissance du cœur, à travers son fonctionnement, son comportement et sa structure, semble le point de départ pour que l'élève appréhende la notion de double circulation.

5.2 Les croyances épistémiques

Les résultats de cette étude démontrent que les élèves possèdent, dans l'ensemble, une vision assez évoluée de la science puisqu'ils ne croient pas à la détention du savoir par les scientifiques et ils affirment que la science change continuellement. Tout en indiquant que le savoir scientifique doit être justifié, les croyances épistémiques des élèves reflètent également une relativité de la vérité en science. Nous reprenons dans cette partie les croyances épistémiques une à une afin de dresser un portrait épistémique des élèves, ce qui nous permettra de préparer la mise en relation des croyances épistémiques avec la réflexion de l'élève et sa compréhension d'un système complexe.

5.2.1 La source du savoir

Dans le cas de la présente étude, la source du savoir (depuis « la connaissance est détenue par l'autorité » à « la connaissance provient de la raison ») est la dimension dont la moyenne est la plus basse. De plus, le fait que ce score soit plus faible que celui de Conley *et al.* (2004) – avec une moyenne de 3,68 – est particulier.

Notre population étant la plus âgée, nous devrions nous attendre à ce que les élèves soient plus matures et possèdent une croyance épistémique plus sophistiquée que des élèves de primaire. Ils devraient normalement se percevoir comme des sujets acteurs dans la construction du savoir. Or, il s'avère que ce n'est pas le cas, bien que la moyenne soit supérieure à 3 et se rapprochant d'une vision où la connaissance provient de la raison.

Il est cependant difficile d'expliquer la raison exacte de cette observation. Puisque les contextes diffèrent en fonction des recherches, par exemple, nous pouvons supposer que le rapport à l'autorité est plus important en France qu'aux États-Unis. Ou, puisque nous avons soulevé l'ambiguïté des réponses des élèves aux affirmations

portant sur les livres de science, que le problème vient du fait de croire « sur parole » versus être confrontés aux informations par eux-mêmes.

Il semble que les élèves de notre population possèdent un rapport à l'autorité qui les incite à concevoir la source du savoir comme pouvant provenir à la fois d'une autorité, mais également de leur propre raisonnement. Cela dépendrait du rapport qu'ils possèdent avec l'autorité en question, de la forme qu'elle revêt et de la façon dont elle est abordée.

5.2.2 La certitude du savoir

Contrairement à la source, les élèves possèdent une croyance épistémique plus sophistiquée en ce qui concerne la certitude. Ils conçoivent plus facilement la connaissance comme provisoire et évolutive. Elle n'est pas absolue et fixe. Pour eux, la science ne détient pas « la » bonne réponse, puisque celle-ci peut devenir erronée en fonction de l'avancement des connaissances.

5.2.3 Le développement du savoir

Cette dimension possède la moyenne la plus élevée comparativement aux autres recherches. Les élèves sont conscients que les connaissances scientifiques ne cessent d'évoluer. Ils remettent en cause leur stabilité. La différence avec les autres recherches peut s'expliquer, d'après Peer et Aputhasamy (2005), par l'approche utilisée pour enseigner la science aux élèves. Une approche basée sur une simple mémorisation des informations perçue comme une tâche à accomplir sans gratification pourrait être à l'origine d'une faible sophistication de la dimension du développement.

5.2.4 La justification du savoir

Bien que les élèves fassent preuve d'une croyance épistémique sophistiquée, ils obtiennent une moyenne inférieure pour cette dimension par rapport à l'étude de Conley *et al.* (2004). Le fait d'être conscient que la connaissance doit être justifiée par des preuves et des expérimentations joue probablement sur leur façon de comprendre les expérimentations qu'ils pratiquent dans le cadre de leurs cursus. Il est possible que cette différence s'explique par la façon dont les expériences scientifiques sont utilisées en classe. Tout comme la dimension du développement, si les expérimentations proposées sont réalisées de manière systématique, ils ont peu de chance de pouvoir enquêter et de trouver une solution à un problème (Peer et Aputhasamy, 2005).

Cette partie de la discussion sur les croyances épistémiques nous a permis de comparer nos résultats avec d'autres études utilisant le même questionnaire. Le but était de revenir sur nos résultats et sur ce qui pouvait expliciter les différences observées, mais également de mettre en avant que l'enseignement des sciences et le contexte auquel l'élève est confronté peuvent avoir une incidence sur les dimensions épistémiques. Ce fait sera à prendre en considération lorsque nous parlerons de l'incidence de ces croyances épistémiques sur la représentation.

Dans la partie suivante, nous discutons des résultats obtenus sur la réflexion de l'élève dans la construction d'une représentation d'un système complexe.

5.3 L'élaboration d'un système complexe

Les résultats nous permettant de discuter de la réflexion que l'élève engage lorsqu'il est confronté à un système complexe proviennent de deux instruments différents. Une catégorisation des élèves selon le modèle « Structure, Comportement, Fonction » (SCF) et une autre selon les habiletés systémiques qu'il déploie. Les résultats que nous évoquons au chapitre IV étant différents, à la fois suivant l'angle de la représentation utilisé, mais également en fonction de l'outil, nous traitons ces résultats de manière séparée.

Le modèle SCF sous-entend une compréhension descriptive de la circulation sanguine à un niveau que nous pouvons qualifier de « microscopique », alors que les habiletés systémiques renvoient à une compréhension plus « macroscopique » du système.

Dans un premier temps, nous revenons rapidement sur les différences observées quant aux outils, puis nous abordons, dans un deuxième temps, la réflexion de l'élève sur la compréhension d'un système complexe. Nous regardons ici le côté processus de la représentation, d'un point de vue microscopique avec le modèle « SCF » et macroscopique avec les habiletés systémiques.

5.3.1 Les caractéristiques de la pensée systémique

Notre recherche démontre que des élèves de seconde possèdent certaines des habiletés systémiques nécessaires pour aborder la circulation sanguine dans une perspective de complexité. Ils sont principalement capables de développer une pensée structurelle du système ainsi qu'une pensée dynamique.

À cela, nous pouvons ajouter que la pensée cyclique, même si elle est loin d'être acquise par tous, se développe principalement à travers le fait que la circulation sanguine est composée de sous-systèmes, eux-mêmes soumis à une cyclicité. À partir du moment où un élève est apte à comprendre ce principe, il semble plus à même d'utiliser cette pensée cyclique dans sa réflexion pour appréhender la circulation sanguine.

Il est à souligner que le développement de ces habiletés, principalement de la pensée dynamique et cyclique, s'est fait de manière individuelle à la suite de la réalisation des ateliers et de la lecture du dossier de presse. L'élève ayant à sa disposition différentes informations, il a développé par lui-même une réflexion en fonction des éléments qui lui étaient présentés et de ce qu'il jugeait pertinent afin d'appréhender la circulation sanguine dans sa globalité.

Le développement de ces habiletés n'était pas le but précis de notre recherche. Mais, au vu des résultats obtenus, nous pouvons émettre l'idée qu'il serait intéressant de mettre en place une recherche portant sur le développement de cette pensée systémique. Puisque l'élève est capable de développer par lui-même certaines habiletés systémiques, nous pensons qu'un apprentissage portant de façon plus intelligible sur les différentes caractéristiques d'un système complexe, à travers le contenu des habiletés et de ce qu'elles sous-entendent, permettrait une acquisition plus importante de la pensée systémique par des élèves de seconde.

Une recherche dans ce sens, basée sur une approche systémique du système, permettrait également de mieux comprendre les processus cognitifs que l'élève déploie afin d'appréhender cette approche systémique.

Cette approche d'un apprentissage systémique d'un système complexe a été utilisée dans une recherche de Ben-Zvi Assaraf, Dodick et Tripto (2013) qui portait sur le corps humain à la suite d'un enseignement spécifique sur l'homéostasie du corps. Leur étude porte sur les relations sous-jacentes d'un système complexe et les auteurs analysent les habiletés systémiques principalement du point de vue microscopique du système en prenant en compte la compréhension des relations moléculaires, biochimiques. Cette particularité d'approche fait que nos résultats, pour un même outil, divergent fortement de ceux de ces chercheurs. Ces derniers démontrent dans leur recherche que les élèves, à la suite de cet enseignement spécifique, possèdent une vision superficielle du corps humain.

Dans le cadre de notre recherche, nous avons adopté, pour cet outil, une vision d'un niveau hiérarchique supérieur, plus macroscopique du système. Nous cherchions à comprendre si des élèves de seconde étaient capables de concevoir la circulation sanguine d'un point de vue systémique global. Nous ne nous attendions pas à ce que les élèves utilisent forcément une approche moléculaire ou biochimique.

Les résultats observés démontrent l'utilisation de certaines habiletés systémiques de la part des élèves de seconde lorsqu'ils sont confrontés à un niveau hiérarchique plus macroscopique d'un système complexe. Il aurait été pertinent de pousser cette recherche à un niveau plus microscopique du système afin de vérifier si ces habiletés sont toujours présentes.

Cependant, notre étude appuie le fait que ces habiletés systémiques ne font pas forcément partie d'une réflexion d'un ordre supérieur, comme le suggèrent Sweeney

et Serman (2000), afin d'être optimales dans leur utilisation d'une compréhension d'un système complexe (Resnick, 1987). Nous rejoignons plutôt l'hypothèse de Kali *et al.* (2003), puisque nous retrouvons un continuum dans la pensée systémique de l'élève. La perception structurelle se développe avant la perception dynamique, qui elle-même précède la perception cyclique, complétant ainsi les résultats de Ben-Zvi Assaraf et Orion (2005, Figure 4, p. 74) qui démontrent que l'élève parcourt la pensée systémique selon un continuum au fur et à mesure des apprentissages.

De plus, nous pouvons ajouter qu'il semble exister un « sous-continuum » à travers la perception structurelle. Cette réflexion provient des résultats et de leur répartition à l'intérieur de la perception structurelle, en nous basant sur la définition de cette perception, à savoir l'habileté de l'élève à identifier les composants d'un système et les processus au sein d'un système. Nous avons décidé d'établir une catégorisation en trois sous-habilités : a) l'identification des composants, b) l'identification des processus, et c) l'association des deux.

Il nous est apparu que pour cette perception, l'élève se base dans un premier temps sur la structure du système afin de construire sa représentation.

Puis, dans un second temps, il se concentre sur les processus au sein du système qu'il va intégrer à sa représentation, mais en y délaissant les structures. Ce n'est qu'une fois que les processus paraissent bien compris que l'élève associe les deux pour compléter sa représentation.

Cette observation reste néanmoins à relativiser, comparativement à celle sur le continuum à travers les habiletés systémiques, du fait qu'il aurait probablement fallu une situation 3 pour déterminer de façon significative l'existence de ce « sous-continuum ». Nous avons principalement observé le passage de la sous-habilité a) à

la b), ou de la sous-habilité b) à la c). Il aurait fallu une dernière passation pour vérifier cette constatation.

Malgré tout, la présence du continuum à travers la pensée systémique démontre bien que cette pensée n'est pas une simple réflexion d'ordre supérieur. Elle se construit au fur et à mesure de l'apprentissage et de la compréhension du système par l'élève. Il faudrait maintenant définir le déroulement exact de cette pensée. Est-ce que l'élève la parcourt d'un bout à l'autre de manière continue, ou peut-il se promener le long de ce continuum ? Cette pensée est-elle dépendante de l'apprentissage et de la façon d'aborder la complexité ?

5.3.2 La description d'un système complexe

L'utilisation du modèle « Structure, Comportement, Fonction » (SCF) nous a permis d'affiner à un niveau plus microscopique la réflexion que l'élève se fait lorsqu'il construit une représentation d'un système complexe, c'est-à-dire que nous avons cherché à comprendre quels aspects du système lui paraissent important d'être utilisés dans sa représentation. Sur quelle(s) caractéristique(s) d'un système complexe l'élève base-t-il sa réflexion ? Nous ne sommes plus ici dans une perspective globale du système (comme avec la pensée systémique), mais dans une perspective plus fine, plus précise.

Tout comme les résultats de Hmelo-Silver et Pfeffer (2004), nous retrouvons les structures comme le niveau le plus accessible cognitivement pour les élèves, surtout les structures qui sont les plus saillantes pour la circulation sanguine (cœur, cerveau, poumons, muscles, sang, etc.). Cette observation est particulièrement marquante lors des réponses données aux ateliers.

Bien que l'élève soit en possession de documents portant sur un système spécifique (système respiratoire et système cardiovasculaire) et relatant des informations sur les

trois dimensions, il indique très peu de comportements ou de fonctions sur le système considéré.

Nous pouvons nous demander si cette faible utilisation cognitive de ces dimensions provient d'une difficulté de compréhension à partir du moment où la vision ne doit plus être seulement anatomique, mais physiologique ou biochimique. Ou est-ce dû au fait que la compréhension d'un système complexe suppose des habiletés cognitives, métacognitives et motivationnelles particulières (Hmelo-Silver et Azevedo, 2006) ?

Si l'on se maintient à cette dernière assertion et à nos résultats pour ce modèle particulier, nous serions tenté d'estimer que des élèves de seconde ne possèdent pas les habiletés cognitives pour appréhender de manière efficace un système complexe tel que la circulation sanguine. Cependant, si nous prenons en compte la présence des habiletés évoquées au point précédent, nous penchons plus pour mettre en avant une autre explication. Celle du niveau de complexité du système.

Dans le cas de cette analyse, nous sommes sur une vision beaucoup plus microscopique du système. Cette analyse suppose de la part de l'élève de comprendre la circulation sanguine à un niveau qui dépasse la simple description anatomique.

L'élève doit concevoir chaque élément selon les trois dimensions qui le composent en y faisant intervenir sa physiologie et sa fonctionnalité à travers le filtre du système dont il fait partie, et non plus indépendamment de celui-ci. L'effort cognitif pour appréhender la complexité du système est beaucoup plus important lorsqu'il faut considérer chaque partie, chaque élément au niveau macroscopique du système comme à son niveau microscopique.

Nous approchons ici de notions faisant référence à la biochimie, à une compréhension qui comprend différents niveaux hiérarchiques du système. C'est cette différence de

niveaux qui apparaît difficile pour l'élève à appréhender puisque même au niveau structurel, il reste sur un seul niveau hiérarchique.

Dans la partie qui suit, nous mettons les résultats observés pour les deux outils présentés ci-dessus en lien avec la représentation que l'élève élabore réellement. Ainsi, cela nous permet de comprendre comment l'élève élabore sa représentation de la circulation sanguine. Par ailleurs, cette section permet de répondre à l'objectif de recherche suivant :

- Décrire l'élaboration d'une représentation lors de la construction par l'élève d'un système complexe.

5.3.3 La réflexion de l'élève sur la compréhension d'un système complexe

Pour répondre à cet objectif, nous avons mis en lien les différentes représentations (schématique au point 5.1.1 et écrite au point 5.1.2) que l'élève a élaborées sur la circulation sanguine avec les différentes caractéristiques présentes dans ces réponses (perception systémique au point 5.3.1 et description de la complexité au point 5.3.2). Il en ressort plusieurs constats.

Lorsque la réponse de l'élève est donnée sous forme d'un schéma, la base de la réflexion se fonde sur les perceptions structurelles du système. L'élève va principalement se concentrer sur l'identification des composants et des processus qui se déroulent à l'intérieur du système afin de pouvoir élaborer sa représentation schématique.

Le fait intéressant provient de l'utilisation de l'habileté cyclique dans la réflexion sur l'élaboration de la représentation schématique. Il apparaît que cette habileté permet à l'élève de mieux appréhender et de retranscrire plus fidèlement son schéma. Si nous

considérons le fait que la circulation sanguine est un concept dont la base est cette notion de cyclicité, cela semble compréhensible.

Pourtant, cette habileté, bien qu'elle soit utilisée par un nombre plus important lors des situations 2 que pour les situations 1, reste peu appréhendée par les élèves. Si nous ajoutons que le schéma communément admis d'un point de vue scientifique – et représenté ainsi dans les livres de sciences (voir *Appendice P*) – fait intervenir la notion de double circulation et que cette représentation est peu exprimée par les élèves de seconde, nous nous retrouvons alors face à une difficulté conceptuelle qui paraît importante pour l'élève.

Or, et nous l'avons vu au point 5.3.1, la pensée systémique de l'élève s'établit selon un continuum faisant intervenir « dans l'ordre » la perception structurelle, la perception dynamique, puis la perception cyclique.

Le fait de ne pouvoir représenter facilement le dynamisme d'un système à travers un schéma pourrait ainsi expliquer la difficulté d'un élève à accéder par lui-même à cette double circulation.

La réflexion sur la complexité du système passant d'une perception structurelle à une perception cyclique dans la représentation schématique, sans passer par la perception dynamique, explique peut-être cette difficulté des élèves à représenter le schéma admis par la communauté scientifique et le résultat des recherches si nous nous en tenons à la simple observation d'une représentation schématique (Lopez-Manjon et Angon, 2009).

D'un point de vue holistique, les élèves de seconde possèdent une réflexion qui se base essentiellement sur la perception cyclique et dynamique. Ce qui va de soi étant donné que le caractère holistique de la représentation renvoie à la perception

systémique du système. Néanmoins, cette vision globale reste peu appréhendée par les élèves.

Pour preuve, aucun élève ne possède une vision pragmatique de la circulation sanguine. Pourtant, les résultats démontrent que la réflexion de l'élève s'affine avec une amélioration des habiletés systémiques entre les deux situations. L'élève est capable de développer les habiletés qui lui permettent d'appréhender le système d'un point de vue systémique.

Néanmoins, lorsque nous prenons la circulation sanguine d'un point de vue holistique, le fait que la perception temporelle ne soit pas appréhendée par les élèves les empêche certainement d'atteindre un niveau de compréhension qualifié d'expert (Hmelo-Silver *et al.*, 2007), tout comme le fait qu'ils ne pensent pas à un niveau microscopique. Or, c'est la relation entre le niveau « micro » et « macro » qui peut conduire à une meilleure habileté à résoudre les problèmes de la dimension temporelle (Hmelo-Silver *et al.*, 2000).

L'élaboration d'une représentation de la circulation sanguine semble soumise à plusieurs facteurs. D'un côté, au produit de la représentation, c'est-à-dire à la façon dont elle est exprimée. Les caractéristiques de la réflexion diffèrent en fonction d'une représentation graphique ou d'une représentation écrite. De l'autre, l'angle de vue porté sur la représentation de l'élève possède une importance en fonction de ce que le chercheur cherche à investiguer. La vision holistique semble, pour des élèves de seconde, trop complexe à appréhender si ceux-ci n'ont pas conscience des différents niveaux hiérarchiques à l'intérieur du système et qu'ils ne réfléchissent pas à un niveau microscopique.

Néanmoins, nous pouvons émettre la possibilité qu'un biais méthodologique peut-être à l'origine de cette observation. Les questions posées ne forçaient-elles pas l'élève à avoir une vision essentiellement macroscopique du système ?

Il est également important de rajouter que la réflexion élaborée par l'élève passe avant tout par un raisonnement basé sur la compréhension du système plus que sur sa description, et ce, peu importe le point de vue adopté.

Au vu des résultats, il semble que la description du système lui est utile pour lui permettre d'accéder à la base de la compréhension. Mais, par la suite, les dimensions qui sont privilégiées par l'élève se rapportent plus aux habiletés systémiques qu'il développe qu'à une description systémique du système. La description du système à travers les fonctions et le comportement est peu représentée à travers ses réponses.

Est-ce parce qu'il est difficile pour lui de décrire précisément ces particularités de la circulation sanguine ou parce qu'il ne répond que d'un point de vue global aux questions posées ?

Nous allons maintenant aborder l'incidence des croyances épistémiques sur les représentations de l'élève et sur la réflexion que construit ce dernier face à un système complexe.

5.4 L'incidence des croyances épistémiques

Contrairement à la recherche de Conley *et al.* (2004), nous avons pris le parti de regarder l'épistémologie personnelle non comme une entité à part entière, mais du point de vue des dimensions qui la composent.

L'incidence des croyances épistémiques de l'élève est étudiée dimension par dimension et non selon le profil épistémique³⁴ de l'élève. En outre, selon les résultats de notre étude, l'incidence des croyances épistémiques se révèle être différente en

³⁴ Le profil épistémique de l'élève est déterminé par Conley *et al.* (2004) en regroupant toutes les dimensions.

fonction de la manière de caractériser la représentation, soit du côté du produit de la représentation vu sous l'angle de la complexité ou de son caractère holistique, soit du côté des processus cognitifs avec la description systémique ou la compréhension systémique du système.

Avant de développer ces différentes observations, nous pouvons néanmoins admettre qu'au vu des résultats du questionnaire portant sur les croyances épistémiques et les corrélations entre les diverses dimensions, l'épistémologie personnelle possède une place prégnante dans l'esprit de l'élève qui apprend.

Cependant, l'incidence entre ces croyances épistémiques et la représentation d'un système complexe s'avère un défi de taille d'un point de vue empirique du fait qu'elle apparaît comme dépendante du contexte, comme le soulignent Franco *et al.* (2012).

Cette assertion est par ailleurs confortée par le fait que les croyances épistémiques possèdent un impact plus important lorsque nous regardons l'évolution des représentations entre les deux situations plutôt que sur la représentation prise à un instant t .

Notre discussion porte sur l'incidence des croyances épistémiques sur l'évolution de la représentation. L'incidence de chacune des dimensions est discutée en fonction de ces deux critères, s'il y'a lieu.

5.4.1 Croyances épistémiques et représentation

Il convient de rappeler que pour construire cette représentation, l'élève a eu en main des articles de presse ainsi qu'un accès à des logiciels de biologie. Même s'il n'y a pas eu désir de mettre en place un apprentissage, il est nécessaire de prendre en compte ce que représentent ces informations fournies. Les connaissances qu'il a pu acquérir sur la circulation sanguine peuvent faire preuve d'autorité au vu de leur caractère scientifique, le savoir qui y est inscrit est fixe et non changeant et ces connaissances sont justifiées grâce à des arguments censés être raisonnés et prenant en compte l'évolution de la science et des dernières découvertes. De ce fait, nous pensons que c'est principalement l'accès à ces documents qui font que certaines croyances épistémiques des élèves ont une incidence sur l'évolution de la représentation : « puisqu'en situation d'apprentissage, le processus métacognitif requiert un *monitorage* épistémique qui implique des jugements de validité ou de véracité concernant les informations recueillies » (Crahay et Fagnant, 2007, p. 80).

Dans le cadre de l'évolution de la complexité de la représentation (avec le score du modèle mental), un élève, qui manifeste une dimension de la source faible, présente une plus grande évolution dans sa représentation. Il semble que le fait qu'il définisse la connaissance comme provenant d'une autorité extérieure lui permet de prendre les informations qui lui sont présentées comme allant de soi. Elles sont pour lui plus accessibles et, donc, plus facilement intégrables dans sa représentation. L'élève possédant une dimension épistémique considérant la source de la connaissance comme issue des interactions entre individus, provenant de la raison, semble avoir plus de difficultés à intégrer ces connaissances à sa représentation de la complexité dans le schéma qu'il produit.

Le processus lié à l'acte de connaître joue donc un rôle par l'intermédiaire de la source. Les élèves tenant pour acquises les informations présentées par une autorité

sont plus à même de complexifier leur schéma de la circulation sanguine. Ils ne cherchent pas à remettre en cause ce qui leur est expliqué ou présenté, tandis que les autres élèves vont au contraire simplifier leur représentation schématique.

Du côté du caractère holistique de la représentation, nous ne retrouvons pas d'incidence de la source sur l'évolution de la représentation, ce qui semble particulier au vu des résultats de l'incidence des croyances épistémiques sur la réflexion de l'élève que nous abordons dans le point suivant. Il semble exister une différence entre la représentation qui est produite par l'élève et la réflexion qu'il engage pour arriver à cette représentation.

Cette constatation rejoint Gaillard et Urdapilleta (2013) qui expliquent que la mise en mot par l'écrit peut constituer un biais dans l'étude des représentations puisqu'un signifiant ne fait pas forcément référence aux mêmes signifiés. Nous pouvons supposer que la représentation décrite par l'élève lorsqu'il répond à une question n'est pas exactement celle qu'il a élaborée, dans le sens où les croyances épistémiques qui déterminent la représentation écrite par l'élève sont différentes de celles qui influent dans l'élaboration de cette représentation.

Concernant les autres dimensions épistémiques, ces dernières ne semblent pas statistiquement significatives dans l'évolution de la représentation de l'élève. Il apparaît qu'elles se manifestent ensemble afin d'expliquer la variance, mais aucune d'entre elles ne possède une incidence particulière.

Ainsi, si nous relient ce constat à notre premier objectif de recherche qui était :

- Identifier l'incidence de l'épistémologie personnelle d'élèves en fonction de son incidence sur les représentations,

nous pouvons conclure que les croyances épistémiques possèdent un impact limité sur l'évolution de la représentation écrite que l'élève exprime à travers ses réponses.

Seule la source se révèle significative dans cette évolution et seulement lorsqu'elle se rapporte à la représentation schématique de la circulation sanguine.

Nous insistons ici sur le côté schématique de la représentation. Nous estimons que l'incidence de ces croyances ne peut être extrapolée au-delà, dans le sens où les résultats positifs de la source sont obtenus uniquement sur la production du schéma et de l'évolution de celui-ci entre les deux situations. Certes, la production de schéma est une caractéristique courante en biologie, mais l'ajout de réponses écrites peut démontrer que l'élève possède une meilleure connaissance de la circulation sanguine qu'une simple production schématique. De plus, nous pensons que l'incidence de la source seule provient du rapport que cette croyance épistémique entretient avec la représentation schématique et les informations présentées aux élèves.

Le schéma permet d'organiser et d'interpréter l'information de façon symbolique et de façon réduite, principalement la structure du système puisqu'il est difficile pour l'élève de symboliser le dynamisme de la circulation et une partie de la cyclicité. Les informations relatées se concentrent sur des aspects précis et peuvent alors exclure des informations qui pourraient être jugées pertinentes, et ainsi contribuer à entretenir les stéréotypes de l'élève, puisqu'il est difficile de retenir de nouvelles informations qui ne sont pas conformes aux idées reçues.

Nous percevons cet aspect à travers le fait que la source possède une corrélation négative avec la variation de la représentation schématique. Cela sous-entend que

seuls les élèves qui vont reconnaître l'autorité comme source de savoir et qui sont en accord avec les informations présentées vont être aptes à les intégrer dans leur représentation. Les autres vont considérer que les informations données sont non pertinentes et vont à l'encontre de leur propre représentation schématique. Ils ne les intégreront pas à leur représentation.

Ainsi, nous estimons que la prise en compte des croyances épistémiques possède un intérêt plus important à partir du moment où elles sont considérées dans le cadre des processus cognitifs mis en place par l'élève, et non dans le but de déterminer le résultat d'une représentation et de son évolution entre deux situations.

5.4.2 Croyances épistémiques et réflexion

L'incidence des croyances épistémiques a été étudiée selon deux angles. D'une part, la compréhension du système complexe avec l'analyse des habiletés utilisées par l'élève, et d'autre part, la description du système à travers le modèle « Structure, Comportement, Fonction ».

Pour l'élaboration d'une description d'un système complexe, les croyances épistémiques possédant une incidence sur la construction sont différentes en fonction des éléments considérés. D'un côté, la source et la certitude influent sur la variation de la description des Structures du système. De l'autre, la variation de la description des Comportements dépend de la dimension de la justification.

Du point de vue de l'élaboration d'une compréhension de la circulation sanguine comme d'un système complexe, nous retrouvons également la source et la certitude pour les perceptions cycliques et dynamiques, bien que la certitude soit plus significative lorsque nous considérons la variation de la perception cyclique.

Le fait que la source soit significativement négative entraîne qu'un élève, reconnaissant l'autorité comme dépositaire du savoir, soit plus à même d'améliorer sa description des structures du système ou sa compréhension d'un point de vue cyclique et dynamique.

De même, le fait que les informations présentées soient considérées comme certaines entraîne, pour les élèves ayant un haut score à la dimension de la certitude, une amélioration de la description et de la compréhension de la circulation sanguine. Enfin, la justification des connaissances d'un point de vue scientifique entraîne un même raisonnement.

Cette observation soulève une question qui nous paraît importante car elle remet en cause la démarche scientifique.

En effet, le fait que la dimension de la source, que ce soit au niveau du produit ou au niveau du processus de la représentation, possède une incidence négative pose question. Si un élève ayant un score bas à la source a une évolution de sa représentation plus importante qu'un élève ayant un score élevé, cela sous-entend que ces élèves apprendront mieux si le savoir est transmis par leur enseignant que par une démarche scientifique.

Néanmoins, le fait d'avoir fourni aux élèves des documents avec un caractère scientifique appuyé donc pouvant faire preuve d'autorité peut expliciter ce résultat. Il faudrait voir si cette influence se retrouve dans le cadre d'une démarche scientifique. C'est-à-dire si des élèves dont l'autorité prévaut dans leur apprentissage apprendront aussi bien dans le cadre d'une démarche scientifique.

En résumé, il ressort que les croyances épistémiques concernant à la fois la nature de la connaissance et la nature de l'acte de connaître ont une incidence sur le

déroulement du processus de construction d'une représentation, et ce, sous l'angle de la description ou de la compréhension du système complexe.

Nous répondons ainsi à l'objectif de recherche suivant :

- Décrire l'incidence de l'épistémologie personnelle sur la construction d'un système complexe.

Concrètement, les croyances épistémiques sont à considérer essentiellement dans le cadre des processus cognitifs et non dans le but de déterminer le résultat d'une représentation et de son évolution entre deux situations. Elles influent plus particulièrement sur les processus que sur le produit de la représentation.

Dans la section suivante, nous reprenons les principaux concepts de notre étude afin de conclure cette recherche en revenant sur les résultats qui nous semblent les plus pertinents afin de les associer à de futures pistes de recherches.

CONCLUSION

L'épistémologie personnelle

À travers cette étude, les croyances épistémiques possèdent bien un impact sur les processus cognitifs mis en place par l'élève. En ce sens, nous rejoignons l'hypothèse de Mason (2010) selon laquelle « les croyances épistémiques sont susceptibles de façonner la perception des tâches des apprenants et donc la façon dont elles sont abordées » (p. 276). De plus, cette incidence diffère en fonction de la façon dont nous abordons la représentation des connaissances de l'élève. Nous posons la question suivante : Est-ce à cause des croyances épistémiques que la tâche est abordée différemment ou est-ce à cause de la tâche que les croyances épistémiques mises en jeu diffèrent ?

Il semble que le contenu d'apprentissage ait un impact sur la représentation de l'élève, sur sa construction. Les élèves dont les croyances épistémiques sont plus en accord avec le contenu d'apprentissage paraissent plus à même de faire évoluer leur représentation que les élèves dont les croyances s'en écartent. Ce constat se rapproche de la proposition faite par Franco *et al.* (2012) et sous-entend que les performances de l'élève pourraient être prévisibles à partir du moment où ses croyances épistémiques sont connues. Dans le cadre de la circulation sanguine, il pourrait être intéressant de comparer les résultats d'élèves ayant raisonné à partir de textes ou de logiciels avec d'autres ayant effectué des expérimentations comme une dissection, par exemple.

Les croyances épistémiques ont également une incidence sur le produit de la représentation de l'élève, sur sa réponse. Dépendamment de ce qu'il lui est demandé et du raisonnement qui en découle, l'incidence des croyances épistémiques est différente, ce qui nous amène à penser qu'en plus de prendre en compte les contenus d'apprentissage en lien avec les croyances de l'élève, il faut également penser au but que le chercheur, et *a fortiori* l'enseignant, souhaite atteindre, au concept qu'il souhaite enseigner à l'élève et à la façon dont il veut qu'il soit construit.

Cette recherche s'est limitée à la prise en compte de quatre dimensions se rapportant à la nature du savoir et à l'acte de connaître dans le cadre des sciences en général. Il serait intéressant d'approfondir l'étude sur l'incidence des croyances épistémiques en ajoutant des dimensions qui sont plus spécifiques à la discipline ici considérée, comme les dimensions *Texture of Knowledge* et *Variability of Knowledge* employées par Stahl, Piesch et Bromme (2006), par exemple. L'ajout de ces dimensions se référant spécifiquement au domaine de la biologie permettrait peut-être d'affiner les résultats et de mieux comprendre l'incidence des croyances à la fois sur l'élaboration et le résultat d'une représentation de la circulation sanguine.

La circulation sanguine comme système complexe

La prise en compte de la circulation sanguine comme d'un système complexe nous a permis de comprendre sur quels éléments un élève se base afin de construire une représentation lui permettant de décrire ce système. Nous avons été amené au cours de cette étude à faire une différence entre la compréhension que l'élève élabore quant à la circulation sanguine et la description qu'il en fait. Il nous est utile d'effectuer une différenciation entre la notion de système complexe et la complexité d'une représentation lorsque nous abordons la circulation sanguine d'un point de vue systémique.

Il nous a semblé que description et compréhension représentaient deux éléments différents pour l'élève à partir du moment où la circulation sanguine est considérée comme un système complexe, à la fois dans la caractérisation de la représentation de l'élève, mais également dans son raisonnement.

D'un point de vue descriptif, la complexité du système reste pour l'élève extrêmement difficile à appréhender, principalement au niveau des fonctions et des comportements. Néanmoins, nous questionnons, au vu des scores assez conséquents au niveau des structures du système, si les questions posées étaient véritablement en adéquation avec ce que nous souhaitons retrouver. Il semble difficile pour l'élève de décrire précisément la fonction ou le comportement de tel ou tel organe à partir d'une question posée sur un système dans son entier, exception faite pour la schématisation, d'où les scores élevés aux structures. Les élèves éprouvent une certaine difficulté lorsqu'il s'agit d'appréhender la complexité du système à un niveau plus microscopique.

La prise en compte de la complexité du système du point de vue de la compréhension globale semble plus adéquate. Les élèves semblent mieux à même de structurer les relations de la circulation sanguine et possèdent une pensée plus efficiente lorsqu'il s'agit d'interpréter la complexité du système à travers une compréhension systémique plus large.

De plus, l'élève semble arriver à une meilleure compréhension de la circulation sanguine quand il l'aborde d'un point de vue macroscopique. Elle peut donc servir de point d'entrée au moment de l'enseignement. Il faudrait partir d'une compréhension macroscopique et se diriger ensuite vers une compréhension microscopique du système et non l'inverse.

Ce qui nous amène au fait que la complexité du système ne peut être entendue sans une conceptualisation de la circulation sanguine selon une approche systémique, en essayant de mettre à jour la pensée systémique de l'élève. Il devient donc nécessaire de développer des méthodes d'apprentissage pour améliorer la mise en œuvre de ces habiletés chez des élèves à travers l'enseignement de la circulation sanguine

Il serait également pertinent, dans une prochaine étude, de déterminer les raisons pour lesquelles les élèves perçoivent mieux le système complexe à un niveau macroscopique plutôt qu'à un niveau microscopique.

La pensée systémique

Une des particularités que cette étude révèle est que la pensée systémique, à tout le moins les habiletés utilisées par les élèves, est bel et bien accessible au niveau du secondaire. L'utilisation d'une approche systémique des systèmes complexes s'avère possible afin de permettre à l'élève de mieux appréhender les systèmes de ce genre. La pensée systémique ne requiert pas une pensée d'ordre supérieur seulement accessible à des personnes expertes.

L'approche systémique peut s'appuyer sur le développement d'habiletés systémiques pour permettre à l'élève de mieux appréhender le monde complexe qu'il l'entoure et ainsi accéder à une vision systémique des systèmes complexes.

Cependant, il faut prendre en compte que cette pensée systémique ne s'exprime pas de la même façon en fonction de la méthode d'investigation. Dans notre cas, nous avons analysé le produit de la représentation de la circulation sanguine, soit écrite, soit schématisée. Il semble qu'en fonction de ce qui lui est demandé l'élève ne possède pas la même représentation et n'utilise pas le même raisonnement pour la construction de cette représentation.

Nous l'avons vu, la représentation schématique de la circulation sanguine sous-entend une description plus spécifiquement axée sur les structures et la cyclicité, alors que pour la représentation écrite, l'élève exprime les structures, les dynamiques et les cyclicités du système. Nous supposons ainsi que le raisonnement de l'élève, sa compréhension et *a fortiori* l'incidence de ses habiletés systémiques dépendent de la direction dans laquelle l'élève engage sa réflexion, et donc par supposition sur la manière dont il est encouragé à le faire par son professeur, le chercheur ou toute autre personne, en fonction de la question qui lui est posée, du contenu d'apprentissage qui lui est proposé. Il serait pertinent d'effectuer des recherches sur l'impact du type

d'activité afin de faciliter la réflexion des élèves (Penner, 2000), puisqu'il ne faut pas perdre de vue que les habiletés systémiques mises en œuvre sont dépendantes du contexte. Elles semblent différer en fonction du caractère de la représentation (écrite ou schématique).

Bien que notre étude soit descriptive sur le plan des habiletés utilisées par l'élève, le fait de retrouver le continuum mis en avant par Ben-Zvi Assaraf et Orion (2005) est intéressant, notamment avec l'ajout de ce sous-continuum à l'intérieur de l'habileté structurelle. Il serait fructueux de continuer d'explorer ce continuum de la pensée systémique et d'investiguer un peu plus afin de déterminer la manière dont l'élève parcourt celui-ci. Est-ce un parcours linéaire, l'élève suit-il le continuum tout du long ou peut-il effectuer des sauts le long de celui-ci ? Le fait d'être capable de « classer » l'élève en fonction de sa position sur ce continuum pourrait apporter des retombées avantageuses dans le cadre de la didactique et de l'approche systémique dans l'enseignement des systèmes complexes.

Limites de la recherche

Il est important de soulever les différents biais et limites que notre méthodologie a pu engendrer.

En plus des biais relevés plus haut concernant les questions posées et les différents outils utilisés, l'une des principales limites de notre travail est le temps.

Au niveau des élèves, la mise en place d'entrevue aurait permis d'approfondir la compréhension et de mieux affiner les croyances épistémiques et les raisons de la mise en œuvre des habiletés systémiques. Elles auraient permis un contenu plus riche et plus élaboré et auraient probablement donné des pistes ou des réponses sur certains

points que nous venons de soulever. Par exemple, la question suivante aurait pu être posée : pour quelles raisons as-tu annoté les poumons dans la situation 2 alors que tu ne l'avais pas fait à la situation 1 ?

Une autre limite méthodologique provient du fait d'avoir essayé de prendre en compte la circulation sanguine selon deux niveaux hiérarchiques : macroscopique et microscopique.

Passer d'une analyse microscopique à une analyse macroscopique n'est pas chose aisée. L'utilisation d'une telle méthodologie requiert encore certaines balises qui restent à définir dans le cadre d'une méthodologie portant sur l'approche systémique. Dans le sens où il est probable que certaines analyses doivent être encore plus fouillées que ce que nous avons fait. Cette méthodologie reste à affiner et à questionner sur un plan théorique.

Enfin, il aurait été intéressant de questionner l'impact d'une telle méthodologie. À la fois au regard des enseignants, mais également sur l'effet au niveau de l'apprentissage que cette méthodologie a pu induire chez les élèves entre les deux situations. Bien que ce ne soit pas le but premier de cette recherche, il serait intéressant de nous y pencher à l'avenir pour essayer de comprendre l'effet que les ateliers ont pu induire. Cela nous permettra probablement d'affiner une telle méthodologie et de mieux accompagner les élèves et les enseignants à l'avenir.

Le travail nous attend...

RÉFÉRENCES

- Abric, J.-C. (1994). Méthodologie de recueil des représentations sociales. Dans J.-C. Abric (dir.), *Pratiques sociales et représentations* (p. 59-82). Paris : Presses universitaires de France.
- Alkhaldeh, S. A. (2007). Facilitating conceptual change in ninth grade students' understanding of human circulatory system concepts. *Research in Science & Technological Education*, 25(3), 371-385.
- Alkhaldeh, S. A. (2013). Enhancing Ninth Grade Students' Understanding of Human Circulatory System Concepts Through Conceptual Change Approach. *The European Journal of Social & Behavioural Sciences*.II(2), 201-222
- Apostolidis, T., Duveen, G. et Kalampalikis, N. (2002). Représentations et croyances. *Psychologie & Société*, (5), 7-11.
- Arnaud, M. W. et Mintzes, J. J. (1985). Students' alternative conceptions of the human circulatory system: A cross-age study. *Science Education*, 69(5), 721-733.
- Aroua, S., Coquidé, M. et Abbes, S. (2012). Controverses dans l'enseignement de l'évolution. Questions de recherches sur les stratégies d'intervention en classe et dans la formation. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, (5), 47-76.
- Assaraf, O. B.-Z., Dodick, J. et Tripto, J. (2013). High school students' understanding of the human body system. *Research in Science Education*, 43(1), 33-56.
- Astolfi, J.-P. (2002). *La didactique des sciences*. Paris : Presses universitaires de France.
- Astolfi, J.-P. et Develay, M. (1996). *La didactique des sciences* : Presses universitaires de France.
- Astolfi, J.-P., Peterfalvi, B. et Vérin, A. (1991). *Compétences méthodologiques en sciences expérimentales*. Institut National de la Recherche Pédagogique.

- Azevedo, R., Cromley, J. G. et Seibert, D. (2004). Does adaptive scaffolding facilitate students' ability to regulate their learning with hypermedia? *Contemporary Educational Psychology*, 29(3), 344-370.
- Bachelard, G. (1967). *La formation de l'esprit scientifique : contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*. Paris, France : Librairie philosophique J. VRIN.
- Bailly, A. S., Raffestin, C. et Reymond, H. (1980). Les concepts du paysage : problématique et représentations. *Espace géographique*, 9(4), 277-286.
- Banet, E. et Nunez, F. (1997). Teaching and learning about human nutrition: a constructivist approach. *International Journal of Science Education*, 19(10), 1169-1194.
- Barrows, H. S. (2000). *Problem-based learning applied to medical education*. Southern Illinois University School of Medicine.
- Barth, B.-M. (1987). *L'apprentissage de l'abstraction. Méthode pour une meilleure réussite de l'école*. Paris, France : Retz.
- Baxter Magdola, M. (1995). The integration of relational and impersonal knowing in young adults' epistemological development. *Journal of College Student Development*, 36, 203-203.
- Baxter Magdola, M. (2002). Epistemological reflection: The evolution of epistemological assumptions from age 18 to 30. Dans Hofer, B. K. et Pintrich, P. R (Dir). *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing*, 89-102. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Belenky, M., Clinchy, B., Goldberger, N. R. et Tarule, J. (1986). *Women's ways of knowing: The development of self, mind, and voice*. New York, NY : Basic Books.
- Bendixen, L. D. et Rule, D. C. (2004). An Integrative Approach to Personal Epistemology: A Guiding Model. *Educational Psychologist*, 39(1), 69-80.
- Ben-Zvi Assaraf, O. et Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 518-560.

- Ben-Zvi Assaraf, O. et Orion, N. (2010). Four case studies, six years later. Developing system thinking skills in junior high school and sustaining them over time. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(10), 1253-1280.
- Ben-Zvi Assaraf, O., Dodick, J. et Tripto, J. (2011). High School Students' Understanding of the Human Body System. *Research in Science Education*, 43(1), 1-24.
- Blanc, N. (2011). De l'usage du concept de représentation pour désigner le produit de la cognition. In Fresco (Eds.), *Peut-on se passer de représentation en Sciences Cognitives* (pp. 37-45). Bruxelles : Deboeck.
- Boo, H. K. (2005). *Teachers' misconceptions of biological science concepts as revealed in science examination papers*. Communication présentée au Annual Conference of the Educational Research Association, (27/11 au 01/12), Singapore.
- Borko, H. et Putnam, R. T. (1996). Learning to teach. *Handbook of educational psychology*. , pp. 673-708. New York, NY, US : Macmillan Library Reference Usa.
- Bornancin, M. (1988). *Connaître son corps*. Paris, France : Éditions Nathan.
- Bouchet, A. (1998). Anatomie et antiquité. *Dossiers d'Archéologie*, (231), 20-29.
- Boud, D. J. et Feletti, G. (1998). *The challenge of problem-based learning*: Psychology Press. Routledge.
- Bromme, R., Kienhues, D. et Stahl, E. (2008). Knowledge and epistemological beliefs: An intimate but complicate relationship Knowing, Knowledge and Beliefs (p. 423-441) : Springer.
- Bromme, R., Pieschl, S. et Stahl, E. (2010). Epistemological beliefs are standards for adaptive learning: a functional theory about epistemological beliefs and metacognition. *Metacognition and learning*, 5(1), 7-26.
- Brumby, M. N. (2006). Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students. *Science Education*, 68(4), 493-503.
- Bunge, M. (1979). *Ontology II: A World of Systems* (vol. 4). Dordrecht: Reidel.

- Cain, K. M. et Dweck, C. S. (1995). The relation between motivational patterns and achievement cognitions through the elementary school years. *Journal of Developmental Psychology Merrill-Palmer Quarterly (1982-)*, 25-52.
- Cambien, A. (2008). Une introduction à l'approche systémique : appréhender la complexité *Les rapports d'étude*, CERTU.
- Canguilhem, G. (1968). Le concept de réflexe au XIX^e siècle. *Études d'histoire de philosophie des sciences* (p. 295-304). Paris, France : Librairie philosophique J. VRIN.
- 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(2), 203-221.
- Carey, S. (2009). *The origin of concepts*. New York, NY : Oxford University Press.
- Cedraschi, C., Allaz, A. et Piguet, V. (1998). Le rôle des représentations de la maladie et de la douleur dans la relation patient-thérapeute. *Douleur et analgésie*, 11(2), 91-95.
- Checkland, P. (1975). *Science and the systems paradigm*. Actes du congrès The centrality of science and absolute values: proceedings of the fourth International Conference on the Unity of the Sciences, November 27-30, New York, NY.
- Checkland, P. (1981). *Systems thinking, systems practice*. Chichester, Angleterre : Wiley.
- Checkland, P. (1999). *Systems thinking, systems practice: includes a 30-year retrospective*. Chichester, Angleterre : Wiley.
- Chi, M. T. (2001). *Why do students fail to understand complex dynamic type of concepts*. Actes du congrès The annual meeting of the American Educational Research Association, Seattle, WA.
- Chi, M. T. (2005). Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *The Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 161-199.
- Chi, M. T., Slotta, J. D. et De Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and instruction*, 4(1), 27-43.

- Chi, M. T., De Leeuw, N., Chiu, M.-H. et LaVancher, C. (1994). Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive science*, 18(3), 439-477.
- Clancey, W. J. (1991). Situated Cognition: Stepping out of Representational Flatland. A Response to Swann's Commentary. *Ai Communications*, 4(2), 109-112.
- Clément, P. (1994). Représentations, conceptions, connaissances. Dans A. Giordan et P. Clément, (Dir), *Conception et connaissances*, 15-45, Berne, Suisse : P. Lang.
- Cobern, W. (2000). The Nature of Science and the Role of Knowledge and Belief. *Science & Education*, 9(3), 219-246.
- Conley, A. M., Pintrich, P. R., Vekiri, I. et Harrison, D. (2004). Changes in epistemological beliefs in elementary science students. *Contemporary Educational Psychology*, 29(2), 186-204. doi : 10.1016/j.cedpsych.2004.01.004
- Crahay, M. et Fagnant, A. (2007). À propos de l'épistémologie personnelle : un état des recherches anglo-saxonnes. *Revue française de pédagogie*, (4), 79-117.
- Crahay, M., Wanlin, P. et Issaieva, É. (2011). Fonctions, structuration et évolution des croyances (et connaissances) des enseignants. *Revue française de pédagogie*, (3), 85-129.
- Dahl, T. I., Bals, M. et Turi, A. L. (2005). Are students' beliefs about knowledge and learning associated with their reported use of learning strategies? *British Journal of Educational Psychology*, 75(2), 257-273.
- DeBacker, T. K., Crowson, H. M., Beesley, A. D., Thoma, S. J. et Hestevold, N. L. (2008). The challenge of measuring epistemic beliefs: An analysis of three self-report instruments. *The Journal of Experimental Education*, 76(3), 281-312.
- Denis, M. (1989). *Image et cognition*. Paris : Presses universitaires de France.
- Denis, M. (1999). Images mentales et pensées. Dans J.-F. Dortier (dir.), *Le cerveau et la pensée : la révolution des sciences cognitives* (p. 191-193). Auxerre, France : Sciences Humaines.
- Désautels, J. (1989). *Qu'est-ce que le savoir scientifique ? Points de vue d'adolescents et d'adolescentes*. Québec : Presses de l'Université Laval.

- De Rosnay, J. D. (1975). *Le Macroscopie. Vers une vision globale*. Paris, France : Seuil.
- De Vecchi, G. (2003). *Les conceptions des apprenants, aides ou obstacles à l'apprentissage*. Ville : L'Harmattan.
- DiSessa, A. A. (2004). Metarepresentation: Native competence and targets for instruction. *Cognition and Instruction*, 22(3), 293-331.
- Donnadieu, G., Durand, D., Neel, D., Nunez, E. et Saint-Paul, L. (2003). L'Approche systémique : de quoi s'agit-il ? *Union Européenne de systémique*. Récupéré de <http://www.afsct.asso.fr/SystemicApproach.pdf>
- Ducros, B. (1989). *Le concept de circulation sanguine. Productions d'outils didactiques*. Thèse de doctorat, Paris-Diderot-Paris 7.
- Dumas-Carré, A. et Goffard, M. (1997). *Rénover les activités de résolution de problèmes en physique : concepts et démarches*. Paris : Armand Colin.
- Duncan, R. G. et Reiser, B. J. (2007). Reasoning across ontologically distinct levels: Students' understandings of molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(7), 938-959.
- Durand, D. (2006). *La systémique*. Paris : Presses universitaires de France.
- Durkheim, É. (1898). Représentations individuelles et représentations collectives. *Revue de métaphysique et de morale*, 6(3), 273-302.
- Durkheim, É. (2001). Représentations individuelles et représentations collectives. *Les cahiers psychologie politique* numéro 8. Récupéré le 15-02-2011, De <http://lodel.irevues.inist.fr/cahierspsychologiepolitique/index.php?id=1084>
- Dweck, C. S. (2000). *Self-theories: their role in motivation, personality, and development*. Philadelphia, PA : Psychology Press.
- Elby, A. et Hammer, D. (2001). On the substance of a sophisticated epistemology. *Science Education*, 85(5), 554-567.
- Elder, A. (2002). Characterizing fifth grade students' epistemological beliefs in science. Dans B. K. Hofer et P. R. Pintrich (Dir). *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing*, 347-364. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

- Enman, M. et Lupart, J. (2000). Talented female students' resistance to science: An exploratory study of post-secondary achievement motivation, persistence, and epistemological characteristics. *High Ability Studies*, 11(2), 161-178.
- Escande, G. (1998). Histoire de la dissection. *Dossiers d'Archéologie*, (231), 40-49.
- Feltovich, P. J., Spiro, R., & Coulson, R. L. (1989). The nature of conceptual understanding in biomedicine: The deep structure of complex ideas and the development of misconceptions. In D. Evans & V. Patel (Eds.), *Cognitive science in medicine : Biomedical modeling* (pp. 113–172). Cambridge, MA : MIT Press.
- Fischer, G.-N. (2010). *Les concepts fondamentaux de la psychologie sociale* (4^e édition). Paris, France : Dunod.
- Fortin, F., Rigault, C. et Côté, M. (1996). *Processus de la recherche*. Québec, Québec : Télé-Université.
- Fourez, G. (1974). *La science partisane : essai sur les significations des démarches scientifiques*. Gembloux, Belgique : Duculot.
- Fournier, T. (2009). *Étude exploratoire de l'évolution de la représentation du corps chez des enfants de 6 à 12 ans du Québec et de France*. Mémoire de Master, Université de Nantes. Non publié.
- Fournier, T. (2013). *Représentation ou conception ? Une réflexion sur l'emploi du terme représentation en Sciences de l'Éducation*. Non publié.
- Franco, G. M. (2012). *Meaningful main effects or intriguing interactions? Examining the influences of epistemic beliefs and knowledge representations on cognitive processing and conceptual change when learning physics*. Thèse de Doctorat. Université de McGill.
- Franco, G. M., Muis, K. R., Kendeou, P., Ranellucci, J., Sampasivam, L. et Wang, X. (2012). Examining the Influences of Epistemic Beliefs and Knowledge Representations on Cognitive Processing and Conceptual Change When Learning Physics. *Learning and Instruction*, 22(1), 62-77.
- Gadgil, S., Nokes-Malach, T. J. et Chi, M. T. (2012). Effectiveness of holistic mental model confrontation in driving conceptual change. *Learning and instruction*, 22(1), 47-61.

- Gaillard, A. et Urdapilleta, I. (2013). *Représentations mentales et catégorisation. Théories et méthodes*. Ville : L'Harmattan. INCOMPLET
- Gentner, D. et Stevens, A. L. (1983). *Mental models*. Hillsdale, NJ : Erlbaum Associates.
- Giordan, A. et Martinand, J.-L. (1983). *L'élève et-ou les connaissances scientifiques : approche didactique de la construction des concepts scientifiques par les élèves*. Berne, Suisse : P. Lang.
- Giordan, A., Girault, Y. et Clément, P. (1994). *Conceptions et connaissances*. Berne, Suisse : P. Lang.
- Greene, J. A., Muis, K. R. et Pieschl, S. (2010). The role of epistemic beliefs in students' self-regulated learning with computer-based learning environments: Conceptual and methodological issues. *Educational Psychologist*, 45(4), 245-257.
- Haerle, F. et Bendixen, L. D. (2008). Personal epistemology in elementary classrooms: A conceptual comparison of Germany and the United States and a guide for future cross-cultural research. Dans M. S. Khine (Dir.), *Knowing, knowledge and beliefs: Epistemological studies across diverse cultures* (pp. 151–176). New York : Springer
- Hammer, D. et Elby, A. (2002). On the form of a personal epistemology. In B. K. Hofer & P. R. Pintrich (Dir.), *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing* (pp. 169–190). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Harvey, W. (1737). *Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus* (vol. 2).
- Haugeland, J. (1978). The nature and plausibility of cognitivism. *Behavioral and Brain Sciences*, 1(02), 215-226.
- Hegarty, M., Narayanan, N. H. et Freitas, P. (2002). Understanding machines from multimedia and hypermedia presentations. In J. Otero, J. A. Leon & A. Graesser, (dirs.) *The Psychology of Science Text Comprehension*, pp. 357–384. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235-266.

- Hmelo-Silver, C. E., Holton, D. L. et Kolodner, J. L. (2000). Designing to learn about complex systems. *The Journal of the Learning Sciences*, 9(3), 247-298.
- Hmelo-Silver, C. E. et Guzdial, M. (1996). *Of black and glass boxes: Scaffolding for doing and learning*. . Dans D. C. Edelson, et E. A. and Domeshek (dirs.), *Proceedings of ICLS 96, AACE*, pp. 128–134. Charlottesville, VA
- Hmelo-Silver, C. E. et Pfeffer, M. G. (2004). Comparing expert and novice understanding of a complex system from the perspective of structures, behaviors, and functions. *Cognitive Science*, 28(1), 127-138.
- Hmelo-Silver, C. E. et Azevedo, R. (2006). Understanding complex systems: Some core challenges. *The Journal of the learning sciences*, 15(1), 53-61.
- Hmelo-Silver, C. E., Marathe, S. et Liu, L. (2007). Fish swim, rocks sit, and lungs breathe: Expert-novice understanding of complex systems. *The Journal of the Learning Sciences*, 16(3), 307-331.
- Hofer, B. K. (2000). Dimensionality and disciplinary differences in personal epistemology. *Contemporary Educational Psychology*, 25(4), 378-405.
- Hofer, B. K. (2004a). Epistemological understanding as a metacognitive process: Thinking aloud during online searching. *Educational Psychologist*, 39(1), 43-55.
- Hofer, B. K. (2004b). Introduction : Paradigmatic approaches to personal epistemology. *Educational Psychologist Educational Psychologist*, 39(1), 1–3. doi:[10.1207/s15326985ep3901_1](https://doi.org/10.1207/s15326985ep3901_1).
- Hofer, B. K. et Pintrich, P. R. (1997). The Development of Epistemological Theories: Beliefs about Knowledge and Knowing and Their Relation to Learning. *Review of Educational Research*, 67(1), 88-140.
- Hofer, B. K. et Pintrich, P. R. (2004). *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing*. Mahwah, NJ : Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Hofer, B. K. et Sinatra, G. M. (2010). Epistemology, metacognition, and self-regulation: musings on an emerging field. *Metacognition and Learning*, 5(1), 113-120.

- Jacobson, M. J. (2001). Problem solving, cognition, and complex systems: Differences between experts and novices. *Complexity*, 6(3), 41-49.
- Jacobson, M. J. (2013). Problem solving about complex systems: Differences between experts and novices. Dans B. Fishman et S. O'Connor-Divelbiss (dirs.), *Fourth international conference of the learning sciences* (pp. 14–21). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Jacobson, M. et Jehng, J. (1999). Epistemological beliefs instrument: Scales and items. *Unpublished manuscript*.
- Jacobson, M. J. et Wilensky, U. (2006). Complex systems in education: Scientific and educational importance and implications for the learning sciences. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(1), 11-34.
- Janvier, C., Charbonneau, L. et de Cotret, S. R. (1989). *Obstacles épistémologiques à la notion de variable : Perspectives historiques*. Université du Québec à Montréal. Centre interdisciplinaire de recherche sur l'apprentissage et le développement en éducation.
- Jarry, G. et Hermida, J.-S. (1998). Histoire de la circulation sanguine. *Dossiers d'Archéologie*, (231), 64-71.
- Jodelet, D. (1989a). *Les représentations sociales*. Paris : Presses universitaires de France.
- Jodelet, D. (1989b). Représentations sociales, phénomène, concepts et théories. Dans S. Moscovici (dir.), *Psychologie sociale* (p. 357-378). Paris : Presses universitaires de France.
- Jodelet. (1994). Représentation sociale : phénomène, un domaine en expansion. *Les Représentations sociales. 4^e ed. Paris : PUF*.
- Jodelet, D. (2003). *Les représentations sociales* (7^e édition). Paris : Presses universitaires de France.
- Johsua, S. et Dupin, J.-J. (2003). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : Presses universitaires de France.

- Josset, P. (2005). *Histoire de la découverte de la circulation sanguine*. Récupéré le 6 août 2013 de http://www.chusa.upmc.fr/pedagogie/pcem2/histoire/circulation_sang.pdf
- Kali, Y., Orion, N. et Eylon, B. S. (2003). Effect of knowledge integration activities on students' perception of the Earth's crust as a cyclic system. *Journal of research in science teaching*, 40(6), 545-565.
- Kardash, C. A. M. et Howell, K. L. (2000). Effects of epistemological beliefs and topic-specific beliefs on undergraduates' cognitive and strategic processing of dual-positional text. *Journal of educational psychology*, 92(3), 524.
- Kaufman, D. R., Patel, V. L., et Madger, S. A. (1992). Progressions of conceptual models of cardiovascular physiology and their relationship to expertise. *Proceedings of the Fourteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 885-890). Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.
- Kaynar, D., Tekkaya, C. et Cakiroglu, J. (2009). Effectiveness of 5^e Learning Cycle Instruction on Students' Achievement in Cell Concept and Scientific Epistemological Beliefs. Hacettepe University, *Journal of Education*, 37, 96-105.
- Kerlinger, F. N. (1986). *Foundations of behavioral research*. Forth Worth, TX: Holt, Rinehart and Winston.
- Kim, D. H. (1999). *Introduction to systems thinking*. Ville : Acton, MA Pegasus Communications.
- M. et Kitchener, K. S. (1994). *Developing Reflective Judgment: Understanding and Promoting Intellectual Growth and Critical Thinking in Adolescents and Adults*. San Francisco, CA : Jossey-Bass Higher and Adult Education Series.
- King, P. M. et Kitchener, K. S. (2004). Reflective judgment: Theory and research on the development of epistemic assumptions through adulthood. *Educational Psychologist*, 39(1), 5-18.
- Kinlaw, C. R. et Kurtz-Costes, B. (2007). Children's theories of intelligence: Beliefs, goals, and motivation in the elementary years. *The Journal of general psychology*, 134(3), 295-311.
- Kitano, H. (2002). Systems biology: a brief overview. *Science*, 295(5560), 1662-1664.

- Kitchener, K. S. (1983). Cognition, metacognition, and epistemic cognition: A three-level model of cognitive processing. *Human Development*, 26, 222-232
- Kitchener, K. S. (1986). The reflective judgment model: Characteristics, evidence, and measurement. Dans R. A. Mines & K. S. Kitchener (dirs.), *Adult cognitive development : Methods and models* (pp. 76-91). New York : Praeger.
- Kitchener, K. S. et King, P. M. (1990). The reflective judgment model: Transforming assumptions about knowing. Dans J. Mezirow (dir.), *Fostering critical reflection in adulthood*(pp. 159-176).. San Francisco : Jossey-Bass.
- Kuhn, D. (1999). A developmental model of critical thinking. *Educational researcher*, 28(2), 16-46.
- Kuhn, D. (2000). Metacognitive development. *Current directions in psychological science*, 9(5), 178.
- Kuhn, D., Cheney, R. et Weinstock, M. (2000). The development of epistemological understanding. *Cognitive development*, 15(3), 309-328.
- Lalande, A. (2002). Dictionnaire de philosophie. *PUF, Paris*.
- Laliberté, B. (2012). *Incidence du raisonnement analogique et des croyances épistémiques sur le changement conceptuel intentionnel en apprentissage des sciences au primaire. Exploration de la flottaison*. Thèse de doctorat. Trois-Rivières, Québec : Université de Trois-Rivières.
- Lapointe, J. (1993). *L'approche systémique et la technologie de l'éducation*. Récupéré le 12 février 2013 de <http://www.sites.fse.ulaval.ca/reveduc/html/vol1/no1/apsyst.html>
- Lee, M.-H., Johanson, R. E. et Tsai, C.-C. (2008). Exploring Taiwanese high school students' conceptions of and approaches to learning science through a structural equation modeling analysis. *Science Education*, 92(2), 191-220.
- Le Guillou, C. (2007). En quête de sciences expérimentales. Récupéré le 6 août 2013 de <http://www.svt.ac-aix-marseille.fr/outils/experimentation/>
- Le Moigne, J.-L. (1990). *La modélisation des systèmes complexes* (vol. 2). Paris, France : Dunod.

- Le Moigne, J.-L. et Morin, E. (1999). *L'intelligence de la complexité*. Paris : L'Harmattan.
- Lesh, R. (2006). Modeling students modeling abilities: The teaching and learning of complex systems in education. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(1), 45-52.
- Lesne, A. (2009). Biologie des systèmes. *Medecine Sciences (Paris)*, 25, 585-587.
- Lesne, A. (2011). *Définition possible d'un système complexe*. Récupéré le 13 juin 2013 de <http://www.lptl.jussieu.fr/user/lesne/Lesne-ResumeCommisco.pdf>
- Lesourne, J. (1976). *Les systèmes du destin*. Paris : Dalloz.
- Lhoste, Y. (2006). La construction du concept de circulation sanguine en 3^e : Problématisation, argumentation et conceptualisation dans un débat scientifique. *Aster*, (42), 79-108.
- Problématisation, activités langagières et apprentissages dans les sciences de la vie : étude de débats scientifiques dans la classe dans deux domaines biologiques : nutrition et évolution*. Thèse de doctorat. Université de Nantes.
- Lodewyk, K. R. (2007). Relations among epistemological beliefs, academic achievement, and task performance in secondary school students. *Educational psychology*, 27(3), 307-327.
- Lopez-Manjón, A. et Postigo-Angón, Y. (2009). Representations of the Human Circulatory System. *Journal of Biological Education*, 43(4), 159-163.
- Marek, E. A., Cowan, C. C. et Cavallo, A. M. (1994). Students' misconceptions about diffusion: How can they be eliminated? *The American Biology Teacher*, 74-77.
- Mason, L. (2010). Beliefs about knowledge and revision of knowledge: On the importance of epistemic beliefs for intentional conceptual change in elementary and middle school students. In Bendixen, L., et Feucht, F., (eds.), *Personal epistemology in the classroom: Theory, research, and implications for practice*, 258-291. Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2002). Multimedia learning. *Psychology of Learning and Motivation*, 41, 85-139.

- Michael, J. A., Wenderoth, M. P., Modell, H. I., Cliff, W., Horwitz, B., McHale, P., Whitescarver, S. (2002). Undergraduates' understanding of cardiovascular phenomena. *Advances in Physiology Education*, 26(2), 72-84.
- Mikkilä-Erdmann, M., Södervik, I., Vilppu, H., Kääpä, P. et Olkinuora, E. (2012). First-year medical students' conceptual understanding of and resistance to conceptual change concerning the central cardiovascular system. *Instructional Science*, 40(5), 745-754.
- Miller, J. G. (1978). *Living systems*. McGraw- Hill, New York.
- Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport. (2007). *Programme de formation de l'école québécoise. Enseignement secondaire*. Québec, Québec : Gouvernement du Québec.
- Moore, W. S. (1989). The "Learning Environment Preferences": Exploring the construct validity of an objective measure of the Perry scheme of intellectual development. *Journal of College Student Development*. 30, 504-514
- Moore, W. S. (2002). Understanding learning in a postmodern world: Reconsidering the Perry Scheme of intellectual and ethical development. Dans B. K. Hofer et P. R. Pintrich (dir.), *Personal epistemology : The psychology of beliefs about knowledge and knowing* (p. 17-36). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Morin, E. (1990). *Introduction à la pensée complexe*. Issy-les-Moulineaux, France : ESF éditeur.
- Morin, E. (1992). From the concept of system to the paradigm of complexity. *Journal of Social and Evolutionary Systems*, 15(4), 371-385.
- Morin, E. (2005). *Introduction à la pensée complexe*. Paris, France : Édition du Seuil.
- Moscovici, S. (1961). *La psychanalyse : son image et son public, étude sur la représentation sociale de la psychanalyse*. Paris : Presses universitaires de France.
- Moscovici, S. (1989). Des représentations collectives aux représentations sociales. Dans S. Moscovici, *Les représentations sociales*, pp. 62-86.
- Moscovici, S. (2003). Des représentations collectives aux représentations sociales : éléments pour une histoire. Dans D. Jodelet (dir.), *Les représentations sociales* (p. 79-103). Paris : Presses universitaires de France.

- Mueller, C. M. et Dweck, C. S. (1998). Praise for intelligence can undermine children's motivation and performance. *Journal of Personality and Social Psychology*, 75(1), 33.
- Muis, K. R. (2008). Epistemic profiles and self-regulated learning: Examining relations in the context of mathematics problem solving. *Contemporary Educational Psychology*, 33(2), 177-208.
- Muis, K. R. et Duffy, M. C. (2012). Epistemic Climate and Epistemic Change: Instruction Designed to Change Students' Beliefs and Learning Strategies and Improve Achievement. *Journal of Educational Psychology*, 105(1), 213.
- Muis, K. R., Bendixen, L. D. et Haerle, F. C. (2006). Domain-generality and domain-specificity in personal epistemology research: Philosophical and empirical reflections in the development of a theoretical framework. *Educational Psychology Review*, 18(1), 3-54.
- Muis, K. R. et Franco, G. M. (2009). Epistemic beliefs: Setting the standards for self-regulated learning. *Contemporary Educational Psychology*, 34(4), 306-318.
- Muis, K. R., Kendeou, P. et Franco, G. M. (2011). Consistent results with the consistency hypothesis? The effects of epistemic beliefs on metacognitive processing. *Metacognition and Learning*, (6), 45-63. doi : 10.1007/s11409-010-9066-0
- Nespor, J. (1987). The role of beliefs in the practice of teaching. *Journal of curriculum studies*, 19(4), 317-328.
- Nussbaum, E. M., Sinatra, G. M. et Poliquin, A. (2008). Role of epistemic beliefs and scientific argumentation in science learning. *International Journal of Science Education*, 30(15), 1977-1999.
- O'Connor, J. et McDermott, I. (1997). *The art of systems thinking*. San Francisco, CA : Thorsons.
- Orange, C. (2005). *Problème et problématisation*. Lyon, France : INRP.
- Orange, C. et Orange, D. (1995). Géologie et biologie épistémologiques et didactique. *Aster*, 21, 27-49.

- Orange Ravachol, D. (2003). *Utilisations du temps et explications en sciences de la Terre par les élèves de lycée : étude dans quelques problèmes géologiques*. Thèse de doctorat. Université de Nantes.
- Ossimitz, G. (2000). *Teaching system dynamics and systems thinking in Austria and Germany*. Actes du congrès de The System Dynamics Conference, Bergen.//g1, Earthsys, Sysprop.
- Österholm, M. (2010a). *Beliefs: A theoretically unnecessary construct?* Actes du congrès The Proceedings of the Sixth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education. January 28th-February 1st 2009, Lyon, France.
- Österholm, M. (2010b). *The ontology of beliefs from a cognitive perspective*. Actes du congrès The Proceedings of the conference MAVI-15: Ongoing research on beliefs in mathematics education, September 8-11, 2009, Genoa, Italy.
- Paccaud, M. (1994). *Utilisation des conceptions d'élèves âgés de 15 à 17 ans sur le coeur et la circulation du sang*. Berne, France : P. Lang.
- Pajares, M. F. (1992). Teachers' beliefs and educational research: Cleaning up a messy construct. *Review of Educational Research*, 62(3), 307.
- Pala, Ö. et Vennix, J. A. (2005). Effect of system dynamics education on systems thinking inventory task performance. *System Dynamics Review*, 21(2), 147-172.
- Peer, J. et Atputhasamy, L. (2005). Students' Epistemological Beliefs About Science: The Impact Oo School Science Experience. *Journal of Science and Mathematics Education in Southeast Asia*, 28(2), 81.
- Penner, D. E. (2000). Explaining systems: Investigating middle school students' understanding of emergent phenomena. *Journal of research in science teaching*, 37(8), 784-806.
- Perriault J, Proutreau, S., Kleinpeter, É., Pena-Vega, A., et Le Moigne, J-L. (2011). L'exercice de la pensée complexe permet l'intelligence des systèmes complexes. *Hermès, La Revue*, 60 (2), 157-163
- Perry, W. G. (1970a). *Forms of intellectual and ethical development*. New York, NY : Holt, Rinehart and Winston.

- Perry, W. G. (1970b). *Forms of intellectual development in the college years*. New York, NY : Holt, Rinehart and Winston.
- Pomeroy, D. (1993). Implications of teachers' beliefs about the nature of science: Comparison of the beliefs of scientists, secondary science teachers, and elementary teachers. *Science Education*, 77(3), 261-278.
- Prosser, M. (1994). First-year university students' understanding of photosynthesis, their study strategies & learning context. *The American Biology Teacher*, 56(5), 274-279.
- Resnick, L. B. (1987). *Education and learning to think*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Rey, B. (2005). Peut-on enseigner la problématisation ? *Recherche et formation*(48), 91-105.
- Robardet, G. (1997). Le jeu des résistors : une situation visant à ébranler des obstacles épistémologiques en électrocinétique. *Aster*, (24), 59-80.
- Robitaille, J. M. (1997). *Étude exploratoire des conceptions de la circulation sanguine auprès d'élèves de l'ordre collégial* : Université de Montréal.
- Royce, J. (1978). Three ways of knowing and the scientific world view. *Methodology and science*, 11, 146-164.
- Rumelhard, G. (1985). Quelques représentations à propos de la photosynthèse. *Aster* : 1, 37-66
- Ryan, M. P. (1984). Monitoring text comprehension : Individual differences in epistemological standards. *Journal of educational psychology*, 76(2), 248.
- Sadi, Ö. et Çakiroğlu, J. (2010). Effects of 5^e Learning Cycle on Students' Human Circulatory System Achievement. *Journal of Applied Biological Sciences*, 4(3), 63-67.
- Sakka, M. (1998). La révolution vésalienne : ou l'anatomie devient une science. *Dossiers d'Archéologie*, (231), 50-60.
- Salembier, P. (1996). Cognition (s) : située, distribuée, socialement partagée, etc. *Bulletin du LCPE*, 1.

- Sallaberry, J.-C. (1996). *Dynamique des représentations dans la formation*. Paris, France : L'Harmattan.
- Sanders, M. (1993). Erroneous ideas about respiration: The teacher factor. *Journal of research in science teaching*, 30(8), 919-934.
- Saury, J., Ria, L., Sève, C. et Gal-Petitfaux, N. (2006). Action ou cognition située : enjeux scientifiques et intérêts pour l'enseignement en EPS. *Revue éducation physique et sport*, (321), 5-11.
- Sauvageot-Skibine, M. (1993). De la représentation en tuyaux au concept de milieu intérieur. *Aster*, (17), 189-204.
- Schmidt, C. K. (2001). Development of children's body knowledge, using knowledge of the lungs as an exemplar. *Issues in Comprehensive Pediatric Nursing*, 24(3), 177-191.
- Schommer-Aikins, M. (2004). Explaining the epistemological belief system: Introducing the embedded systemic model and coordinated research approach. *Educational psychologist*, 39(1), 19-29.
- Schommer-Aikins, M. (2002). An evolving theoretical framework for an epistemological belief system. *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing*, 1, 103-118.
- Schommer, M. (1990). Effects of beliefs about the nature of knowledge on comprehension. *Journal of Educational psychology*, 82(3), 498.
- Schommer, M., Crouse, A. et Rhodes, N. (1992). Epistemological beliefs and mathematical text comprehension: Believing it is simple does not make it so. *Journal of educational psychology*, 84(4), 435.
- Senge, P. M. (2006). The fifth discipline: The art & practice of the learning organization. *Performance+ Instruction*, 30(5), 37-37.
- Schraw, G., Bendixen, L. D. et Dunkle, M. E. (2002). Development and validation of the Epistemic Belief Inventory. Dans B. Hofer et P. Pintrich (dirs.), *Personal epistemology : The psychology of beliefs about knowledge and knowing* (p. 103-118): Mahwah, NJ: Erlbaum.

- Stahl, E. et Bromme, R. (2007). The CAEB: An instrument for measuring connotative aspects of epistemological beliefs. *Learning and instruction*, 17(6), 773-785.
- Stahl, E., Pieschl, S. et Bromme, R. (2006). Task complexity, epistemological beliefs and metacognitive calibration: An exploratory study. *Journal of Educational Computing Research*, 35(4), 319-338.
- Stathopoulou, C. et Vosniadou, S. (2007). Exploring the relationship between physics-related epistemological beliefs and physics understanding. *Contemporary Educational Psychology*, 32(3), 255-281.
- Sungur, S. et Tekkaya, C. (2003). Students' achievement in human circulatory system unit: The effect of reasoning ability and gender. *Journal of Science Education and Technology*, 12(1), 59-64.
- Sweeney, L. B. et Serman, J. D. (2000). Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory. *System Dynamics Review*, 16(4), 249-286.
- Teixeira, F. M. (2000). What happens to the food we eat? Children's conceptions of the structure and function of the digestive system. *International Journal of Science Education*, 22(5), 507-520.
- Therriault, G. (2008). *Postures épistémologiques que développent des étudiants des profils sciences et technologies et univers social au cours de leur formation initiale à l'enseignement secondaire : une analyse de leurs croyances et de leurs rapports aux savoirs*. Thèse de doctorat. Université du Québec à Rimouski.
- Therriault, G., Bader, B. (2009). *Démarche d'enseignement interdisciplinaire en sciences au secondaire. Un débat sur les changements climatiques pour une éducation citoyenne*. Nouvelle CSQ - Bulletin du CRIRES.
- Therriault, G., Harvey, L. et Jonnaert, P. (2010). Croyances épistémologiques de futurs enseignants du secondaire : des différences entre les profils et une évolution en cours de formation. *Mesure et évaluation en éducation*, 33(1), 1-30.
- Torp, L. et Sage, S. (1998). *Problems as possibilities: Problem-based learning for K-12 education*. , 2nd ed., ASCD, Alexandria, VA

- Toyama, N. (2000). What are food and air like inside our bodies?: Children's thinking about digestion and respiration. *International Journal of Behavioral Development*, 24(2), 222.
- Tsai, C.-C. (1998). An analysis of scientific epistemological beliefs and learning orientations of Taiwanese eighth graders. *Science Education*, 82(4), 473-489.
- Tsai, C.-C. et Liu, S.-Y. (2005). Developing a multi-dimensional instrument for assessing students' epistemological views toward science. *International Journal of Science Education*, 27(13), 1621-1638.
- Ullmer, E. J. (1986). Work Design in Organizations: Comparing the Organizational Elements Model and the Ideal System Approach. *Educational Technology*, 26(4), 12-18.
- Ullmo, J. (1967). Les concepts physiques. Dans J. Piaget (dir.), *Logique et connaissance scientifique* (p. 623-705). Paris : Gallimard.
- Urdapilleta, I. (2007). Le Fonctionnement cognitif dans les troubles du comportement alimentaire de l'adolescent. Dans H. Chabrol (dir.), *Les troubles du comportement alimentaire de l'enfant et de l'adolescent*. (p. 9-46) : Solal-Gallimard.
- Vallerand, R. J. (1989). Vers une méthodologie de validation trans-culturelle de questionnaires psychologiques : Implications pour la recherche en langue française. *Canadian Psychology/Psychologie Canadienne*, 30(4), 662.
- Vanneuville, G. (1998). De Galien à Vésale : Les années noires de l'anatomie. *Dossiers d'Archéologie*, (231), 30-39.
- Vause, A. (2009). Les croyances et connaissances des enseignants à propos de l'acte d'enseigner. Vers un cadre d'analyse. *Les Cahiers de Recherche en Education et Formation*, 66, 1-33
- Vergnaud, G. (1983). Introduction. Didactique et acquisition du concept de volume [Numéro thématique]. *Recherches en didactique des mathématiques*, 4(1), 9-25.
- Vergnaud, G. (1989). «La formation des concepts scientifiques. Relire Vygotski et débattre avec lui aujourd'hui. *Enfance*, 42(1-2), 111-118.

- Verhoeff, R. P., Waarlo, A. J. et Boersma, K. T. (2008). Systems modelling and the development of coherent understanding of cell biology. *International Journal of Science Education*, 30(4), 543-568.
- Voisin, M. (2011). *William Harvey et la circulation sanguine*. Académie des sciences et lettres de Montpellier.
- von Bertalanffy, L. (1973). *Théorie générale des systèmes*. Paris, France : Dunod.
- Vygotski, L. (1934). Pensée et langage.(1997). Paris : Éd. La Dispute.
- Watzlawick, P. (1988). *L'invention de la réalité*. Paris, France : Éditions du Seuil.
- Watzlawick, P., Beavin, J. H., Jackson, D. D. et Morche, J. (1972). *Une logique de la communication*. Paris : Seuil.
- Wilensky, U. (1997). What is normal anyway ? Therapy for epistemological anxiety. *Educational Studies in Mathematics*, 33(2), 171-202.
- Wilensky, U. et Reisman, K. (2006). Thinking like a wolf, a sheep, or a firefly: Learning biology through constructing and testing computational theories - an embodied modeling approach. *Cognition and Instruction*, 24(2), 171-209.
- Wilensky, U. et Resnick, M. (1999). Thinking in levels: A dynamic systems approach to making sense of the world. *Journal of Science Education and Technology*, 8(1), 3-19.
- Windschitl, M. (2001). Using simulations in the middle school: Does assertiveness of dyad partners influence conceptual change? *International Journal of Science Education*, 23(1), 17-32.
- Windschitl, M. et Andre, T. (1998). Using computer simulations to enhance conceptual change: The roles of constructivist instruction and student epistemological beliefs. *Journal of research in science teaching*, 35(2), 145-160.
- Wood, P. et Kardash, C. (2002). Critical elements in the design and analysis of studies of epistemology. Dans B. K. Hofer et P. R. Pintrich (Dirs.), *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing*. (p. 231-260) : Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Woolfolk Hoy, A., Davis, H. et Pape, S. J. (2006). Teacher knowledge and beliefs. *Handbook of educational psychology*, 2, 715-738.

- Yang, F.-Y. (2005). Student views concerning evidence and the expert in reasoning a socio-scientific issue and personal epistemology. *Educational Studies*, 31(1), 65-84.
- Yang, F.-Y. et Tsai, C.-C. (2011). Personal Epistemology and Science Learning: A Review on Empirical Studies. *Second International Handbook of Science Education*, 1, 259.
- Yip, D. Y. (1998). Teachers' misconceptions of the circulatory system. *Journal of Biological Education*, 32(3), 207-215.
- Yoon, S. (2008a). An evolutionary approach to harnessing complex systems thinking in the science and technology classroom. *International Journal of Science Education*, 30(1), 1-32.
- Yoon, S. (2008b). Using memes and memetic processes to explain social and conceptual influences on student understanding about complex socio-scientific issues. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(8), 900-921.
- Zbidi, L. H. (2010). *Rapport entre posture épistémologique et pratiques d'enseignement : influence des postures épistémologiques des enseignants de biologie sur leur élaboration de situations d'enseignement de la circulation du sang* : Éditions universitaires européennes.
- Zbinden Sapin, V. (2006). *Représentations de la génétique chez des adolescents et jeunes adultes*. Thèse de doctorat. Université de Fribourg, Suisse.

APPENDICES

APPENDICE A

Typologie des systèmes complexes

von Bertalanffy (1973)			Le Moigne (1977)	
Niveau		Description	Niveau	Description
1	Structures statiques	Atomes, molécules, cristaux, structures biologiques du microscope électronique au niveau macroscopique	1	Système passif Sans nécessité en soi
2	Mouvements d'horlogerie	Horloges, machines conventionnelles, systèmes solaires	2	Système actif Caractérisé par son activité
3	Mécanismes d'autorégulation	Thermostat, servomécanismes, mécanismes homéostatiques de l'organisme	3	Système régulé Émergence de régularités dans son activité
4	Systèmes ouverts	Flammes, cellules et organismes en général	4	Système informé Émergence de l'information dans sa représentation
5	Organismes de bas niveau	Organismes du type végétal : différenciation croissante du système; distinction de la reproduction et de l'individu fonctionnel	5	Système décide Émergence de processus décisionnels

von Bertalanffy (1973)			Le Moigne (1977)	
Niveau		Description	Niveau	Description
6	Animaux	Importance croissante du trafic de l'information (évolution des récepteurs, systèmes nerveux ; apprentissage ; début de conscience)	6	Système mémoire Émergence de la mémoire et importance de la communication
7	Hommes	Symbolisme ; passé et futur, moi et monde, conscience de soi. Conséquences : communication par le langage	7	Système de coordination Émergence de la coordination ou du pilotage
8	Systèmes socioculturels	Populations et organismes (humains inclus) ; communautés symboliquement déterminées (cultures) chez l'homme seulement	8	Système s'auto-organise Émergence de l'imagination et de la capacité de s'auto-organiser
9	Systèmes symboliques	Langage, logique, mathématique, sciences, arts, morale	9	Système s'autofinalise Émergence de la conscience et de la capacité de se finaliser

APPENDICE B

Questionnaire sur les croyances épistémiques

(Tiré de Laliberté, 2012, traduit et adapté de Conley *et al.*, 2004)

La source

- 1- Tout le monde doit croire ce que disent les scientifiques.
- 2- En sciences, tu dois croire ce qui est écrit dans les livres de sciences.
- 3- Tout ce que l'enseignant ou l'enseignante dit dans la classe de sciences est vrai.
- 4- Si tu lis quelque chose dans un livre de sciences, tu peux être certain que c'est vrai.
- 5- Seuls les scientifiques savent assurément ce qui est vrai en sciences.

La certitude

6. Toutes les questions en sciences ont une seule bonne réponse.
7. Le plus important en faisant des sciences est d'arriver à la bonne réponse.
8. Les scientifiques savent presque tout ce qu'il y a à savoir en sciences ; il n'y a pas beaucoup plus à savoir.
9. Les connaissances scientifiques sont toujours vraies.
10. Une fois que les scientifiques arrivent à un résultat après une expérience, c'est la seule réponse possible.
11. Les scientifiques sont toujours d'accord entre eux sur ce qui est vrai en sciences.

Le développement

12. Aujourd'hui, certaines idées en sciences sont différentes de ce que les scientifiques pensaient autrefois.
13. Dans les livres de sciences, les idées peuvent parfois changer.
14. Il y a certaines questions auxquelles même les scientifiques ne peuvent répondre.
15. En sciences, les idées changent parfois.

16. De nouvelles découvertes peuvent changer ce que les scientifiques pensent être vraies.

17. Parfois, les scientifiques changent d'idée à propos de ce qui est vrai en sciences.

La justification

18. Les idées à l'origine des expériences en sciences proviennent du fait d'être curieux et de se poser des questions.

19. En sciences, il peut y avoir plus d'une façon pour les scientifiques de vérifier leurs idées.

20. Une partie importante des sciences est de faire des expériences pour trouver de nouvelles idées sur le fonctionnement des choses.

21. Il est bien de refaire les expériences plus d'une fois pour confirmer tes découvertes.

22. Les bonnes idées en sciences peuvent provenir de n'importe qui, pas uniquement des scientifiques.

23. Une bonne façon de savoir si une idée est vraie est de faire une expérience.

24. Les bonnes réponses sont basées sur la preuve qui provient de plusieurs expériences différentes.

25. Les idées en sciences peuvent provenir de tes propres questionnements et de tes propres expériences.

26. Il est bien d'avoir une idée avant d'entreprendre une expérience.

APPENDICE C

Consignes pour remplir le questionnaire

Ce questionnaire comporte 26 questions. Le temps prévu pour y répondre est de 30 minutes. Le questionnaire contient des énoncés (phrases) sur ce que tu penses au sujet de la science. Tu es invité(e) à exprimer ton degré d'accord ou de désaccord pour chaque énoncé.

Il n'y a pas de « bonnes » et de « mauvaises » réponses. Je veux simplement avoir ton opinion.

Dans ce questionnaire, tu dois faire un cercle  autour des chiffres :

- 1) Si tu es fortement en désaccord avec l'énoncé
- 2) Si tu es en désaccord avec l'énoncé
- 3) Si tu n'as pas d'opinion sur l'énoncé
- 4) Si tu es en accord avec l'énoncé
- 5) Si tu es fortement en accord avec l'énoncé

Assure-toi de fournir une seule réponse pour chacune des questions. Si tu changes d'idée par rapport à une réponse, tu n'auras qu'à faire une croix (X) et à encercler une autre réponse.

Quelques énoncés du questionnaire se ressemblent beaucoup! Il ne faut pas être surpris. Donne simplement ton opinion pour tous les énoncés et rappelle-toi que ta participation est grandement appréciée. De plus, ce questionnaire ne compte pas sur le bulletin et n'influence pas tes résultats scolaires.

APPENDICE D

Situation 1

LES MALADIES CARDIOVASCULAIRES (MVC)

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), elles sont la première cause de mortalité dans le monde.

Les causes d'une MVC sont multiples, mais elles ont toutes comme point commun d'être des affections touchant le cœur et la circulation sanguine.

L'OMS recense les causes principales suivantes :

- L'alimentation : trop riche en gras : cholestérol, en sucres : diabète. Afin d'éviter les risques, l'OMS recommande d'avoir une alimentation équilibrée et diversifiée, d'éviter la consommation excessive de sucreries et de ne pas abuser du sel.
- Le tabac : la nicotine accélère le rythme cardiaque et provoque une diminution des vaisseaux. L'oxyde de carbone prend en partie la place de l'oxygène dans le sang ; le bon cholestérol diminue de façon très nette chez les fumeurs : les artères coronaires s'encrassent progressivement.
- La sédentarité : sans effort physique régulier, le cœur perd l'habitude de faire des efforts importants et se fatigue beaucoup plus rapidement.

La circulation sanguine semble avoir un rôle central dans l'organisme humain. Explique en quoi la circulation sanguine est le système le plus important du corps humain et comment elle est reliée aux divers systèmes du corps humain.

Il est important que tu te serves d'un schéma permettant de démontrer le rôle central de la circulation sanguine. Tu peux également rajouter un texte si tu penses que cela est nécessaire.

Question supplémentaire :

Que se passe-t-il dans ton organisme quand tu pratiques une activité sportive ?

Décris les divers systèmes impliqués et les processus qui s'y déroulent à travers les bienfaits que le sport peut apporter vis-à-vis des maladies cardiovasculaires.

APPENDICE E

Dossier de presse

Les effets nocifs du tabac

Les maladies des poumons, responsables d'un décès sur 10 en Europe

Le 9 septembre 2013 – par Émilie Cailleau (Topsanté.com)

La société européenne de pneumologie (branche de la médecine s'intéressant aux maladies respiratoires) s'alarme dans un rapport de la mortalité due aux maladies pulmonaires. Les maladies pulmonaires tuent une personne sur 10 et le tabac représente la première cause de décès. Pour les experts de la société européenne de pneumologie, il est clair que les nouvelles générations de fumeurs vont entraîner une hausse brutale des décès dans les 20 ans à venir. Des morts provoquées par des broncho-pneumopathies chroniques obstructives (BPCO) et des cancers des poumons.

Qu'est-ce qu'une BPCO ?

http://sante.canoe.ca/condition_info_details.asp?disease_id=219 : © 1996-2013,

MediResource

L'appellation broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) s'applique à la bronchite chronique. Il s'agit d'affections chroniques qui empêchent une quantité suffisante d'air d'entrer ou de sortir des poumons. La bronchite chronique provoque l'inflammation et le gonflement des voies aériennes (ou *bronches*) qui relient la trachée aux poumons. Ceci provoque un rétrécissement des bronches qui deviennent alors obstruées par un mucus épais, appelé *flegme*. Il arrive que la bronchite chronique s'accompagne d'emphysème. Dans ce cas, il y a destruction des sacs alvéolaires des poumons, ce qui provoque une augmentation de leur volume,

réduisant ainsi la surface où se fait le transfert d'oxygène. Ces troubles rendent la respiration difficile.

La cause principale d'une BPCO est le tabagisme. En effet, le tabac provoque une surproduction de mucus qui tapisse les parois des voies aériennes, réduisant considérablement la taille des bronches. Cet excès de sécrétions favorise les infections bronchiques qui entraînent une plus grande production de mucus.

Les personnes qui souffrent de bronchite chronique ont généralement une toux persistante et une respiration sifflante. Il leur arrive également souvent d'être essoufflé. La baisse du taux d'oxygène dans le sang, due à la difficulté de faire pénétrer l'air dans les sacs alvéolaires, peut causer le bleuissement des lèvres et des ongles. Une BPCO peut également entraîner une défaillance cardiaque étant donné que le cœur doit fournir un effort accru pour pomper le sang vers les poumons. Lorsque le sang ne se diffuse pas assez dans les tissus, il s'accumule dans les vaisseaux sanguins des jambes et des chevilles et cause un gonflement appelé *œdème*.

Cancer : la cigarette très dangereuse pour les reins et la vessie

Alexandra Bresson : AFP. metronews.fr

Non content d'être néfaste pour les poumons, le tabac aurait également un impact à long terme sur d'autres organes du corps humain. Selon l'Association française (branche de la médecine qui s'intéressant aux maladies des reins et des voies urinaires), la cigarette serait le principal facteur de risque des cancers du rein et de la vessie. Ces maladies principalement masculines ont fait près de 9 000 morts l'an dernier, notent les urologues. « De nombreuses études ont montré une forte corrélation entre le tabagisme, le développement et la progression du cancer de la

vessie, avec un risque multiplié entre deux à dix fois », relève le D^r Yann Neuzillet, chirurgien urologue à l'hôpital Foch de Suresnes.

50 % de risque en plus pour le cancer du rein

« Ce type de cancer est favorisé par le stockage dans la vessie de substances cancérogènes éliminées par le rein », ajoute le D^r Neuzillet. « Un homme qui fume a un risque accru de 50 % d'avoir un cancer du rein par rapport à un non-fumeur », relève le D^r Marc-Olivier Timsit, urologue à l'hôpital Georges Pompidou. Pourtant, les effets du tabac ne sont pas irréversibles. « Il suffit d'arrêter de fumer au moins 10 ans pour rejoindre la courbe des non-fumeurs », ajoute le médecin. D'autres éléments sont également incriminés par les urologues. À l'instar des maladies cardiovasculaires, ces médecins soulignent l'importance du manque d'activité physique, de l'obésité et de l'hypertension artérielle.

Les dangers du cholestérol

Un adulte sur cinq vit avec un excès de cholestérol (étude)

Par AFP le 25 septembre 2013

Un adulte sur cinq en France a un excès de cholestérol dans le sang, ce qui présente un facteur de risque pour les maladies cardiovasculaires, selon une étude publiée mardi dans le Bulletin épidémiologique hebdomadaire (BEH).

Petit rappel sur le cholestérol : Le cholestérol est fabriqué au niveau du foie par une enzyme qui dégrade des éléments tirés de notre alimentation. Il est essentiel à notre organisme et il est utilisé pour la synthèse des acides biliaires (qui facilite l'absorption des lipides), il est indispensable à la production des hormones sexuelles (testostérone, progestérone, œstrogènes) et les hormones du stress (cortisol) et c'est aussi le point de départ de la synthèse de la vitamine D.

Le cholestérol est transporté dans le sang par deux types de « véhicules » :

Les LDL (lipoprotéines de basse densité) prennent le cholestérol au foie et l'emmènent dans l'organisme. Une trop grande quantité de LDL entraîne le dépôt du cholestérol dans les artères, ce qui les obstrue.

Les HDL (lipoprotéines de haute densité) récupèrent le cholestérol qui se dépose dans les vaisseaux et le ramènent au foie pour qu'il soit détruit. Une grande quantité d'HDL permet d'éviter l'accumulation du cholestérol dans l'organisme. L'excès de cholestérol dans le sang ne provoque aucun symptôme à court terme, mais peut entraîner au fil du temps le dépôt de plaques d'athérome. Ces dépôts de graisse épaississent les parois des vaisseaux sanguins et leurs ruptures peuvent conduire à un infarctus du myocarde ou un accident vasculaire cérébral (AVC).

Qu'est-ce qu'un infarctus du myocarde ?

http://sante.canoe.ca/condition_info_details.asp?disease_id=163 : © 1996 - 2013
MediResource

Le cœur est l'un des plus gros muscles du corps. La paroi du cœur, qui s'appelle le myocarde, est en fait un muscle qui assure la circulation du sang en effectuant le pompage. Lors d'une crise cardiaque, l'obstruction d'une artère prive ce tissu musculaire de sang oxygéné. Quand le manque d'oxygène devient suffisamment grave pour entraîner la mort d'un grand nombre de cellules, il s'agit d'un infarctus. Dans le contexte médical, une crise cardiaque est désignée infarctus aigu du myocarde (IM).

Quelle est la cause d'une crise cardiaque ?

Tous les organes ont besoin de sang oxygéné pour maintenir leurs fonctions, et le myocarde (le muscle qui forme la paroi du cœur) ne fait pas exception. Les artères

coronaires lui fournissent son propre réseau d'approvisionnement en oxygène. Dans le cas d'une insuffisance coronaire, des dépôts graisseux se forment sur les parois internes des artères coronaires dont ils réduisent le diamètre, et par conséquent la capacité de véhiculer le flux sanguin vers le cœur. Ce processus correspond au développement de l'athérosclérose.

La plupart des crises cardiaques surviennent quand une rupture dans le revêtement de la paroi interne d'une artère libère la plaque d'athérosclérose. Le sang forme alors un caillot sur l'artère endommagée et sa présence peut bloquer partiellement ou complètement le débit sanguin. Si l'obstruction devient suffisamment importante, des symptômes de crise cardiaque apparaissent et les cellules du muscle cardiaque commencent à mourir peu après, c'est alors que l'on parle de crise cardiaque.

Presque toutes les personnes qui souffrent d'une crise cardiaque observent également une arythmie (des battements de cœur irréguliers). Certains de ces battements de cœur irréguliers sont sans danger, tandis que d'autres peuvent causer de graves problèmes, même la mort. Un trouble du rythme cardiaque dénommé fibrillation ventriculaire, ou FV, peut mener à la mort dans l'espace de cinq minutes environ. Le ventricule gauche, qui est la principale cavité de pompage du cœur, palpite inutilement au lieu d'envoyer le sang dans le corps. Ce dysfonctionnement du cœur s'explique par le manque d'apport en oxygène.

Et un AVC ?

http://www.passeportsante.net/fr/Maux/Problemes/Fiche.aspx?doc=accident_vasculaire_cerebral_pm

Un accident vasculaire cérébral (AVC) ou attaque cérébrale est une défaillance de la circulation du sang qui affecte une région plus ou moins importante du cerveau. Il survient à la suite de l'obstruction ou de la rupture d'un vaisseau sanguin et provoque

la mort des cellules nerveuses, qui sont privées d'oxygène et des éléments nutritifs essentiels à leurs fonctions. Les AVC ont des conséquences très variables. Plus de la moitié des gens en gardent des séquelles. Environ un individu sur 10 récupère complètement. La gravité des séquelles dépend de la région du cerveau atteinte et des fonctions qu'elle contrôle. Plus la région privée d'oxygène est grande, plus les séquelles risquent d'être importantes. À la suite d'un AVC, certaines personnes auront de la difficulté à parler ou à écrire (aphasie) et des problèmes de mémoire. Elles pourront aussi être atteintes d'une paralysie plus ou moins importante du corps.

La cause principale d'un AVC est l'athérosclérose, c'est-à-dire la formation de plaques de lipides sur la paroi des vaisseaux sanguins. L'hypertension artérielle (augmentation de la pression du sang dans les artères) est aussi un facteur de risque important. Avec le temps, la pression anormale exercée par le sang sur la paroi des vaisseaux sanguins peut provoquer leur rupture.

Il existe trois types d'accidents vasculaires cérébraux :

- *La thrombose cérébrale.* Elle représente de 40 % à 50 % des cas. Elle se produit quand un caillot sanguin se forme dans une artère cérébrale, sur une plaque de lipides (athérosclérose).
- *L'embolie cérébrale.* Elle représente environ 30 % des cas. Comme dans le cas de la thrombose, une artère cérébrale est bloquée. Cependant, ici, le caillot qui bloque l'artère s'est formé ailleurs et a été transporté par la circulation sanguine. Il provient souvent du cœur ou d'une artère carotide (dans le cou).
- *L'hémorragie cérébrale.* Elle représente environ 20 % des cas, mais c'est la forme d'AVC la plus grave. Souvent causée par une hypertension de longue date, elle peut aussi résulter de la rupture d'une artère du cerveau. En plus de priver une partie du cerveau d'oxygène, l'hémorragie détruit d'autres cellules

en exerçant de la pression sur les tissus. Elle peut se produire au centre ou à la périphérie du cerveau, tout juste sous la boîte crânienne.

Faire du sport : comment notre corps réagit organe par organe

Le HuffPost | Par Sarah Klein Publication : 06/09/2013 11:27 EDT

Que vous fassiez du sport pour perdre du poids, pour vous remettre en forme, ou – va-t-on oser le dire ? – juste pour le plaisir, cette pratique vous change.

Il y a le visage rouge et la sueur, le cœur qui bat la chamade et les poumons qui pompent, votre vigilance et votre humeur qui s'améliorent. Mais si nous savons tous que rester physiquement actif est essentiel pour avoir une vie longue, saine et productive, nous ne savons pas exactement ce qui se passe dans notre corps.

Voici un petit aperçu.

Les muscles

Le corps fait appel au glucose, le sucre que le corps a emmagasiné de la nourriture que nous ingérons, pour avoir l'énergie nécessaire à la contraction des muscles et au déclenchement du mouvement.

Les poumons

Votre corps a besoin de 15 fois plus d'oxygène quand vous faites du sport, d'où le fait que vous respirez plus vite et plus lourdement. Votre rythme respiratoire va augmenter jusqu'à ce que les muscles entourant les poumons ne puissent bouger plus vite.

Le cœur

Quand vous faites du sport, le rythme cardiaque augmente pour permettre à plus d'oxygène de circuler (via le sang) selon un rythme plus rapide. Plus vous faites de l'exercice, plus le cœur devient efficace, de sorte que vous puissiez vous entraîner plus dur et plus longtemps. Cela finit par faire baisser le rythme cardiaque des personnes en forme au repos. L'exercice stimule aussi la croissance de nouveaux vaisseaux sanguins, conduisant à une baisse de la tension artérielle chez les personnes en forme.

L'estomac et les intestins

Parce que le corps pompe plus de sang vers les muscles, il en enlève à des systèmes et des fonctions qui ne sont pas à ce moment-là une priorité, comme la digestion.

Le cerveau

L'augmentation du flux sanguin peut aussi bénéficier au cerveau. Les cellules du cerveau vont immédiatement fonctionner à un niveau plus élevé, vous rendant plus vigilant durant l'exercice, et plus concentré après. Le sport peut aussi déclencher une poussée des neurotransmetteurs, les messagers chimiques du cerveau, y compris les endorphines, souvent citées comme étant la cause de la mythique « ivresse du coureur ». Le cerveau diffuse dans le sang de la dopamine ainsi que du glutamate, pour faire bouger les bras et les jambes.

Les reins

L'intensité de votre exercice peut influencer sur le rythme auquel les reins filtrent le sang. Après un exercice intense, les reins permettent à plus de protéines contenues dans le sang d'être filtrées dans les urines. Ils facilitent aussi l'absorption de l'eau, diminuant ainsi les urines, vraisemblablement pour vous aider à rester le plus hydraté possible.

La peau

Tout comme vous choisissez votre rythme, le corps, comme n'importe quelle machine, produit de la chaleur et a besoin de se rafraîchir. Les vaisseaux sanguins de la peau se dilatent, augmentant le flux sanguin dans la peau. La chaleur se dissipe alors à travers la peau dans l'air.

APPENDICE F

Cahier de science

CONSIGNES POUR COMPLÉTER CE CAHIER DE SCIENCE

À travers ce cahier, plusieurs questions vous seront posées sur deux systèmes du corps humain. Pour y répondre, vous aurez à votre disposition votre dossier de presse ainsi que des animations informatiques. Vous pourrez répondre aux questions de la manière que vous souhaitez (en dessinant un schéma, en rédigeant un texte, etc.).

Nous vous remercions encore pour votre participation et nous vous rappelons que vos réponses ne serviront en aucun cas pour le bulletin scolaire et n'influeront pas sur vos résultats scolaires.

ATELIER 1 : LE SYSTÈME RESPIRATOIRE

En utilisant les documents à ta disposition et ta propre réflexion sur les effets nocifs du tabac sur différents organes du corps humain, réponds aux questions suivantes :

Question 1 :

Décris les différentes parties et les processus qui interviennent lorsqu'un fumeur inhale et recrache la fumée du tabac. Tu peux retracer le parcours des diverses substances contenues dans la fumée de cigarette à travers l'organisme entre l'inspiration et l'expiration, par exemple.

Question 2 :

Comment les substances du tabac agissent-elles sur l'organisme, selon toi ?

ATELIER 2 : LE SYSTÈME CARDIOVASCULAIRE

En utilisant les documents à ta disposition et ta propre réflexion sur les effets du cholestérol sur différents organes du corps humain, réponds aux questions suivantes :

Question 1 :

Décris les différentes parties et les processus intervenant dans la diffusion du cholestérol dans le corps humain. Tu peux retracer son parcours à partir du moment où il est ingéré jusqu'à son élimination, par exemple.

Question 2 :

Comment le cholestérol agit-il sur l'organisme, selon toi ?

APPENDICE G

Situation 2

LES MALADIES CARDIOVASCULAIRES (MVC)

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), elles sont la première cause de mortalité dans le monde.

Les causes d'une MVC sont multiples, mais elles ont toutes comme point commun d'être des affections touchant le cœur et la circulation sanguine.

L'OMS recense les causes principales suivantes :

- L'alimentation : trop riche en gras : cholestérol, en sucres : diabète. Afin d'éviter les risques, l'OMS recommande d'avoir une alimentation équilibrée et diversifiée, d'éviter la consommation excessive de sucreries et de ne pas abuser du sel.
- Le tabac : la nicotine accélère le rythme cardiaque et provoque une diminution des vaisseaux. L'oxyde de carbone prend en partie la place de l'oxygène dans le sang ; le bon cholestérol diminue de façon très nette chez les fumeurs : les artères coronaires s'encrassent progressivement.
- La sédentarité : sans effort physique régulier, le cœur perd l'habitude de faire des efforts importants et se fatigue beaucoup plus rapidement.

La circulation sanguine semble jouer un rôle central dans l'organisme humain. En te servant des réponses que tu as données aux ateliers précédents et des articles que tu as lus, explique en quoi la circulation sanguine est le système le plus important du corps humain et comment elle est reliée aux divers systèmes que tu as étudiés. Il est important que tu te serves d'un schéma permettant de démontrer le rôle central de la circulation sanguine. Tu peux également rajouter un texte si tu penses que cela est nécessaire.

Question supplémentaire :

Que ce passe-t-il dans ton organisme quand tu pratiques une activité sportive ?

Décris les divers systèmes impliqués et les processus qui s'y déroulent à travers les bienfaits que le sport peut apporter vis-à-vis des maladies cardiovasculaires.

APPENDICE H

Le système cardiovasculaire : les logiciels

Cycle cardiaque :

<http://www.biologieenflash.net/animation.php?ref=bio-0011-3>

Anatomie cardiaque :

<http://www.biologieenflash.net/animation.php?ref=bio-0090-3>

Régulation nerveuse du rythme cardiaque :

<http://philippe.cosentino.free.fr/2de/regulpan2.swf>

Révolution cardiaque :

<http://storage.canalblog.com/90/22/693944/62586504.swf>

APPENDICE I

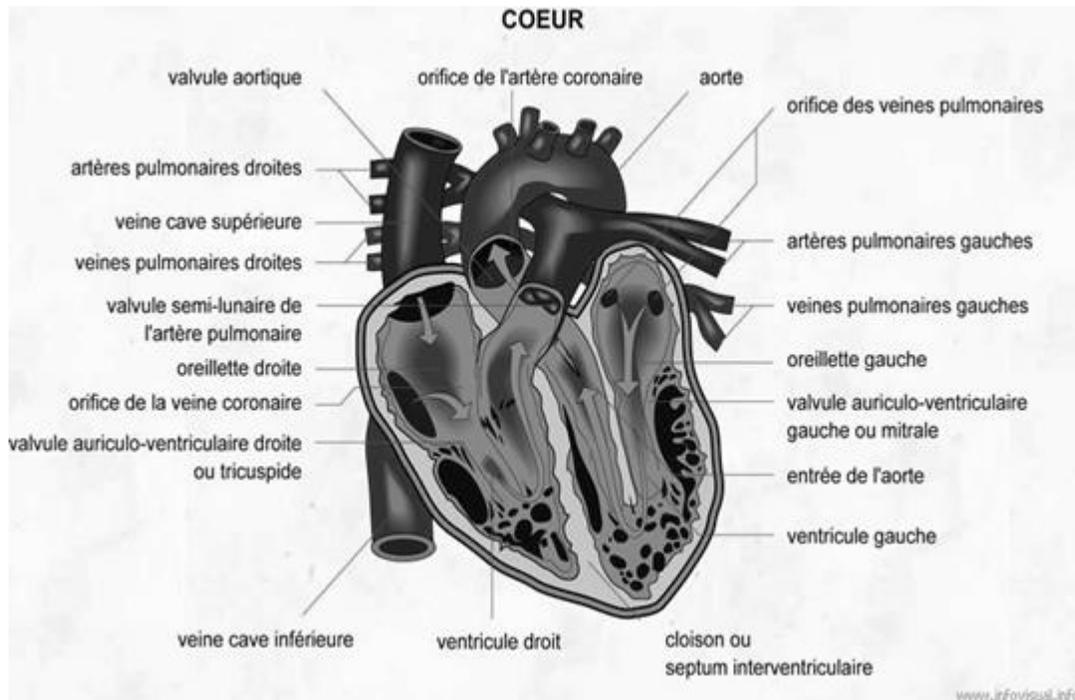
Le système cardiovasculaire : le texte

Structure et rôle du cœur

Le cœur est un muscle, appelé myocarde, assurant le rôle de pompe du système sanguin. Cet organe musculaire creux permet donc la circulation du sang dans le corps et l'apport d'oxygène et nutriments à l'ensemble des cellules des organismes. Le cœur est situé dans la partie médiane de la cage thoracique (le médiastin) délimitée par les deux poumons, le sternum et la colonne vertébrale.

Mesurant entre 14 et 16 cm pour un diamètre de 12 à 14 cm chez l'adulte, le cœur représente un volume de 50 à 60 cm³. Il est un peu plus gros chez l'homme que chez la femme et pompe chaque jour en moyenne 8000 litres de sang grâce à environ 100 000 battements quotidiens (soit jusqu'à 2 milliards de battements au cours de la vie).

Le cœur est composé de quatre cavités : les oreillettes (ou atria) sur la partie supérieure et les ventricules sur la partie inférieure. L'oreillette droite et le ventricule droit sont séparés de l'oreillette gauche et du ventricule gauche par une épaisse paroi musculaire, le septum. Ainsi, aucun échange de sang entre la partie gauche et la partie droite n'est possible. Le passage ne se fait que dans une direction, de l'oreillette vers le ventricule et cela par les valves cardiaques.



On peut ainsi considérer le cœur comme, en fait, deux cœurs qui seraient accolés : le cœur droit et le cœur gauche.

La paroi du cœur est composée de muscles en trois couches distinctes : l'épicarde (cellules épithéliales et tissu conjonctif), le myocarde (ou muscle cardiaque) et à l'intérieur, l'endocarde (cellules épithéliales et tissu conjonctif).

Le sang qui circule dans le cœur va trop vite pour y être absorbé, si bien qu'il dispose de son propre système de vaisseaux, appelé artères coronaires, le vascularisant pour apporter aux cellules cardiaques oxygène et nutriments.

Ce sont les ventricules qui assurent la fonction de pompes du sang vers le corps ou vers les poumons, et leurs parois est plus épaisses et leurs contractions plus fortes que les oreillettes.

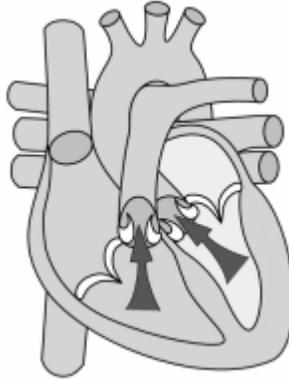
Fonctionnement du cœur

- 1- Le côté droit du cœur renvoie le sang pauvre en oxygène aux poumons pour éliminer le dioxyde de carbone et réoxygéner le sang.
- 2- L'oreillette droite reçoit le sang veineux apporté par la veine cave et propulsé dans le ventricule droit qui, en se contractant, envoie le sang dans les poumons par l'artère pulmonaire (qui est donc la seule artère transportant du sang pauvre en oxygène).
- 3- Le sang oxygéné dans les poumons revient alors du cœur gauche au niveau de l'oreillette par les quatre veines pulmonaires (ce sont les seules veines transportant du sang riche en oxygène).
- 4- Le sang est ensuite propulsé dans le ventricule gauche et doit traverser la valve mitrale, qui contrôle le débit.
- 5- En se contractant, le cœur propulse par la valve aortique puis l'aorte (plus gros vaisseau sanguin de l'organisme) le sang dans l'ensemble du réseau des artères.

La révolution cardiaque

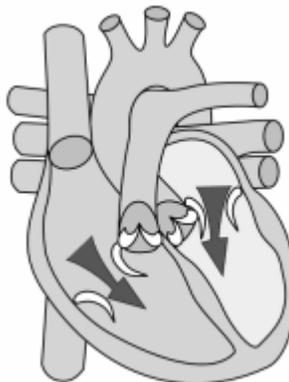
Trois étapes majeures : la systole auriculaire, la systole ventriculaire et la diastole.

Au cours de la **systole auriculaire**, les oreillettes se contractent et éjectent du sang vers les ventricules (remplissage actif). Une fois le sang expulsé des oreillettes, les valves auriculo-ventriculaires entre les oreillettes et les ventricules se ferment. Ceci évite un reflux du sang vers les oreillettes. La fermeture de ces valves produit le son familier du battement du cœur.



La **systole ventriculaire** implique la contraction des ventricules, expulsant le sang vers le système circulatoire. Une fois le sang expulsé, les deux valves sigmoïdes – la valve pulmonaire à droite et la valve aortique à gauche – se ferment. Ainsi le sang ne reflue pas vers les ventricules. La fermeture des valvules sigmoïdes produit un deuxième bruit cardiaque plus aigu que le premier. Pendant cette systole, les oreillettes maintenant relâchées se remplissent de sang.

Enfin, la **diastole** est la relaxation de toutes les parties du cœur, permettant le remplissage (passif) des ventricules par les oreillettes droites et gauches et depuis les veines caves et pulmonaires.



Le cœur passe 1/3 du temps en systole et 2/3 en diastole. L'expulsion rythmique du sang provoque ainsi le pouls que l'on peut tâter.

Régulation des contractions cardiaques

Le muscle cardiaque dépend d'un stimulus conscient ou réflexe (il est dit myogénique). Les contractions rythmiques sont spontanées, mais leur fréquence est affectée par les nerfs (régulation par le système nerveux central : modulation de la fréquence et de la puissance des contractions par les nerfs cardiomodérateurs et cardiostimulateurs, selon les conditions sanguines de pH et les concentrations en oxygène) et les hormones (hormones orthosympathiques telles que l'adrénaline et la noradrénaline et hormones thyroïdiennes favorisent la contractibilité, alors que les hormones parasymphathiques telles l'acétylcholine la diminue).

La pression artérielle

La **pression artérielle** (ou parfois tension artérielle) correspond à la pression du sang dans les artères. L'unité de mesure de cette pression est le pascal (Pa), mais le plus souvent la mesure est réalisée en centimètre de mercure (cmHg).

Elle est exprimée par deux mesures : la pression maximale au moment de la contraction du cœur (systole) et la pression minimale au moment du « relâchement » du cœur (diastole).

La pression évolue en fonction de paramètres tel que l'effort, le stress, le repos, la consommation de certains produits.

Note : Si elle est trop haute en permanence, il s'agit d'une hypertension artérielle, en revanche si elle est trop basse, on parle d'hypotension.

APPENDICE J

Le système respiratoire : les logiciels

Anatomie respiratoire :

<http://www.biologieenflash.net/animation.php?ref=bio-0003-3>

Régulation nerveuse du rythme respiratoire :

<http://www.acnice.fr/svt/productions/2ao/respi/respi.swf>

Mouvement respiratoire :

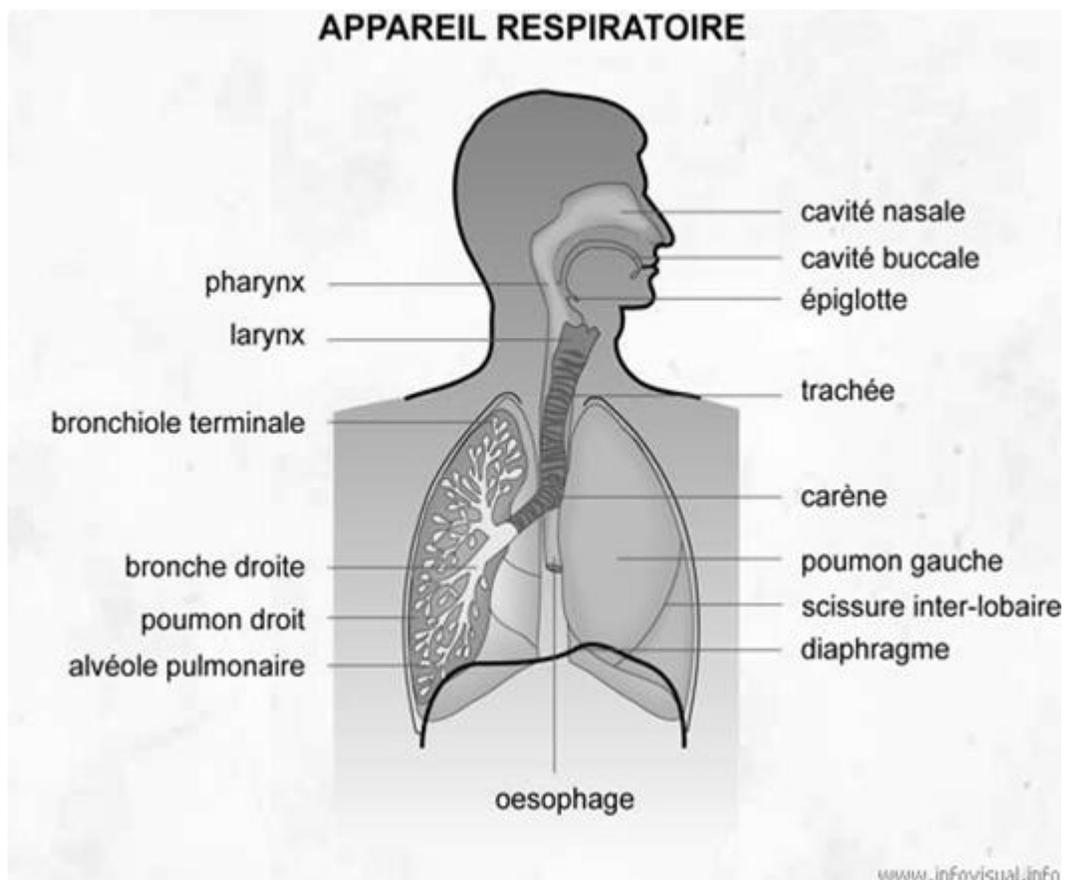
<http://www2.cslaval.qc.ca/cdp/UserFiles/File/previews/poumons.swf>

APPENDICE K

Le système respiratoire : le texte

Mécanisme et principe de la respiration

L'**appareil respiratoire** permet un échange gazeux entre le sang des veines et l'air atmosphérique en fournissant au sang l'oxygène dont le corps a besoin et en expulsant les déchets gazeux de l'activité telle que le CO₂ (dioxyde de carbone).



La respiration correspond à deux mécanismes : l'inspiration qui fournit l'oxygène de l'air à l'organisme et l'expiration qui permet d'éliminer le CO₂. Cet échange gazeux

se produit au niveau des poumons, dans les alvéoles pulmonaires grâce à une différence de pression entre les deux côtés (un gaz s'écoule du milieu le plus concentré vers le moins concentré).

Le terme de respiration a aussi un autre sens lorsqu'il correspond aux réactions chimiques oxydatives à l'intérieur des cellules de l'organisme : c'est la respiration cellulaire (elle correspond à la consommation d'oxygène au niveau cellulaire pour dégrader le glucose ou les lipides et produisant du CO_2 , qui est donc un déchet de cette dégradation).

L'échange gazeux au niveau des alvéoles pulmonaires s'effectue par diffusion (dite alvéolo-capillaire) grâce à un mécanisme appelé la ventilation pulmonaire qui correspond à l'ensemble des mouvements respiratoires assurant le renouvellement de l'air passant par les poumons. Ces mouvements se font grâce aux muscles respiratoires intercostaux et diaphragmes (muscle fin à la base des poumons qui sépare la cage thoracique de l'abdomen).

La respiration est un phénomène automatique et inconscient. Au repos, le rythme ou fréquence respiratoire d'un adulte moyen est de 16 respirations par minute.

Chaque jour, un adulte inspire environ 8000 litres d'air (à raison de 0,5 litre d'air environ par inspiration).

Circulation et échanges gazeux

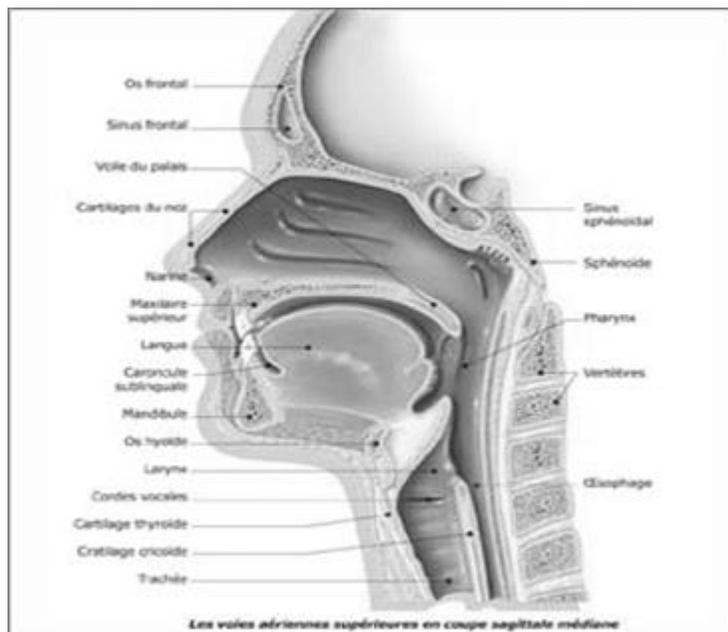
Lors de l'inspiration, l'air entre dans les poumons par la cavité nasale, puis la trachée et le dioxygène (O_2) contenu dans l'air passe à travers la paroi des alvéoles pulmonaires. Il se fixe alors dans les capillaires sanguins directement sur les globules rouges (hématies), et à l'inverse le CO_2 dissous dans le plasma sanguin passe dans le sens inverse du sang vers l'air pulmonaire pour être expulsé par l'expiration.

Le sang alors oxygéné est ainsi transporté dans l'ensemble du corps (organes puis cellules) par les artères grâce à la circulation sanguine. Au niveau des cellules se produit la respiration cellulaire où l'O₂ est consommé et le CO₂ produit par une réaction d'oxydoréduction qui dégage de l'énergie (sous forme d'une molécule appelée ATP : Adénosine TriPhosphate). Le CO₂ produit est dissous dans le plasma sanguin et est réacheminé vers les poumons par la circulation sanguine veineuse pour être expulsé dans l'air pulmonaire par le mécanisme d'expiration.

Anatomie de l'appareil respiratoire

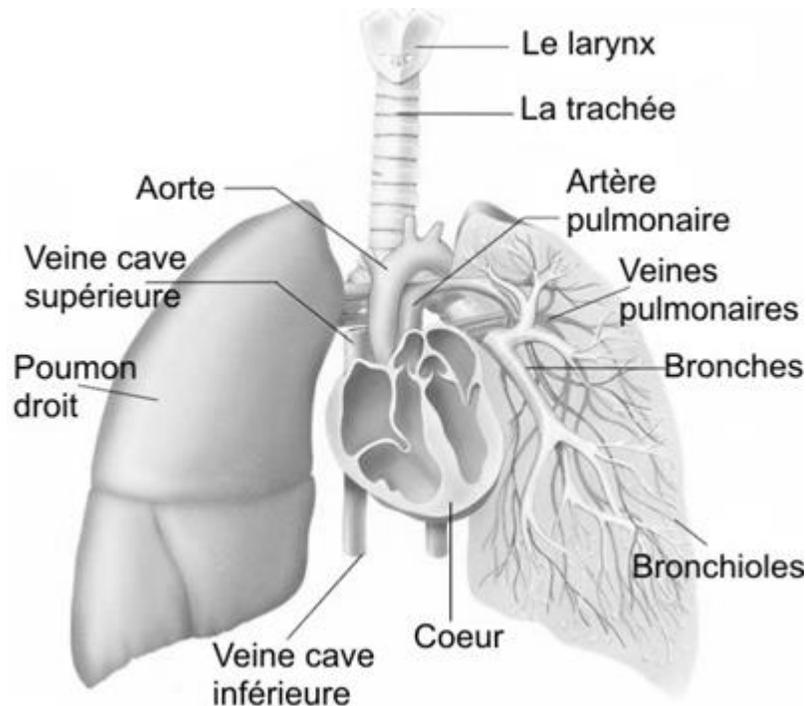
L'appareil respiratoire est formé d'un ensemble d'organes :

Les voies aériennes supérieures : correspondent à l'ensemble des conduits permettant à l'air d'accéder aux poumons (nez et bouche, naso et oropharynx, larynx où se séparent les voies respiratoires et digestives).

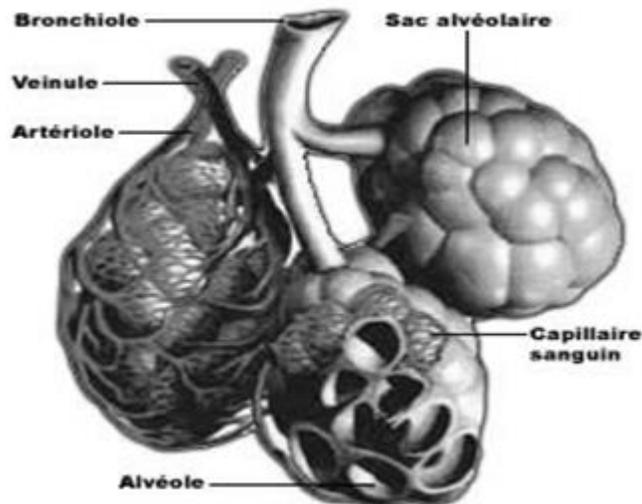


La trachée (ou trachée-artère) : tube maintenu ouvert par une vingtaine d'anneaux de cartilage rigide et flexible.

Les bronches : conduits (une bronche principale par poumon) amenant l'air de la trachée à chaque poumon. La surface interne des bronches est recouverte par un tapis de cils vibratiles et de mucus permettant de filtrer et rejeter à l'extérieur les principales poussières et débris cellulaires. Les deux bronches principales se subdivisent dans les poumons au niveau d'une partie appelée hile en bronches plus petites dites lobaires, qui elles-mêmes se subdivisent en bronches segmentaires qui elles-mêmes sont à nouveau subdivisées en bronches très petites appelées **bronchioles**. Les bronchioles sont fines comme des cheveux et se terminent par des sacs pleins d'air appelés les alvéoles pulmonaires.



Les alvéoles pulmonaires : tout petits sacs remplis d'air et présentant une paroi très fine au niveau de laquelle ont lieu les échanges gazeux respiratoires. C'est donc une surface d'échange entre les deux compartiments. Le très grand nombre d'alvéoles pulmonaires permet une surface totale d'échange absolument astronomique d'environ 100 m². Les alvéoles se gonflent d'air à l'inspiration et se vident lors de l'expiration. La fine paroi est recouverte de très nombreux et très fins vaisseaux sanguins, **les capillaires** au travers de la paroi desquels se réalise le véritable échange gazeux. Par ailleurs, afin de protéger le corps, des cellules appelées « macrophages » digèrent poussières et microbes grâce aux enzymes qu'elles contiennent au niveau des alvéoles pulmonaires.



Les poumons : organes volumineux et spongieux situés dans l'enceinte creuse de la cage thoracique pouvant contenir en tout trois litres d'air environ à l'âge adulte. Ils sont constitués (voir ci-dessus) par les bronchioles, les alvéoles et les capillaires pulmonaires et présentent plusieurs lobes (trois pour le poumon droit et deux pour le gauche, laissant ainsi une cavité permettant au cœur de s'y loger). La surface des poumons (et l'intérieur du thorax) est tapissée par une mince membrane : **la plèvre**.

Celle-ci présente deux feuillets qui renferment entre eux un liquide en toute petite quantité permettant aux deux feuillets et donc aux poumons de glisser dans la cage thoracique lors des inspirations et expirations.

APPENDICE L

Caractéristiques pour chaque type de modèle mental sur la circulation sanguine (tiré d’Azevedo *et al.*, 2004)

(A) Aucune compréhension

(B) Le concept global de base

- Le sang circule

(C) Le concept global avec un but

- Le sang circule
- Décrit un « but » - transport de l’oxygène/des éléments nutritifs/élimination des déchets

(D) Boucle simple – de base

- Le sang circule
- Le cœur comme une pompe
- Les vaisseaux (artères/veines)

(E) Boucle simple avec un but

- Le sang circule
- Le cœur comme une pompe
- Les vaisseaux (artères/veines)
- Décrit un « but » - transport de l’oxygène/des éléments nutritifs/élimination des déchets

(F) Boucle simple – avancée

- Le sang circule

- Le cœur comme une pompe
- Les vaisseaux (artères/veines)
- Décrit un « but » - transport de l'oxygène/des éléments nutritifs/élimination des déchets
- Mentionne un des systèmes suivants : le système excréteur, le système respiratoire, le système digestif, le système cardiovasculaire et ses relations avec la circulation sanguine

(G) Boucle simple avec les poumons

- Le sang circule
- Le cœur comme une pompe
- Les vaisseaux (artères/veines)
- Mentionne les poumons comme un « arrêt » le long du chemin
- Décrit un « but » - transport de l'oxygène/des éléments nutritifs/élimination des déchets

(H) Simple boucle avec des poumons – avancé

- Le sang circule
- Le cœur comme une pompe
- Les vaisseaux (artères/veines)
- Mentionne les poumons comme un « arrêt » le long du chemin
- Décrit un « but » - transport de l'oxygène/des éléments nutritifs/élimination des déchets
- Mentionne un des systèmes suivants : le système excréteur, le système digestif, le système cardiovasculaire

(I) Le concept de double boucle

- Le sang circule

- Le cœur comme une pompe
- Les vaisseaux (artères/veines)
- Décrit un « but » - transport de l'oxygène/des éléments nutritifs/élimination des déchets
- Mentionne le système respiratoire sans relation avec le système systémique
- Mentionne l'importance des poumons

(J) Double boucle – de base

- Le sang circule
- Le cœur comme une pompe
- Les vaisseaux (artères/veines)
- Décrit un « but » - transport de l'oxygène/des éléments nutritifs/élimination des déchets
- Décrit la boucle : cœur – corps – cœur – poumons – cœur

(K) Double boucle – détaillé

- Le sang circule
- Le cœur comme une pompe
- Les vaisseaux (artères/veines)
- Décrit un « but » - transport de l'oxygène/des éléments nutritifs/élimination des déchets
- Décrit la boucle : cœur – corps – cœur – poumons – cœur
- Les détails structurels sont décrits : le nom des artères et veines décrit le débit à travers les valves

(L) Double boucle – avancée 1

- Le sang circule
- Le cœur comme une pompe

- Les vaisseaux (artères/veines)
- Décrit un « but » - transport de l'oxygène/des éléments nutritifs/élimination des déchets
- Décrit la boucle : cœur – corps – cœur – poumons – cœur
- Les détails structurels sont décrits : le nom des artères et veines décrit le débit à travers les valves
- Mentionne un des systèmes suivants : le système excréteur, le système digestif, le système cardiovasculaire ses relations avec la circulation sanguine

(M) Double boucle – avancée 2

- Le sang circule
- Le cœur comme une pompe
- Les vaisseaux (artères/veines)
- Décrit un « but » - transport de l'oxygène/des éléments nutritifs/élimination des déchets
- Décrit la boucle : cœur – corps – cœur – poumons – cœur
- Les détails structurels sont décrits : le nom des artères et veines décrit le débit à travers les valves
- Mentionne deux des systèmes suivants : le système excréteur, le système digestif, le système cardiovasculaire et leurs relations avec la circulation sanguine

(N) Double boucle – avancée 3

- Le sang circule
- Le cœur comme une pompe
- Les vaisseaux (artères/veines)
- Décrit un « but » - transport de l'oxygène/des éléments nutritifs/élimination des déchets
- Décrit la boucle : cœur – corps – cœur – poumons – cœur

- Les détails structurels sont décrits : le nom des artères et veines décrit le débit à travers les valves
- Mentionne trois des systèmes suivants : le système excréteur, le système digestif, le système cardiovasculaire et leurs relations avec la circulation sanguine

APPENDICE M

Le système respiratoire : Catégorisation « SCF »

Structure		Comportement	Fonction
Système respiratoire		Inspiration/expiration	Absorption de dioxygène et rejet de dioxyde de carbone
Fosses nasales	Cils et poils	Rétention des poussières, brassage de l'air, humidification et réchauffement	
Pharynx	Cartilages		
Voies respiratoires	Larynx	Épiglotte	Obstruction de la trachée
		Cordes vocales	Vibration
			Empêche la nourriture d'emprunter la trachée
Trachée	Cils vibratiles	Glandes à mucus	Repousse et retient les poussières
Bronches (principale et secondaire)	Cils vibratiles	Glandes à mucus	Conduit reliant le larynx aux bronches Filtre les poussières Acheminent l'air dans les lobes pulmonaires

Structure		Comportement	Fonction
Poumons (droite/gauche)	Bronchioles Sacs alvéolaires	Alvéoles Diffusion du dioxygène de l'air inspiré dans les capillaires sanguins et « captation » du dioxyde de carbone par le principe de diffusion	Permet l'échange du CO ₂ et de l'O ₂ avec les capillaires sanguins
	Plèvre (intérieur et extérieur)	Adhère aux parois de la cage thoracique et au diaphragme	Permet l'augmentation et la diminution du volume des poumons
Diaphragme		Contraction et décontraction, augmente et diminue la pression	Augmente et diminue le volume des poumons, permettant l'inspiration et l'expiration
Muscles intercostaux		Contraction et décontraction, augmente et diminue la pression	Soulèvent le sternum et les côtes pour faciliter l'augmentation et la diminution du volume des poumons

APPENDICE N

Le système cardiovasculaire : Catégorisation « SCF »

Structure	Comportement	Fonction
Système circulatoire	Circulation, diffusion	Véhicule le sang dans le corps, apporte aux cellules les éléments nécessaires et les débarrasse des déchets
Sang	Plasma	Transport des constituants du sang et des nutriments, hormones et déchets Véhicule le sang dans le corps
	Plaquettes	Production de fibrines et coagulation du sang Aident à la coagulation
	Globules blancs	Neutralisation ou destruction des antigènes (virus, bactéries, etc.), nettoyage des cellules mortes ou endommagées Défenses de l'organisme et entretien
	Globules rouges	Fixation par l'hémoglobine du CO ₂ et de l'O ₂ et diffusion dans les cellules Transportent du CO ₂ et de l'O ₂ vers les cellules et les poumons
Cœur	Double pompe, contraction/relâchement	Véhicule le sang à travers le corps

Structure	Comportement		Fonction	
	Oreillettes	Droite	Reçoivent le sang désoxygéné en provenance du corps	
		Gauche	Reçoivent le sang oxygéné en provenance des poumons	
	Ventricules	Droit	Propulsent le sang hors du cœur en direction des poumons	
		Gauche	Propulsent le sang hors du cœur en direction du reste du corps	
	Valvules	Ouverture/fermeture		Empêchent le reflux du sang vers les oreillettes
	Vaisseaux sanguins	Artères/artérioles	Élasticité, écoulement du sang	
Capillaires		Diffusion des substances nutritives et de l'O ₂ et captation du CO ₂ et des déchets		Permettent la diffusion des éléments nutritifs et de l'O ₂ du sang aux cellules et la captation du CO ₂ et des déchets
Veines/Veinules		Composées de valvules afin d'éviter le refoulement du sang, écoulement du sang facilité par la contraction musculaire		Transportent le sang des capillaires vers le cœur

APPENDICE O

Résultats d'analyses

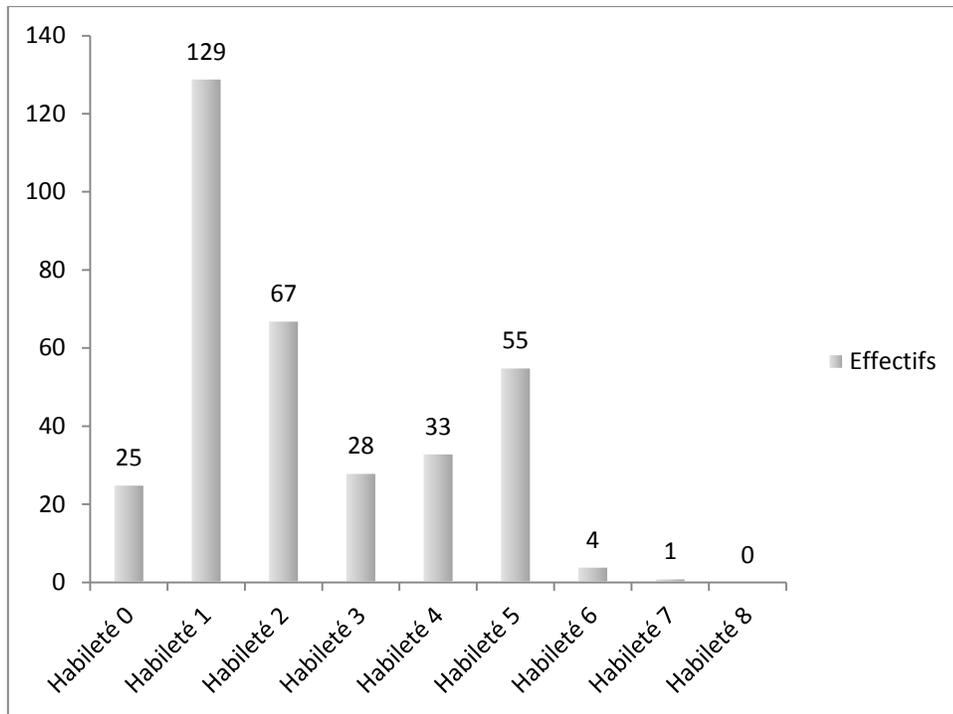


Figure 7. Répartition des effectifs des élèves en fonction de la présence des habiletés à la situation 1 (N=167).

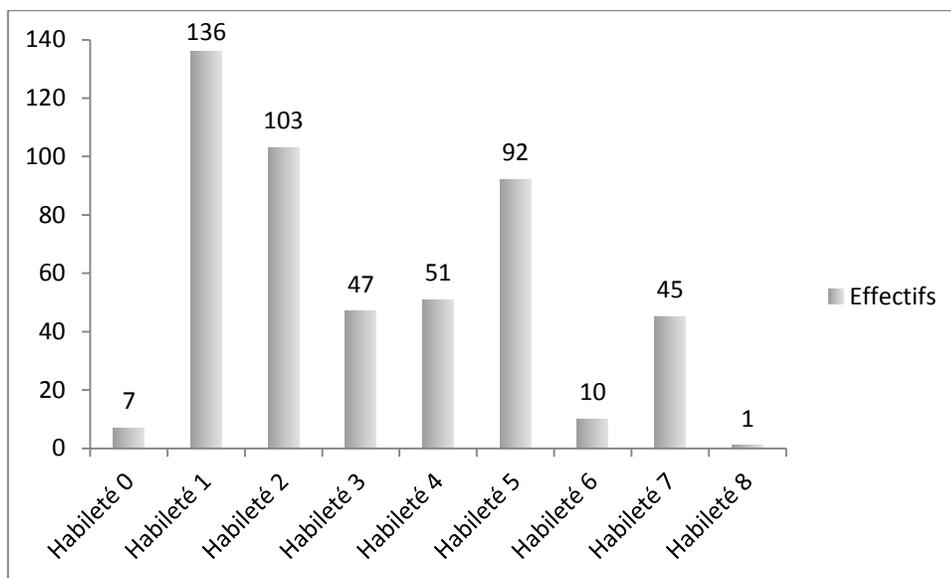


Figure 8. Répartition des effectifs des élèves en fonction de la présence ou de l'absence des habiletés à la situation 2 (N=162).

Tableau 43. Effectifs des élèves en fonction de la perception du système complexe à la situation 1 (N=162)

Perception du système (habileté 1)	n	%
Aucune perception	33	20,37
Perception structure	74	45,68
Perception processus	24	14,81
Perception totale	31	19,14
Perception dynamique (habiletés 2 et 5)	N	%
Aucune compréhension dynamique	67	41,36
Compréhension dynamique partielle	68	41,98
Compréhension dynamique totale	27	16,67
Perception cyclique (habiletés 3, 4 et 5)³⁵	n	%
Aucune compréhension cyclique	109	67,28
Compréhension cyclique partielle 1	45	27,78
Compréhension cyclique partielle 2	7	4,32
Compréhension cyclique totale	1	0,62
Perception temporelle (habiletés 6 et 8)	n	%
Aucune compréhension temporelle	158	97,53
Compréhension temporelle partielle 1	4	2,47

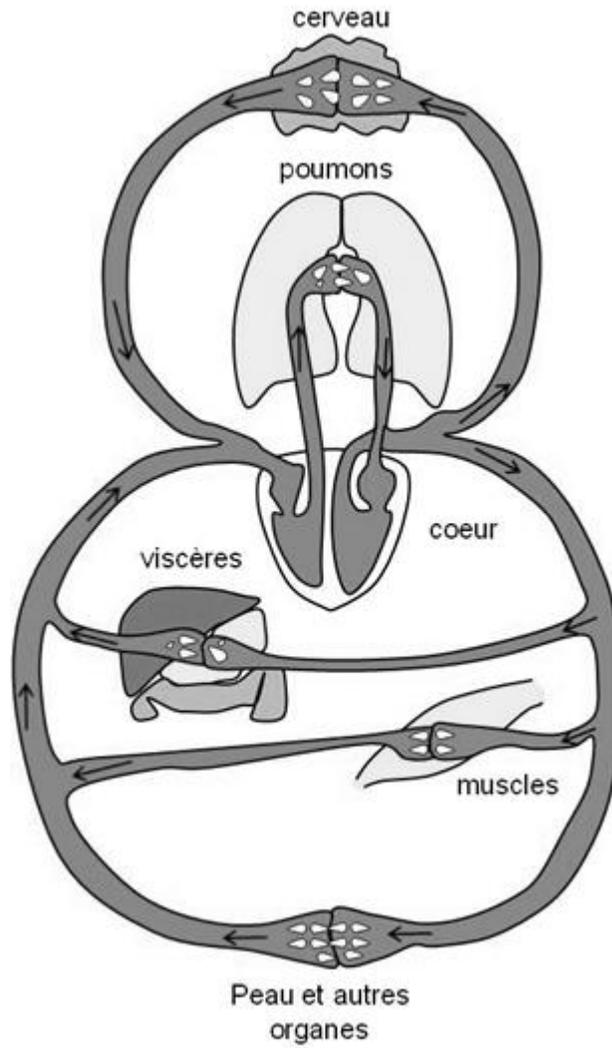
³⁵ La compréhension cyclique partielle 1 correspond à la présence d'une des 3 capacités. La compréhension cyclique partielle 2 correspond à la présence de 2 capacités sur les 3.

Tableau 44. Effectifs des élèves en fonction de la perception du système complexe à la situation 2 (N=162)

Perception du système	n	%
Aucune perception	26	16,05
Perception structure	58	35,80
Perception processus	38	23,46
Perception totale	40	24,69
Perception dynamique (Habilités 2 et 5)	N	%
Aucune compréhension dynamique	25	15,43
Compréhension dynamique partielle	79	48,77
Compréhension dynamique totale	58	35,80
Perception cyclique (Habilités 3, 4 et 7)	n	%
Aucune compréhension cyclique	63	38,89
Compréhension cyclique partielle 1 (1 habileté)	62	38,27
Compréhension cyclique partielle 2 (2 habiletés)	30	18,52
Compréhension cyclique totale	7	4,32
Perception temporelle (Habilités 6 et 8)	n	%
Aucune compréhension temporelle	151	93,21
Compréhension temporelle partielle 1	11	6,79

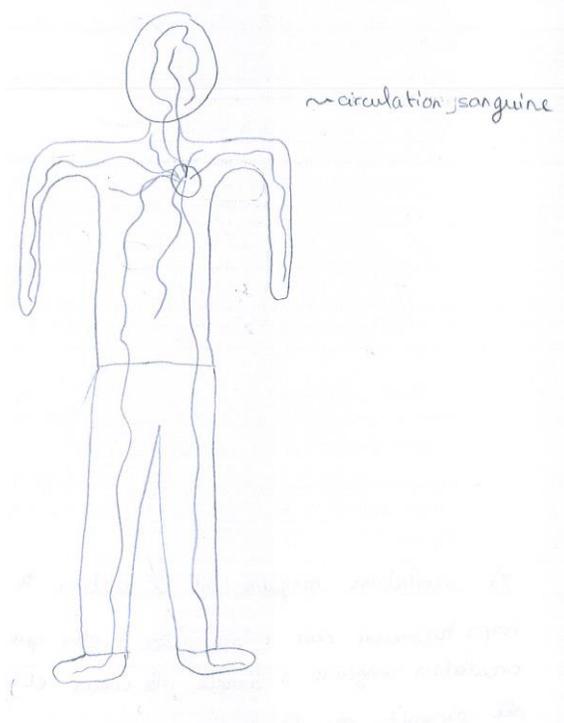
APPENDICE P

Schéma de la circulation sanguine au secondaire

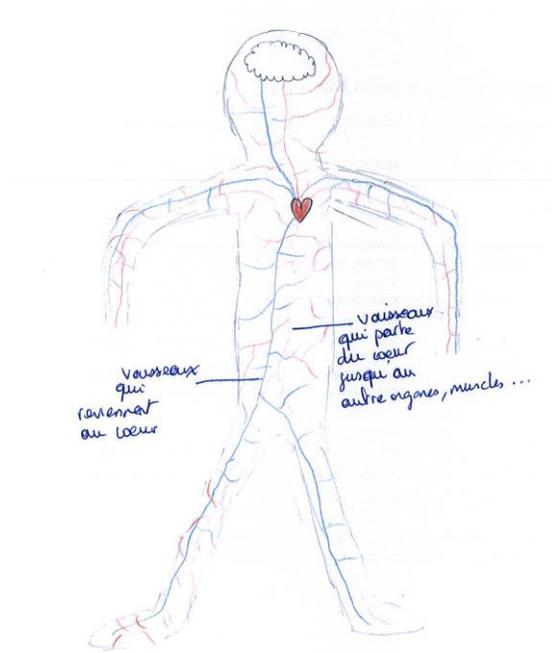


APPENDICE Q

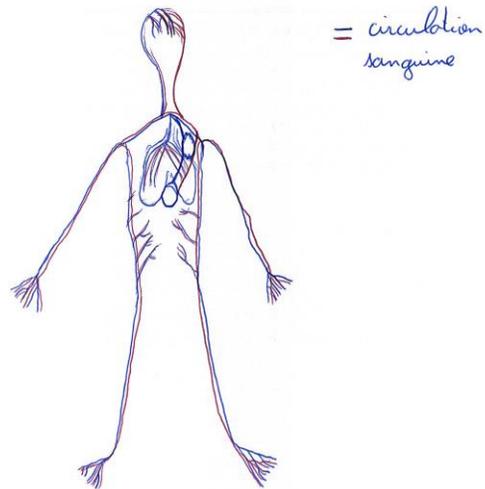
Exemple de catégorisation des modèles mentaux



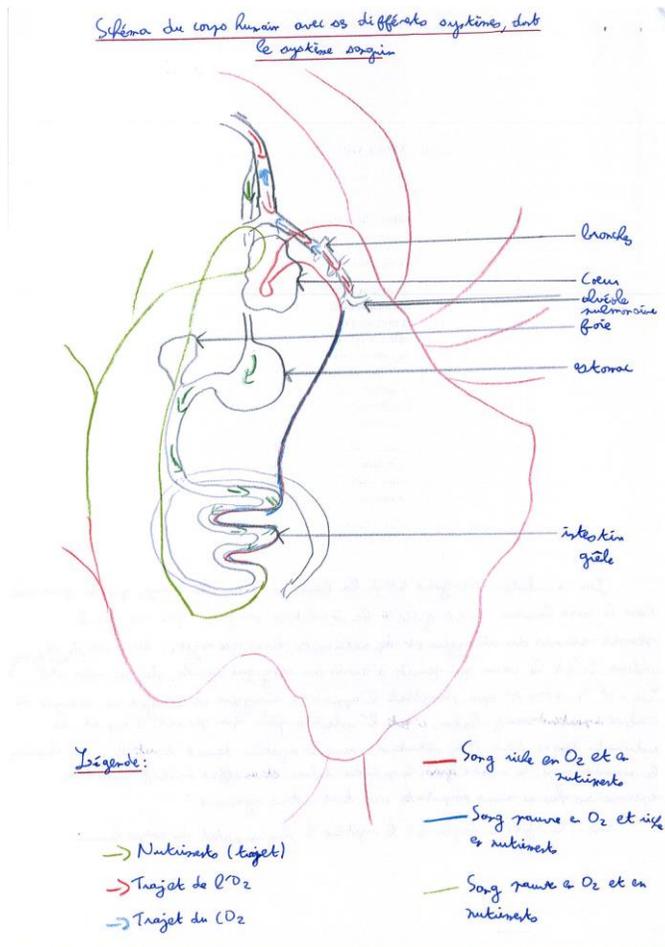
Renaud : Code 11. Concept global de base



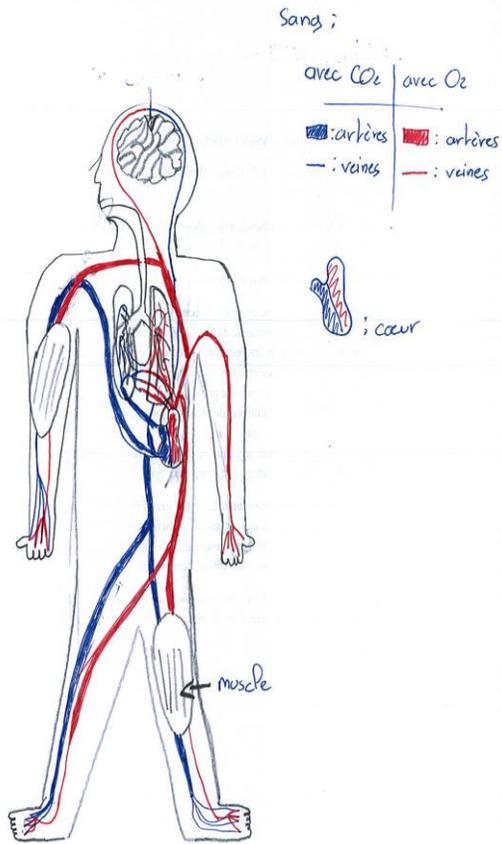
Enzo : Code 21. Boucle simple de base



Arthur : Code 31. Boucle simple avec poumons



Claude : Code 32. Boucle simple avec poumons avancé



René : Code 42. Double boucle de base

APPENDICE R

Certificat d'éthique

 **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 : Influence de l'épistémologie personnelle d'adolescents en classe de sciences sur la construction de leur représentation mentale d'un système complexe : le système circulatoire sanguin

Chercheurs : Thomas Fournier
 Département des sciences de l'éducation

Organismes : Aucun financement

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 : 07 novembre 2013

Date de fin : 07 novembre 2014

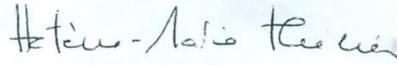
COMPOSITION DU COMITÉ :

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;
- 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 de la recherche et de la création ou un substitut suggéré par le doyen de la recherche et de la création.

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



Marie-Eve St-Germain
Secrétaire du comité

Date d'émission : 07 novembre 2013

N° du certificat : CER-13-195-07.11
 DECSR