

Université de Montréal

**Étude exploratoire des conceptions de
la circulation sanguine auprès
d'élèves de l'ordre collégial**

par

Jean-Marc Robitaille

Département de didactique
Faculté des sciences de l'éducation

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

février 1997

© Jean-Marc Robitaille, 1997

Université de Montréal
Faculté des études supérieures





National Library
of Canada

Acquisitions and
Bibliographic Services

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Acquisitions et
services bibliographiques

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

Our file Notre référence

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-33076-1

Cette thèse intitulée :

**Étude exploratoire des conceptions de
la circulation sanguine auprès
d'élèves de l'ordre collégial**

présentée par Jean-Marc Robitaille

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes :

*Gièle Lavoie
Jean Vézina - Abad
Lise Gauthier
Suzanne Lejeune
Louis Joubert*

Thèse acceptée le : 14.07.97

SOMMAIRE

Il existe peu d'études sur les conceptions touchant les domaines de la biologie, notamment sur les conceptions de la circulation sanguine. Nous avons observé également l'absence de recherche menée auprès d'élèves de l'ordre collégial sur cette question.

Nous avons voulu combler une lacune en menant une recherche sur les conceptions de la circulation sanguine auprès d'élèves de l'ordre collégial. L'exploration des conceptions des élèves s'inscrit dans une démarche visant le développement de séquences d'enseignement où l'élève est au coeur du processus d'apprentissage. Pour mener cette recherche nous nous sommes inspirés d'une méthode développée par Treagust (1988). Selon cette méthode l'exploration des conceptions d'un domaine particulier suppose d'abord que l'on définisse le domaine à l'étude, que l'on recherche dans la littérature des écrits sur les conceptions, notamment sur celles qui touchent le domaine exploré, que l'on procède à des entrevues d'élèves de la population cible. Cet ensemble de données permet de développer un questionnaire que l'on administre ensuite à une population plus large.

Avant d'explorer les conceptions de la circulation du sang auprès des élèves nous avons d'abord défini des niveaux de formulation didactique de la circulation sanguine pour l'ordre d'enseignement collégial. Nous avons ensuite consulté des professeurs de biologie expérimentés des secteurs de formation préuniversitaire et de formation technique du domaine de la santé et un professeur de la faculté de médecine. Des modifications mineures ont permis de dégager un consensus.

Le premier niveau de formulation didactique établit l'architecture du système sanguin et la fonction nutritive de la circulation. Le second niveau de formulation didactique décrit et relie les paramètres de la dynamique de la circulation et leur relation : Pression, Débit et Résistance. Le troisième niveau de formulation didactique s'intéresse au contrôle de la circulation du sang dans un contexte d'homéostasie qui implique la régulation de la pression artérielle.

Nous avons construit un questionnaire en nous guidant sur les niveaux de formulation didactique et l'analyse des entrevues menées auprès de dix-huit élèves,

représentatifs de la population cible. Ce questionnaire fut administré à un échantillon de 2300 élèves dispersés dans six collèges de la région de Montréal. Notre échantillon comprend des élèves inscrits à des programmes de l'ordre collégial en Sciences de la nature et en Techniques de la santé et qui n'ont pas suivi le cours sur la circulation sanguine.

Notre analyse des réponses des élèves de notre échantillon aux questions portant sur le premier niveau de formulation didactique révèle que la majorité des élèves considèrent que le système circulatoire relie les organes les uns aux autres dans un circuit en série. Notre analyse révèle également que la majorité des élèves estiment que les nutriments sont extraits du sang par les organes selon un processus de sélection basé sur les besoins déterminés par la fonction de l'organe. Ces besoins sont différents selon les organes qui ne prélèvent que les nutriments nécessaires. Au second niveau les réponses des élèves de la population indiquent une conception de la dynamique cardio-vasculaire axée d'abord sur le coeur, laissant aux vaisseaux un rôle passif de canaux. Ces réponses indiquent également que la dynamique circulatoire est réduite à une séquence d'étapes ponctuelles sans relation les unes avec les autres. Au troisième niveau les réponses des élèves de la population font état d'une conception du contrôle qui privilégie la satisfaction de besoins locaux, sans relation systémique.

Nos résultats suggèrent que les élèves de notre échantillon affichent une plus grande concordance avec l'expert pour les questions du premier niveau (70%) que pour les niveaux II (54%) et III (50%). Notre analyse des données révèle que l'accord avec l'expert est élevé lorsque les questions touchent la description des structures et la définition de leurs rôles et plus faible lorsque les questions touchent la dynamique et le contrôle. Il existerait donc un niveau de formulation qui correspond à la description de structures et un autre niveau qui recoupe toute la dynamique de la circulation et son contrôle. Du point de vue didactique l'analyse des données suggère que nous ne retrouvons pas une correspondance entre les niveaux de formulation didactique et les conceptions des élèves. Pour l'enseignement ces résultats semblent indiquer que la prise en compte des conceptions des élèves devrait se traduire par la mise en oeuvre de séquences d'enseignement qui visent l'apprentissage de la dynamique et du contrôle de la circulation sanguine en intégrant les éléments structuraux à un ensemble fonctionnel.

Table des matières

SOMMAIRE	iii
Liste des tableaux	vii
Liste des figures	x
Remerciements	xi
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION	1
CHAPITRE 2 : PROBLÉMATIQUE ET CONTEXTE THÉORIQUE	5
2.1 Éléments de la problématique	6
2.2 Éléments de la pensée constructiviste	8
2.3 Écrits sur les conceptions de la circulation sanguine	21
2.4 Formulation des questions de recherche	33
2.5 Délimitations et enjeux	34
CHAPITRE 3 : MÉTHODOLOGIE	35
3.1 Développement d'un instrument d'exploration des conceptions	36
3.2 Détermination des niveaux de formulation de la circulation sanguine auprès des experts	38
3.2.1 Procédure d'élaboration des niveaux de formulation	38
3.2.2 Procédure de validation des niveaux de formulation	39
3.3 Construction d'un questionnaire	40
3.3.1 Informations provenant des écrits	40
3.3.2 Informations provenant des entrevues des étudiants	41
3.3.3 Élaboration des questions	43
3.3.4 Représentation schématique des étapes de développement	46
3.4 Cueillette des données	48
3.5 Traitement des données	49
3.6 Analyse des données	51
3.7 Description de l'échantillon	54
CHAPITRE 4 : RÉSULTATS	58
4.1 Détermination des niveaux de formulation didactique de la circulation sanguine	59
4.1.1 Le premier niveau de formulation	59
4.1.2 Le deuxième niveau de formulation	61
4.1.3 Le troisième niveau de formulation	63
4.2 Procédure d'analyse de données	65

4.3	Analyse descriptive des résultats	66
4.3.1	Analyse des conceptions du premier niveau de formulation	67
4.3.2	Analyse des conceptions du second niveau de formulation	94
4.3.3	Analyse des conceptions du troisième niveau de formulation	106
4.4	Écart entre les réponses des élèves et les niveaux de formulation didactique de l'expert	115
4.4.1	Expertise des trois populations de répondants	116
4.4.2	Analyse de l'écart avec l'expert dans le premier niveau de formulation didactique	119
4.4.3	Analyse de l'écart avec l'expert dans le deuxième niveau de formulation didactique	127
4.4.4	Analyse de l'écart avec l'expert dans le troisième niveau de formulation didactique	132
4.5	Patrons de réponses des populations A,B et C	138
CHAPITRE 5 : DISCUSSION		141
5.1	La reconnaissance par les experts de niveaux de formulation didactique de la circulation sanguine, pour l'ordre collégial	142
5.2	Le questionnaire	143
5.2.1	Cueillette des données	143
5.2.2	Questions et réponses	144
5.2.3	Traitement des données	145
5.3	Les caractéristiques de l'écart conceptuel des élèves	145
5.4	Discussion sur les conceptions de la circulation sanguine en fonction des écrits	148
5.4.1	Conceptions du premier niveau de formulation	148
5.4.2	Les conceptions du second niveau de formulation	153
5.4.3	Les conceptions du troisième niveau de formulation	156
5.5	Caractéristiques des conceptions de notre population	158
5.6	Évolution de la conception de la circulation sanguine	160
5.7	Conceptions et obstacle à l'apprentissage	167
CHAPITRE 6 : CONCLUSION		171
CHAPITRE 7 : RÉFÉRENCES		181
Appendice I : Le questionnaire		I
Appendice II : Histogrammes des populations d'élèves et de l'échantillon		XXI
Appendice III : Cartes conceptuelles des niveaux de formulation		XXIV

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I	L'âge des élèves de l'échantillon	p. 54
Tableau II	La distribution des élèves de l'échantillon selon le sexe	p. 55
Tableau III	Le semestre d'inscription des élèves	p. 56
Tableau IV	Les cours de sciences suivis et réussis au secondaire	p. 56
Tableau V	Le programme auquel sont inscrits les élèves	p. 57
Tableau VI	Les inscriptions détaillées	p. 57
Tableau VII	Le choix d'une analogie	p. 67
Tableau VIII	Le système cardio-vasculaire	p. 70
Tableau IX	Le parcours du sang	p. 70
Tableau X	Le parcours du sang provenant du doigt	p. 71
Tableau XI	Le parcours du sang en route vers le gros orteil	p. 71
Tableau XII	Les types d'organisation du circuit sanguin	p. 72
Tableau XIII	Les organes associés à la circulation	p. 76
Tableau XIV	La répartition des vaisseaux sanguins	p. 79
Tableau XV	Les propriétés de la paroi des vaisseaux sanguins	p. 80
Tableau XVI	Les propriétés du coeur	p. 81
Tableau XVII	Les paramètres de la mécanique cardiaque	p. 81

Tableau XVIII	La quantité de sang pompée par le coeur	p. 82
Tableau XIX	La distribution du sang aux organes	p. 83
Tableau XX	Le contenu du sang	p. 84
Tableau XXI	Le renouvellement du sang	p. 85
Tableau XXII	La paroi cardiaque et le renouvellement du sang	p. 86
Tableau XXIII	Le contenu d'un organe	p. 87
Tableau XXIV	Le métabolisme d'un organe	p. 88
Tableau XXV	Les échanges entre le sang et les organes	p. 89
Tableau XXVI	La relation entre le sang, les vaisseaux et l'organe	p. 93
Tableau XXVII	La pression et le déplacement du sang	p. 96
Tableau XXVIII	Le niveau de la pression dans le système circulatoire	p. 97
Tableau XXIX	Les effets d'une vasodilatation locale sur la circulation	p. 99
Tableau XXX	Les effets d'une vasoconstriction dans un système fermé	p. 101
Tableau XXXI	Les effets d'une vasodilatation dans un système fermé	p. 102
Tableau XXXII	L'adaptation à une augmentation d'activité	p. 106
Tableau XXXIII	Les organes associés au contrôle de la circulation	p. 107

Tableau XXXIV	Les effets d'une vasodilatation sur le contrôle de la circulation	p. 109
Tableau XXXV	Les effets d'une perte de sang sur le contrôle de la circulation	p. 110
Tableau XXXVI	Les phénomènes associés à la circulation	p. 112
Tableau XXXVII	Répartition des élèves dans les catégories 0,1 et 2	p. 115
Tableau XXXVIII	Regroupement des répondants selon l'expertise	p. 117
Tableau XXXIX	Les fréquences d'accord des populations A,B et C avec l'expert	p. 118
Tableau XL	Caractéristiques des populations A, B et C	p. 119
Tableau XLI a,b,c,d	Accord et désaccord des élèves au niveau I	p. 121
Tableau XLII a,b	Accord et désaccord des élèves au niveau II	p. 128
Tableau XLIII a,b,c	Accord et désaccord des élèves au niveau III	p. 132

LISTE DES FIGURES

Figure 1	La construction du questionnaire	p. 46
Figure 2	La validation et l'administration du questionnaire	p. 47
Figure 3	Le processus d'analyse des données	p. 53
Figure 4	L'organisation du système circulatoire en parallèle	p. 73
Figure 5	L'organisation du système circulatoire en série	p. 74
Figure 6	L'organisation du système circulatoire en cul de sac	p. 75
Figure 7	La différence de pression et le déplacement du sang	p. 95
Figure 8	Le circuit sanguin	p. 98
Figure 9	Un circuit fermé	p. 100

REMERCIEMENTS

Mes remerciements les plus sincères vont d'abord à mon directeur de thèse, Jésus Antonio Vazquez qui, à toutes les étapes de la recherche a appuyé mes efforts et a toujours consacré le temps et l'énergie nécessaires pour que je puisse franchir les obstacles qui se sont présentés.

Je remercie également la direction du Collège Maisonneuve qui a appuyé ce projet de recherche, et le Ministère de l'Éducation du Québec qui a donné suite à la demande de subvention qui m'a permis en 1995 de me consacrer entièrement à la cueillette et à l'analyse des données essentielles à cette recherche.

Je remercie enfin mes collègues professeurs des six institutions collégiales participantes qui malgré des relations de travail tendues à l'automne 95 ont accepté de collaborer à cette recherche.

CHAPITRE I : INTRODUCTION

La recherche empirique dans plusieurs domaines scientifiques indique la présence chez les élèves de conceptions préalables à tout enseignement (Eylon et Lynn, 1988). Souvent ces conceptions diffèrent de celles des experts.

«During the past decade there has been a growing interest among science educators as well as many psychologists in students' intuitive ideas about natural phenomena... These notions, expectations, or descriptive and explanatory systems are, in many cases, in marked contrast with the scientific conceptions that students are expected to learn. Consequently science educators are becoming aware that prior knowledge can hinder the acquisition of science concepts in some cases, as well as foster that acquisition in other cases.» (Hashweh 1988, p 121)

Mintzes et Arnaudin (1984) ont analysé les recherches sur les conceptions dans le domaine des sciences biologiques. Ils ont passé en revue 68 études produites en Amérique du Nord, en Europe, en Asie, en Afrique et en Australie. Ces études confirment l'existence chez les élèves de conceptions différentes de celles des experts sur plusieurs sujets en biologie.

La recension des écrits nous indique que les travaux effectués jusqu'ici sur les conceptions dans le domaine des sciences biologiques ne touchent qu'une faible proportion des sujets potentiels. Nous observons également que les chercheurs s'intéressent avant tout aux conceptions des élèves des ordres primaire et secondaire.

L'étude des conceptions et de leur évolution s'inscrit dans un courant de pensée constructiviste. Le constructivisme place l'élève au centre du processus d'apprentissage qui le mène à la reconstruction de sa structure cognitive.

Dans cette optique, la planification d'une séquence d'enseignement visant l'apprentissage dans un domaine particulier nécessite la connaissance des conceptions des élèves.

Des études démontrent également la ténacité des conceptions des élèves car elles ne sont pas modifiées par les séquences d'enseignement habituelles. Ces

conceptions prennent racine dans l'expérience quotidienne et sont très résistantes au changement, même après une séquence d'enseignement (Driver, 1989). Par conséquent, certains chercheurs ont orienté leurs travaux sur l'identification de conditions qui favorisent chez l'étudiant la modification d'une conception initiale et sur le rôle du professeur dans une intervention qui vise ce changement conceptuel (Hewson, 1981; Posner, Strike, Hewson et Gertzog, 1982; Hewson et Thorley, 1989). D'autres études ont démontré que les conceptions de plusieurs domaines évoluent avec le temps (Arnaudin et Mintzes, 1985; Trowbridge et Mintzes, 1988; Westbrook et Marek, 1991; Westbrook et Marek, 1992).

Selon Hashweh (1988) lorsque l'on se penche sur l'apprentissage d'un domaine de connaissances, il convient d'abord de mener une recherche descriptive qui permet d'identifier et d'analyser les conceptions de la population cible. Ce n'est qu'ensuite qu'on peut tenter d'expliquer comment s'opère le changement de la structure cognitive de l'étudiant. Il convient de mettre à l'épreuve des stratégies innovatrices et de vérifier leur effet sur le changement conceptuel, à la dernière étape seulement.

Dans le domaine de la circulation sanguine les écrits sont peu nombreux. Une seule étude, celle d'Arnaudin et Mintzes (1985), vise l'identification des conceptions de la circulation sanguine. Elle porte sur l'évolution de certaines conceptions de la circulation au cours du cheminement scolaire, de l'école élémentaire au collège. D'autres études touchant la circulation sanguine ont été menées auprès d'étudiants et de médecins spécialistes dans le contexte de pathologies circulatoires et de diagnostic clinique (Kaufman, Patel et Magder, 1992).

Devant l'importance de la circulation sanguine dans la formation technique et générale de l'ordre collégial, il est nécessaire de procéder à une étude des conceptions des élèves de cette population. Nous explorerons les conceptions des élèves dans un contexte d'apprentissage scolaire. Nous procéderons donc à une analyse didactique du contenu enseigné et nous utiliserons cette analyse comme référence lors de l'analyse des données recueillies auprès de notre échantillon.

Nous présentons dans ce document une recherche exploratoire que nous avons menée sur les conceptions de la circulation sanguine auprès d'élèves de six collèges de la région de Montréal.

Dans le prochain chapitre nous exposerons la problématique et le contexte théorique auquel nous faisons référence, et nous formulerons nos questions de recherche. Au cours des chapitres suivants nous expliquerons notre méthodologie, présenterons les données, interpréterons et discuterons les résultats

CHAPITRE 2 : PROBLÉMATIQUE ET CONTEXTE THÉORIQUE

Nous avons choisi de mener une recherche sur les conceptions de la circulation sanguine auprès des élèves de l'ordre collégial d'abord parce que nous avons enseigné la biologie humaine à ces élèves pendant plusieurs années. En tant que professeur-chercheur dans le cadre des programmes de recherche du Ministère de l'Enseignement Supérieur, nous nous sommes intéressés à l'apprentissage de la circulation sanguine. Cet intérêt nous a mené à produire le logiciel Domino (Robitaille, 1988), un outil informatisé utilisé pour l'enseignement de la dynamique de la circulation sanguine.

En développant ce logiciel nous nous sommes rendus compte de l'importance des connaissances, des représentations et des croyances des élèves pour leur apprentissage. Nous nous sommes donc intéressés aux conceptions que pouvaient manifester nos élèves au sujet de la circulation sanguine afin de développer des moyens didactiques qui puissent favoriser leur évolution.

«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)

Dans ce chapitre nous examinerons les éléments de la problématique et le cadre de référence de notre recherche. Ceci nous amènera à préciser les éléments théoriques auxquels nous nous référons et à présenter les écrits sur les conceptions touchant la circulation sanguine.

2.1 ÉLÉMENTS DE LA PROBLÉMATIQUE

Il nous paraît important d'explorer en profondeur les conceptions de la circulation chez les élèves de l'ordre collégial parce que l'apprentissage de la circulation sanguine fait partie des objectifs de plusieurs programmes d'études. Les programmes de formation technique dans le domaine de la Santé et de la formation générale du programme des Sciences de la nature regroupent plusieurs élèves. Ils comportent tous des cours où figure l'apprentissage de la circulation sanguine.

La recension des écrits nous a permis de constater que peu de recherches ont été menées sur les conceptions de la circulation sanguine. Par ailleurs, aucune des études disponibles ne permet d'identifier et de caractériser les conceptions des élèves de l'ordre collégial sur ce sujet.

Une première étude, celle d'Arnaudin et Mintzes (1985), s'intéresse à l'évolution de conceptions de la circulation sanguine selon les niveaux de scolarité. L'étude inclut des élèves de l'ordre collégial mais elle ne vise pas spécifiquement cette population. Elle se limite à l'exploration de quelques conceptions auprès d'élèves de différents groupes d'âges.

Plus particulièrement, Arnaudin et Mintzes (1985) ont étudié l'évolution des conceptions de la structure et du rôle du sang, de la structure et de la fonction du cœur, de l'organisation du circuit sanguin et de sa relation avec les poumons.

Dans cette étude les chercheurs ont restreint l'éventail des conceptions examinées afin de pouvoir explorer aussi bien la structure cognitive des élèves du primaire que celle des élèves du collégial. Ils se sont ainsi limités à l'exploration de concepts simples afin de pouvoir comparer les conceptions d'élèves de niveaux de scolarité très différents.

Cette étude ne présente pas l'organisation des conceptions de la circulation d'une population particulière d'élèves. Elle n'a pas non plus exploré les conceptions de phénomènes associés à la dynamique de la circulation sanguine : le métabolisme, les échanges, la pression sanguine.

D'autres études ont suivi les travaux d'Arnaudin et Mintzes (1985). Les travaux de Feltovich, Spiro et Coulson (1988), Patel, Kaufman, Magder, (1991), Kaufman, Patel, Sheldon, Magder (1992) s'intéressent aux conceptions touchant la dynamique de la circulation sanguine auprès des étudiants des facultés de Médecine. Ils explorent les conceptions des étudiants et des médecins spécialistes dans le cadre de l'étude de pathologies et du diagnostic clinique.

Les concepts scientifiques auxquels les chercheurs se réfèrent et les instruments utilisés pour explorer les conceptions de la circulation sanguine chez les étudiants des facultés de Médecine ne sont adaptés ni à notre ordre d'enseignement ni à notre population.

Il est donc nécessaire d'identifier les niveaux de formulation didactique et les concepts auxquels on se réfère pour l'étude de la circulation sanguine au collégial. Il est également important d'analyser les écrits sur les conceptions de la circulation sanguine avant de développer un instrument qui nous permette d'explorer les conceptions de la circulation sanguine auprès de cette population.

2.2 ÉLÉMENTS DE LA PENSÉE CONSTRUCTIVISTE

La prise en compte des préconceptions des élèves s'inscrit dans un courant de pensée qui insiste sur le rôle joué par le sujet dans l'acquisition des connaissances. Selon ce courant, le constructivisme, l'élève construit ses connaissances.

«In brief, the constructivist view holds that human learning is a very active construction process. Learning is not seen as a process of simply storing pieces of knowledge provided, for instance, by a teacher. On the contrary, it is seen as a process of active construction of knowledge on the part of the learners themselves on the basis of their already existing conceptions.» (Glynn, Yeany et Britton, 1991, p. 68)

L'apprentissage est vu comme un processus pendant lequel l'élève relie toute nouvelle information à ce qu'il connaît déjà; il construit de nouvelles représentations du réel en intégrant de nouveaux éléments à sa structure cognitive.

La structure cognitive, selon Legendre (1988),

«...est une organisation mentale des idées, des connaissances, des habiletés et de la réalité d'une personne, lui servant à interpréter sa propre existence et celle de son environnement, en lui permettant également d'acquérir et d'évaluer de nouveaux matériaux.» (Legendre, 1988, p. 527)

En plus de l'activité cognitive, le constructivisme prend en compte l'ensemble des formes de la vie affective et de la volonté de l'élève, l'attention, la motivation et les attitudes (Berbaum, 1984)

Nous examinons maintenant certains éléments de la pensée constructiviste qui sous-tendent notre recherche. Nous avons retenu les travaux de Piaget sur l'assimilation et l'accommodation, les travaux d'Ausubel sur l'acquisition des connaissances et ceux du groupe formé de Giordan, De Vecchi, Astolfi et Develay, sur les niveaux de formulation.

2.2.1 Théorie sur la construction des structures cognitives de Piaget

L'importance que revêt l'étude des conceptions provient avant tout de l'apport de l'épistémologie génétique de Piaget et plus particulièrement de la théorie selon laquelle les schèmes assimilateurs de l'individu servent de point de départ à toute exploration du milieu qui, en retour, oblige l'accommodation des structures cognitives.

L'assimilation est l'intégration de nouvelles connaissances à des structures préalables, qui peuvent demeurer inchangées ou sont plus ou moins modifiées par cette intégration même. Elles ne sont pas détruites, elles s'accommodent simplement à la nouvelle situation. C'est le facteur de permanence et de continuité des formes de l'organisme. Tout ce qui répond à un besoin de l'organisation est matière à assimilation (Piaget, 1967).

Piaget (1967) parle de l'accommodation comme étant une modification des schèmes d'assimilation sous l'action de situations extérieures. Un schème devient un instrument de généralisation qui permet de dégager et d'utiliser les éléments communs à des conduites analogues successives. Il y a un équilibre entre l'assimilation et l'accommodation. Le milieu ne provoque pas simplement l'enregistrement d'empreintes, il déclenche des ajustements actifs.

L'adaptation suppose bien un équilibre entre les deux et non pas une accommodation seule. En cas d'accommodation sans assimilation durable, elle disparaîtra face à une nouvelle situation, faute de toute assimilation à une organisation permanente. Les deux mécanismes de l'adaptation sont indissociables. L'assimilation et l'accommodation ne sont pas deux fonctions séparées mais ce sont les deux pôles fonctionnels, opposés l'un à l'autre, de toute adaptation.

Les structures cognitives préalables se précisent en fonction des objets auxquels elles sont appliquées, de nouvelles structures se mettent en place si la nouveauté de la situation ne permet plus le réajustement (Lebert, 1967). Ce travail d'équilibration entre les structures cognitives et les objets correspond pour le sujet à la conceptualisation des situations, à une compréhension du réel. Ce processus d'équilibration est essentiellement endogène. Il s'agit d'un processus d'abstraction qui englobe un nombre croissant d'éléments de la situation et d'opérations sur ces données.

Selon Piaget (1967), la connaissance n'est pas acquise passivement. Aucune connaissance même perceptive ne constitue une simple copie du réel, parce qu'elle comporte toujours un processus d'assimilation à des structures antérieures. Pour connaître il est nécessaire d'agir sur le réel et de le transformer de manière à le comprendre, en fonction des systèmes de transformation auxquels sont liées les actions.

Les schèmes d'action concernent ce qui, dans une action, est généralisable d'une situation à la suivante. C'est ce qu'il y a de commun aux diverses répétitions ou applications de la même action. Dire que toute connaissance suppose une assimilation et qu'elle donne un sens au réel signifie que connaître un objet implique son incorporation en des schèmes d'action. Cela est vrai des conduites sensori-motrices élémentaires jusqu'aux opérations logico-mathématiques supérieures.

Piaget (1967) établit une relation directe entre les schèmes d'action, l'assimilation et l'accommodation.

«Le contenu de chaque schème d'action dépend en partie du milieu et des objets ou événements auxquels il s'applique mais cela ne signifie pas que sa forme et son fonctionnement soient indépendants de facteurs internes. Le schème dérive toujours par différenciations successives de schèmes antérieurs qui remontent de proche en proche aux réflexes ou mouvements spontanés initiaux. Surtout, un schème comporte toujours des actions du sujet qui ne dérivent pas comme tel des propriétés de l'objet.» (Piaget, 1967, p. 18)

Il existe donc une assimilation conceptuelle dans le même sens qu'une assimilation sensori-motrice des objets aux schèmes d'action du sujet, puisque ces actions se prolongent en opérations. Ainsi, la structure cognitive de l'individu supporte un savoir conceptuel (quoi?) et un savoir d'actions (comment?). Et, à tous les niveaux, ces schèmes se différencient sans cesse par accommodation continue aux données nouvelles, l'adaptation résultant de l'équilibre entre cette accommodation et cette assimilation.

Selon Inhelder et Piaget (1955), la pensée concrète demeure essentiellement attachée au réel et le système des opérations concrètes ne parvient qu'à un ensemble restreint de transformations virtuelles donc à une notion du possible qui prolonge simplement le réel. La pensée formelle, par ailleurs, est essentiellement hypothético-déductive. La déduction ne porte pas directement sur les réalités perçues mais sur les énoncés hypothétiques et les données indépendamment de leur caractère réel.

Le mode de pensée hypothético-déductif permet d'appréhender certains concepts abstraits. C'est ainsi que Lawson et Worsnop (1992) dans une recherche portant sur l'apprentissage de l'évolution concluent que les élèves qui ont atteint le stade formel présenteront un gain conceptuel plus important au sujet de l'évolution et de la sélection naturelle que les élèves qui n'ont pas atteint ce stade de développement. Ils concluent également que le raisonnement hypothético-déductif facilite le rejet des croyances non scientifiques sur ce sujet.

2.2.2 Théorie d'assimilation d'Ausubel

La théorie de Piaget et celle d'Ausubel ne comportent pas les mêmes finalités. Piaget propose une théorie sur la macrogénèse des structures de la pensée; Ausubel est davantage préoccupé par la microgénèse des structures cognitives ou l'acquisition de connaissances.

La théorie d'assimilation d'Ausubel (Ausubel, 1968; Novak, 1992) porte sur l'apprentissage et l'organisation de la structure cognitive. Au coeur de la théorie d'Ausubel se retrouve le concept d'apprentissage signifiant (*meaningful learning*) : «potentially meaningful learning tasks are, by definition, relatable and

anchorable to relevant established ideas in cognitive structure. They can be related to exiting ideas in ways making possible the understanding of various kinds of significant relationships.» (Ausubel, 1968, p. 107).

Celui qui apprend établit consciemment une relation entre une nouvelle information ou de nouvelles idées et les aspects appropriés de son savoir actuel. Il faut trois conditions pour qu'un tel apprentissage se manifeste. D'abord la nouvelle information doit avoir du sens, ensuite celui qui apprend doit posséder une structure cognitive sur laquelle les nouvelles idées puissent être rattachées. Finalement, il est nécessaire que l'individu choisisse d'établir ce lien entre sa structure cognitive et la nouvelle information. L'absence de l'une ou l'autre de ces conditions compromet l'apprentissage signifiant.

Le processus d'assimilation qui accompagne l'apprentissage signifiant consiste en une incorporation des nouveaux concepts à un réseau hiérarchiquement organisé dans la structure cognitive. Généralement cette incorporation implique l'insertion de concepts spécifiques sous des concepts plus généraux (*subsumption*) de la structure cognitive d'un individu. Bien que cette organisation soit très idiosyncrasique, les personnes d'une même culture possèdent des réseaux conceptuels semblables où les concepts élémentaires sont représentés sous forme de proposition. Occasionnellement, les nouveaux concepts appris sont plus englobants (*superordinate*) et leur mise en relation avec les éléments de la structure cognitive mène à une réorganisation qui permet de donner une nouvelle signification aux concepts existants. Ce type de d'organisation est caractéristique de la structure cognitive de l'expert dans un domaine particulier.

Selon Ausubel, l'apprentissage est plus efficace lorsque l'information nouvelle est organisée de manière à présenter d'abord les concepts généraux et ensuite les concepts spécifiques. Ces idées générales (*advance organizers*) servent à rattacher les informations plus spécifiques à la structure cognitive. L'auteur identifie deux caractéristiques déterminantes d'un «*advance organizer*». D'abord, l'élève doit pouvoir relier ce concept englobant à sa structure cognitive; il faut également que ce concept serve d'idée unificatrice des concepts plus spécifiques qui seront présentés par la suite (Novak, 1992)

2.2.3 Niveaux de formulation

Les travaux de Piaget sur le développement de l'intelligence, la macrogénése, nous ont permis de situer les travaux d'Ausubel sur la microgénése des structures cognitives. De la même façon les travaux d'Ausubel nous mènent à l'apprentissage, aux niveaux de formulation didactique et aux conceptions des élèves.

Les niveaux de formulation didactique sont reliés au concept de transposition. Ils diffèrent du savoir savant, en ce sens qu'ils résultent d'une reformulation de ce savoir en fonction de plusieurs paramètres.

«L'école n'a jamais enseigné des savoirs à l'état pur mais des contenus d'enseignement qui résultent de croisements complexes entre une logique conceptuelle, un projet de formation et des contraintes didactiques.» (Astolfi et Develay, 1989, p. 46)

En fait, lorsqu'un concept scientifique fait partie d'un curriculum, il doit désigner quelque chose qui puisse être appris. La transposition didactique ne doit pas correspondre à une simple réduction régressive du savoir universitaire, elle doit envisager tous les aspects de la pratique d'enseignement. Elle doit notamment tenir compte des pratiques sociales de référence, des niveaux de formulation d'un concept et des trames conceptuelles.

Ainsi, au cours de la transposition le didacticien doit identifier le domaine d'activité dans lequel viendra s'intégrer l'enseignement scientifique, le problème scientifique qu'il se propose de faire étudier et l'énoncé correspondant au savoir qui permet de répondre au problème étudié. En effet, pour une même notion scientifique il existe une variété d'énoncés possibles utilisés selon les niveaux de scolarité et les situations étudiées.

Les niveaux de formulation n'impliquent pas une hiérarchisation. Ce sont des formulations qui correspondent à l'extension d'un concept à un plus grand nombre d'observations ou qui répondent à un besoin d'approfondissement d'une explication, comme par exemple la modélisation successive de la respiration au cours de la scolarité (Giordan et Martinand, 1987).

Les niveaux de formulation didactique permettent de structurer le contenu à étudier et les problèmes traités. Ils doivent être élaborés en fonction du questionnement et du cadre de référence de l'élève. Ils ne se réduisent pas à une simplification du savoir savant puisque leur finalité et leur contexte d'utilisation sont très différents.

À titre d'exemple, Astolfi et Develay (1989) exposent trois niveaux de formulation de la notion de race. À chaque niveau de formulation correspond un domaine de validité dont l'extension est plus ou moins grande. La limite du domaine de validité d'un concept scientifique permet de réduire ou d'augmenter le nombre des caractéristiques qui le définissent.

«Premier niveau : les espèces d'animaux domestiques et de plantes cultivées se subdivisent en races.

Deuxième niveau : en croisant les individus d'une même race pure on transmet indéfiniment le type des parents. En croisant des individus de races différentes on observe que certains caractères se transmettent toujours.

Troisième niveau : les individus d'une même espèce diffèrent par des caractères raciaux transmis héréditairement et des caractères non transmissibles dus à l'influence du milieu. Il apparaît parfois des caractères nouveaux dans la descendance, caractères que la sélection permet de conserver.» (Astolfi et Develay, 1989, p. 51)

Puisque l'acquisition des connaissances conceptuelles se fait progressivement, on verra apparaître des étapes intermédiaires dans la construction du savoir à l'intérieur d'un niveau de formulation didactique (De Vecchi et Giordan, 1990).

«Une connaissance nouvelle ne vient pas s'accumuler au-dessus ou à côté des autres, mais il y a intégration qui s'effectue par transformation, au moins partielle, des connaissances préexistantes.» (De Vecchi et Giordan, 1990, p. 179)

Donc la connaissance va se construire par une succession d'étapes à mesure que s'élaborent les concepts. Ces étapes décisives de la construction du savoir, exprimées par des énoncés pourront mener à des niveaux de formulation équivalents à ceux que produit le didacticien. Un niveau de formulation pour l'élève cor-

respond à un seuil qu'il atteint; c'est un certain niveau d'abstraction qui se manifeste par un énoncé global, il correspond à un certain niveau de développement intellectuel et à un vécu. Ce qui compte n'est pas la formulation précise d'un énoncé appris mais plutôt la construction d'un énoncé par l'élève qui révèle une structure sous-jacente qu'il a atteint.

En conséquence,

«Il paraît donc essentiel de définir le ou les niveaux de formulation que l'on se propose d'atteindre. Ils constitueront nos objectifs conceptuels.» (De Vecchi et Giordan, 1990, p. 180)

Par ailleurs, les conceptions peuvent permettre d'observer la progression des élèves dans un cheminement qui s'opère à l'intérieur d'une évolution conceptuelle. Ainsi, avant d'atteindre un niveau de formulation didactique plus général, l'élève passera par des étapes intermédiaires. Ces étapes sont caractérisées par l'intégration d'une idée nouvelle, un nouveau concept.

La notion de trame conceptuelle est liée à l'évolution et à la différenciation des énoncés au sujet d'un concept (Astolfi et Develay, 1989). Elle permet de représenter les liens logiques entre ces énoncés et leur relation avec des concepts intégrateurs du domaine étudié.

L'intégration progressive d'une idée nouvelle à une telle organisation témoigne de l'évolution conceptuelle de l'élève. Cette étape de l'évolution conceptuelle constitue «un registre de formulation» (Astolfi et Develay, 1989, p. 55) à l'intérieur d'un niveau de formulation.

Les conceptions des élèves servent d'indicateur de cette évolution. La trame conceptuelle permet de situer les conceptions des élèves et d'en produire une image intégrée, faisant état de la progression de la connaissance.

2.2.4 Conceptions

Les chercheurs de plusieurs allégeances théoriques considèrent que les conceptions sont l'élément le plus important dont l'élève dispose lorsqu'il se présente en classe. Ils mettent l'accent sur le fait qu'il s'agit d'un ensemble

d'images, de modèles présents chez l'apprenant avant même que ne débute une activité pédagogique (Eylon et Lynn, 1988). L'émergence des conceptions fait apparaître des erreurs conceptuelles et une structure cognitive alternative, bien ancrée dans le vécu de l'élève (Feldsine, 1987; Griffiths, Thomey, Cooke, Normore, 1988). Ces conceptions prennent racine dans l'expérience quotidienne et sont très résistantes au changement, même après une séquence d'enseignement (Driver, 1989).

Depuis quelques années, la littérature foisonne de rapports de recherche portant sur l'identification des conceptions des élèves et la difficulté d'apprentissage des concepts scientifiques dans plusieurs domaines (Confrey, 1990).

Selon Astolfi et Develay (1989), les concepts scientifiques se distinguent des concepts linguistiques et mathématiques par le fait qu'ils désignent une relation et non un fait brut. Un concept scientifique explique une relation qui peut se retrouver dans de nombreuses situations, de sorte qu'en plus d'expliquer il permet de prévoir. À cause de l'ensemble des objets auquel il s'applique, le réel, le champ explicatif du concept scientifique est limité et ce champ doit être défini.

Les conceptions influencent l'apprentissage des concepts scientifiques. Ces difficultés ont été décrites de diverses manières. Fisher (1983) parle de conceptions erronées (*misconceptions*), Driver et Easley (1978) parlent d'un cadre conceptuel alternatif, (*alternative frameworks*), Mc Closkey (1983) parle de croyances intuitives (*intuitive beliefs*), Anderson et Smith (1983) parlent de préconception (*preconceptions*), Viennot (1979) parle de raisonnement spontané (*spontaneous reasoning*), Osborne, Bell et Gilbert (1983) parlent de science enfantine (*children's science*).

Kuiper (1994) souligne l'importance de définir plus clairement les termes utilisés pour désigner les conceptions des élèves. Il propose de remplacer les termes «*misconception*», «*preconception*» et «*alternative conception*» par «*student idea*» parce qu'ils limitent les caractéristiques de la conception de l'élève.

La préconception.

Selon Kuiper (1994), le terme «*preconception*» implique l'existence chez l'élève d'un construit personnel avant que ne débute l'enseignement formel d'un concept.

La conception alternative ou «*alternative conception*»

La conception alternative «*alternative conception*» se réfère à une conception structurée autour de l'expérience personnelle et tient lieu de concept scientifique (Kuiper, 1994).

Abimbola (1988) préfère utiliser la conception alternative plutôt que le cadre conceptuel alternatif pour décrire les conceptions des élèves. Il recommande ce terme particulièrement pour la recherche sur les conceptions en biologie.

«The term presupposes that internal groups are possible for use in organizing and explaining student conceptions.» (Abimbola, 1988, p 182)

Le cadre conceptuel alternatif ou «*alternative framework*»

Kuiper (1994) clarifie également le terme «*alternative framework*». Selon l'auteur il faudrait restreindre son usage aux seuls cas où l'on met en évidence chez un élève «*a set of student ideas concerning one and the same concept which appear to be coherent and ordered, at least to some extent*» (Kuiper, 1994, p 280). Ces conceptions sont mises en évidence lorsqu'un même concept est utilisé dans des problèmes différents impliquant divers niveaux de complexité (Eylon et Lynn, 1988). Selon De Vecchi et Giordan (1990) c'est un modèle explicatif organisé, simple et cohérent. Ce modèle n'est pas facilement modifié par les séquences d'enseignement traditionnelles.

Par ailleurs Abimbola (1988) souligne que ce cadre conceptuel doit être déduit des réponses fournies des élèves dont la cohérence souvent fait défaut. L'auteur pense également que le terme «*framework*» est trop restrictif pour la description des conceptions des élèves. Il devient utile cependant lorsqu'il s'agit de re-

grouper les conceptions des élèves dans un ensemble structuré : la physique aristotélicienne ou l'évolution lamarckienne.

La conception erronée ou «*misconception*»

La présence d'une «*misconception*» suppose que l'élève ait mal interprété une information reçue (Kuiper, 1994). Une conception erronée peut constituer un obstacle à la poursuite de l'apprentissage. Une conception erronée peut exister dans un cadre conceptuel adéquat (De Vechhi et Giordan, 1990). Une conception erronée est généralement spécifique et localisée; elle porte sur la relation entre deux concepts (Feldsine, 1987).

De Vechhi et Giordan (1990) décrivent les caractéristiques générales des conceptions de la façon suivante. Une conception est d'abord une idée sous-jacente à l'expression d'un élève. Une conception est personnelle. Une même conception peut se retrouver chez d'autres élèves, et elle peut évoluer. Elle se retrouve associée à une très grande variété de concepts dans plusieurs domaines scientifiques. Une conception est en rapport avec le niveau de connaissances et l'histoire d'un élève. Une conception dépend du contexte socio-culturel dans lequel elle est émise.

Même s'il est faux sur le plan scientifique, ce savoir permet d'expliquer. Il est fonctionnel pour l'élève. Le défi est donc d'assurer un véritable apprentissage, celui qui produit des transformations durables des conceptions de l'élève. Ces transformations progressives permettent l'intégration d'un concept scientifique au système conceptuel de l'apprenant (Gilbert, Osborne et Fensham, 1982). On retrouve chez Ausubel la même idée d'intégration et d'ancrage lorsque l'auteur parle d'un processus d'assimilation qui accompagne l'apprentissage signifiant et des «*advance organizers*» qui servent à rattacher des informations spécifiques à la structure cognitive de l'élève.

Linn (1986) suggère que le savoir d'un élève inclue non seulement ses conceptions intuitives mais aussi les aspects qui, pour lui, sont fondamentaux et ceux qui sont accessoires. L'auteure considère que le centre d'une conception (*hard-core ideas*) correspond à ce que l'élève n'abandonne pas même lorsqu'il fait face à une situation qui vient en contradiction avec ses idées. En périphérie,

(*protective belt of ideas*) se trouvent les idées que l'élève est prêt à abandonner pour protéger le coeur de sa conception.

Selon Westbrook et Marek (1992), les résultats des études portant sur les conceptions associées aux phénomènes biologiques permettent de dégager les caractéristiques suivantes :

1. Les enfants possèdent déjà des conceptions au sujet de leur environnement au moment où ils entrent dans le système scolaire;
2. Les élèves développent des conceptions erronées lors des expériences scientifiques menées en classe. Ces conceptions peuvent surgir de l'écart entre le niveau d'abstraction du concept enseigné et le stade de développement de l'élève ou peuvent être transmises par l'enseignant ou le manuel utilisé. Elles se retrouvent à tous les niveaux de scolarité;
3. Les séquences d'enseignement ne réussissent pas toujours à réduire les conceptions erronées provenant des expériences passées de l'élève;
4. Les élèves qui ont étudié les phénomènes ne peuvent très souvent résoudre des problèmes reliés aux concepts utilisés pour comprendre ces mêmes phénomènes.

Les recherches en didactique portant sur les contenus de biologie, de physique, de chimie et de mathématiques ont montré l'écart important qu'il y a entre les concepts formels que possèdent les élèves et les conceptions qu'ils utilisent pour résoudre un problème ou expliquer un phénomène (Osborne, Bell et Gilbert, 1986). Ces recherches mettent en évidence une grande variété de conceptions, leur persistance et la coexistence de plusieurs systèmes parallèles mobilisés selon les cas. Les recherches menées ont permis d'établir que les conceptions identifiées dans un domaine se retrouvaient chez les élèves du même âge de pays différents (Shipstone, Rhöneck, Jung, Dupin, Licht, 1988).

Un élève qui apprend est celui qui attribue une signification à une nouvelle idée, lui accorde de la valeur, et la juge recevable en la comparant à celles qu'il a déjà. Plusieurs auteurs insistent sur la nécessité de produire chez l'élève un sentiment d'insatisfaction face à ses propres conceptions, pour amorcer le processus d'accommodation qui résultera en un changement des structures cognitives, un changement conceptuel (Hewson, 1981; Strike et Posner, 1982; Carey, 1985; Hewson et Thorley, 1989)

2.2.5 Synthèse des éléments de la pensée constructiviste

Les travaux de Piaget nous permettent de comprendre le développement de l'intelligence. Ceux d'Ausubel décrivent la mise en place des structures cognitives et la dynamique de l'apprentissage.

Nous savons que l'élève possède une structure cognitive sur laquelle il s'appuie pour donner un sens à la réalité qu'il perçoit. Toute nouvelle information est donc traitée en regard des conceptions existantes de l'élève. Elle peut être rejetée ou peut amorcer la modification de la structure cognitive par assimilation et accommodation.

Dans un contexte scolaire, le savoir qui fait l'objet de l'apprentissage résulte d'une transposition des concepts scientifiques. Cette transposition débouche sur la création de niveaux de formulation didactique qui déterminent le cadre conceptuel du domaine à apprendre.

De son côté, l'élève construit progressivement son savoir, il développe des conceptions parfois différentes des concepts scientifiques. L'analyse de ces conceptions permet de mettre en évidence la progression suivie à l'intérieur de chaque sujet d'étude et à l'intérieur des niveaux de formulation didactique.

2.3 ÉCRITS SUR LES CONCEPTIONS DE LA CIRCULATION SANGUINE

La recension des écrits ne nous a pas permis d'identifier des travaux sur les niveaux de formulation didactique de la circulation sanguine. Toutefois nous

avons pu retracer quelques études sur les conceptions la circulation sanguine et sur les conceptions de certains phénomènes associés à la circulation du sang.

Nous nous pencherons maintenant sur l'ensemble des conceptions qui touchent la circulation sanguine. Nous distinguerons les conceptions qui concernent directement le système circulatoire et celles qui portent sur des phénomènes associés à la circulation du sang.

2.3.1 Conceptions de la circulation sanguine

L'analyse des écrits nous indique que les conceptions identifiées portent sur plusieurs concepts de complexité variée. Certains concernent des éléments structuraux alors que d'autres sont reliés à des mécanismes physiologiques. Nous identifierons des catégories sous lesquelles nous regrouperons les conceptions recensées.

2.3.1.1 *Système fermé*

L'organisation du système circulatoire en un circuit fermé se situe tout en haut du réseau conceptuel de la circulation proposé par Henze-Fry et Novak (1990).

Le système cardio-vasculaire et son rôle font parties des connaissances générales sur le corps humain. Cependant, il arrive que la conception que s'en font les adolescents se limite au rôle de pompe que joue le coeur qui alimente les diverses parties du corps.

«By the age of 13, most children explain what the heart does by referring in some manner to its role in supplying blood to all parts of the body. Although the term circulation was often used in describing blood flow, there was no evidence that subjects, even adolescents, understood that blood returns to the heart from the various regions of the body.» (Gellert, 1962, p. 335)

Cette conception très réductrice limite la circulation à un jet de sang projeté par le coeur vers d'autres parties de l'organisme, sans considérer le

retour du sang ou son recyclage dans un système fermé. Cette conception fondamentale du retour du sang est souvent absente du cadre conceptuel des adolescents.

Elle fait défaut même chez les étudiants universitaires plus âgés. Patel, Kaufman, Magder (1991) ont trouvé que les étudiants de médecine sont souvent incapables de concevoir la circulation cardio-pulmonaire comme un système dans lequel un événement localisé a des effets dans toutes les autres régions du système cardio-vasculaire. Feltovich, Spiro et Coulson (1988) font état de conceptions erronées quant à la relation structure-fonction d'un coeur malade. Ces conceptions erronées quant à la reconnaissance des causes d'une maladie se traduisent par une tendance à réduire à une séquence simple d'événements isolés, un problème biomédical très complexe.

2.3.1.2 *Coeur*

Arnaudin et Mintzes (1985) ont examiné les conceptions sur les fonctions du coeur, du sang et de la circulation sanguine. Ils rapportent que les répondants, dans l'ensemble, conçoivent que le coeur agit comme une pompe mais non comme une double pompe. Entre 7 et 15% seulement des répondants souscrivent à la conception d'une double circulation, pulmonaire et systémique.

Certaines conceptions, comme l'organisation du système circulatoire en une petite et grande circulation et la conception du coeur, sont reliées. Le coeur doit être vu comme une double pompe (Arnaudin et Mintzes, 1985) pour que le système circulatoire puisse être représenté comme un système pulmonaire et systémique.

Ceux qui incluent une circulation pulmonaire dans le circuit sanguin, principalement des étudiants de l'ordre collégial, placent souvent les poumons entre le coeur et tout autre organe, soit à l'aller ou au retour du parcours sanguin.

2.3.1.3 *Échanges*

Arnaudin et Mintzes (1985) soulignent également que pour l'ensemble des répondants, y compris ceux de l'ordre collégial, le circuit sanguin n'est pas conçu comme un système où le sang demeure dans les capillaires sanguins. Les résultats de cette étude suggèrent que 80% des élèves ont adopté l'une ou l'autre des conceptions suivantes : le sang quitte les capillaires, le sang quitte les capillaires et se rend à l'intérieur des cellules, une partie du sang quitte les capillaires et irrigue les cellules.

2.3.1.4 *Relation entre les niveaux d'organisation*

Les auteurs (Arnaudin et Mintzes, 1985; Feltovich et al., 1988) soulignent la difficulté de relier les phénomènes qui se déroulent au niveau cellulaire, microscopique et le fonctionnement d'un organe, au niveau macroscopique.

2.3.1.5 *Dynamique circulatoire*

Kaufman, Patel et Magder (1992) ont examiné les concepts reliés à la physiologie cardio-vasculaire auprès des étudiants de médecine et d'experts. Ils se penchent notamment sur les concepts de débit cardiaque, de retour veineux et des propriétés mécaniques du système cardio-vasculaire.

«To understand circulatory physiology, it is necessary to have a grasp of the basic physical properties of hydrodynamics, specifically pressure-volume and pressure-flow relationships.» (Kaufman et al., 1992, p 17)

Ils signalent chez l'un des participants une conception selon laquelle une augmentation de pression cause une augmentation de volume et une augmentation du flux sanguin. Cette conception ne tient pas compte de la différence de pression mais uniquement de la valeur absolue de la pression, ce qui amène l'étudiant à conclure qu'une faible pression en un point du système s'accompagne d'une réduction du flux sanguin. Le même participant affiche une conception selon

laquelle le coeur détermine seul le flux sanguin, les veines offrant une voie passive de retour au coeur.

Chez un autre participant, Kaufman et al. (1992) identifient une conception selon laquelle le débit cardiaque n'est pas influencé par la résistance vasculaire. Chez deux autres étudiants à qui ils ont demandé comment réagissait le coeur lors d'un exercice physique, la réponse fournie exprimait une conception téléologique caractérisée par le besoin de répondre à une demande accrue des muscles en exercice.

Dans cette recherche, auprès des étudiants en médecine, les auteurs révèlent également une confusion entre deux paramètres déterminants pour comprendre le retour du sang vers le coeur (retour veineux : volume de sang qui rejoint les oreillettes du coeur par minute). Les étudiants confondent la «*compliance*» et la résistance des veines. La *compliance* concerne l'élasticité d'un vaisseau et sa capacité d'emmagasiner le sang. La résistance dépend d'abord du rayon d'un vaisseau. Bien que ces deux paramètres soient liés quant à leur effet sur le retour veineux, ils sont physiologiquement indépendants. Un sujet qui confond ces deux notions considère qu'une augmentation de la résistance des veines diminue leur capacité d'entreposage ce qui accroît le retour veineux vers le coeur, alors que c'est l'inverse qui se produit. En fait, les vaisseaux responsables de l'entreposage du sang sont les veinules, qui se situent avant les veines dans le segment responsable du retour veineux.

Parmi les concepts étudiés auprès des participants, le concept de retour veineux a fait l'objet le plus souvent de conceptions différentes de celles des experts.

Spiro, Coulson, Feltovich et Anderson (1988) font une synthèse des types de conceptions identifiées dans le domaine biomédicale et associées à la dynamique du système cardio-vasculaire.

«These include contentive errors, often involving overgeneralization; for example, areas of subject matter are seen as being more similar than they really are. Errors attributable to dysfunctional biases in mental representation are also observed; for example, dynamic processes are often represented more statically.

Prefigurative "world views" that underlie learners' understanding processes also cause problems; for example, the presupposition that the world works in such a way that "parts add up to wholes" leads students to decompose complex processes into components that are treated mistakenly as independent.» (Spiro, Coulson, Feltovich et Anderson, 1988, p. 376)

Feltovich et al. (1988), constatent que les conceptions dans ce domaine ont tendance à l'interdépendance, elles s'appuient l'une sur l'autre.

«Furthermore all these levels misconceptions interact in reciprocally supportive ways, and combine to yield higher order misconceptions. Failures of understanding compound themselves, buiding up durable chains of larger scale misconception.»

« Misinterpretations of fundamental ideas can cohere in systematic ways such that belief in one makes belief in others easier ...All conspire to promote a passive coloration in the "view" of the cardiovascular system, especially regarding the vasculature itself. Once such colorative effects emerge, they can feed back and shade further learning and interpretation.» (Feltovich et al., 1988, p. 14)

Les mêmes auteurs soulignent que la réduction de la complexité des phénomènes et concepts biomédicaux est une force majeure dans l'acquisition et le maintien de conceptions erronées. Ils décrivent comment se manifeste la réduction de la complexité conceptuelle.

«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.» (Feltovich et al., 1988, p. 11)

Cette réduction influence la conception de la dynamique du système cardio-vasculaire.

«The restriction of oppositional effects to resistance is consistent with the view of the cardiovascular system as a "direct current" as opposed to an "alternative current" circuit, which is bolstered by the non recognition of accelerative properties of blood circulation due to pulsatile pressure. It is also

consistent with a view of the vasculature as simply accomodating active effects from the heart.» (Feltovich et al., 1988, p. 14)

Les auteurs fournissent d'autres exemples de cette réduction conceptuelle. Ils décrivent le «*step-wise bias*» selon lequel les processus continus sont décomposés en événements indépendants ayant perdu les propriétés que l'on retrouve au niveau global. C'est ce que les étudiants font lorsqu'ils représentent le flux continu de sang comme une suite d'étapes qui se suivent, ce qui les empêche de concevoir la relation entre le débit d'entrée et de sortie du coeur. Il y a également le «*external agent bias*» qui attribue à une influence externe un processus qui dérivent des caractéristiques propres à une structure. Le «*prior analogy bias*» réduit à une métaphore trop simple un concept plus complexe, comme la réduction du système vasculaire à un ensemble de tuyaux. Le «*common connotation bias*» amène l'étudiant à accorder un sens populaire à un terme technique. Le «*restriction of scope bias*» se rapporte au fait que certains étudiants considèrent que la résistance vasculaire est une propriété qui se limite aux petits vaisseaux.

De façon générale la relation structure-fonction pour différents éléments du système circulatoire est plus rarement l'objet de conceptions erronées tenaces que les mécanismes physiologiques abstraits associés au débit cardiaque et à la dynamique du circuit sanguin. (Arnaudin et Mintzes, 1985; Feltovich et al., 1988).

2.3.2 Conceptions de phénomènes reliés à la circulation sanguine

Certains élèves conçoivent le système circulatoire comme une entité isolée dont la dynamique est indépendante des autres organes (Songer et Mintzes, 1994).

Afin d'explorer plus à fond certaines conceptions des élèves, il est utile de connaître les conceptions qu'ils ont de phénomènes associés à la circulation sanguine. Par exemple Arnaudin et Mintzes (1985) considèrent que la conception selon laquelle le sang quitte les capillaires sanguins peut être étudiée de façon plus détaillée.

«Understanding some concepts depends largely on observing regularities in readily accessible objects or events such as in the structure of a four-chambered heart. Other concepts such as circulatory-respiratory relationships require familiarity with inaccessible or covert structures and processes (capillaries and diffusion).» (Arnaudin et Mintzes, 1985, p. 730)

Les auteurs identifient un ensemble de concepts à explorer : les besoins métaboliques des cellules, les phénomènes de diffusion et d'osmose, les propriétés des capillaires sanguins, les compartiments extra et intracellulaires.

Glynn, Yeany et Britton (1991) proposent d'explorer l'organisation des réseaux capillaires et le mouvement des fluides entre les compartiments extra et intracellulaires afin de relier la satisfaction des besoins métaboliques à des phénomènes microscopiques.

Les chercheurs se sont intéressés à des conceptions touchant des concepts qui, selon notre analyse, sont associés indirectement à la circulation sanguine. Nous avons retenu les recherches portant sur la diffusion, l'osmose, l'homéostasie, la réaction chimique, la respiration et les circuits.

2.3.2.1 *Diffusion*

Dans une recherche portant sur le concept de diffusion auprès de 300 élèves du secondaire et du collégial, Westbrooke et Marek (1991) rapportent qu'aucun des sujets ne présente une compréhension acceptable de la diffusion.

«In a complete understanding, students responses parallels a theoretical scientific view of the concept : random movement of molecules from areas of high concentration to areas of low concentration. A sound understanding : the student's response is complete but not molecular in nature. The response is concrete rather than theoretical. No attempt is made to identify the molecular interactions and no incorrect information is given.» (Westbrooke et Marek, 1991, p. 652)

Le phénomène de la diffusion est observable concrètement lorsque l'on place une teinture dans l'eau, mais pour comprendre le mécanisme de

la diffusion au niveau moléculaire, il faut faire appel à un raisonnement hypothético-déductif. De plus les auteurs constatent que le manque de compréhension des concepts de solution et de densité nuit à la compréhension de la diffusion.

2.3.2.2 *Osmose*

Les échanges entre les compartiments du milieu interne de l'organisme impliquent un déplacement continu de l'eau corporelle. La dynamique de ces mouvements dépend en partie du phénomène d'osmose.

Friedler, Amir et Tamir (1987) ont procédé à une étude exhaustive des conceptions de l'osmose. Leur recherche a été menée auprès de 500 élèves de l'ordre secondaire. Ils rapportent les observations suivantes :

1. L'explication la plus fréquente fournie pour l'osmose implique le désir et la pulsion d'égaliser les concentrations;
2. Très peu d'élèves utilisent le concept de «concentration en eau»;
3. La plupart des élèves ne réalisent pas qu'à l'équilibre osmotique, les molécules d'eau continuent de se déplacer;
4. Les élèves manifestent beaucoup de difficulté à comprendre les relations soluté-solvant et quantité-concentration;
5. Plusieurs élèves exécutent les expériences de laboratoires sans vraiment comprendre les principes sous-jacents.

2.3.2.3 *Homéostasie.*

Finley, Stewart et Yarrock (1982) rapportent que les enseignants considèrent le concept d'homéostasie comme étant difficile à comprendre par les élèves du secondaire. Simpson et Marek (1988) confirment cette opinion; sur cent élèves de dixième année interrogés sur l'homéostasie, aucun

ne peut fournir une explication adéquate du concept. Les mécanismes qui permettent à l'organisme de maintenir l'équilibre de son milieu interne impliquent la compréhension des relations entre les nombreux systèmes impliqués. Ce type de concept est qualifié de formel selon Lawson et Renner (1975). Par ailleurs, plusieurs élèves du secondaire n'ont pas atteint le stade de la pensée formelle et leur apprentissage se fait mieux lorsqu'ils peuvent manipuler des objets (Lawson, Abraham et Renner, 1989).

Dans une étude portant sur la compréhension de l'homéostasie à différents âges, Westbrook et Marek (1992) rapportent que moins de 10% des élèves qui n'ont pas atteint le stade de la pensée formelle présentent une compréhension partielle du concept. Par ailleurs, au niveau collégial, 27% de ceux qui ont atteint ce stade manifestent une compréhension adéquate de l'homéostasie.

2.3.2.4 *Réaction chimique*

Le concept de métabolisme cellulaire est fondamental pour la compréhension de la fonction nutritive du sang. Ce concept est lié à celui de la réaction chimique. Hesse et Anderson (1992) ont complété une étude portant sur les conceptions des élèves du secondaire au sujet du concept de la réaction chimique. Ils rapportent que la majorité des élèves n'invoquent pas la théorie atomique dans leur explication du phénomène, ils ne peuvent prédire ou expliquer les changements de masse associés à une réaction chimique; ils traitent les transformations chimiques comme un simple changement d'état physique.

Les élèves éprouvent de la difficulté à expliquer le phénomène au niveau atomique et moléculaire à partir d'observations macroscopiques. Certains élèves attribuent aux atomes et molécules des propriétés macroscopiques comme l'état de la matière ou la couleur. C'est ainsi que les molécules d'eau sont considérées comme liquides et incolores. Par ailleurs, Abraham, Grzybowski, Renner et Marek (1992) constatent que les jeunes élèves du secondaire n'utilisent pas les concepts d'atome et de molécule pour expliquer les phénomènes chimiques, bien que l'enseignement de la théorie atomique soit au coeur des cours de chimie de cet ordre d'enseignement.

Plusieurs élèves préfèrent des explications utilisant des analogies superficielles plutôt que les théories que proposent les chimistes. Ils expliquent souvent en reformulant de façon tautologique l'information dont ils disposent.: «The splint after burning weighs less because ash weighs less than wood» Hesse et Anderson, 1992, p.280).

2.3.2.5 *Respiration*

Stavy, Eisen et Yaakobi (1987), dans une étude menée auprès d'élèves du secondaire, rapportent que les élèves associent la respiration aux mouvements respiratoires d'inspiration et d'expiration. La majorité d'entre eux pensent que l'O₂ est obtenu par une filtration de l'air qui s'effectue au niveau des poumons. Les élèves associent l'O₂ à un besoin vital puisqu'ils ne peuvent cesser de respirer, sans comprendre son métabolisme.

Stavy et al. (1987) ont trouvé que les élèves ne conçoivent pas le corps humain comme un système de transformations chimiques.

Giordan et Martinand (1987) ont aussi exploré les modèles respiratoires chez les élèves du secondaire. Ils retrouvent, chez 40% des élèves de 16 ans, l'idée de tri : «Les poumons gardent l'oxygène de l'air , ils rejettent le gaz carbonique» (p146). Ils rapportent également que, selon plusieurs sondages, 90% de la population adulte en est restée à un modèle ventilatoire : une entrée et une sortie d'air. L'aspect énergétique, la respiration cellulaire, n'est évoqué que par 10% des étudiants qui ont réussi au baccalauréat.

Songer et Mintzes (1994) estiment que la respiration cellulaire est au centre des activités métaboliques des organismes pluricellulaires.

«We judge it to be critical to an understanding of several of the organizing conceptual schemes of the discipline, including energy flow in natural ecosystems and metabolic activities of multicellular organisms such as digestion, respiration, circulation and excretion.»
(Songer et Mintzes, 1994, p 622)

Les auteurs identifient certaines conceptions concernant le transport et l'utilisation de l'oxygène par l'organisme humain, auprès d'élèves de

l'ordre collégial. Ils rapportent que certains élèves considèrent que l'air est filtré au niveau des poumons et se rend au coeur et que l'oxygène sert de source d'énergie au cellules du corps.

Ils soulignent également que certains élèves ne conçoivent pas le transport de la nourriture digérée jusqu'aux cellules par la voie sanguine. Un élève a déclaré que «glucose comes from the food we eat but I don't know how it gets to the cells after it is digested» (p 626). Un autre élève interrogé sur ce sujet a répondu «the blood stream doesn't deliver glucose to the cells. That's only for oxygen.» (p 626).

Songer et Mintzes (1994) concluent que les élèves ne cherchent pas à expliquer les phénomènes macroscopiques qui se déroulent au niveau de l'organisme en utilisant des mécanismes du niveau cellulaire. C'est le cas notamment pour les échanges gazeux et l'utilisation de nourriture.

2.3.2.6 *Concept de circuit en électricité*

Le concept de circuit est l'objet d'une étude à plusieurs niveaux de scolarité dans le cadre des cours d'électricité. Les conceptions qu'affichent les élèves sur la dynamique des phénomènes électriques peuvent nous guider dans l'identification des conceptions reliées à la circulation sanguine.

Lorsque qu'une modification est produite en un point du circuit électrique, les élèves n'arrivent pas à se représenter les changements simultanés qui affectent plusieurs éléments en amont et en aval du site où se produit la modification. Ils adoptent une approche locale et séquentielle dans leur analyse sans égard pour l'effet de rétroaction propre à un circuit (Eylon et Gabriel, 1990; Licht et Thijs, 1990; Dupin et Johsua, 1987; Shipstone et al., 1988).

Eylon et Gabriel (1990) résument le processus d'analyse de la modification survenue dans un circuit à l'aide de trois composantes :

1. Les relations quantitatives qui traduisent le phénomène sous une forme algébrique;

2. Les relations qualitatives fonctionnelles qui établissent les liens entre les divers éléments du circuit;
3. Les relations macroscopique-microscopique qui associent les observations macroscopiques aux mécanismes et modèles représentant le mouvement des particules et les forces impliquées.

L'absence de l'une ou l'autre des ces composantes, selon Eylon et Gabriel (1990) peut expliquer pourquoi certains élèves ne peuvent concevoir un circuit électrique comme un système et être en mesure de comprendre les relations dynamiques qui existent entre les éléments.

De la même façon, l'apprentissage de la circulation sanguine suppose l'intégration de plusieurs concepts et la construction d'une représentation dynamique des relations entre ces concepts. Ces concepts par ailleurs ne peuvent être déduits facilement de l'observation des structures, ils demeurent abstraits et sont souvent l'objet de conceptions erronées.

2.3.3 Synthèse

Selon Piaget (1967), l'élève construit sa structure cognitive à partir de schèmes assimilateurs. L'élève qui apprend relie consciemment toute nouvelle information à sa structure cognitive. La nouvelle information doit avoir du sens pour que l'élève choisisse d'établir un lien entre sa structure cognitive et la nouvelle information (Ausubel, 1968).

Selon Ausubel (1968) il faut que cette information soit organisée pour qu'elle puisse s'intégrer facilement à la structure cognitive selon un processus d'assimilation. Cette organisation de l'information dans le contexte scolaire passe par une transposition didactique qui débouche sur les niveaux de formulation du savoir à enseigner. Or, les conceptions des élèves influencent l'apprentissage des concepts scientifiques.

La circulation sanguine fait partie des objectifs d'apprentissage de plusieurs programmes d'études de l'ordre collégial. Il n'existe pas de recherches sur les niveaux de formulation de la circulation sanguin, ni sur les conceptions de la circulation sanguine des élèves de l'ordre collégial.

Les recherches menées sur les conceptions de la circulation sanguine auprès d'élèves d'autres ordres d'enseignement ont permis d'identifier certaines conceptions alternatives. Nous nous appuyerons sur ces résultats pour mener notre propre recherche.

2.4 FORMULATION DES QUESTIONS DE RECHERCHE

Les premières interrogations que suscitent notre recherche concernent donc le contenu conceptuel de la circulation tel que défini par les experts, professeurs de biologie de l'ordre collégial. Cette définition doit nous guider dans l'exploration et dans l'analyse des conceptions des élèves de notre population. Elle nous permettra également d'évaluer l'écart entre les conceptions des élèves de notre population et celles des experts.

Voici donc nos questions de recherche :

- 1. Quels sont les niveaux de formulation didactique et les concepts de la circulation que reconnaissent les experts pour l'ordre collégial?**
- 2. Quelles sont les conceptions des élèves de l'ordre collégial au sujet de la circulation sanguine, avant d'en amorcer l'étude formelle?**
- 3. Quel est l'écart entre les conceptions des experts et les conceptions des élèves pour chacun des niveaux de formulation didactique?**
- 4. Comment les conceptions des élèves de notre population sont-elles organisées?**

2.5 DÉLIMITATIONS ET ENJEUX

Cette recherche se déroule auprès d'élèves de l'ordre collégial de la région de Montréal, inscrits à un programme de Sciences de la nature, un programme de deux années préparatoires à l'université ou à l'un des programmes de formation des Techniques de la santé, de trois ans, qui mènent au marché du travail. Le programme de Sciences de la nature comporte une orientation en Sciences de la santé et un autre en Sciences pures.

L'apprentissage de la circulation sanguine fait partie du programme d'études de tous les étudiants de notre population cible. Notre recherche se déroule à un moment qui précède le début de cet apprentissage dans un cours de biologie, alors que les étudiants sont déjà inscrits au collège.

Notre recherche a pour but de construire des hypothèses touchant les conceptions de la circulation sanguine auprès d'une population particulière d'élèves. Les enjeux et les retombées de cette recherche sont multiples. D'abord le domaine de la circulation sanguine a été très peu étudié jusqu'ici et parmi les recherches qui s'y rattachent, aucune ne s'est intéressée à l'apprentissage de l'ordre collégial. Notre recherche contribue à combler cette lacune. De plus, notre approche sur l'identification des conceptions est différente; elle s'inscrit dans une perspective d'une séquence d'enseignement visant à supporter l'apprentissage en milieu scolaire. L'analyse des conceptions des étudiants sera donc menée à la lumière des écarts qu'elles présentent avec celles des experts et nous permettra de proposer des pistes d'intervention didactique.

Finalement, au cours de notre démarche nous aurons développé un nouvel instrument d'identification des conceptions dans un domaine et auprès d'une population peu étudiés.

CHAPITRE 3 : MÉTHODOLOGIE

Notre cadre méthodologique est celui de la recherche empirique exploratoire (Van der Maren, 1990).

«Elle a pour but de générer des hypothèses, c'est-à-dire d'examiner un ensemble de données afin de découvrir quelles relations peuvent y être observées, quelles structures peuvent y être construites... La recherche exploratoire a pour but de combler un vide, une lacune dans les écrits à propos de l'objet en recourant soit à un nouveau système d'inscripteurs soit en appliquant les inscripteurs connus à un nouveau matériel.» (Van der Maren, 1990, p 55-56)

Dans ce chapitre nous présenterons d'abord l'approche méthodologique générale. Ensuite nous expliquerons la méthode de recherche que nous avons utilisée pour valider les conceptions des experts, développer un instrument d'exploration des conceptions des élèves, recueillir, traiter et analyser les données.

Cet ensemble d'étapes doit nous permettre de produire des résultats reliés aux questions que nous avons soulevées au moment d'exposer la problématique de notre recherche.

3.1 DÉVELOPPEMENT D'UN INSTRUMENT D'EXPLORATION DES CONCEPTIONS

Wandersee, Mintzes et Araudin (1987) ont publié une recherche dans laquelle ils analysent les travaux effectués sur les conceptions des élèves dans le domaine des sciences biologiques. Ils identifient plus de treize méthodes différentes dans les 167 études analysées. L'entrevue représente l'outil de choix pour ce type de recherche, elle est utilisée dans 47 études. Parmi les tests écrits, les questionnaires à choix multiples représentent l'alternative la plus fréquente lorsque l'échantillon est important.

En 1988, Treagust (1988) a proposé une méthodologie pour identifier les conceptions des étudiants dans des domaines scientifiques variés. Cette méthodologie a retenu notre attention puisqu'elle propose une intégration des deux méthodes les plus utilisées soit l'entrevue et le questionnaire à choix multiples.

Selon cette approche, l'analyse des entrevues menées auprès d'un échantillon de la population cible contribue au développement du questionnaire à choix multiples.

Selon Treagust (1988), la construction d'un instrument permettant d'identifier les conceptions des étudiants sur un sujet scientifique particulier comporte trois étapes principales. Cette méthode lui a servi à développer, auprès d'étudiants du secondaire et du collégial, des questionnaires sur la structure du lien covalent en chimie et sur la respiration et la photosynthèse en biologie.

La première étape consiste à définir le contenu conceptuel d'un domaine scientifique et son organisation. Elle aboutit à la construction d'énoncés et d'un réseau conceptuel. Cette production doit ensuite être validée par des experts du domaine et des professeurs de sciences.

La seconde étape sert à obtenir de l'information sur les conceptions des élèves. Elle se traduit d'abord par une recension des écrits sur les conceptions des élèves d'après les énoncés qui décrivent le contenu du domaine scientifique défini à la première étape. Par la suite, des entrevues cliniques menées auprès d'élèves qui ont étudié le sujet fournissent des données supplémentaires et suggèrent des pistes à examiner.

Finalement les questions sont élaborées. Chacune comporte une première partie qui offre deux ou trois choix de réponse et une seconde partie qui offre un ensemble de quatre raisons possibles pour avoir effectué le choix. La première partie fait appel à la définition du contenu de la première étape et la seconde partie utilise les informations sur les conceptions des étudiants obtenues de l'analyse des écrits et des entrevues. Le contenu du questionnaire ainsi développé est examiné pour s'assurer qu'il couvre bien le contenu conceptuel du sujet à l'étude.

3.2 DÉTERMINATION DES NIVEAUX DE FORMULATION DE LA CIRCULATION SANGUINE AUPRÈS DES EXPERTS

Afin de définir l'ensemble des concepts utilisés pour décrire la circulation sanguine, nous avons procédé à une analyse conceptuelle de la circulation sanguine, en nous inspirant des travaux de Treagust (1988). Cette analyse nous a permis de proposer trois niveaux de formulation didactique qui

présentent une organisation du savoir dans le domaine de la circulation sanguine pour l'ordre collégial. Une fois validé auprès des experts ce document servira au développement d'un instrument d'exploration des conceptions des élèves et de cadre de référence pour évaluer l'écart entre les conceptions des élèves et celles des experts.

Ces niveaux sont définis dans un document élaboré aux fins de cette recherche (voir au chapitre 4).

3.2.1 Procédure d'élaboration des niveaux de formulation

Pour définir les niveaux de formulation didactique de la circulation sanguine nous avons procédé par étapes. En tant que professeur de biologie humaine de l'ordre collégiale depuis plus de 25 ans, l'auteur est en mesure de définir les concepts associés à la circulation sanguine. Toutefois nous avons voulu valider notre analyse conceptuelle en consultant les deux ouvrages de référence les plus utilisés : Marieb (1993) et Tortora et Grabowski (1994).

Chacun de ces auteurs place l'étude de la circulation sanguine au début de la section qui traite du maintien de l'homéostasie, juste après la section qui traite des systèmes de régulation nerveuse et endocrinienne. Tous deux consacrent un chapitre au sang, au coeur et à la physiologie du coeur et de la circulation. Ils intègrent la régulation nerveuse et endocrinienne à l'étude de la physiologie circulatoire. L'organisation des chapitres des deux ouvrages consultés ne correspond pas exactement au contenu des cours de biologie de l'ordre collégial. Mais l'analyse conceptuelle de la circulation faite à partir des deux ouvrages nous a permis de retrouver les concepts fondamentaux associés à l'étude de la circulation sanguine (Appendice III).

Nous pouvions dès lors entreprendre la seconde étape de la définition des niveaux de formulation didactique de la circulation sanguine. Elle consiste à refléter la séquence des apprentissages auxquels les élèves sont soumis au cours de la formation qu'ils reçoivent sur la circulation sanguine au collège. Cette séquence tient compte de la description des cours telle que définie par le Ministère de l'Éducation et des situations proposées pour fin d'étude. Elle comporte une progression. D'abord l'organisation du niveau cellulaire et sa relation avec le

avec le sang sont établies. Puisque les cellules font parties d'un ensemble (tissu, organe) et que leur activité métabolique peut varier, l'apport sanguin variera également. Face aux différents changements, l'organisme en santé fournit une réponse intégrée qui permet de maintenir son homéostasie en gérant l'apport sanguin aux cellules. Les niveaux de formulation reflètent en quelque sorte l'intégration des niveaux d'organisation du corps humain.

Cette enchaînement constitue la trame qui sous-tend la séquence d'enseignement. 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. Les trois niveaux de formulation didactique que nous proposons reflètent cette transposition didactique et les objectifs d'apprentissage qui guident l'enseignement de la circulation sanguine.

3.2.2 Procédure de validation des niveaux de formulation

En troisième lieu nous avons consulté des professeurs de biologie de six collèges de la région de Montréal et un professeur de la Faculté de Médecine de l'Université de Montréal. Rejoints au téléphone ils ont d'abord accepté de collaborer à cette recherche. Ils ont reçu ensuite un texte expliquant le concept de niveau de formulation, les énoncés des trois niveaux et les contenus associés à chacun. Ils ont reçu également une grille d'analyse qui les invitait à se prononcer sur les questions suivantes :

- Les niveaux de formulation proposés sont-ils pertinents pour l'enseignement du concept de circulation sanguine?
- Les niveaux de formulation proposés correspondent-ils à des objectifs d'apprentissage pour votre clientèle du collégial?
- Quels sont les niveaux de formulation que vous proposez (si différents)?
- Les énoncés du contenu décrivent-ils adéquatement le contenu à l'étude pour chacun des niveaux de formulation?

Tous ont reconnu que les niveaux de formulation proposés décrivent bien l'enseignement dispensé et les étapes d'apprentissage. À la dernière question les professeurs consultés ont fait remarquer que certains concepts du troisième niveau n'étaient pas requis pour toutes les clientèles.

Le texte corrigé décrit trois niveaux de formulation didactique touchant l'enseignement de la circulation sanguine de l'ordre collégial, tels que proposés par l'auteur et validés par des professeurs de biologie. Nous avons alors construit une carte conceptuelle pour chacun des niveaux de formulation, un outil que nous avons utilisé pour la planification des entrevues des élèves. (Appendice III).

3.3 CONSTRUCTION D'UN QUESTIONNAIRE

Une fois défini le cadre conceptuel de la circulation sanguine, il faut obtenir de l'information sur les conceptions des étudiants. La recension des écrits nous informe sur les conceptions des élèves mises à jour dans des différents contextes. Cette information nous suggère des pistes à examiner au moment où nous entreprendrons les entrevues auprès des élèves de l'échantillon de notre population cible. Les entrevues cliniques menées auprès d'élèves de notre population cible complètent les informations dont nous avons besoin pour élaborer un questionnaire destiné à un échantillon plus large.

3.3.1 Informations provenant des écrits

Aucune étude sur les conceptions de la circulation sanguine n'a été menée spécifiquement auprès des étudiants de l'ordre collégial. Dans le chapitre précédent, nous avons résumé les résultats des recherches effectuées auprès de différentes populations. Nous avons recensé les conceptions qui nous guideront dans l'élaboration de notre instrument d'exploration des conceptions des élèves de l'ordre collégial.

3.3.2 Informations provenant des entrevues des étudiants

Nous avons défini un ensemble de critères pour constituer une liste d'étudiants que nous avons invités à participer aux entrevues.

- Critère 1 : une proportion égale de garçons et filles ayant obtenu leur diplôme d'études secondaires en 1994, âgés de 17 ou 18 ans.
- Critère 2 : répartition normale d'élèves forts, moyens et faibles selon la moyenne générale.
- Critère 3 : n'avoir pas reçu d'enseignement sur la circulation sanguine au collégial.
- Critère 4 : répartition des élèves en fonction des cours de sciences du secondaire V: Physique 534 ou Chimie 534, les deux cours, aucun.

Le registrariat du Collège de Maisonneuve a produit une liste de trente candidats répondant à nos critères de sélection.

Notre échantillon pour les entrevues était constitué d'élèves inscrits au collégial à l'automne 1995, n'ayant pas reçu de formation sur la circulation sanguine après le cours de biologie humaine du secondaire III et répondant aux critères présentés ci-haut.

L'analyse conceptuelle de la circulation et les données issues des écrits recensés nous ont permis de préciser notre démarche et de construire un guide préliminaire d'entrevue.

Notre stratégie d'entrevue reposait sur une première phase qui laissait libre cours à l'imagination, qui suscitait la réflexion. La deuxième phase permettait d'explorer des concepts plus précis, des schémas et des problèmes.

Les entrevues ont été menées au cours des mois de février et mars 1995. Les participants ont été rémunérés. Dix-huit étudiants du Collège de Maisonneuve ont accepté de collaborer à notre recherche. Nous avons interviewés

10 filles et 8 garçons répartis en trois groupes, en regard de la moyenne générale obtenue au secondaire.

Faible (65% à 74%)	33 % de l'échantillon	4 garçons, 2 filles
Moyen (75% à 84%)	45% de l'échantillon	2 garçons, 6 filles
Forts (plus de 85%)	22%) de l'échantillon	2 garçons, 2 filles

Chaque étudiant a participé à deux entrevues d'une durée moyenne de quarante minutes.

Inspiré de Chomienne (1986), le guide préliminaire d'entrevue prévoyait deux rencontres avec les participants. Au cours de la première rencontre les étudiants ont pu exprimer leur conception de la circulation du sang, en répondant à des questions ouvertes. Les conceptions exprimées ont été notées. Au cours de la seconde rencontre, chaque participant a été invité à confirmer les réponses qu'il avait déjà données et à expliquer de nouveaux phénomènes reliés à la circulation du sang.

Au fur et à mesure du déroulement des entrevues, le guide préliminaire s'est enrichi des informations recueillies auprès des élèves. De sorte que nous avons pu explorer un spectre de plus en plus large des conceptions.

Nous disposions d'une liste de trente élèves mais après avoir mené trente-six entrevues auprès de dix-huit participants, nous obtenions la répétition des mêmes concepts et des mêmes explications. Nous avons mis fin à la cueillette d'informations, estimant que nous avons atteint la limite de détection de cet outil d'investigation. Toutes les entrevues ont été enregistrées sur bande sonore et transcrites par le chercheur.

Nous avons analysé les explications des élèves. Elles nous ont permis d'identifier des énoncés déclencheurs et de nouveaux thèmes d'exploration des conceptions.

3.3.3 Élaboration des questions

Les thèmes des questions ont été déterminés à partir des niveaux de formulation et de l'analyse des 36 entrevues menées auprès d'élèves de notre population cible. Les entrevues ont permis de reconnaître la difficulté pour les élèves de construire leurs réponses lorsque les questions touchaient les concepts associés à la dynamique et à la régulation. Nous avons choisi d'explorer les conceptions de ces thèmes à partir de mises en situation.

Nous avons formulé des questions à partir des thèmes suivants :

Niveau I

Organisation du circuit sanguin: 1, 2, 3, 4, 5

Rôle de la circulation sanguine: 2

Trajet du sang dans le circuit: 5

Le fonctionnement du coeur : volume, contraction, fréquence:
8,9,10,

Organisation vasculaire: 4, 11, 13

Le rôle des vaisseaux sanguins.: 11

Composition d'un organe : 14

Le métabolisme : 16, 18

Le rôle nutritif du sang: 6, 16, 17

Les échanges sanguins : 15, 17

La perméabilité des capillaires sanguins : 15, 17

Le renouvellement du sang: 7, 8

Niveau II

Variation de l'activité métabolique: 9, 11, 15

La pression sanguine : 12, 21, 22

Variation de la distribution du sang : 15, 23

Vasomotricité et le débit cardiaque : 22, 23

Niveau III

La pression sanguine en circuit fermé : 23

La régulation de la pression sanguine : 20

Les déséquilibres physiologiques : 19, 24

La compensation des déséquilibres : 19, 23

Deux professeurs de biologie de l'ordre collégial ont examiné séparément le questionnaire. Ces deux collègues ont plusieurs années d'expérience dans l'enseignement de la circulation sanguine, l'un auprès d'élèves du secteur général, l'autre auprès d'élèves du secteur professionnel. Ils se sont penchés sur la formulation des énoncés et la relation entre les énoncés et les niveaux de formulation didactique. À la lumière de cette évaluation de la première version certains énoncés ont été remaniés.

L'auteur et deux collègues ont ensuite déterminé les énoncés qui correspondent au savoir de l'expert (ou des experts).

L'ordre des questions respecte une progression propre à l'exploration progressive de la circulation sanguine et un enchaînement validé lors des entrevues. Nous avons voulu favoriser la réflexion sur la dynamique circulatoire dès le départ, en proposant de choisir une analogie, et ensuite en explorant le circuit sanguin à l'aide d'une métaphore (Duit, 1991). Cette démarche a été bien accueillie au cours des entrevues. Elle a permis à plusieurs reprises d'amorcer la réflexion sur des thèmes moins familiers aux étudiants (Brown, 1992).

Au départ la circulation est examinée sous l'aspect de sa relation avec les autres systèmes et organes du corps humain. Nous explorons le trajet du sang dans le système circulatoire, les organes de la circulation, leurs fonctions. Ces sujets correspondent au premier niveau de formulation didactique. Ensuite nous explorons la dynamique de la circulation, notamment la relation entre la pression, le débit sanguin et la résistance des vaisseaux. C'est le deuxième niveau. Finalement dans le troisième niveau nous explorons les conceptions touchant le contrôle de la circulation.

Nous avons utilisé quatre types de questions : les questions ouvertes, semi-ouvertes, fermées à choix multiples et à échelle nominale en cinq points, incluant le «Je ne sais pas». Les échelles nominales utilisées dans le questionnaire sont les suivantes: «Très improbable, Assez improbable, Assez probable, Très probable, Ne sais pas» et «Très en désaccord, Assez en désaccord, Assez en accord, Très en accord, Ne sais pas»

Le questionnaire, soumis à l'examen des professeurs a été présenté à trois des étudiants qui avaient participé aux entrevues. Cette démarche a servi à évaluer la difficulté de compréhension des questions, la clarté des schémas, la pertinence des échelles de mesure et l'ordre des questions. Elle a servi également à évaluer le temps de réponse et l'intérêt que suscitait le questionnaire. À la suite de cette consultation, la mise en page a été améliorée afin de réduire le nombre de pages du questionnaire.

Le questionnaire pilote ainsi modifié a été soumis à deux experts en mesure et évaluation, Jean-Guy Blais de l'Université de Montréal et Philippe Ricard du Bureau d'Études socio-graphiques inc.

La version finale du questionnaire (Appendice I) a été complétée par douze des élèves interviewés. Nous avons pu également comparer les réponses fournies au questionnaire et les propos tenus lors des entrevues de ces élèves afin de vérifier la fiabilité du questionnaire.

3.3.4 Représentation schématique des étapes de développement

La Figure 1 illustre les premières étapes de la construction du questionnaire.

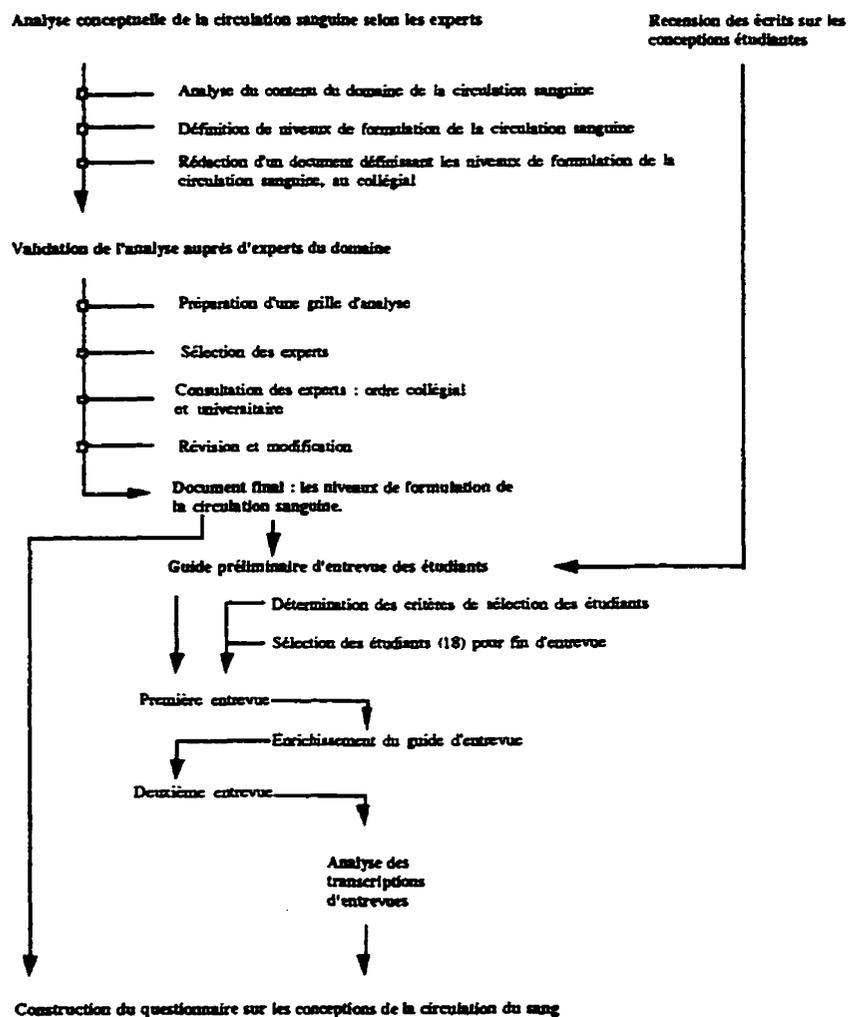


Figure 1 . La construction du questionnaire

La Figure 2 présente les étapes qui mènent à la production et l'administration du questionnaire à notre population cible.

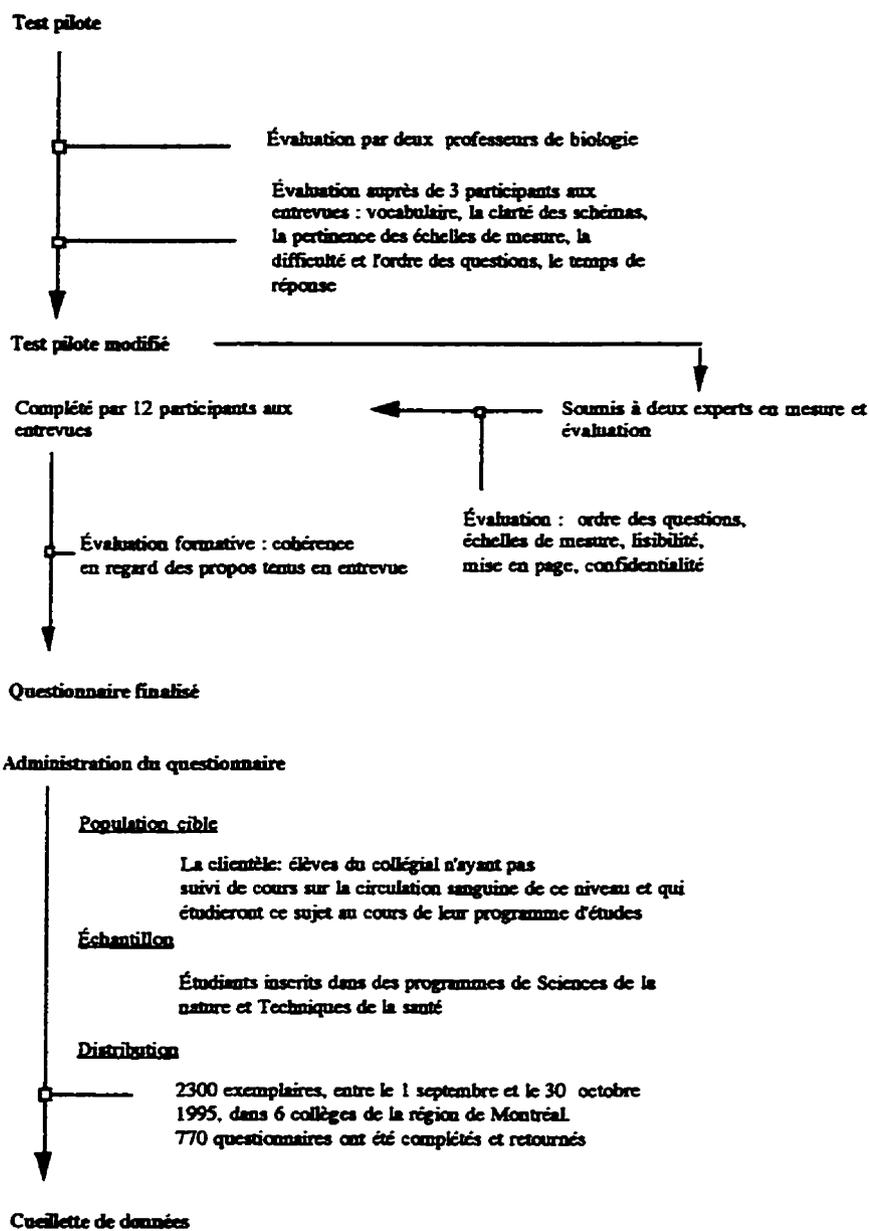


Figure 2 . La finalisation et l'administration du questionnaire

3.4 CUEILLETTE DES DONNÉES

À partir des données statistiques pour l'année 1994, publiées par le Service régional d'admission du Montréal métropolitain, nous avons pu établir le nombre de nouveaux inscrits pour l'ensemble des collèges de la région de Montréal. Nous avons également identifié les collèges qui offraient les programmes de Soins Infirmiers, Sciences de la Nature et Techniques de la Santé. Ces différents programmes comportent des cours de biologie qui incluent l'étude de la circulation du sang et représentent à la première année d'inscription une population d'environ 10,000 élèves.

Nous avons sollicité et obtenu la collaboration des collèges suivants pour notre étude: Maisonneuve, Vieux-Montréal, Montmorency, Bois-de-Boulogne, Edouard-Montpetit et Ahuntsic.

Nous avons pris contact avec le responsable de la coordination de biologie de chacun de ces collèges pour organiser la distribution du questionnaire. Nous étions à la recherche de professeurs qui étaient en contact avec des élèves appartenant à notre population cible.

Dans chacun des collèges nous avons rencontré des groupes de professeurs afin d'expliquer en quoi consistait leur participation. Certains professeurs ont refusé d'administrer le questionnaire.

Nous avons remis, à ceux qui ont accepté, des consignes précises quant à la manière d'administrer le questionnaire. Ces consignes indiquaient d'abord qu'il fallait rassurer les élèves en précisant que le fait de répondre ou de ne pas répondre à ce questionnaire n'avait aucune incidence sur leur évaluation dans le cours. Elles indiquaient aussi que ceux qui acceptaient de répondre au questionnaire étaient assurés de la confidentialité. Ils devaient lire soigneusement la première page du questionnaire présentant les consignes à l'élève et répondre à toutes les questions en une seule séance et sans aucune aide.

Les questionnaires numérotés ont été distribués par chacun des collaborateurs aux élèves de sa classe. Les élèves devaient répondre au questionnaire en dehors des heures de cours et devaient le rapporter à leur

professeur. Les questionnaires ont été récupérés deux ou trois semaines après leur distribution et les questionnaires vierges ont été réutilisés.

Nous avons utilisé 2300 exemplaires et 770 questionnaires ont été complétés et retournés. Les réponses ont été codifiées et les données transcrites sur des fichiers informatiques pour fin de traitement. Les données ont été traitées à l'aide du logiciel statistique *SPSS for MS WINDOWS Release 6.1*.

Nous avons éliminé les questionnaires des répondants qui n'avaient pas répondu à la question numéro 5 où l'on demandait de tracer un schéma représentant la circulation entre le coeur et des organes. Nous avons estimé que le fait de ne pas avoir répondu à cette question nous privait d'une information de première importance. Nous avons donc poursuivi le traitement des données en utilisant 704 exemplaires.

3.5 TRAITEMENT DES DONNÉES

Avant la saisie des données quantitatives nous avons procédé à l'analyse des questions à développement. Nous avons identifié et codé les propositions des élèves afin de les regrouper en catégories.

Toutes les données concernant chacune des questions ont été consignées dans des fichiers informatiques du logiciel *SPSS for MS WINDOWS Release 6.1*.

Par la suite, pour toutes les questions, les réponses ont été regroupées en un tableau de fréquences. Ce tableau indique le pourcentage des répondants correspondant à chacun des échelons de l'échelle des réponses.

Nous avons également regroupé les énoncés du questionnaire en fonction des niveaux de formulation définis par les experts. Le premier niveau comporte soixante-quinze items, le deuxième niveau en contient quinze et le troisième niveau en contient vingt trois. Nous avons utilisé des tableaux de fréquences pour analyser les conceptions des élèves.

Afin de pouvoir comparer les conceptions des élèves à celles des experts du domaine, nous avons constitué la grille de réponses de l'expert. À partir de cette grille de réponses, en comparant les réponses des élèves à celles de l'expert nous avons établi trois catégories de répondants selon l'écart observé entre leur choix de réponse et celui de l'expert. Lorsqu'un élève répond comme l'expert il appartient à la catégorie 0. Soit que son choix est identique à celui de l'expert ou que son choix va dans le même sens que celui de l'expert. Par exemple, l'élève choisirait le chiffre 3 sur l'échelle (probable) alors que l'expert choisit le chiffre 4 (très probable). Lorsque son choix de réponse indique une opinion différente de celle de l'expert, il appartient à la catégorie 1. Si l'élève choisit de répondre «Ne sais pas» il appartient à la catégorie 2.

Pour chaque énoncé d'un niveau de formulation didactique, nous obtenons le pourcentage des répondants qui se retrouvent dans les catégories 0, 1 et 2. Pour l'ensemble des répondants nous avons calculé un score moyen dans chaque catégorie (0,1,2) et ce, pour chacun des niveaux.

Ensuite, nous avons créé des groupes de répondants d'après les patrons de réponses dans la catégorie 0 en fonction des trois niveaux de formulation. Certains élèves, en effet, répondent plus souvent comme l'expert dans les questions du niveau I alors que d'autres répondent plus souvent comme l'expert dans les questions du niveau II. Les six groupes de répondants correspondent aux patrons de réponses suivants :

1. Niveau I > niveau II > niveau III;
2. Niveau I > niveau III > niveau II;
3. Niveau II > niveau I > niveau III;
4. Niveau II > niveau III > niveau I;
5. Niveau III > niveau II > niveau I;
6. Niveau III > niveau I > niveau II.

Le premier et le second groupe de répondants sont désignés comme étant la population A et B respectivement. Nous avons rassemblé les élèves des autres groupes dans la population C.

3.6 ANALYSE DES DONNÉES

Notre analyse des données doit nous permettre de répondre aux questions que nous avons exposées au chapitre sur la problématique. La figure 3 illustre les principales étapes du processus d'analyse.

3.6.1 Analyse descriptive

Une première analyse nous avait déjà permis de définir des niveaux de formulation didactique de la circulation sanguine pour l'ordre collégial, par une consultation auprès de professeurs experts.

La seconde analyse a porté sur les réponses au questionnaire obtenues auprès des élèves de notre échantillon. Cette analyse nous a permis d'identifier des patrons de réponses, auprès de l'ensemble des élèves de notre population, suggérant l'occurrence de conceptions alternatives de la circulation sanguine selon les niveaux de formulation didactique.

3.6.2 Analyses comparatives

Nous avons comparé les résultats de notre analyse descriptive aux écrits antérieurs touchant les conceptions de la circulation sanguine et aux conceptions des experts par le biais des niveaux de formulation didactique.

Nous avons utilisé les catégories d'écart avec l'expert afin de déterminer comment ont répondu les élèves par rapport à l'expert, pour chacun des niveaux de formulation. Nous avons créé des populations à partir de notre échantillon, en nous basant sur l'écart entre les élèves et l'expert au premier niveau de formulation afin d'explorer les patrons de réponses qui ne seraient pas mis en évidence par une analyse de la population totale.

Nous avons construit un tableau croisé représentant la relation entre les questions de chaque niveau de formulation et les populations étudiées: population totale, population A, population B, population C.

Nous avons déterminé pour chaque population les sujets d'accord et de désaccord avec l'expert dans chaque niveau de formulation didactique et nous avons ainsi identifié leurs patrons de réponses.

La figure 3 présente l'ensemble du processus d'analyse.

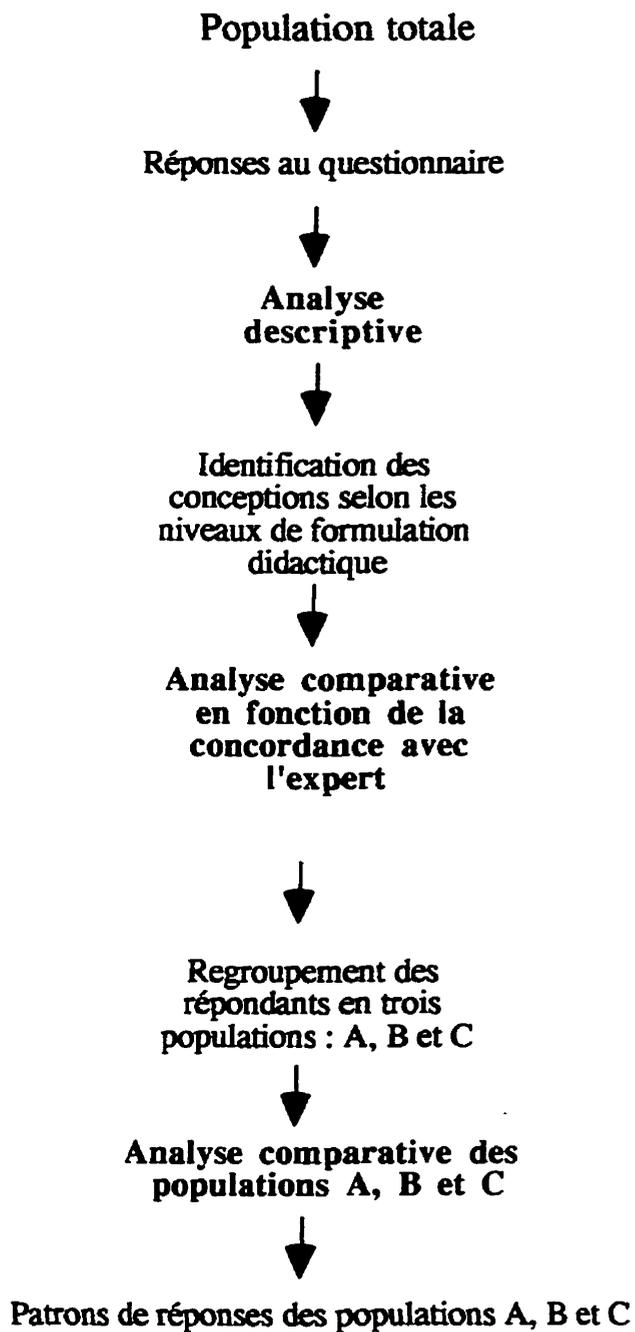


Figure 3. Processus d'analyse des données

3.7 DESCRIPTION DE L'ÉCHANTILLON

La distribution des répondants selon l'âge indique une forte domination du groupe d'âges 17-18 ans.

Âges	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulatif
16	9	1,3	1,4	1,4
17	284	40,3	43,0	44,3
18	219	31,1	33,1	77,5
19	70	9,9	10,6	88,0
20	22	3,1	3,3	91,3
21	13	1,8	2,0	93,3
22	11	1,6	1,7	95,0
23	6	0,9	0,9	95,9
24	4	0,6	0,6	96,5
25	4	0,6	0,6	97,1
26	2	0,3	0,3	97,4
27	2	0,3	0,3	97,7
28	3	0,4	0,5	98,2
29	4	0,6	0,6	98,8
30	2	0,3	0,3	99,1
>30	6	0,9	0,9	100,0
<Missing>	43	6,1		
Total	704	100,0	100,0	

Tableau I. L'âge des élèves de l'échantillon

Le questionnaire a été complété par 770 répondants. Nous avons éliminé tous ceux qui n'ont pas répondu à la question 5, une question où les élèves devaient tracer un schéma illustrant leur conception de la circulation sanguine. Ainsi notre échantillon a été réduit à 704 répondants.

Pour certaines questions le nombre des répondants est inférieur à 704. Ceux qui ne fournissent aucune réponse sont regroupés dans la catégorie «missing» et le pourcentage correspondant est calculé. Lorsque le nombre de répondants est différent de 704, et que l'on considère uniquement ceux qui ont répondu à une question, les fréquences obtenues correspondent à des pourcentages différents. Ce nouveau pourcentage calculé à partir de ceux qui ont effectivement répondu à une question est le pourcentage valide. Le pourcentage valide sert à calculer le pourcentage cumulatif.

Dans notre échantillon, les jeunes femmes sont deux fois plus nombreuses que les jeunes hommes.

Sexe	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulatif
Masculin	217	30,8	31,5	31,5
Féminin	471	66,9	68,5	100,0
«Missing»	16	2,3		
Total	704	100,0	100,0	

Tableau II. La distribution des élèves de l'échantillon selon le sexe

Les jeunes femmes constituent près de 90% de la clientèle des programmes de Soins Infirmiers et des autres techniques de la santé. Dans le programme de Sciences de la santé elles représentent 70% de la population, et 36% en Sciences pures.

La majorité des répondants (72%) sont en première année au moment du sondage à l'automne 1995. Un autre groupe d'élèves, soit 23,7% de l'échantillon, sont à leur deuxième année (automne 1994). Ce groupe est constitué d'élèves de Sciences de la Santé et de Sciences pures.

Session	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulatif
A-1993	11	1,6	1,6	1,6
H-1994	4	0,6	0,6	2,2
A-1994	164	23,3	23,7	25,8
H-1995	10	1,4	1,4	27,5
A-1995	498	70,7	71,9	99,1
Autres	6	0,9	0,9	100,0
<Missing>	11	1,6		
Total	704	100,0	100,0	

Tableau III. La session d'inscription des élèves

La formation scientifique en chimie 534 et en physique 534 est obligatoire ou fortement recommandée de sorte que près de 90% des élèves ont suivi ces deux cours.

Cours : suivis et réussis : oui-non	Sciences Santé	Sciences Pures	Soins infirmiers	Autres	Total
Biologie 534 - oui	124 (40,9%)	40 (29,2%)	32 (40,5%)	28 (28,0%)	224 (36,2%)
Biologie 534- non	179 (59,1%)	97 (70,8%)	47 (59,5%)	72 (72,0%)	395 (63,8%)
Chimie 534 -oui	318 (98,1%)	145 (97,3%)	62 (68,9%)	94 (91,0%)	619 (91,2%)
Chimie 534 -non	6 (1,9%)	4 (2,7%)	28 (31,1%)	22 (19,0%)	60 (8,8%)
Physique 534- oui	318 (98,1%)	143 (97,3%)	57 (63,3%)	83 (71,6%)	601 (88,8%)
Physique 534- non	6 (1,9%)	4 (2,7%)	33 (36,6%)	33 (28,4%)	76 (11,2%)

Tableau IV. Les cours de sciences suivis et réussis au secondaire

Les élèves qui ont répondu sont inscrits dans l'un des quatre groupes suivants (Tableau V).

Programme	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulatif
Sciences Santé	334	47,4	47,4	47,4
Science Pures	152	21,6	21,6	69,0
Soins Infirmiers	95	13,5	13,5	82,5
Autres	123	17,5	17,5	100,0
Total	704	100,0	100,0	

Tableau V. Le programme auquel sont inscrits les élèves.

Le programme «Autres» regroupe tous les élèves inscrits dans un programme de Techniques de la santé, à l'exclusion du programme de Soins Infirmiers (voir le tableau détaillé des inscriptions).

Programme Autres	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulatif
Diététique	46	6,5	6,5	6,5
Hygiène dentaire	26	3,7	3,7	10,2
Réadaptation	22	3,1	3,1	13,3
Orthèses	14	2,0	2,0	15,3
Electrophysiologie	6	0,9	0,9	16,2
Médecine nucléaire	4	0,6	0,6	16,8
Radiothérapie	2	0,3	0,3	17,1
Dentaire	2	0,3	0,3	17,4
Chimie-biologie	1	0,1	0,1	17,5
Total	123	17,5	17,5	

Tableau VI. Les inscriptions détaillées

CHAPITRE 4 : RÉSULTATS

Nous présenterons nos résultats en suivant la démarche que nous avons expliquée au chapitre précédent. Nous examinerons d'abord comment nous avons déterminé les niveaux de formulation didactique de la circulation sanguine, ensuite comment nous avons recueilli les données. Nous présenterons les caractéristiques de notre échantillon et les résultats obtenus suite à l'administration du questionnaire. Nous procéderons à une analyse descriptive et nous examinerons l'écart entre les conceptions des élèves et celles des experts, l'auteur et deux professeurs de biologie de l'ordre collégial.

4.1 DÉTERMINATION DES NIVEAUX DE FORMULATION DIDACTIQUE DE LA CIRCULATION SANGUINE

Pour mener à bien cette analyse nous avons d'abord consulté deux ouvrages de biologie humaine : *Anatomie et physiologie humaines* de Elaine N. Marieb (1993) et *Principes d'anatomie et de physiologie* de G.J. Tortora et S.R. Grabowski (1994). À partir de ces ouvrages, et en nous inspirant des travaux de Astolfi et Develay (1989) et De Vecchi et Giordan (1990), nous avons déterminé trois niveaux de formulation de la circulation sanguine. À chacun des niveaux, nous avons assigné un ensemble de concepts sous la forme d'énoncés. Nous avons préparé un document de travail, *Les niveaux de formulation de la circulation sanguine*, que nous avons soumis à des professeurs de biologie expérimentés de l'ordre collégial et un professeur de physiologie de la faculté de Médecine de l'Université de Montréal. Dans un premier temps, les experts ont examiné le document à l'aide d'une grille d'analyse. Ils ont ensuite livré leurs commentaires dans une entrevue avec le chercheur. Au fur et à mesure des rencontres les modifications retenues ont été intégrées au document.

4.1.1 Le premier niveau de formulation

Toutes les parties de l'organisme sont rejointes par le sang qui circule dans les artères où il est propulsé par les contractions du coeur. Le réseau des capillaires assure la circulation du sang à proximité des cellules, ce qui favorise les échanges entre le sang et les cellules. Les nutriments sanguins vont vers les cellules

et les déchets cellulaires migrent vers le sang. Les veines assurent le retour du sang au coeur. Le contenu du sang doit être renouvelé.

1. La circulation du sang se fait en circuit fermé. On distingue le circuit pulmonaire et le circuit systémique tous deux reliés par le coeur. Le circuit pulmonaire relie le ventricule droit à l'oreillette gauche, en passant par les poumons, et le circuit systémique relie le ventricule gauche à l'oreillette droite du coeur, en passant par tous les organes.
2. La pression artérielle dans les artères élastiques est essentiellement liée à deux facteurs, soit leur élasticité et le volume de sang propulsé par le coeur. La pression artérielle varie : la pression artérielle systolique est atteinte lorsque le ventricule gauche se contracte et expulse le sang dans l'aorte; la pression artérielle diastolique est obtenue lorsque le ventricule gauche est au repos.
3. Le sang est propulsé par les ventricules du coeur et s'engage dans les artères qui l'acheminent vers les organes; les artéioles distribuent le sang vers les tissus de l'organe; les capillaires assurent les échanges nutritifs avec les cellules; les veinules accumulent le sang et les veines retournent le sang aux oreillettes.
4. Le sang des artères systémiques et des veines pulmonaires est riche en oxygène et pauvre en gaz carbonique. Le sang des veines systémiques et de l'artère pulmonaire est riche en gaz carbonique et pauvre en oxygène. Le sang transporte aussi des nutriments, des ions et des déchets métaboliques. Son renouvellement concerne les poumons, les reins et le tube digestif.
5. Les gaz, les nutriments et les déchets sont transportés soit dans les globules rouges, soit dans le plasma. Ils passent du sang au liquide interstitiel et vice versa, par la diffusion à travers la paroi des capillaires, et atteignent les cellules en traversant la membrane plasmique. Les capillaires n'ont pas tous la même perméabilité.

6. L'eau et les solutés auxquels les parois capillaires sont perméables sont expulsés des capillaires dans les fentes situées à l'extrémité artérielle du lit mais retournent en majeure partie à la circulation à l'extrémité veineuse du lit. Les forces opposées de pression hydrostatique et de la pression osmotique déterminent la quantité qui traverse les parois capillaires et la direction de cette circulation.

4.1.2 Le deuxième niveau de formulation

L'activité métabolique d'un groupe de cellules de l'organisme modifie l'apport sanguin local par son action sur le degré de contraction des artérioles en amont, ce qui influe sur le volume de sang veineux, en aval; une diminution de la résistance entraîne une augmentation du débit sanguin. Le niveau de la pression artérielle moyenne dépend du débit cardiaque et de la résistance vasculaire; il demeure constant.

1. La force propulsive nécessaire à la circulation du sang dans l'organisme est fournie par les différences de pression dans le système vasculaire. Le sang se déplace toujours des zones de haute pression vers les zones de basse pression.
2. Les principaux facteurs agissant sur la pression artérielle sont le débit cardiaque, la résistance périphérique et le volume sanguin. La relation entre ces facteurs est illustrée par l'équation suivante :
Pression artérielle = Débit cardiaque X Résistance périphérique.
3. Le débit cardiaque est égal au volume systolique multiplié par la fréquence cardiaque; le volume sanguin influe sur le retour veineux et le volume systolique.
4. La résistance est la force qui s'oppose à l'écoulement du sang. Trois facteurs importants peuvent influencer sur la résistance : la viscosité du sang, la longueur et le diamètre des vaisseaux. Les deux premiers sont généralement constants.

5. De très faibles variations du diamètre modifient considérablement la résistance et la pression artérielle, car la résistance est inversement proportionnelle au rayon des vaisseaux élevé à la puissance quatre. Par conséquent, si le rayon double, la résistance est seize fois plus faible.
6. L'autorégulation est l'adaptation automatique du débit sanguin aux besoins de chaque tissu. En général, des facteurs chimiques autant que physiques déterminent la réponse autorégulatrice finale d'un tissu.
7. Dans la plupart des tissus, la diminution de la concentration des nutriments et particulièrement d'oxygène est le principal «stimulus» de la vasodilatation. Dans l'encéphale, une augmentation localisée de la concentration de gaz carbonique (accompagnée par une diminution du pH) constitue un déclencheur encore plus puissant.
8. Les facteurs physiques locaux sont d'importants «stimulus» d'autorégulation. Le muscle lisse vasculaire réagit à l'étirement passif par une augmentation de son tonus, laquelle cause une vasoconstriction. Inversement, la diminution de l'étirement provoque une vasodilatation. Ces réactions aux variations de volume et de pression du sang pénétrant dans une artériole sont appelées réponses myogènes.
9. L'écoulement sanguin dans les capillaires est lent et régulier. Il est lié à l'ouverture et à la fermeture des sphincters précapillaires sous l'effet des mécanismes autorégulateurs locaux.
10. Globalement, la quantité de liquide qui sort du capillaire est plus grande que celle qui y retourne ce qui se solde par une perte de 1,5 ml/min. Les vaisseaux lymphatiques captent ce liquide et le renvoient dans le réseau veineux.

11. Contrairement à la pression artérielle, la pression veineuse fluctue très peu au cours du cycle cardiaque. La très faible pression du réseau veineux résulte des effets cumulatifs de la résistance des vaisseaux (résistance périphérique) qui dissipe la majeure partie de l'énergie de la pression artérielle au cours de chaque tour de circuit.

12. La différence de pression sanguine entre l'entrée des veines et l'entrée des oreillettes assure le retour veineux. Deux phénomènes influencent le retour veineux: a) la pompe respiratoire : à l'inspiration la compression des organes de l'abdomen par le diaphragme comprime les veines locales et la pression intrathoracique diminue; comme les valvules veineuses empêchent le reflux, le sang est chassé en direction du coeur, b) la pompe musculaire : les contractions et le relâchement des muscles squelettiques entourant les veines profondes propulsent le sang vers le coeur, de valvule en valvule.

13. Le principal facteur de l'étirement du muscle cardiaque est la quantité de sang qui retourne au coeur par les veines (retour veineux), et qui distend ses ventricules (volume télédiastolique). La tension passive des parois qui se développe alors est la précharge ventriculaire, facteur déterminant du volume systolique.

4.1.3 Le troisième niveau de formulation

La vie de l'organisme dépend de sa capacité à maintenir son homéostasie en contrôlant la circulation du sang de manière à maintenir la composition du milieu interne à l'intérieur de limites compatibles avec la survie de toutes les cellules.

1. Les caractéristiques de la pression artérielle permettent d'évaluer l'état de la dynamique de la circulation du sang.

2. Normalement, la pression artérielle systolique est maintenue autour de 120 mmHg et la pression diastolique autour de 80 mmHg. Si la pression systolique est inférieure à 100 mm Hg, il y a hypotension. Si les pressions systolique et diastolique se maintiennent à 140/90 mmHg, il y a hypertension.
3. Le contrôle de la pression artérielle se fait par des systèmes à rétroaction négative, nerveux et endocriniens. Une boucle de régulation comprend un récepteur, une voie afférente, un centre de contrôle, une voie efférente et un effecteur.
4. Les récepteurs qui détectent les variations de pression sont les barorécepteurs. Ils sont situés dans le sinus carotidien et dans le sinus de l'aorte, mais également dans presque toutes les grosses artères du cou et du thorax. Les barorécepteurs sont relativement inefficaces face aux changements de pression prolongés.
5. Les récepteurs qui réagissent à une diminution de la teneur en oxygène ou à la diminution du pH sont les chémorécepteurs. Lorsqu'ils sont stimulés, les chémorécepteurs de la crosse aortique et les corpuscules carotidiens transmettent des influx au centre vasomoteur, provoquant la vasoconstriction réflexe. Il s'ensuit une augmentation de la pression artérielle qui accélère le retour veineux au cœur puis aux poumons.
6. Des fibres nerveuses afférentes relient les récepteurs aux centres nerveux.
7. Les centres nerveux sont situés dans le bulbe rachidien : centre cardio-accélérateur, centre cardio-inhibiteur, centre vasomoteur. Le cortex cérébral et l'hypothalamus peuvent modifier la pression artérielle par l'intermédiaire des relais avec les centres du bulbe rachidien.

8. Des fibres nerveuses efférentes rejoignent les effecteurs : le coeur, les muscles lisses vasculaires et des glandes endocrines et exocrines.
9. Les systèmes de contrôle régularisent la pression artérielle en agissant sur le coeur et les vaisseaux sanguins; ils modifient le débit cardiaque et la résistance vasculaire en fonction des besoins changeants de l'ensemble des cellules de l'organisme.
10. La régulation du débit cardiaque se fait par le contrôle du débit systolique et de la fréquence des battements.
11. Au repos les centres cardio-accélérateur et cardio-inhibiteur envoient des influx au coeur, mais l'influence prédominante est l'inhibition. La fréquence cardiaque se situe autour de 72 battements à la minute.
12. L'adrénaline augmente la force de contraction et la fréquence cardiaque. La tyroxine cause une augmentation plus lente et plus durable de la fréquence cardiaque.
13. L'effet des ions : l'hypocalcémie déprime l'activité cardiaque, l'hypercalcémie fait l'inverse. Un excès de sodium entrave la contraction, un excès de potassium peut mener au blocage et à l'arrêt cardiaques, alors que la carence affaiblit les battements du coeur.
14. Bien que le volume télédiastolique soit le principal facteur intrinsèque qui influe sur le volume systolique, des facteurs extrinsèques peuvent aussi l'augmenter en intensifiant la force de contraction du myocarde, sans pour autant faire varier le volume télédiastolique. C'est exactement ce que font le centre cardio-accélérateur, la noradrénaline et l'adrénaline.
15. Le volume télédiastolique dépend directement du volume sanguin dont la régulation se fait par les mécanismes rénaux. Les méca-

nismes rénaux sont les principales influences régulatrices durables à s'exercer sur la pression artérielle. Le mécanisme direct est lié à la modification du volume sanguin. Plus la pression est élevée plus les reins excrètent de l'eau, ce qui réduit la pression. Le mécanisme indirect fait intervenir le système rénine-angiotensine déclenché par une baisse de pression. Il en résulte une réabsorption de sodium et d'eau qui tend à rétablir le volume de liquide sanguin.

16. La régulation vasculaire se fait par un contrôle de l'ouverture des vaisseaux. La vasoconstriction et la vasodilatation dépendent du degré de contraction du muscle lisse de la paroi des vaisseaux.
17. Les variations de concentrations d'oxygène et de gaz carbonique concourent à la régulation de la pression artérielle par l'intermédiaire de réflexes issus des chémorécepteurs.

4.2 PROCÉDURE D'ANALYSE DES DONNÉES

Nous analyserons les résultats d'abord en procédant à une description et une classification des réponses par sujets et selon les niveaux de formulation didactique. Par la suite nous mènerons une analyse comparative des conceptions des élèves en fonction des conceptions de l'expert. Nous examinerons l'écart entre les conceptions des élèves et celles de l'expert et la différence entre les patrons de réponses de certains groupes d'élèves à cet égard.

4.3 ANALYSE DESCRIPTIVE DES RÉSULTATS

Chacune des questions porte sur un concept associé à un niveau de formulation particulier. À la dernière étape du développement du questionnaire, en incorporant les commentaires des experts, nous avons codifié chaque question par rapport au niveau de formulation.

Au cours de la première étape de l'analyse nous utiliserons les tableaux de fréquences des types de réponses qui ont été compilées pour chaque question. Nous présenterons et analyserons les résultats en regroupant les réponses

sous les concepts et les niveaux de formulation didactique auxquels elles se réfèrent.

Les propos que nous rapporterons ne sont pas ceux d'élèves de notre échantillon. Il s'agit de propos que nous avons recueillis auprès des élèves qui ont participé aux entrevues qui nous ont servi à développer le questionnaire. Nous utiliserons ces propos, à l'occasion, uniquement dans le but d'illustrer notre analyse.

Dans le but de faciliter la lecture de notre analyse nous avons inclu des paragraphes-synthèse que nous avons encadrés. Nous regrouperons ces encadrés au moment de faire la synthèse des conceptions des niveaux de formulation afin d'examiner l'organisation des conceptions.

4.3.1 Analyse des conceptions du premier niveau de formulation

Le premier niveau de formulation décrit la circulation sanguine en fonction de l'architecture du système circulatoire, de ses relations avec l'ensemble des organes et de leur rôle.

Nous présenterons notre analyse en regroupant les réponses touchant le choix de l'analogie, l'organisation du système circulatoire et son association à d'autres organes, les propriétés des vaisseaux et du coeur, et les besoins métaboliques des organes.

4.3.1.1 Analogie du système circulatoire

Au début du questionnaire nous avons demandé à l'élève de choisir un réseau, qui selon lui ressemble au système circulatoire, et d'expliquer son choix.

Analogie	Fréquence	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulatif
Cours d'eau	131	18,6	18,7	18,7
Routes	102	14,5	14,6	33,3
Téléphone	36	5,1	5,2	38,5
Distribution	330	46,9	47,2	85,7
Tuyaux	91	12,9	13,0	98,7
Autres	9	1,3	1,3	100,0
«Missing»	5	0,7		
Total	704	100,0	100,0	

Tableau VII. Le choix d'une analogie

Le rôle de distribution alimentaire et de collecte de déchets («Distribution») retient l'attention de près de la moitié des répondants. L'autre moitié s'intéresse davantage à la structure physique du réseau.

Le choix du «cours d'eau» est plus populaire auprès des élèves des Techniques de la santé (29,5%). Celui du «réseau routier» retient l'attention de 24,5% des élèves de Soins infirmiers. Les élèves de Sciences pures adoptent «le réseau de distribution alimentaire et collecte de déchets» à 55,6%.

Au moment d'expliquer leur choix les élèves comparent le coeur à un réservoir, à une centrale électrique ou à une pompe. Ils voient les vaisseaux sanguins comme des cours d'eau ramifiés, des fils enchevêtrés, des routes principales et secondaires et des tuyaux de tailles différentes. Ils imaginent le sang liquide comme de l'eau, chargé d'énergie comme un courant électrique ou le comparent à des véhicules.

Au delà de ces concepts certains élèves expriment l'idée de circuit : «on peut toujours revenir à un même endroit d'où qu'on parte», «il y a un

chemin différent pour l'aller et le retour», «certains apportent l'eau, d'autres la ramènent», «le tout forme un grand cercle», «un cycle coeur-organes-coeur». Nous retrouvons l'idée d'un mouvement perpétuel : «le sang circule sans arrêt», «il y a un flot continu», et l'idée d'un recyclage qui s'exprime ainsi : «le sang est purifié au cours du cycle», «les reins agissent comme un usine d'épuration d'eau», «le sang se réoxygénése aux poumons».

Les 131 élèves qui comparent le système circulatoire à un cours d'eau ont produit 286 énoncés pour justifier leur choix. Certains énoncés sont repris plus souvent. Nous observons une fréquence de 10,1% pour les énoncés qui parlent du coeur «comme un océan, un lac, un barrage, une vaste étendue d'eau», une fréquence de 25% pour ceux qui décrivent les vaisseaux comme «des cours d'eau», et environ 8% affirment que «le sang est liquide comme de l'eau qui s'écoule continuellement et voyage dans un seul sens».

D'autres élèves ont préféré l'analogie avec un réseau routier ; ils sont 102 et expliquent leur choix à l'aide de 222 énoncés. Très peu de répondants mentionnent le coeur dans leur explication, 57% des énoncés comparent les vaisseaux sanguins à des routes «il y en a des grandes qui se divisent en petites, il y en a partout, il y a des chemins différents pour atteindre chaque organe, les routes s'entrecoupent». Environ 10% des énoncés expriment l'idée que «le sang est comme les véhicules sur les routes».

L'analogie entre le système circulatoire et un réseau téléphonique n'a été retenue que par 36 élèves qui ont expliqué leur choix par 60 énoncés. Environ 18% des énoncés retenus affirment que le coeur «est la centrale téléphonique qui fournit l'énergie qui se déplace dans les fils, une centrale qui coordonne et envoie le sang». Près de 30% des énoncés construits jugent que les vaisseaux sanguins sont «des fils téléphoniques distribués partout».

La dernière comparaison proposée, le réseau de tuyauterie, a été choisie par 91 élèves. Ils ont produit 245 énoncés pour s'expliquer. Environ 10% des énoncés décrivent le coeur comme «une pompe-réservoir, une centrale». Près de 30% des énoncés comparent les vaisseaux sanguins «à des tuyaux de tailles différentes» et 20% comparent le sang «à l'eau qui circule dans les tuyaux».

Globalement le coeur, les vaisseaux et le sang sont les principaux concepts que les élèves utilisent pour décrire le système circulatoire. Ils conçoivent que le coeur est responsable de la circulation parce qu'il est le réservoir plein de sang, la pompe qui donne au sang son mouvement. Les vaisseaux remplissent le rôle de conduits enchevêtrés qui s'inflitrent partout permettant au sang d'atteindre toutes les parties de l'organisme. Le sang est avant tout un liquide mais certains le voient plus comme une source d'énergie.

La comparaison entre le système circulatoire et un réseau de distribution alimentaire et de collecte de déchets a été retenue par 330 élèves qui ont rédigé 1300 énoncés pour expliquer leur choix. Environ 16% de ces énoncés expriment l'idée que la circulation «transporte de la nourriture», 10% précisent que le sang «transporte l'oxygène», 15% expliquent que le transport se fait «aux cellules ou aux tissus ou aux organes». Près de 20% des énoncés parlent du sang : «transport de déchets, substances nuisibles, gaz carbonique, détrit». Environ 10% des énoncés précisent que les déchets «sont transportés aux organes d'excrétion qui les éliminent».

Ces élèves ont choisi une analogie qui décrit davantage le rôle du système circulatoire. Ils font intervenir les concepts de nutrition, de transformation et d'excrétion. Ils conçoivent la nécessité d'un recyclage du sang.

On peut retenir que

le système circulatoire est perçu comme un en réseau de conduits qui s'insinuent dans les moindres parties de l'organisme.

Le sang qui se déplace sans arrêt en parcourant un circuit, assure la nutrition de l'organisme et subit un recyclage.

Le coeur assure le mouvement du sang.

4.3.1.2 *Le système circulatoire*

Environ 90% des élèves de notre échantillon conçoivent qu'il est probable ou très probable que la circulation se fasse dans un système de vaisseaux ramifiés. Le sang «emprunte un vaisseau principal qui se divise en plus petits vaisseaux pour atteindre chaque organe». Le sang ne revient pas par le même chemin, il «revient au coeur par des vaisseaux qui se fusionnent en un vaisseau principal».

Le sang	Probable (%)	Très probable (%)	NSP (%)	Correct
revient par le même chemin	4,4	1,7	0,3	
revient au coeur par un vaisseau principal	21,8	67,1	2,4	✓
part du coeur par un vaisseau principal	9,2	85,5	0,1	✓

Tableau VIII. Le système cardio-vasculaire

Nous observons cependant que 65,7% des élèves estiment incorrectement qu'il est probable ou très probable que «le sang passe par chacun des organes avant de revenir au coeur».

Le sang part du coeur et passe par chacun des organes (incorrect)	Fréquence	Pourcentage
Très Improbable	110	15,6
Improbable	109	15,4
Probable	163	23,2
Très probable	299	42,5
Ne sais pas (N.S.P.)	23	3,3
Total	704	100,0

Tableau IX Le parcours du sang

Lorsqu'on invite les élèves à suivre le trajet du sang partant du bout du doigt jusqu'au coeur, près de 50% d'entre eux passent par les poumons ou d'autres organes avant de rejoindre le coeur. Environ 47% des élèves estiment que le sang retourne au coeur sans passer par d'autres organes.

Le sang qui retourne au coeur à partir du doigt	Fréquence	Pourcentage	Correct
retourne directement au coeur	133	18,9	✓
passé par d'autres organes avant le coeur	187	26,6	
passé par les poumons avant le coeur	161	22,9	
passé au coeur ensuite aux poumons	195	27,7	✓
autre trajet	28	4,0	
Total	704	100,0	

Tableau X. Le parcours du sang provenant du doigt

Lorsque le sang part du coeur en route vers le gros orteil, 71% des répondants estiment qu'il passe par les poumons ou d'autres organes avant d'atteindre sa destination.

Le sang qui part du coeur vers le gros orteil	Fréquence	Pourcentage	Correct
se rends directement au gros orteil	159	22,6	✓
passé par d'autres organes avant l'orteil	369	52,4	
passé par les poumons avant l'orteil	135	19,2	
autre trajet	41	5,8	
Total	704	100,0	

Tableau XI. Le parcours du sang en route vers le gros orteil

L'ensemble de ces réponses nous suggère qu'il existe une conception selon laquelle le sang est distribué aux organes les uns après les autres. Ainsi une région périphérique reçoit du sang qui a d'abord traversé un ensemble d'organes avant de l'atteindre.

Nous avons demandé aux élèves d'indiquer comment ils se représentaient le lien vasculaire entre le coeur et cinq organes disposés tout autour. Ils devaient également indiquer le sens de la circulation. Ils ont construit 39 représentations graphiques différentes que nous avons codées et regroupées en trois catégories.

Le Tableau XII présente les fréquences des trois types d'organisation du système circulatoire que nous suggère notre analyse des représentations graphiques examinées.

Organisation du circuit sanguin	Fréquence	Pourcentage	Correct
Deux voies parallèles	211	30,0	✓
Une voie qui relie les organes	397	56,4	
Une voie à sens unique	96	13,6	
Total	704	100,0	

Tableau XII. Les types d'organisation du circuit sanguin

Le premier type d'organisation (Figure 4) qui se dégage des données présente deux liens parallèles pour chaque organe, chacun indiquant un sens différent. Le second type d'organisation (Figure 5) propose un seul lien qui décrit un circuit partant du coeur entrant dans un organe pour en ressortir et pénétrer dans l'organe suivant pour revenir finalement au coeur. Le troisième type d'organisation (Figure 6) qui se dégage des données présente un seul lien entre chaque organe et le coeur. Pour certains organes le lien est orienté du coeur vers l'organe et pour d'autres le lien est orienté en sens inverse.

Ainsi, selon notre analyse des résultats que nous fournit cet exercice, la conception selon laquelle il existe un lien direct entre les organes se retrouve dans une forte proportion des élèves de notre échantillon. L'indice le plus faible nous indique qu'au moins 50% des élèves jugent que le sang ne retourne pas au coeur directement. L'indice le plus fort suggère que 71% des élèves conçoivent que le sang passe par d'autres organes avant d'atteindre le gros orteil. La représentation graphique de l'organisation du système circulatoire révèle que 56,4% des élèves présentent un circuit séquentiel.

Nous observons que 65% des répondants ont produit exactement les représentations schématiques de la circulation illustrées par la Figure 4, la Figure 5 et la Figure 6.

Nous avons remarqué que 96% de ceux qui ont construit un circuit à deux voies parallèles (30,0% des élèves de l'échantillon) ont produit exactement le schéma suivant.

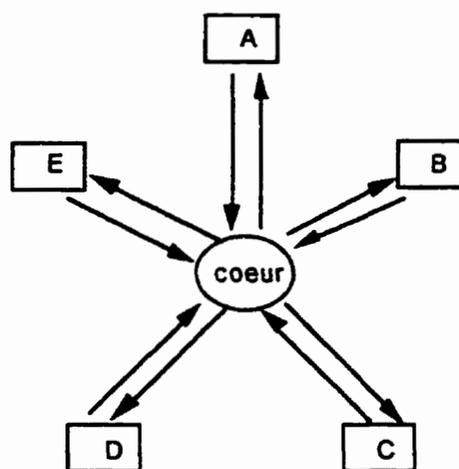


Figure 4. L'organisation du système circulatoire en parallèle

Le système «en parallèle» propose deux voies qui relient le cœur à chaque organe. Le sang part du cœur par une voie et revient par l'autre. Cette organisation correspond à l'idée que le système circulatoire assure l'apport de nutriments et l'évacuation de déchets.

Nous avons noté également que 45% de ceux qui ont construit un schéma qui relie les organes entre eux (56,4% des élèves de l'échantillon) illustrent la circulation de la façon suivante.

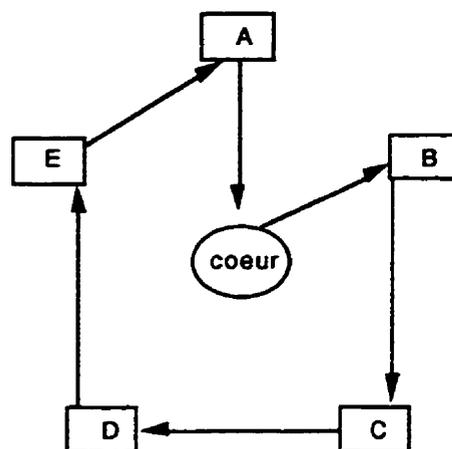


Figure 5. L'organisation du système circulatoire en série

Le circuit «en série» comporte un trajet à sens unique qui origine du coeur et aboutit au coeur. Le sang part du coeur se rend à un premier organe, puis au suivant. Il fait le tour de tous les organes avant de revenir au coeur. Les répondants qui ont construit ce type d'organisation expriment l'idée que tous les organes reçoivent du sang sans tenir compte de l'épuisement progressif des nutriments et ni de l'accumulation de déchets.

Certains élèves (31 élèves, 4,4% de l'échantillon) adoptent un circuit «en série» mais illustrent le système circulatoire d'une façon un peu différente. Ces élèves tracent un circuit qui relie le coeur et les organes supérieurs A, B, E et un second circuit qui relie le coeur et les organes inférieurs C et D. D'autres élèves (30 élèves, 4,4% de l'échantillon) relient entre eux tous les organes et établissent un lien à deux voies entre l'organe A et le coeur. Quelques répondants (30 élèves, 4,4% de l'échantillon) ont présenté divers tracés décrivant un circuit «en série» unissant les organes entre eux et le coeur avec deux voies parallèles ou un voie bidirectionnelle.

Enfin, environ 77% de ceux qui ont illustré la circulation en construisant un schéma à une voie (14% des répondants) ont produit le schéma suivant. Ce type d'organisation exprime l'idée que le sang nourrit les organes sans considération pour la production de déchets. L'absence de circuit peut exprimer l'idée que le sang est totalement consommé par les organes, dans un système ouvert.

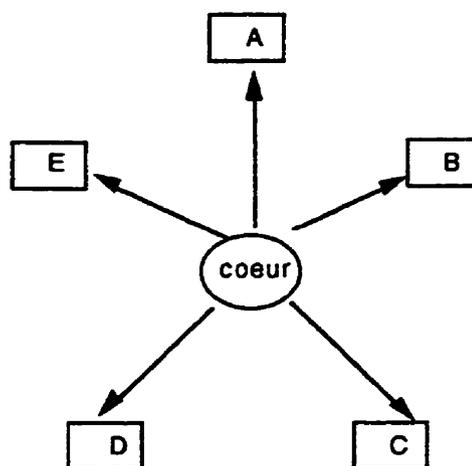


Figure 6. L'organisation du système circulatoire en cul de sac

Nous avons regroupé les élèves en fonction des trois types de systèmes circulatoires. Nous avons examiné leurs réponses au sujet du débit cardiaque, de la pression sanguine, du métabolisme et du contrôle de la circulation. Nous n'avons observé aucune corrélation significative entre les réponses.

On peut retenir que

Le système circulatoire est un circuit où le sang part du cœur se rend à chacun des organes les uns après les autres avant de revenir au cœur.

4.3.1.3 Les organes associés à la circulation

Le Tableau XIII montre dans quelles proportions les élèves de notre échantillon estiment que les différents organes proposés permettent à la circulation sanguine de jouer son rôle.

Organes : rôle dans la circulation	Oui (%)	Non (%)	Correct
Coeur	99,4	0,6	✓
Vaisseaux	98	2,0	✓
Poumons	71,7	28,3	✓
Reins	65,5	34,5	✓
Tube digestif	37,5	62,5	✓
Peau	19,7	80,3	✓
Cerveau	54,8	45,2	✓

Tableau XIII. Les organes associés à la circulation sanguine

Le rôle du coeur dans la circulation fait l'unanimité (99% de l'échantillon) et plus de 97% de ces élèves ont justifié leur choix en précisant qu'il est essentiel au déplacement du sang.

Au moment d'expliquer leur choix plus de 70% de ces élèves écrivent « le coeur pompe le sang dans les veines, les artères, dans tout le corps ». D'autres expriment la même idée de façon différente, ils utilisent des énoncés comme ceux-ci : « c'est le moteur de la circulation », « un muscle permettant la poussée du sang », « exerce une pression pour que le sang circule », « fait circuler le sang ».

Il faut noter que certains de ces élèves (5%) attribuent au coeur un rôle supplémentaire. Le coeur est perçu comme « un centre de filtration qui nettoie le sang ».

Selon 98% des répondants, les vaisseaux sanguins permettent à la circulation de jouer son rôle parce qu'ils « transportent le sang dans tout l'orga-

nisme», «distribuent le sang dans tout le corps», «ils servent de canaux, de tuyaux, ce sont les chemins du sang».

Le coeur, le sang et les vaisseaux sanguins sont clairement associés à la circulation sanguine par les élèves de notre échantillon. Le sang, poussé par le coeur et empruntant les vaisseaux sanguins, se rend partout dans l'organisme. Une conception unanime chez les répondants.

Lorsque nous examinons les résultats obtenus au sujet de l'implication d'autres organes que nous avons proposés, l'unanimité disparaît.

Ceux qui considèrent les poumons comme un organe associé à la circulation, soit près de 72% des élèves, leur confient le rôle d'oxygénation du sang (48,8%), d'épuration (9%) et d'échanges gazeux (32%).

Près des deux tiers des élèves de notre échantillon associent les reins à la circulation du sang. Ils leur attribuent le rôle d'épuration du sang, dans une proportion de 98% (64% de l'échantillon) : «les reins éliminent les déchets, les toxines, l'urée», «ils nettoient le sang, filtrent, purifient», «forment l'urine».

Par contre seulement 37,5% des répondants établissent un lien entre le tube digestif et la circulation du sang. Plus de 85% d'entre eux (32% de l'échantillon) expriment clairement l'idée que «le tube digestif fournit les nutriments au sang».

La peau n'est pas associée à la circulation sanguine pour la vaste majorité des élèves, soit 80,3%. Ceux qui reconnaissent un rôle à la peau font état de la protection des vaisseaux, de l'élimination de déchets et du contrôle de la température corporelle. Plus de 65% d'entre eux (52% de l'échantillon) associent la transpiration à la circulation sanguine.

Une faible majorité des élèves considèrent que le cerveau permet à la circulation de jouer son rôle. En effet, 54,8% des élèves reconnaissent que le cerveau est associé à la circulation.

Au moment d'expliquer le rôle du cerveau, la moitié de ces élèves exprime l'idée que «le cerveau décide comment tout fonctionne, il dirige les opérations, contrôle tous les organes du corps». L'autre moitié écrit que le cerveau «contrôle les organes de la circulation», «contrôle les battements du coeur», «dirige la circulation».

Aux termes de cette section comportant des questions ouvertes et semi-ouvertes, les élèves ont pu exprimer leur conception générale de la circulation. Il ressort de l'examen des résultats que la majorité d'entre eux conçoivent que les poumons, les reins et le cerveau permettent à la circulation de jouer son rôle. Ils font état de la nécessité d'oxygéner le sang, d'éliminer les déchets et de contrôler la circulation.

Il faut noter cependant que la majorité d'entre eux ne considèrent pas que le tube digestif intervienne pour supporter le rôle de la circulation sanguine.

Au moment des entrevues lorsque nous avons interrogé les élèves sur le rôle que pouvait jouer le tube digestif, sept élèves sur 18 ont suggéré que les produits de la digestion passaient dans le sang.

Au sujet du rôle de l'intestin, l'un nous a dit « je pense que ça n'a aucun rapport, c'est plus pour la digestion... peut-être que certains déchets sont éliminés par les intestins, je sais pas». Un autre exprimait plutôt un doute : «oui, peut-être qu'il y a un lien... c'est pas évident». Un troisième par ailleurs voyait un lien bien particulier entre le sang et l'intestin : «l'intestin prend ce qu'il y a dans le sang, ce qu'il a besoin pour fonctionner», elle ne pouvait imaginer que le sang puisse absorber les produits de la digestion.

On peut retenir que

<p>Il y a un lien entre la circulation sanguine, les poumons, les reins et le cerveau. Le tube digestif et la peau n'ont pas de rapport avec la circulation sanguine.</p>

4.3.1.4 *Les vaisseaux sanguins et leurs propriétés*

La conception d'un réseau vasculaire ramifié prévaut dans notre échantillon.

Les vaisseaux sont	Probable (%)	Très probable (%)	NSP (%)	Correct
plus petits en périphérie	15,9	70,3	6,0	✓
distribués à l'intérieur des organes	27,5	45,7	3,4	✓

Tableau XIV. La répartition des vaisseaux sanguins

Environ 70% des répondants estiment que les vaisseaux sont distribués à l'intérieur des organes. Ceux qui jugent cette répartition probable ou très probable, estiment aussi que la vascularisation pourrait être limitée à la surface interne de l'organe (20%). C'est aussi l'opinion de plus de 40% de ceux qui jugent improbable ou très improbable la distribution des vaisseaux à l'intérieur des organes.

Lors des entrevues quatre élèves ont exprimé l'idée que les vaisseaux étaient distribués à la surface de l'organe. Un premier explique que : «dans la membrane de l'organe il y a des petits vaisseaux qui l'alimentent». Un second précise sa pensée : «je ne pense pas qu'il y ait des vaisseaux qui rentrent à l'intérieur, je pense qu'il y a un échange au niveau de la paroi». Un troisième est de cet avis : «les vaisseaux sont à la surface et déversent le sang dans l'organe». Un autre justifie son choix par l'observation du coeur de poulet : «le sang reste en surface dans les petits vaisseaux. Quand tu vois un coeur de poulet tu vois les vaisseaux à l'extérieur pas en dedans».

La paroi des vaisseaux	Probable (%)	Très probable (%)	NSP (%)	Correct
contient des petits vaisseaux	27,0	28,9	18,4	✓
plus petits est étanche	22,1	21,0	15,7	
sert à propulser le sang	25,4	22,8	13,2	✓
est traversée par les produits du sang et de l'organe	28,6	49,0	9,9	✓

Tableau XV. Les propriétés de la paroi des vaisseaux sanguins

La majorité des élèves (70%) qui considèrent que la paroi des petits vaisseaux est étanche considèrent aussi que dans un organe les produits sanguins et ceux de l'organe traversent la paroi des petits vaisseaux, elle est donc perméable. La paroi ne laisse pas le sang s'échapper mais permet le passage de substances qu'il contient.

Par ailleurs 38,6% des élèves ne considèrent pas que la paroi des vaisseaux servent à la propulsion du sang alors qu'environ 48% des répondants jugent qu'elle sert à la propulsion du sang.

4.3.1.5 *Le coeur et ses propriétés*

Une vaste majorité d'élèves considère que le coeur est un organe creux dont les cavités remplies de sang sont limitées par une paroi élastique et contractile.

La paroi du coeur	Probable (%)	Très probable (%)	NSP (%)	Correct
possède des cavités remplies de sang	16,4	70,4	5,7	✓
s'étire sous la pression	17,1	67,2	3,4	✓
se contracte	7,2	90,5	1,0	✓

Tableau XVI. Les propriétés du coeur

Les répondants conçoivent que les battements cardiaques puissent augmenter et diminuer. Près de 85% des répondants estiment qu'il est probable ou très probable que la force de contraction cardiaque puisse augmenter et diminuer.

Le fonctionnement du coeur suppose que	Probable (%)	Très probable (%)	NSP (%)	Correct
le nombre de battements augmente	1,7	97,9	0	✓
le nombre de battements diminue	2,6	96,2	0	✓
le volume de sang par battement augmente	17,9	59,9	3,4	✓
le volume de sang par battement diminue	18,5	59,2	3,8	✓
la force de propulsion augmente	20,1	64,9	6,5	✓
la force de propulsion diminue	19,9	64,4	7,1	✓

Tableau XVII. Les paramètres de la mécanique cardiaque.

Par ailleurs près de 80% des élèves jugent probable ou très probable que le volume de sang déplacé à chaque battement puisse varier et 36% que la quantité de sang pompée par le coeur soit toujours la même.

Les résultats concernant les phénomènes de remplissage du coeur et d'éjection du sang dans les vaisseaux sont résumés dans le tableau XVIII. Il faut noter au départ que 36% des élèves considèrent que le débit cardiaque est toujours le même. Par contre, près de 70% des élèves considèrent probable ou très probable que la quantité de sang pompée par le coeur dépende de la quantité de sang qui revient au coeur et de l'élasticité de la paroi cardiaque.

La quantité de sang pompée par le coeur...	Probable (%)	Très probable (%)	NSP (%)	Correct
est toujours la même	20,9	15,7	2,3	
dépend de la quantité qui revient au coeur	36,6	25,9	5,9	✓
dépend de l'élasticité de la paroi	32,9	32,9	7,8	✓
dépend de l'élasticité des vaisseaux qui reçoivent le sang après le coeur	32,5	24,9	8,7	✓
dépend de l'épaisseur du sang	31,7	23,7	10,3	✓

Tableau XVIII. La quantité de sang pompée par le coeur.

Plus de 60% des élèves estiment qu'il est probable ou très probable que l'élasticité des vaisseaux qui reçoivent le sang influence la quantité de sang pompée par le coeur. Il en est de même pour la viscosité du sang.

On peut retenir que

La paroi des vaisseaux sanguins est perméable et élastique.
 L'activité du coeur peut varier et sa paroi est élastique
 Le débit cardiaque est influencé par le volume de sang

4.3.1.6 *L'apport sanguin aux organes*

Plus de 86% des répondants estiment que la fonction de l'organe détermine la quantité de sang distribuée à l'organe.

Selon l'un des élèves interviewé : «au repos tous les organes reçoivent des quantités différentes de sang parce que les besoins sont inégaux. Les organes plus vitaux en reçoivent plus».

Un autre élève précise : «la distribution se fait selon l'importance de l'organe, selon les besoins, les vaisseaux seront plus gros pour les organes principaux et plus petits pour les petites parties». Un troisième va dans le même sens en déclarant que «c'est tout préétabli d'avance qui va recevoir quoi et combien. Le cerveau va en recevoir plus qu'un orteil, selon son importance plus grande dans le système. Le coeur c'est l'organe principal c'est lui qui a tout le sang pour lui.»

Ces commentaires suggèrent que la distribution du sang obéit à une hiérarchisation déterminée par l'importance vitale de l'organe (Tableau XIX).

Les organes reçoivent	Accord (%)	Très en accord (%)	NSP (%)	Correct
tous une même quantité de sang	13,4	5,6	5,7	
une quantité de sang déterminée par la fonction de l'organe	36,8	50,7	5,2	✓

Tableau XIX. La distribution du sang aux organes

4.3.1.7 *Organes associés au renouvellement du sang*

Avant de considérer le renouvellement du sang, voyons ce que les élèves pensent de son contenu (Tableau XX).

Le sang contient....	Probable (%)	Très probable (%)	NSP (%)	Correct
L'oxygène	2,7	95,3	0,4	✓
Produits nutritifs	8,2	87,3	0,9	✓
Gaz carbonique	7,5	80,1	2,0	✓
Résidus de nourriture	10,9	28,1	4,9	
Débris d'usure	20,6	29,6	12,4	
Cellules	11,1	72,1	1,9	✓

Tableau XX. Le contenu du sang

Le Tableau XX illustre la priorité qu'accordent les répondants à la fonction nutritive du sang. L'idée que le sang contienne des déchets sous forme de résidus ou de débris recueille un certain support.

Selon l'un des élèves que nous avons interrogé : «le sang va dans les organes, après il ressort. Il prend les déchets et s'épaissit. Plus on pénètre dans l'organe plus le sang devient sale, il lave les parties». Un second parle des déchets en ces termes : «ils ne sont pas produits partout, c'est par l'usure des parois des vaisseaux et des organes». Un troisième considère plutôt que : «les déchets sont ce que l'organe a utilisé et qui n'est plus bon, des restants de nourriture». Trois autres disent que : «c'est ce qui n'est pas utilisé, ce qu'on a pas besoin». Un dernier parle : «des cellules mortes, produites partout».

Examinons maintenant comment les élèves conçoivent l'intervention de certains organes dans le renouvellement du sang.

Le renouvellement du sang se fait par	Probable (%)	Très probable (%)	NSP (%)	Correct
Le coeur	65,2	8,7	1,7	
Les poumons	11	78,1	2,9	✓
Les reins	15,7	67,1	4,4	✓
Le tube digestif	15,8	41,6	7,4	✓
La peau	10,4	9,6	10,2	
Le cerveau	17,7	23,7	6,5	

Tableau XXI. Le renouvellement du sang

La conception qui prévaut quant au renouvellement du sang accorde une importance plus grande aux poumons, ensuite aux reins, au coeur et finalement au tube digestif.

Le cerveau serait aussi impliqué dans le renouvellement du sang pour plus de 40% des répondants. Nous avons observé précédemment que le cerveau est perçu comme l'organe qui contrôle tout. Nous estimons que c'est à ce titre qu'on juge qu'il intervient dans le renouvellement du sang.

Près de 90% des répondants attribuent aux poumons un rôle de renouvellement du sang. Presque la moitié des élèves limitent ce rôle à l'oxygénation du sang (48,8%). Moins du tiers des répondants mentionnent les échanges gazeux (32%).

Par ailleurs, moins de 60% des répondants considèrent que le tube digestif intervient dans le renouvellement du sang. Pourtant plus de 95% des répondants placent dans le sang des produits nutritifs. On peut supposer que le sang lui-même aurait des propriétés nutritives et serait consommé ou qu'un autre organe que le tube digestif remplisse le rôle d'approvisionnement, peut-être le coeur?

Près de 75% des élèves considèrent que le coeur intervient dans le renouvellement du sang. Plus de 30% des répondants jugent probable ou très probable que la paroi du coeur nettoie, oxygénise et enrichisse le sang. L'idée que le coeur «renouvelle» le sang peut aussi inclure la régénération du sang. Cinq

élèves ont répondu dans ce sens lors des entrevues lorsque nous avons abordé la question du renouvellement du sang.

La paroi du coeur	Probable (%)	Très probable (%)	NSP (%)	Correct
Contient des vaisseaux sanguins	15,2	68,5	2,4	✓
Nettoie le sang	9,4	20,9	4,0	
Oxygénise le sang	8,6	21,5	2,1	
Enrichit le sang	11,6	17,1	5,4	

Tableau XXII. La paroi cardiaque et le renouvellement du sang

Les répondants conçoivent que le sang contient d'abord de l'oxygène et des produits nutritifs qu'il transporte aux organes. L'oxygénation du sang par les poumons est largement reconnue mais l'approvisionnement en produits nutritifs par le tube digestif n'est pas supportée au même niveau.

On peut retenir que

Le coeur a plus d'importance pour le renouvellement du sang que le tube digestif.

4.3.1.8 *Besoins métaboliques et échanges sanguins*

Nous avons établi que les élèves de notre échantillon reconnaissent le rôle nutritif du sang. Nous examinerons maintenant comment les répondants conçoivent la relation entre le sang et les organes.

Un organe contient....	Probable (%)	Très probable (%)	NSP (%)	Correct
L'oxygène	13,1	82,9	0,4	✓
Produits nutritifs	13,5	81,3	1,7	✓
Gaz carbonique	15,0	69,5	2,8	✓
Déchets	17,0	72,5	2,0	✓
Eau	11,7	79,4	2,0	✓
Cellules	5,5	91,7	0,6	✓

Tableau XXIII. Le contenu d'un organe

C'est dans une proportion de 96% que les répondants pensent qu'un organe absorbe les éléments du sang selon ses besoins (Tableau XXIV). Environ 75% des élèves de notre échantillon estiment qu'il est improbable ou peu probable que «les organes se nourrissent tous des mêmes produits». Ils estiment semble-t-il que si les besoins diffèrent alors les organes ne peuvent se nourrir des mêmes produits.

Cette idée de besoins spécifiques à chacun des organes nous l'avons observé au moment d'examiner la distribution du sang aux organes. Une hiérarchisation entre les organes due à la fonction détermine l'apport sanguin. Le principe s'applique à nouveau dans le cas des besoins nutritifs. La fonction détermine des besoins nutritifs spécifiques.

Selon l'un des élèves interviewés : «l'organe ajuste ses prélèvements». Un autre décrit le processus de nutrition: «les ajustements se font selon le produit dont l'organe a besoin, en passant ailleurs, le produit n'est pas pris».

Les organes...	Probable (%)	Très probable (%)	NSP (%)	Correct
absorbent les éléments du sang selon leurs besoins	24,0	72,0	1,4	
choisissent activement ce qu'ils absorbent	34,1	45,1	5,9	
se nourrissent tous des mêmes produits	12,8	6,3	6,6	✓
utilisent le contenu du sang pour leur propre construction	29,2	55,7	6,0	✓
utilisent l'oxygène et les produits nutritifs pour produire l'énergie	18,3	78,0	1,3	✓
produisent des déchets toxiques	21,9	57,8	4,8	✓
accumulent des produits nutritifs	26,1	52,4	6,2	✓

Tableau XXIV. Le métabolisme d'un organe

Près de 80% des répondants estiment qu'il est probable ou très probable que les organes choisissent activement ce qu'ils absorbent. 75% des élèves de ce groupe (60% de l'échantillon) ont jugé improbable ou très improbable que les organes se nourrissent tous des mêmes produits.

Un élève explique : «les substances que l'organe veut sortent du vaisseau, l'organe les capte, c'est lui qui décide». Un autre affirme : «certains organes peuvent ne pas faire d'échange avec le sang, ça dépend de l'activité». Trois élèves partagent l'idée selon laquelle : «les organes se nourrissent tous du même sang, ils prennent ce qu'ils ont besoin, le reste c'est pour les autres».

On peut retenir que

<p>Les organes ont des besoins spécifiques. Ils ne se nourrissent pas des mêmes produits et ont la faculté d'absorber ce qui leur convient en puisant dans le sang.</p>

Ces élèves semblent penser que si les organes ont des fonctions différentes alors ils sont constitués de produits différents plutôt que de tissus et de cellules spécialisées.

Bien que les répondants reconnaissent la présence de cellules dans les organes (97%), ils n'utilisent pas le concept de la cellule et de la différenciation pour expliquer la spécificité des structures et des fonctions des organes. Ils semblent expliquer la diversité en se référant directement à un processus de sélection des nutriments au moment des échanges avec le sang.

Les échanges impliquent que ...	Probable (%)	Très probable (%)	NSP (%)	Correct
Le sang des petits vaisseaux se déverse dans l'organe	24,7	23,9	10,2	
Le sang laisse les produits nutritifs et prend les déchets.	18,5	66,8	3,9	✓

Tableau XXV. Les échanges entre le sang et les organes

Le phénomène des échanges entre le sang et l'organe est d'abord relié à la perméabilité de la paroi des petits vaisseaux. Cette idée est supportée par près de 80% des répondants.

Toutefois, une autre conception recueille le support de 48% des élèves. C'est dans cette proportion qu'ils jugent probable ou très probable que «le sang des petits vaisseaux se déverse dans l'organe».

Lors des entrevues, 8 élèves ont adopté cette conception d'un système ouvert : «l'oxygène doit être en contact avec les cellules et les déchets peuvent sortir», ou bien : «Si le sang n'est pas déversé alors à ce moment là il n'y a pas de diffusion, si ça reste à l'intérieur des vaisseaux c'est moins bon», ou encore : «Le sang circule dans un vaisseau qui, une fois dans l'organe, se divise en plus petits vaisseaux qui déversent le sang tout près des cellules. D'autres petits

vaisseaux reprennent le sang et le ramène à un plus gros qui le transporte hors de l'organe».

4.3.1.9 *Synthèse des conceptions du premier niveau de formulation*

En regroupant les paragraphes encadrés, nous pouvons examiner l'organisation des conceptions des élèves de notre échantillon touchant le premier niveau de formulation. Nous avons souligné l'importance de certaines conceptions par des caractères gras.

Premier encadré

le système circulatoire est perçu comme un réseau de conduits qui s'insinuent dans les moindres parties de l'organisme.

Le sang qui se déplace sans arrêt en parcourant un circuit, assure la nutrition de l'organisme et subit un recyclage.

Le coeur assure le mouvement du sang.

Deuxième encadré

Le système circulatoire est un circuit où le sang part du coeur se rend à chacun des organes les uns après les autres avant de revenir au coeur.

Troisième encadré

Il y a un lien entre la circulation sanguine, les poumons, les reins et le cerveau.

Le tube digestif et la peau n'ont pas de rapport avec la circulation sanguine.

Quatrième encadré

La paroi des vaisseaux sanguins est perméable et élastique.
L'activité du coeur peut varier et sa paroi est élastique
Le débit cardiaque est influencé par le volume de sang.

Cinquième encadré

Le coeur a plus d'importance pour le renouvellement du sang que le tube digestif.

Sixième encadré

Les organes ont des besoins spécifiques. Ils ne se nourrissent pas des mêmes produits et ont la faculté d'absorber ce qui leur convient en puisant dans le sang.

Les élèves ont une perception juste du rôle nutritif que la circulation du sang remplit dans l'organisme humain et accordent au sang, au coeur et aux vaisseaux des propriétés conformes aux vues scientifiques.

Trois organes assurent le renouvellement du sang. Les poumons fournissent l'oxygène et les reins filtrent le sang de ses déchets. La paroi du coeur aurait un rôle qui complète l'action des poumons et des reins, en plus d'enrichir le sang et d'assurer la régénération du sang.

En regard de l'apprentissage des concepts du premier niveau de formulation le cinquième encadré fait apparaître que le tube digestif n'est pas associé au renouvellement du sang. Soit que les élèves ignorent le processus de l'absorption intestinale, soit qu'ils ignorent que les aliments aboutissent dans le sang à la fin du processus. On peut s'interroger sur le sens que les élèves accordent au concept «produit nutritif» dont la présence dans le sang est largement reconnue. C'est une lacune importante lorsqu'on envisage le rôle nutritif du sang.

Les élèves reconnaissent d'emblée les éléments du système circulatoire et leur rôle mais leur conception «en série» du plan d'organisation de la circulation constitue une lacune majeure pour leur compréhension des processus qui assurent la nutrition de l'organisme. Selon ce plan d'organisation, si les besoins des organes sont les mêmes, la qualité du sang que reçoit un organe dépend de sa position relative par rapport aux organes responsables du renouvellement.

Or les élèves ne reconnaissent pas que les organes se nourrissent des mêmes produits. Ils conçoivent plutôt que les organes ont des besoins spécifiques et que leur position relative dans le circuit n'a pas d'impact sur la disponibilité des nutriments.

Nous voyons là un indice que les élèves considèrent que la satisfaction des besoins nutritifs sert de stimulus au comportement de l'organe. Les élèves transposent aux cellules et organes ce qu'ils reconnaissent comme la cause d'un comportement de l'humain, la satisfaction des besoins.

Le deuxième et le sixième encadré présentent deux conceptions alternatives majeures. La majorité des élèves conçoivent que le système circulatoire est séquentiel et que les échanges nutriments-déchets sont gérés par les organes selon leurs besoins. Ces deux conceptions doivent être au centre d'une intervention didactique portant sur l'apprentissage de la circulation sanguine.

Il faudrait exploiter le fait que les élèves reconnaissent que le sang contient des nutriments et des déchets et qu'un renouvellement est nécessaire. La conception d'un circuit «série» pose un problème même si les organes ont des besoins nutritifs spécifiques puisqu'elle ne permet pas de prévenir l'intoxication des organes par accumulation progressive des déchets métaboliques.

4.3.2 Analyse des conceptions du second niveau de formulation

Le second niveau de formulation décrit la circulation sanguine en fonction de la dynamique cardio-vasculaire, soit la relation entre le débit sanguin, la résistance vasculaire et la pression sanguine.

Nous analyserons les réponses touchant l'apport sanguin à un organe en activité, le déplacement du sang, la pression sanguine, la relation entre la vasomotricité, l'apport sanguin et la pression dans un circuit fermé.

4.3.2.1 *Apport sanguin et augmentation d'activité d'un organe*

Explorons maintenant les conceptions de la relation entre l'activité de l'organe et les adaptations vasculaires.

Selon nos résultats, une augmentation d'activité de l'organe (Tableau XXVI) entraîne une modification du contenu du sang, une augmentation de la quantité et de la vitesse du sang reçu par l'organe. Les élèves supportent ces énoncés dans une proportion d'environ 80%. Ils conçoivent qu'une augmentation d'activité se traduise par une augmentation des besoins métaboliques qui se reflète sur le contenu du sang. Il est nécessaire d'ajuster l'approvisionnement de l'organe en augmentant l'apport sanguin et sa vitesse.

L'accroissement de l'activité de l'organe...	Probable (%)	Très probable (%)	NSP (%)	Correct
fait dilater les vaisseaux	33,0	38,9	17,8	✓
augmente localement la vitesse du sang	30,4	48,4	8,0	
augmente localement la quantité de sang	29,6	49,1	7,6	✓
modifie le contenu du sang	30,3	51,7	7,8	✓

Tableau XXVI. La relation entre le sang, les vaisseaux et l'organe

Un élève précise : «le coeur fait aller plus vite mais il ne peut pas en faire entrer plus dans l'organe». Cet élève n'associe pas la vasodilatation et le besoin d'augmenter la circulation dans un organe. Il ne conçoit pas que la paroi vasculaire puisse accommoder une plus grande quantité de sang.

Pour répondre à une demande accrue de sang l'un des élèves suggère :

«Le sang bouge à cause des jets de sang venant du coeur. Lors d'un exercice, on doit accélérer les battements du coeur, les contractions, pour faire circuler le sang plus vite pour fournir un apport plus grand d'oxygène.»

Un second tient des propos semblables : «Lors de la course, on augmente la vitesse de la circulation en agissant sur les poumons et le coeur».

Pourtant la vasodilatation, associée à l'augmentation de l'activité, recueille l'appui d'environ trois quarts des répondants. Toutefois, cette vasodilatation peut être perçue comme le résultat d'un accroissement de l'apport sanguin plutôt qu'un moyen de favoriser cette augmentation de circulation.

L'un des élèves nous a expliqué : «c'est le coeur qui fait que la quantité nécessaire est envoyée et les vaisseaux peuvent accepter une telle quantité mais pas trop, ils sont assez élastiques». Dans ce cas les vaisseaux font preuve d'élasticité mais non d'une vasomotricité capable d'assurer une augmentation de l'approvisionnement sanguin.

Les élèves établissent un lien direct entre la fréquence des battements du coeur et la vitesse du sang. Cette conception suppose que la vitesse de déplacement augmente selon les besoins. Soulignons également que cette conception ne fait intervenir que des éléments moteurs, le coeur, les poumons et l'activité des organes, pour établir l'apport sanguin. La dilatation des vaisseaux sanguins n'est pas perçue comme un moyen de répondre à une demande accrue de sang, mais plutôt comme la conséquence d'un accroissement de l'apport sanguin.

On peut retenir que

L'organe en activité reçoit plus de sang et le sang circule plus vite parce que le coeur bat plus vite.
Les vaisseaux sont dilatés par l'afflux de sang.

4.3.2.2 *Pression sanguine*

Nous examinerons la relation entre la pression sanguine, le volume de sang déplacé et l'état de constriction des vaisseaux.

Dans le questionnaire nous avons représenté trois vaisseaux sanguins de même taille. Nous avons inscrit deux valeurs de pression pour chacun des vaisseaux. Nous avons pris soin de maintenir une même différence entre la pression la plus forte et la plus faible.

Pression	A= 105	B= 100
	vaisseau #1	
Pression	A1= 190	B1= 185
	vaisseau #2	
Pression	A2= 275	B2= 270
	vaisseau #3	

Figure 7. La différence de pression et le déplacement du sang

Voici le tableau des énoncés sur lesquels les élèves étaient appelés à se prononcer.

Le déplacement du sang :	Accord (%)	Très en accord (%)	NSP (%)	Correct
Dans les trois vaisseaux le sang circule de la valeur de pression la plus forte vers la plus faible.	24,9	57,1	7,7	✓
Dans le vaisseau no 3, il y a un plus grand volume de sang qui se déplace parce que la pression est plus élevée.	24,5	22,4	12,1	
Dans tous les vaisseaux il y a le même volume de sang qui se déplace parce que la différence de pression est la même.	17,5	10,8	18,1	✓

Tableau XXVII. La pression et le déplacement du sang

La plupart des répondants (82%) sont en accord ou très en accord avec la proposition que le sang se déplace d'une région où la pression est élevée vers une région où elle est plus faible. Seulement 28% des répondants considèrent que la différence de pression détermine la quantité de sang qui sera déplacée entre les deux régions.

Ces données semblent indiquer que les répondants conçoivent que la différence de pression est associée à la direction du déplacement sanguin, sans nécessairement en être la cause. Nous avons déjà mentionné que les élèves attribuent au coeur le rôle de la propulsion du sang. Toutefois ils ne semblent pas concevoir que c'est en contribuant à créer une différence de pression qu'il assure la circulation sanguine. Nous observons que 47% des élèves estiment qu'une valeur plus élevée de pression indique le déplacement d'une plus forte quantité de sang. Ceci nous laisse croire que plusieurs élèves privilégient l'idée que la poussée cardiaque assure la propulsion du sang dont le volume crée une pression élevée dans les vaisseaux.

À la lumière de ces résultats nous pouvons penser qu'il existe chez les élèves de notre échantillon une conception selon laquelle le volume de sang

détermine la pression et que la quantité de sang déplacé est la quantité que contient le vaisseau. Une conception qui met en évidence le rôle de transporteur passif du vaisseau sanguin et le rôle actif du coeur qui fait naître la pression. Les vaisseaux sont perçus comme des contenants élastiques qui peuvent accommoder un volume plus ou moins important qui varie selon les besoins.

Ainsi plus le volume déplacé est important plus la pression sera forte. La différence de pression entre A et B reflète ce déplacement mais ne le provoque pas.

La pression sanguine	Probable (%)	Très probable (%)	NSP (%)	Correct
est plus forte en allant du coeur aux organes qu'au retour	21,2	35,8	11,5	✓
est la même à l'aller et au retour	22,1	17,9	10,7	
augmente à mesure qu'on approche d'un organe	16,0	4,9	19,3	
diminue après le passage dans les petits vaisseaux	32,2	20,9	16,1	✓

Tableau XXVIII. Le niveau de la pression dans le système circulatoire

Pour l'un des élèves : «il faut une force pour que le sang se déplace, à mesure qu'on s'éloigne du coeur vers les petits vaisseaux la pression diminue».

Par ailleurs, nous observons que 40% des répondants considèrent que la pression est la même à l'aller et au retour. Ces résultats nous fournissent un indice supplémentaire de l'existence de la conception selon laquelle le volume de sang détermine seul la pression. Ces élèves semblent penser que si le volume de sang pompé par le coeur est le même volume qui retourne au coeur alors la pression ne devrait pas varier.

Ces résultats indiquent que les élèves associent la pression au volume de sang et à la pompe cardiaque. Dans cette optique la pression diminue lorsqu'on s'éloigne du coeur ou lorsque le volume de sang diminue.

Il faut noter la difficulté qu'ont les élèves de concevoir le système circulatoire comme un système fermé dont la dynamique repose sur les différences de pression résultant du produit du débit cardiaque et de la résistance vasculaire. Deux élèves affirment que : «le coeur pompe le sang et assure une pression». Trois autres pensent : que «le coeur fait circuler le sang plus vite sans augmenter la quantité». Finalement deux élèves disent que : «le sang est pompé pour qu'il aille plus vite où on en a besoin».

On peut retenir que

Dans un vaisseau le volume de sang qui se déplace d'une zone de haute pression vers un zone de basse pression ne dépend pas de la différence de pression.

Dans le questionnaire nous avons demandé aux élèves d'examiner ce qui se passe lorsqu'on dilate le vaisseau à l'entrée de l'organe B (Figure 8).

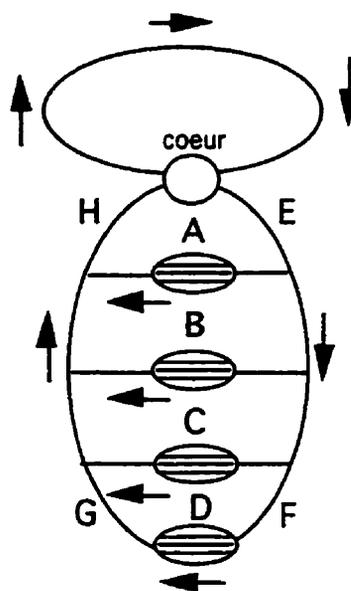


Figure 8. Le circuit sanguin

Près de 80% des répondants sont d'avis que la dilatation du vaisseau en B aura un effet local qui facilitera l'écoulement à cet endroit. Cependant moins de 50% des élèves anticipent un effet à d'autres endroits dans le système.

Lors d'une dilatation des vaisseaux en B, les effets apparaîtront	Accord (%)	Très en accord (%)	NSP (%)	Correct
en B, cela facilite la circulation à cet endroit	40,4	38,9	12,3	✓
en C et D, il y aura un effet à l'entrée des organes situés après B	30,2	16,2	14,7	✓
entre E et F, il y aura diminution de la pression	28,8	13,0	21,7	✓

Tableau XXIX. Les effets d'une vasodilatation locale sur la circulation

Seulement 45% des répondants anticipent un effet sur la circulation dans les vaisseaux situés entre le coeur et l'entrée des autres organes. Les pourcentages de «ne sais pas» sont très élevés.

Les élèves éprouvent de la difficulté à concevoir que la pression ait une composante vasculaire aussi bien que cardiaque dans le système circulatoire.

On peut retenir que

Dans le système circulatoire, la dilatation des vaisseaux d'un organe n'a pas d'effet sur la pression artérielle

Dans le questionnaire nous avons demandé aux élèves d'examiner la relation entre la pression sanguine et la résistance vasculaire dans un système fermé (Figure 9).

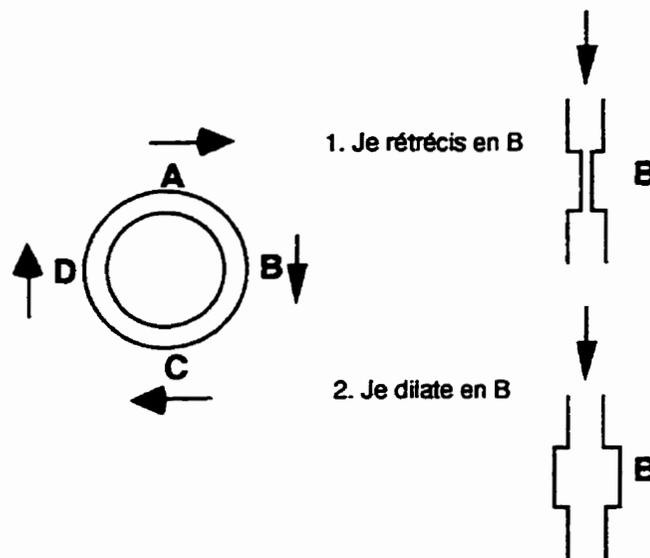


Figure 9. Un circuit fermé

Lors d'une VASOCONSTRICTION en B dans un circuit fermé, A-B-C-D, la pression ...	%	Correct
Est égale en A et augmente en C	9,6	
Est égale en A et diminue en C	6,7	
Est égale en A et en C	4,4	
Augmente en A et égale en C	3,3	
Augmente en A et diminue en C	47,3	
Augmente en A et en C	16,8	✓

Tableau XXX. Les effets d'une vasoconstriction dans un système fermé

Globalement, 20% des répondants estiment que la pression en A ne changera pas, 66% des répondants pensent que la pression augmentera en A. En C, 33% des répondants estiment que la pression augmentera, 55% pensent qu'elle baissera.

Près de la moitié des répondants (47,3%) adoptent une interprétation selon laquelle la pression augmentera en A et diminuera en C. L'effet à rebours se répercute à courte distance, jusqu'en A. L'effet en C résulte uniquement de la réduction du flux sanguin causé par la vasoconstriction en B, sans égard pour le reflux.

La majorité des répondants interprètent la vasoconstriction comme un événement qui s'oppose au déplacement du volume sanguin dans un sens déterminé. L'obstacle à la circulation cause une accumulation en A ce qui augmente la pression. En C, au-delà de l'obstacle, le volume sanguin est réduit ce qui se traduit par une baisse de pression. Pourtant ces élèves n'envisagent pas un déplacement de A vers C via D, bien que 80% des répondants considèrent que la circulation se fait d'une zone de haute pression vers une zone de basse pression.

Ces étudiants interprètent la situation comme si le trajet était linéaire et ouvert plutôt que fermé. Ils analysent la situation comme si le déséquilibre que produit le rétrécissement avait une portée limitée.

Environ 17% des élèves soutiennent que la pression augmentera en A et en C. Ces élèves conçoivent que le rétrécissement en B aura pour effet d'augmenter la pression partout dans le système fermé.

Nous avons demandé aux élèves d'utiliser le même système, pour examiner l'effet sur la pression d'une vasodilatation au point B.

Lors d'une VASODILATATION en B dans un circuit fermé, A-B-C-D, la pression...	%	Correct
Diminue en A et augmente en C	25,4	
Diminue en A et en C	20,4	✓
Est égale en A et augmente en C	15,5	
Est égale en A et diminue en C	10,9	
Est égale en A et en C	11,7	

Tableau XXXI. Les effets d'une vasodilatation dans un système fermé

Ces résultats indiquent la difficulté qu'on les élèves à concevoir de quelle façon la pression sera affectée par une vasodilatation. Soulignons que deux fois plus de répondants n'anticipent aucun changement de pression, ni en A ni en C, dans ce cas-ci (11%) que dans celui de la vasoconstriction (5%).

Globalement 36% des répondants jugent que la pression ne changera pas en A. C'est presque deux fois plus de répondants que dans la situation équivalente portant sur la vasoconstriction (20%). Il semble que certains élèves conçoivent plus difficilement un effet sur la pression en amont (A) dans le cas d'une vasodilatation.

Ceux qui avaient choisi une augmentation de pression en A et une diminution en C dans le cas précédent, jugent que la dilatation en B se traduira par une diminution de pression en A et une augmentation en C. Dans ce groupe,

30% des répondants estiment que la vasodilatation en B ne modifiera pas la pression en A. L'effet à rebours semble plus difficile à concevoir dans ce cas.

Nous retrouvons pour ces élèves l'expression de la conception selon laquelle la pression résulte d'une accumulation de sang causée par un obstacle en un point donné. Dans le cas d'une vasodilatation en B le volume de sang se déplace plus abondamment sans rencontrer d'obstacle, ce qui fait baisser la pression en A ou tout au moins ne la change pas. C'est en C que se trouve l'obstacle maintenant et la pression augmentera en C lorsque le sang atteindra ce point. Près de 40% des répondants estiment que la pression augmentera en C.

Environ 20% des répondants considèrent que dans ce circuit fermé, une vasodilatation aura pour effet de réduire la pression partout, donc en A et en C. 82% de ceux qui ont choisi cette interprétation ont fait un choix équivalent dans le problème impliquant une vasoconstriction en B. Dans le cas de la vasoconstriction, ils ont jugé que la pression augmentait en A et en C.

Ainsi la plupart des répondants ne tiennent pas compte du contexte dans lequel surviennent la vasoconstriction et la vasodilatation, celui d'un circuit fermé. Ils transposent le problème dans un contexte qui leur est familier, un contexte de déplacement linéaire dans un sens déterminé.

On peut retenir que

La pression est d'abord associée à la constiction des vaisseaux plutôt qu'à la dilatation.

La portée d'une constriction ou d'une dilatation des vaisseaux sur la pression dans un circuit fermé est limitée.

4.3.2.3 *Synthèse des conceptions du deuxième niveau de formulation*

En regroupant les paragraphes encadrés, nous pouvons examiner l'organisation des conceptions des élèves de notre échantillon touchant le second niveau de formulation.

Premier encadré

L'organe en activité reçoit plus de sang et le sang circule plus vite parce que le coeur bat plus vite.
Les vaisseaux sont dilatés par l'afflux de sang.

Deuxième encadré

Dans le système circulatoire, la dilatation des vaisseaux d'un organe n'a pas d'effet sur la pression artérielle.

Troisième encadré

Dans un vaisseau le volume de sang qui se déplace d'une zone de haute pression vers un zone de basse pression ne dépend pas de la différence de pression.

Quatrième encadré

La pression est d'abord associée à la constriction des vaisseaux plutôt qu'à la dilatation.
La portée d'une constriction ou d'une dilatation des vaisseaux sur la pression dans un circuit fermé est limitée.

Le premier et le deuxième encadré illustrent la conception selon laquelle le coeur est responsable du déplacement du sang et que les vaisseaux le distribuent se dilatant au besoin lorsque l'afflux augmente. Dans ce contexte, le fait de dilater les vaisseaux d'un organe ne peut affecter la pression des artères situés entre le coeur et l'organe. La pression vasculaire est associée au déplacement du sang poussé par le coeur. Plutôt que de considérer que la dilatation vasculaire crée une différence de pression qui favorise le déplacement du sang, les élèves estiment que le déplacement du sang crée une différence de pression. (troisième encadré). La pression étant plus forte près du coeur et plus faible à mesure qu'on s'en éloigne. Les élèves expriment une conception selon laquelle la pression est associée au coeur et uniquement au mouvement du sang.

Le quatrième encadré illustre la difficulté à reconnaître les caractéristiques de la circulation en circuit fermé. Les effets sont interprétés dans le contexte d'un système linéaire et ouvert. Ainsi les effets d'une vasoconstriction sont associés à ceux d'un obstacle alors que les effets de la vasodilatation sur la pression sont plus difficiles à concevoir et sont ramenés à une situation de vasoconstriction relative en aval de la région dilatée.

Dans une intervention didactique touchant le second niveau de formulation il y a lieu d'explorer les différents facteurs qui permettent de définir le concept de pression. Il importe également de transposer le concept à un environnement qui reproduit les caractéristiques d'un circuit fermé.

4.3.3 Analyse des conceptions du troisième niveau de formulation

Le troisième niveau de formulation décrit la circulation sanguine en fonction du contrôle de l'homéostasie de l'organisme par la régulation de la pression sanguine.

Nous examinerons la relation entre certains déséquilibres physiologiques et les processus de contrôle qu'ils déclenchent. Nous avons regroupé les déséquilibres en trois catégories : les variations des besoins métaboliques, les variations de résistance vasculaire et les variations de volume sanguin.

4.3.3.1 Variation des besoins métaboliques

Dans le contexte d'une activité physique comme la course, les besoins métaboliques augmentent. Nous avons examiné les conceptions touchant le contrôle de l'apport sanguin aux jambes.

Processus de contrôle de la circulation lors d'une course.	Accord (%)	Très en accord (%)	Ne sais pas (%)	Correct
Le cerveau détecte les besoins nutritifs des jambes	34,1	41,9	5,9	
Le coeur détecte les besoins de sang et augmente son pompage	28,7	29,1	2,9	
Les muscles attirent plus de sang	34,0	27,6	7,7	
Les vaisseaux se dilatent au niveau des jambes et se contractent ailleurs pour détourner le sang.	37,6	26,0	11,4	✓
Les mouvements respiratoires accélèrent le coeur	27,9	53,9	2,7	
Le sang réagit et se dirige vers les organes dans le besoin	25,2	28,4	6,7	

Tableau XXXII. L'adaptation à une augmentation de l'activité physique

Les répondants imaginent que le cerveau joue un rôle dans la détection des besoins des organes (78%). Plus de la moitié des élèves, 58%, associent l'augmentation de pompage du coeur et sa capacité de détection des besoins.

Parmi tous les énoncés proposés sur le contrôle de la circulation lors d'une course, celui qui suggère que les mouvements respiratoires entraînent l'accélération du coeur recueille l'appui le plus large soit 82% et le plus faible pourcentage de «ne sais pas». Il semble que les élèves de notre échantillon

associent la course au besoin d'oxygène et à la nécessité d'accélérer son transport aux jambes. En augmentant les mouvements respiratoires, on accélère le renouvellement d'oxygène du sang et la fréquence cardiaque.

Les autres énoncés suggèrent l'intervention d'autres organes dans le processus de contrôle. La modification du diamètre des vaisseaux en faveur d'une augmentation de l'apport sanguin aux jambes est appuyée par 64% des répondants. Une étudiante interviewée a exprimé l'idée suivante : «les organes s'adaptent à une hausse ou à une réduction de la circulation, ils ne peuvent refuser».

Les répondants supportent l'idée que les muscles exercent une attraction sur le sang dans une proportion de 62% et que le sang se dirige de lui-même aux organes dans le besoin dans une proportion de 53%.

Nous avons examiné le rôle que les élèves attribuent aux organes lors de la prise de décision dans le contrôle de la circulation pendant une activité physique.

Les organes qui contrôlent la circulation :	Accord (%)	Très en accord (%)	Ne sais pas (%)	Correct
Le cerveau	26,1	55,9	3,0	✓
Le coeur	26,3	28,8	4,1	
Chaque organe	33,9	18,8	5,2	
Le sang	6,9	4,7	5,3	

Tableau XXXIII. Les organes associés au contrôle de la circulation

Le cerveau est reconnu comme le centre de décision en ce qui concerne l'augmentation de la circulation par plus de 80% des répondants. Ceux qui le considéraient responsable de la détection des besoins des jambes (très en accord) supportent le rôle de décideur au même niveau, soit dans une proportion de 96%. La grande majorité des répondants placent le cerveau au centre du processus de contrôle de la circulation sanguine. Ils lui accordent un rôle de détection des besoins et de prise de décision.

Malgré cela plus de 50 % des répondants sont en accord ou très en accord pour attribuer au coeur un rôle de décision dans le contrôle de la circulation. Une proportion équivalente des élèves supporte l'idée qu'un organe dont les besoins augmentent puisse contrôler la circulation. L'un des élèves interviewés a précisé sa pensée en ces termes : «quand le coeur voit que tu fais un effort tes muscles ont besoin de plus d'énergie ils en demandent plus au coeur et là il en envoie plus». Un autre élève a affirmé que : «à l'effort, le cerveau et le coeur envoient des directives» Un troisième a expliqué que : «le coeur va demander d'envoyer ce qu'il faut pour courir».

On peut retenir que

L'accélération des mouvements respiratoires, commandée par le cerveau, entraîne l'augmentation de l'apport d'oxygène et de la vitesse de la circulation, lors d'une activité physique.

Lors d'une activité physique, les organes impliqués (muscles) attirent le sang selon leurs besoins.

4.3.3.2 Variation de la résistance vasculaire

Nous avons exploré les conceptions touchant la relation entre la diminution de la résistance vasculaire et le contrôle de la circulation sanguine à l'aide d'une mise en situation et du schéma présenté à la Figure 8.

Une vasodilatation en B aura un effet	Accord (%)	Très en accord (%)	Ne sais pas (%)	Correct
Sur le coeur, il pompera plus	37,7	23,1	17,0	✓
À l'entrée des autres organes A,C, D il y aura vasoconstriction pour dévier le sang vers B	21,8	10,2	24,0	✓

Tableau XXXIV. Les effets d'une vasodilatation sur le contrôle de la circulation

Nous notons en premier lieu un fort pourcentage de répondants qui ont choisi «ne sais pas», de 17% à 24%.

Lors d'une course (Tableau XXXII), les répondants ont estimé dans une proportion de 64% que «les vaisseaux se dilatent au niveau des jambes et se contractent ailleurs pour détourner le sang». Dans le Tableau XXXIV l'idée que la vasoconstriction soit un moyen normal de contrôler la circulation sanguine recueille l'appui de 32% des répondants seulement. Alors que 60% des répondants prévoient un effet sur le coeur qui devra pomper plus de sang, pour compenser une vasodilatation locale.

Ces résultats semblent indiquer que les élèves conçoivent que les ajustements du système circulatoire sont réalisés avant tout grâce à l'intervention du coeur plutôt que par les vaisseaux sanguins. Les élèves estiment que si on augmente la capacité d'un vaisseau par dilatation, le nouveau sang lui parviendra du coeur et non pas de l'augmentation de la résistance vasculaire ailleurs dans le circuit.

On peut retenir que

La constriction des vaisseaux n'est pas perçue comme un moyen normal de redistribuer le sang dans le système circulatoire.
--

4.3.3.3 Variation du volume sanguin

Nous nous référons à la Figure 8 pour examiner les conceptions des élèves concernant la réaction de l'organisme à une perte de sang.

Lors d'une hémorragie au niveau de l'organe D	Accord (%)	Très en accord (%)	Ne sais pas (%)	Correct
Le coeur envoie plus de sang pour réparer le vaisseau	21,5	18,2	13,2	
Le coeur diminue la circulation en D pour réduire la perte de sang	24,3	18,0	14,3	
Les vaisseaux se rétrécissent en D pour faire dévier le sang ailleurs	36,0	19,9	19,4	✓
Le coeur pompera plus pour compenser la perte de sang	29,1	24,2	15,1	✓
Les autres organes ne sont pas affectés	10,2	6,0	14,0	

Tableau XXXV. Les effets d'une perte de sang sur le contrôle de la circulation

Notons tout d'abord un fort pourcentage de répondants qui ont choisi «ne sais pas». Lors des entrevues cinq élèves étaient d'avis que la perte de sang n'affectait pas la circulation. Environ 70% des répondants estiment que la perte de sang affectera l'ensemble des organes.

Dans un problème d'hémorragie, près de 56% des répondants pensent que la vasoconstriction sert à faire dévier le sang pour réduire la perte de sang. Un élève interviewé a précisé : «il faut arrêter la circulation dans les jambes et la dévier ailleurs»

C'est dans une proportion de 54% que les élèves croient que le coeur pompera plus pour compenser la perte de sang qui affecte l'ensemble du système.

Environ 40% des répondants pensent que le coeur contrôle la distribution de sang à l'organe D, affecté par l'hémorragie. Certains élèves interviewés ont estimé que : «le coeur envoie plus de sang avec des coagulants pour réparer la blessure».

La vasoconstriction comme moyen de contrôle de la distribution sanguine recueille un appui presque deux fois plus important dans ce cas d'hémorragie que dans la situation précédente où l'on examinait les effets d'une vasodilatation locale sur l'ensemble du circuit sanguin. Il semble que la perte de volume sanguin soit considérée comme un stimulus qui requiert des correctifs. Cependant près de 20% ont choisi de répondre «ne sais pas».

Certains étudiants estiment, semble-t-il, que la perte de sang est une mesure d'urgence qui justifie la vasoconstriction en D pour éviter la perte de sang. Ils ne conçoivent pas que la vasoconstriction ou la vasodilatation des vaisseaux d'un organe serve dans un cadre normal à redistribuer le sang ou à régulariser la pression sanguine.

Dans le cas de l'hémorragie, certains répondants optent pour une intervention dominée par le coeur, alors que d'autres optent pour une vasoconstriction pour dévier le sang ailleurs. Ceux qui pensent que le coeur envoie plus de sang pour réparer le vaisseau pensent aussi que le coeur pompera plus pour compenser la perte et ne pensent pas que les vaisseaux fassent dévier le sang ailleurs ou que le coeur réduise son activité pour réduire la perte.

On peut retenir que

En cas de perte de sang, la constriction locale des vaisseaux est perçue comme un moyen de rediriger le sang.

Certains phénomènes de la vie courante sont reliés à la circulation sanguine et à son contrôle. Les répondants ne reconnaissent pas toujours qu'il existe une relation entre l'évanouissement, le rougissement, la transpiration et l'insolation, et la circulation du sang.

Phénomènes associés à la circulation :	Accord (%)	Très en accord (%)	Ne sais pas (%)	Correct
Évanouissement	32,9	57,3	3,2	✓
Rougissement	24,1	68,3	2,5	✓
Prise de médicaments	24,9	40,0	9,9	✓
Transpiration	22,8	24,2	7,8	✓
Insolation (coup de soleil)	8,3	8,4	6,2	✓

Tableau XXXVI. Les phénomènes associés à la circulation

Plus de 90% des répondants associent la circulation au rougissement de la peau dû à l'émotion et à l'évanouissement. Lors des entrevues lorsque nous avons demandé aux élèves comment ils expliquaient le rougissement du visage dû à l'émotion,, nous avons obtenu des réponses qui ne mettaient pas en cause les vaisseaux sanguins mais uniquement le coeur. Ils ont parlé du rougissement du visage comme étant le résultat «d'une accumulation de sang», en précisant que : «le coeur pompe plus de sang, il va plus vite».

Par contre moins de 50% des élèves associent l'humidité de la peau et la transpiration à la circulation sanguine. Rappelons que moins de 20% des élèves considèrent que la peau intervient pour supporter le rôle de la circulation.

Moins de 20% estiment qu'il existe un lien entre le coup de soleil et la circulation sanguine. Tous les élèves interviewés ont affirmé que le coup de soleil concerne la peau et n'a rien à voir avec la circulation.

Environ 65% des répondants relient la prise de médicaments à la circulation du sang. Rappelons que moins de 40% des répondants considèrent spontanément que le tube digestif est associé à la circulation.

4.3.3.4 *Synthèse des conceptions du troisième niveau de formulation*

Nous avons exploré les conceptions touchant le contrôle de la circulation sanguine à partir de trois déséquilibres physiologiques. Nous devons noter qu'un fort pourcentage des répondants ont choisi «Ne sais pas» lorsqu'il a été question de la variation de la résistance vasculaire et du volume sanguin. Nous pouvons examiner l'organisation des conceptions des élèves de notre échantillon touchant le troisième niveau de formulation, à partir des encadrés.

Premier encadré

L'accélération des mouvements respiratoires, commandée par le cerveau, entraîne l'augmentation de l'apport d'oxygène et de la vitesse de la circulation, lors d'une activité physique.

Deuxième encadré

Lors d'une activité physique, les organes impliqués (muscles) attirent le sang selon leurs besoins.

Troisième encadré

La constriction des vaisseaux n'est pas perçue comme un moyen normal de redistribuer le sang dans le système circulatoire.

Quatrième encadré

En cas de perte de sang, la constriction locale des vaisseaux est perçue comme un moyen de rediriger le sang.

Le premier encadré fait ressortir la conception selon laquelle la circulation sanguine sert d'abord au transport de l'oxygène symbole

de l'énergie associée à l'activité physique. Dans ce contexte l'accélération des mouvements respiratoires constituent l'adaptation normale à l'activité physique. Cela relève de la méconnaissance de la relation cardio-pulmonaire où les rôles sont confondus.

Le deuxième encadré fournit un nouvel indice d'une conception relevée au premier niveau de formulation. : les organes gèrent les échanges nutriments-déchets selon leurs besoins. Les organes auraient aussi la capacité de gérer la distribution du sang afin de répondre à leurs besoins lors d'une activité physique. Les élèves semblent privilégier la recherche de solutions locales et immédiates dans leur approche du maintien de l'homéostasie. Cette conception peut être utilisée pour faire évoluer la compréhension de la régulation de l'apport sanguin.

Le troisième et le quatrième encadré font état d'une conception selon laquelle normalement le cœur assure l'apport sanguin, les vaisseaux ne peuvent avoir de rôle actif. C'est une lacune importante. Dans le contexte de l'apprentissage des concepts du deuxième et du troisième niveau de formulation la vasomotricité est un concept clé.

Du point de vue didactique il serait souhaitable d'utiliser la conception selon laquelle les organes gèrent la distribution du sang et d'en limiter la portée afin d'introduire le concept de contrôle intrinsèque de la circulation sanguine. Par la suite, la vasomotricité peut être intégrée au contrôle intrinsèque comme moyen de le réaliser.

4.4 ÉCART ENTRE LES RÉPONSES DES ÉLÈVES ET LES NIVEAUX DE FORMULATION DIDACTIQUE DE L'EXPERT

Après avoir analysé les fréquences des réponses qu'ont fournies les élèves sur les conceptions de la circulation sanguine, nous comparons maintenant ces réponses à celles des professeurs experts.

Pour mener cette analyse nous avons regroupé les réponses des élèves en trois catégories (0, 1, 2) et avons établi pour chaque question dans quelle catégorie chaque répondant se retrouve. La catégorie 0 indique un accord avec

l'expert, la catégorie 1, indique un désaccord avec l'expert et la catégorie 2 correspond à la réponse «ne sais pas».

Nous obtenons ainsi pour chaque répondant le pourcentage des réponses qui se retrouvent dans chacune des catégories 0, 1 et 2. Nous pouvons ainsi établir pour chaque répondant dans quelle mesure les réponses fournies sont en accord ou en désaccord avec l'expert, pour chaque niveau de formulation.

Les résultats nous indiquent que les répondants affichent un accord plus important avec l'expert pour les questions du premier niveau que pour les questions du deuxième et troisième niveau .

Niveaux de formulation	Comme l'expert (catégorie 0)	Différent de l'expert (catégorie 1)	«Ne sais pas» (catégorie 2)
Premier	70%	26%	4%
Deuxième	54%	34%	12%
Troisième	50%	40%	10%

Tableau XXXVII. Répartition des élèves dans les catégories 0, 1 et 2

La différence entre les fréquences d'accord du deuxième et du troisième niveau n'est que de 4%, ce qui suggère que l'expertise des répondants sur ces sujets est comparable. Ainsi pour l'ensemble des répondants nous observons deux niveaux d'expertise : les réponses qui portent sur les sujets du premier niveau de formulation didactique, les réponses qui portent sur les sujets des niveaux II et III.

Par ailleurs, nous observons une progression régulière dans le désaccord avec l'expert (catégorie 1), entre le premier, le deuxième et le troisième niveau. Toutefois les réponses de la catégorie 2 sont plus de deux fois plus fréquentes pour les questions des niveaux II et III que pour celles du premier niveau. Ce résultat nous indique que les répondants n'arrivent pas, pour certains sujets, à émettre une opinion. Ce choix croyons-nous exprime un désaccord avec l'opinion de l'expert bien qu'il ne soit pas explicite, c'est un désaccord par défaut.

À la lumière des résultats obtenus sur l'expertise des élèves de notre échantillon en regard des niveaux de formulation didactique, nous avons voulu approfondir notre analyse en regroupant les répondants selon la fréquence d'accord et de désaccord avec l'expert pour les questions du premier niveau.

Nous compléterons l'analyse des résultats en comparant les pourcentages obtenus dans la catégorie 0, qui indique la fréquence d'accord avec l'expert et ceux de la catégorie 1, qui indique la fréquence du désaccord. Nous nous référerons aux résultats des catégories 2 lorsqu'ils permettront de mieux interpréter l'écart avec l'expert.

4.4.1 Expertise des trois populations de répondants

Nous avons produit une liste de répondants indiquant les scores obtenus dans la catégorie 0 pour chacun des trois niveaux. À partir de cette liste, nous avons séparé notre échantillon d'après la valeur relative des scores obtenus dans chaque niveau.

Nous obtenons six groupes de répondants (Tableau XXXVIII).

Scores	Groupe	Fréquence	%
niv I > II > III	1	286	40,6%
niv I > III > II	2	321	45,6%
niv II > I > III	3	66	9,4%
niv II > III > I	4	2	0,3%
niv III > II > I	5	6	0,9%
niv III > I > II	6	23	3,3%
Total		704	100%

Tableau XXXVIII. Regroupement des répondants selon l'expertise

À partir de ces groupes nous avons constitué trois populations.

- Population A : les répondants du groupe 1
- Population B : les répondants du groupe 2
- Population C : les répondants des groupes 3, 4, 5 et 6.

Nous présentons au Tableau XXXIX les fréquences d'accord avec l'expert pour les trois niveaux de formulation didactique. Les populations A et B, qui représentent plus de 85% de notre échantillon, affichent un niveau d'accord plus élevé pour les questions du niveau I que pour les niveaux II ou III. Pour ces deux populations d'élèves nous observons une asymétrie dans le profil de réponses pour les niveaux II et III.

La population A présente le plus faible pourcentage de réponses en accord avec l'expert au troisième niveau, alors que pour la population B le plus faible pourcentage de réponses en accord avec l'expert se situe au niveau II.

Catégorie 0 (Expert)	Niveau I	Écart type	Niveau II	Écart type	Niveau III	Écart type
Population A	71%	7,8%	59%	13,5%	44%	12,9%
Population B	71%	8,8%	45%	14,3%	54%	11,5%
Population C	63%	10,1%	66%	16,0%	54%	13,6%

Tableau XXXIX. Les fréquences d'accord avec l'expert des populations A,B et C

La population C se distingue des deux autres; elle est formée d'un regroupement d'élèves dont la majorité sont plus en accord avec l'expert pour les questions du second niveau. Le pourcentage d'accord est à peine plus élevé que celui des réponses du premier niveau. Pour le niveau III, la population C rejoint la population B.

Ces résultats nous suggèrent d'explorer l'existence de patrons de réponses différents de l'expert mais aussi différents selon les populations d'élèves. Pour mieux cerner cette différence nous examinerons dans quelle mesure le patron

des réponses des élèves des populations A et B, plus nombreuses, est homogène. (Appendice II).

Population	Intervalles des scores	Moyenne	Nombre de répondants	% de l'échantillon
A	0,41 - 0,89	0,79	88	12,5
B	0,43 - 0,87	0,79	101	14,3
C	0,21 - 0,85	0,63	97	13,9

Tableau XL. Les sous-groupes d'élèves des populations A et B

Nous explorerons les patrons de réponses des élèves et nous décrirons les caractéristiques des sujets pour lesquels il y a un accord ou un désaccord dans chaque niveau de formulation didactique. Nous préciserons les sujets pour lesquels les populations A, B et C présentent des patrons de réponses différents.

4.4.2 Analyse de l'écart avec l'expert dans le premier niveau de formulation didactique

Nous avons construit une série de tableaux dans lesquels nous indiquons pour chaque question le niveau d'accord et de désaccord avec l'expert. Nous avons établi deux paliers d'accord et de désaccord, selon que les pourcentages se situent au delà de 75% ou entre 50 et 75%.

Dans le premier niveau de formulation didactique (Tableaux XLIa,b,c,d), le désaccord des élèves porte sur certains aspects touchant les organes associés à la circulation, le renouvellement du sang, l'organisation du système sanguin, le métabolisme des organes et les mécanismes d'échanges avec le sang.

Niveau I	Accord > 75%	Accord > 50%	Désaccord > 50%	Désaccord > 75%
Organes associés à la circulation				
Coeur	ABCT			
Vaisseaux	ABCT			
Poumons	B	ACT		
Reins	ABT		C	
Tube digestif	ABCT			
Peau	ABCT			
Cerveau	ABCT			
Organisation du système sanguin				
Réseau aller et retour	ABCT			
Réseau ramifié aller	ABCT			
Réseau ramifié inversé au retour	ABCT			
Le parcours est direct à l'aller			A	BCT
Le parcours est direct au retour			ABT	C
Le schéma construit est parallèle			ABT	C
L'analogie: réseau de distribution	ABCT			

Légende:

T = population entière ; A, B et C = sous-populations

* = moins de 50% des répondants sont d'accord.

Tableau XLIa. Accord et désaccord des élèves au niveau I

Niveau I	Accord > 75%	Accord > 50%	Désaccord > 50%	Désaccord > 75%
Le sang contient...				
de l'oxygène, nutriments, gaz carbonique, etc	ABCT			
aucun débris d'usure	* B ACT			
Un organe contient...				
de l'oxygène, nutriments, eau, déchets, cellules	ABCT			
du gaz carbonique	ABT C			
Le renouvellement du sang implique				
Les poumons	ABCT			
Les reins	ABT C			
Le tube digestif	ABT C			
...mais n'implique pas				
La peau	ABCT			
Le cerveau	ABCT			
Le coeur	AC B T			
La paroi du coeur				
possède des cavités	ABCT			
s'étire	ABCT			
se contracte	ABCT			
possède des petits vaisseaux	ABCT			
ne nettoie pas le sang	ABCT			
ne donne pas d'oxygène au sang	ABCT			
n'enrichit pas le sang	ABCT			

Légende:

T = population entière ; A,B et C = sous-populations
 * = moins de 50% des répondants sont d'accord.

Tableau XLlb. Accord et désaccord des élèves au niveau I

Niveau I	Accord > 75%	Accord > 50%	Désaccord > 50%	Désaccord > 75%
La pompe cardiaque peut...				
augmenter sa fréquence	ABCT			
diminuer sa fréquence	ABCT			
augmenter son volume d'éjection	ABT	C		
diminuer son volume d'éjection	ABT	C		
augmenter sa force de propulsion	ABT	C		
diminuer sa force de propulsion	ABT	C		
Le débit cardiaque				
n'est pas toujours le même		ABT	* C	
dépend du retour veineux		ABT		
dépend de l'élasticité du cœur		ABT	* C	
dépend de l'élasticité de la paroi des vaisseaux		ABT	* C	
dépend du niveau d'activité	ABCT			
dépend de la viscosité du sang		ABT	* C	
Les vaisseaux sanguins				
sont plus nombreux en périphérie	ABT	C		
sont plus petits en périphérie	ABCT			
propulsent le sang		A	* C * B * T	
sont partout dans l'organe	A	BCT		
ne sont pas seulement en surface de l'organe	C	ABT		
la paroi des petits vaisseaux n'est pas étanche.		C	* A * B * T	

Légende:

T = population entière ; A,B et C = sous-populations
* = moins de 50% des répondants sont d'accord.

Tableau XL1c. Accord et désaccord des élèves au niveau I

Niveau I	Accord > 75%	Accord > 50%	Désaccord > 50%	Désaccord > 75%
Le métabolisme de l'organe				
Le sang est modifié par l'activité de l'organe	ABCT			
L'organe se construit	ABCT			
L'organe produit son énergie	ABCT			
L'organe produit des déchets toxiques.	ABT	C		
L'organe accumule des nutriments.	ABT	C		
Les organes se nourrissent tous des mêmes produits				ABCT
Les organes ne reçoivent pas tous même quantité de sang	B	ACT		
Les organes ne reçoivent pas le sang selon leur fonction.				ABCT
Les échanges entre le sang et les organes				
L'organe absorbe les nutriments selon ses besoins	ABCT			
Les substances traversent la paroi	ABT	C		
L'organe ne choisit pas activement ce qu'il absorbe				ABCT
Le sang n'est pas déversé dans l'organe			A C * B * T	
Le sang laisse les nutriments et prend les déchets de l'organe.	ABCT			

Légende:

T = population entière ; A, B et C = sous-populations

* = moins de 50% des répondants sont d'accord.

Tableau XLId. Accord et désaccord des élèves au niveau I

4.4.2.1 *Sujets de désaccord avec l'expert*

Au premier niveau de formulation le désaccord entre les élèves et l'expert touche le rôle de certains organes dans la circulation, l'organisation du système sanguin, le métabolisme et les échanges.

Le désaccord le plus net concerne l'association entre la circulation et la peau. Plus de 75% des répondants de toutes les populations sont en désaccord avec l'expert.

De prime abord la majorité des répondants de toutes les populations n'ont pas établi de relation entre la circulation et le tube digestif. Pour les élèves de la population C non seulement le tube digestif mais aussi les reins ne sont pas associés à la circulation sanguine.

Lorsqu'il est question du renouvellement du sang la majorité des élèves reconnaissent le rôle des poumons et des reins. Cependant la population C maintiennent que le tube digestif n'est pas impliqué dans ce processus.

La majorité des élèves des populations A, B et C n'attribuent pas au coeur un rôle dans le renouvellement du sang. Par ailleurs la majorité des élèves de la population C ne reconnaissent pas que le débit cardiaque puisse varier en fonction du retour veineux, de l'élasticité de la paroi du coeur ou de la paroi des vaisseaux.

Pour l'expert les organes sont approvisionnés directement grâce à un réseau vasculaire ramifié qui assure une distribution indépendante du sang aux organes. Au retour le sang qui quitte un organe rejoint un vaisseau collecteur qui ramène le sang directement au coeur.

La majorité des répondants représentent le système sanguin comme un réseau de distribution qui n'assure pas un approvisionnement sanguin indépendant aux organes. Le réseau assure plutôt une distribution de sang en cascades, l'organe le plus éloigné recevant le sang d'un organe qui le précède dans le réseau. Le retour du sang au coeur, pour majorité des élèves ne se fait pas directe-

ment. Le schéma le plus répandu illustre un réseau qui relie les organes entre eux dans un cycle qui part du coeur et revient au coeur.

Pour l'expert les mêmes produits de base alimentent tous les organes et le métabolisme cellulaire détermine l'apport sanguin. Les échanges entre le sang et les cellules se font selon les caractéristiques de perméabilité des membranes et obéissent aux lois de la diffusion et de l'osmose.

Plus de 75% des répondants estiment que les organes ne se nourrissent pas des mêmes produits et qu'ils reçoivent le sang selon l'importance de leur fonction. Les organes, estiment-ils, ont la capacité de choisir activement ce qu'ils absorbent à partir du sang.

Une majorité d'élèves estiment par ailleurs que le sang contient des débris d'usure provenant des organes. Les répondants considèrent que des différences fonctionnelles entre les organes sont reliées à des différences de composition chimique. Ils font intervenir des produits sanguins différents pour expliquer la diversité morphologique et fonctionnelle des organes. Ainsi chaque organe a des besoins spécifiques et choisit ce qui lui convient dans le sang.

Bien que la majorité des élèves estiment comme l'expert que les produits du sang et des organes puissent traverser la paroi des vaisseaux, une majorité des élèves des populations A, C, contrairement à l'expert, pensent que le sang est déversé dans l'organe.

4.4.2.2 *Sujets d'accord avec l'expert*

Tous les répondants associent le coeur et les vaisseaux sanguins à la circulation sanguine. Ils estiment très majoritairement que les vaisseaux sont ramifiés et forment un circuit qui relie le coeur aux organes et retourne le sang au coeur. Une majorité d'élèves reconnaît que le sang est renouvelé grâce aux poumons, aux reins et au tube digestif, et que le cerveau a un rôle à jouer dans le contrôle de la circulation.

Un très fort pourcentage des élèves décrivent la composition du sang et des organes en accord avec l'expert : oxygène, nutriments, gaz carbonique et cellules.

Presque tous les répondants reconnaissent que la paroi du coeur peut se contracter, qu'elle forme des cavités remplies de sang, qu'elle peut s'étirer et qu'elle contient de petits vaisseaux sanguins.

Un très fort pourcentage des répondants croient aussi que la fréquence cardiaque, la force de contraction et finalement le volume d'éjection peuvent varier. Les répondants estiment très majoritairement que l'organe transforme les nutriments obtenus du sang pour sa construction et la production d'énergie. L'organe absorbe les nutriments sanguins à travers la paroi des vaisseaux, redonne au sang les déchets produits et peut accumuler des nutriments.

4.4.2.3 *Caractéristiques de l'écart avec l'expert*

Certains éléments de convergence se réfèrent à des connaissances qui ne sont plus réservées au seul expert. Le sang, le coeur et les vaisseaux sanguins sont associés à la circulation sanguine sans doute par un peu tout le monde.

La convergence la plus marquée concerne la fonction cardiaque. Le coeur est perçu comme un organe vital, responsable du déplacement du sang et donc de la vie du corps. On lui accorde toutes les vertus y compris certaines qu'il n'a pas.

D'autres éléments de convergence touchent les activités quotidiennes que les répondants associent au rôle nutritif du sang. C'est le cas pour les poumons responsables de l'oxygénation et des reins responsables de la production d'urine.

L'accord avec l'expert est élevé lorsque la question porte sur la description de structures et de rôles d'organes familiers. Les questions qui associent un organe connu à une action ou à une propriété sont généralement bien réussies,

dans la mesure où elles sont reliées au rôle nutritif du sang. C'est le cas pour les questions qui touchent le cœur, le sang, les vaisseaux et les organes.

On peut retenir que

L'accord est moins élevé lorsque des processus sont mis en cause. Par exemple, le renouvellement du sang, la relation entre le retour veineux, l'élasticité des parois et le débit cardiaque.

Le désaccord avec l'expert dans le premier niveau porte sur l'infrastructure du réseau de distribution de sang, la nature des besoins nutritifs et les processus métaboliques et les mécanismes d'absorption des nutriments.

4.4.3 Analyse de l'écart avec l'expert dans le deuxième niveau de formulation didactique

Dans le second niveau de formulation (Tableaux XLIIa,b), le désaccord avec l'expert touche certains aspects de la relation entre la circulation et la résistance vasculaire, le niveau de la pression dans le système sanguin et la relation entre la pression et le débit de sang.

Niveau II	Accord > 75%	Accord > 50%	Désaccord > 50%	Désaccord > 75%
Besoins métaboliques et vasodilatation				
Les besoins augmentent alors la dilatation augmente	A	BCT		
L'ouverture des vaisseaux change localement avec l'activité	A T	B C		
Effet de la vasodilatation locale sur le système circulatoire				
Facilite la circulation locale	A CT	B		
Se répercute en aval, au delà du point de vasodilatation			* A B C	* T
Se répercute en amont du point de vasodilatation			* A * B C	* T
L'activité physique (course)				
augmente la vitesse du sang	ACT	B		
augmente la quantité du sang	ACT	B		

Légende:

T = population entière ; A,B et C = sous-populations
 * = moins de 50% des répondants sont d'accord.

Tableau XLIIa: Accord et désaccord des élèves au niveau II

Niveau II	Accord > 75%	Accord > 50%	Désaccord > 50%	Désaccord > 75%
La pression dans le système				
est plus forte entre le coeur et l'organe	A	CT	* B	
n'est pas la même partout		ACT	B	
n'augmente pas à proximité de l'organe	C	AB T		
diminue après les petits vaisseaux		ABCT		
La pression en circuit fermé				
Une vasoconstriction fait augmenter la pression partout			C	AB T
Une vasodilatation fait diminuer la pression partout			C	AB T
La pression et le déplacement du sang				
La différence de pression donne la direction du déplacement	ABC T			
Le niveau élevé de la pression ne détermine pas le déplacement d'un plus grand volume de sang		C	* A B * T	
La différence de pression détermine le volume de sang déplacé		C	AB T	

Légende:

T = population entière ; A, B et C = sous-populations
 * = moins de 50% des répondants sont d'accord.

Tableau XLIIb: Accord et désaccord des élèves au niveau II

4.4.3.1 *Sujets de désaccord avec l'expert*

Au deuxième niveau, le désaccord des élèves avec l'expert porte sur l'effet de la vasodilatation locale sur la dynamique circulatoire, le niveau de la pression sanguine, l'effet d'une variation de la résistance sur la pression et la relation entre la pression et le déplacement du sang.

La majorité des élèves de la population A et B n'ont pas fait un choix qui indique leur accord avec l'expert. Contrairement à l'expert, les élèves ne considèrent pas que la vasodilatation locale ait un effet sur la pression ailleurs qu'au point de dilatation.

La majorité des élèves de la population B estiment, contrairement à l'expert, que la pression est la même partout dans le circuit sanguin.

Selon l'expert, une vasoconstriction ou une vasodilatation dans un circuit fermé aura un effet partout dans le système sur la pression. Elle augmentera lors d'une vasoconstriction et diminuera lors d'une vasodilatation.

Un fort pourcentage des répondants estiment que dans un circuit fermé l'effet sur la pression se limite aux régions situées à proximité du point où survient la constriction ou la dilatation.

Les répondants expriment une conception qui diffère de l'expert par la réduction d'une situation qui affecte l'ensemble de la dynamique du système, à un événement isolé de portée limitée. Ils ne conçoivent pas que la variation du diamètre des vaisseaux localement affecte la pression dans tout le système et que cette situation nécessite une compensation vasculaire et cardiaque.

Selon l'expert, c'est la différence de pression dans un vaisseau qui détermine la quantité de sang déplacé. La majorité des élèves des populations A et B expriment leur désaccord avec l'expert sur ce point. Une majorité d'élèves de la population B et près de la moitié des élèves de la population A estiment au contraire que le niveau de la pression détermine la quantité de sang déplacé.

Les répondants associent la pression au volume de sang. Ils ne peuvent concevoir que le volume de sang qui se déplace n'est pas nécessairement le volume de sang contenu dans le vaisseau. Ils conçoivent que le sang dans un vaisseau se déplace à cause de l'action du coeur et si la pression est plus forte dans un vaisseau c'est que le coeur en aura envoyé un plus fort volume.

4.4.3.2 *Sujets d'accord avec l'expert*

La majorité des répondants conçoivent qu'une vasodilatation permette à un plus fort volume de sang de circuler. Ainsi lorsque les besoins métaboliques augmentent, il faut plus de sang et les vaisseaux sont dilatés. On associe l'augmentation de l'activité physique à la vasodilatation, l'augmentation de la vitesse et de la quantité de sang apportée aux organes.

La majorité des élèves des populations A et C estiment comme l'expert que la pression sanguine est plus forte entre le coeur et les organes qu'ailleurs dans le système.

Un fort pourcentage de tous les répondants estiment que la différence de pression entre deux points dans un vaisseau détermine le sens du déplacement du sang. Plus de la moitié des élèves de la population C estiment comme l'expert, que la différence de pression détermine le déplacement du sang dans le circuit.

4.4.3.3 *Caractéristiques de l'écart avec l'expert*

L'accord avec l'expert se situe au niveau de la relation entre l'augmentation du besoin local de consommation et l'augmentation de l'approvisionnement. Il se situe également au niveau de la reconnaissance d'une relation entre une différence de pression et le sens du déplacement du sang.

On peut retenir que

Le désaccord avec l'expert, concerne la dynamique du flux sanguin, la relation entre la variation du diamètre des vaisseaux et la pression sanguine.
--

4.4.4 Analyse de l'écart avec l'expert dans le troisième niveau de formulation didactique

Dans le troisième niveau de formulation didactique (Tableaux XLIIIa,b,c), le désaccord des élèves porte sur certains aspects touchant le processus du contrôle de la circulation sanguine dans le cas d'une activité physique, d'une variation de la résistance vasculaire et d'une réduction du volume sanguin.

Niveau III	Accord > 75%	Accord > 50%	Désaccord > 50%	Désaccord > 75%
La course et le contrôle				
Le cerveau détecte les besoins			C	AB T
Le coeur détecte les besoins et pompe			A * B CT	
Vasodilatation aux jambes et vasoconstriction ailleurs		ABCT		
Les muscles attirent le sang			ABCT	
Les mouvements respiratoires accélèrent le coeur				ABCT
Le sang se déplace selon les besoins			AT * B * C	
Les organes de décision (contrôle)				
Le cerveau		ABCT		
pas le coeur		B	ACT	
pas chaque organe		B	ACT	
pas le sang		ABCT		

Légende:

T = population entière ; A,B et C = sous-populations
* = moins de 50% des répondants sont d'accord.

Tableau XLIIIa: Accord et désaccord des élèves au niveau III

Niveau III	Accord > 75%	Accord > 50%	Désaccord > 50%	Désaccord > 75%
Réponse à une vasodilatation locale				
Le coeur répond à la demande accrue, il pompe plus	ABCT			
Il y a vasoconstriction ailleurs dans le système.			* A * B C * T	
Réponse à une hémorragie				
Le coeur ne peut augmenter la circulation locale pour favoriser la réparation		B	* A * C * T	
Le coeur ne peut réduire la circulation locale pour réduire la perte de sang.		C	* A * B * T	
Il y a vasoconstriction locale	ABCT			
Le coeur augmente son pompage, la compensation est systémique	ABCT			
Tous les organes sont affectés	ABCT			

Légende:

T = population entière ; A,B et C = sous-populations
* = moins de 50% des répondants sont d'accord.

Tableau XLIIIb: Accord et désaccord des élèves au niveau III.

Niveau III	Accord > 75%	Accord > 50%	Désaccord > 50%	Désaccord > 75%
Les phénomènes associés à la circulation				
Évanouissement	ABCT			
Rougisement du visage	ABCT			
Insolation (coup de soleil)	C AB T			
Transpiration	* A * B C * T			
Prise de médicaments	ABCT			

Légende:

T = population entière ; A,B et C = sous-populations
* = moins de 50% des répondants sont d'accord.

Tableau XLIIIc: Accord et désaccord des élèves au niveau III.

4.4.4.1 Sujets de désaccord avec l'expert

Au troisième niveau de formulation le désaccord avec l'expert touche le rôle de récepteur du cerveau, l'absence d'une réaction systémique à une vasodilatation locale et le rôle du coeur dans le contrôle d'une perte de sang.

Selon l'expert, le cerveau joue le rôle de centre nerveux et non de récepteur nerveux. Le coeur et les muscles de la paroi des vaisseaux agissent comme effecteur du système de contrôle qui permet une redistribution du sang. Les muscles respiratoires stimulés accélèrent la ventilation pulmonaire, sans agir sur la fréquence cardiaque.

Pour la grande majorité des répondants le cerveau, contrairement à ce que pense l'expert, est en mesure de détecter les besoins nutritifs des jambes lors d'une course.

La majorité des élèves des populations A et C estiment que le coeur peut aussi détecter le besoin de sang aux jambes et réagir en augmentant son activité de pompage.

Une majorité des élèves des populations A, C pensent également que le coeur agit comme centre de contrôle de la circulation. Pour ces élèves, chaque organe a cette capacité de contrôler la circulation. Une majorité des élèves des populations A, considèrent même que le sang peut réagir et se déplacer selon les besoins des organes.

La majorité des élèves estiment que les muscles des jambes attirent le sang et une majorité encore plus grande pensent que les mouvements respiratoires accélèrent les battements du coeur. Pour l'expert, une vasodilatation locale entraîne une réaction compensatoire provenant d'une vasoconstriction ailleurs dans le système et éventuellement une augmentation de l'activité cardiaque.

Une majorité d'élèves des populations C présentent un désaccord avec l'expert au sujet d'une vasoconstriction compensatoire. Les élèves de la population B manifestent le même type de désaccord.

Selon l'expert, le coeur ne contrôle pas la circulation et son rôle d'effecteur ne lui permet pas de modifier la circulation locale d'un organe spécifique, le rôle de la distribution appartient aux vaisseaux sanguins à résistance variable. Les élèves de la population A affichent un désaccord implicite avec l'expert au sujet de la capacité du coeur de régir la distribution du sang dans un cas d'hémorragie. La grande majorité des élèves ne reconnaissent pas également une relation entre un coup de soleil et la circulation sanguine. Selon l'expert, l'exposition prolongée au soleil provoque une irritation et une réaction inflammatoire associée à la circulation sanguine.

4.4.4.2 *Sujets d'accord avec l'expert*

La grande majorité des répondants reconnaissent que le cerveau agit comme centre décisionnel pour la circulation sanguine, un rôle qu'ils ne reconnaissent pas au sang. Les répondants reconnaissent que la stimulation motrice provient d'un centre nerveux et non du sang lui-même.

La presque totalité des élèves reconnaissent également la relation de l'évanouissement et du rougissement du visage avec la circulation sanguine.

Une majorité des élèves estiment que lors d'une course, il y a redistribution du sang au profit des jambes par une vasodilatation à ce niveau et une vasoconstriction ailleurs dans le système.

Dans le cas d'une hémorragie, la majorité des élèves considèrent que la perte de sang affecte l'ensemble des organes. La majorité des élèves estiment qu'il y a une vasoconstriction locale qui réduit la perte de sang.

4.4.4.3 *Caractéristiques de l'écart avec l'expert.*

Les répondants associent la circulation à des phénomènes familiers soit l'exercice physique, l'évanouissement et le rougissement du visage dû à l'émotion qu'ils associent à des changements de la dynamique circulatoire. Dans chacune de ces situations les changements sont perceptibles : battements cardiaques, fréquence respiratoire, coloration de la peau, transpiration.

Les répondants ont une conception du contrôle de la circulation qui diffère de celle des experts parce qu'ils accordent aux organes une extension de leur propriétés. Ils ne reconnaissent pas la nécessité pour un organe de posséder une structure spécialisée afin de jouer un rôle particulier au niveau d'un processus de contrôle.

Bien qu'ils accordent au cerveau un rôle décisionnel, on retrouve une domination de la conception selon laquelle le besoin local d'un organe

entraîne une prise de conscience à tous les niveaux et commande l'adaptation de la circulation.

Dans le cas de l'exercice physique le besoin d'oxygène fait que la respiration s'accélère et entraîne le coeur, alors que les muscles attirent le sang bien oxygéné. Dans le cas de l'hémorragie, le contrôle repose sur le coeur à qui on accorde la possibilité de gérer la distribution de sang localement.

Cette conception fait intervenir directement les organes que l'on juge concernés par le problème posé. On ne distingue pas le récepteur, du contrôleur, de l'effecteur. Le désaccord avec l'expert apparaît dans la nécessité d'intégrer des organes autres que le coeur, le sang et les vaisseaux à la circulation. La divergence se manifeste également par une vision de la dynamique basée sur les événements isolés et locaux sans répercussions systémiques. Cette vision mène à la hiérarchisation selon laquelle certains organes sont privilégiés.

On peut retenir que

La divergence se manifeste au niveau des mécanismes de maintien de l'homéostasie. Elle se manifeste aussi par l'extension des propriétés de certains organes importants plutôt que la reconnaissance d'une spécialisation des fonctions limitée par la structure de chaque organe.

4.5 PATRONS DE RÉPONSES DES POPULATIONS A,B ET C

Nous présentons maintenant une synthèse des patrons de réponses de chacune des trois populations en fonction de l'expert, et en les comparant à la population entière. Nous examinerons également les différences d'opinion des sous-groupes dans la population A et B.

Premier niveau

Examinons d'abord les patrons de réponses du premier niveau de formulation (Tableau XLII).

La population C se distingue en montrant un désaccord avec l'expert là où les populations A et B affichent un accord sur certains sujets. Notons l'exclusion du tube digestif dans le renouvellement du sang et le désaccord quant à la variation du débit cardiaque et l'influence de l'élasticité du coeur et des vaisseaux. Soulignons également le désaccord de la population C et l'accord de la population A quant au rôle des vaisseaux dans la propulsion du sang.

La population C se démarque également en affichant un désaccord plus important que les deux autres populations notamment au sujet de l'organisation qui permet au réseau vasculaire de distribuer directement le sang aux organes.

La population C affiche aussi un accord moins important que les deux autres populations pour plusieurs sujets : la présence de gaz carbonique dans un organe, la variation du volume d'éjection du coeur et de sa force de contraction, la production de déchets toxiques et l'accumulation de nutriments, le passage des substances à travers la paroi des vaisseaux.

Les populations A et B obtiennent le même score pour le niveau I soit 71%. Nous observons cependant que dans certains cas, les populations A et B ne montrent pas le même niveau d'accord ou de désaccord avec l'expert.

La population A reconnaît de façon plus importante la vascularisation à l'intérieur des organes et la non participation du coeur au renouvellement sanguin.

La population B se distingue de la population A en incluant les poumons comme organe de la circulation au même titre que le coeur et les vaisseaux. Elle reconnaît également de façon plus nette que la quantité de sang distribuée aux organes n'est pas la même pour tous les organes.

Nous observons également que le désaccord avec l'expert s'exprime dans des proportions différentes sur certains sujets. Notons par exemple que la population A rejette de façon moins nette que la population B l'organisation qui permet au réseau vasculaire de distribuer directement le sang aux organes. En revanche elle juge de manière plus nette que le sang contient des débris d'usure.

Deuxième niveau

Au deuxième niveau (Tableau XLII), la population C se distingue en montrant un accord avec l'expert là où les populations A et B affichent un désaccord. C'est le cas notamment en ce qui concerne l'effet systémique d'une vasodilatation locale. Seule les répondants de la population C jugent, comme l'expert, qu'une vasodilatation locale a une répercussion en amont et en aval du point de dilatation. Il en est de même en ce qui concerne la relation entre le niveau élevé de la pression et le déplacement du sang. Seuls les répondants de la population C jugent comme l'expert qu'une pression élevée ne détermine pas le déplacement d'un plus grand volume de sang. Ils sont également les seuls à penser que c'est la différence de pression entre deux points qui détermine le volume de sang déplacé.

La population C se démarque de la population B en affichant un accord avec l'expert alors que B est en désaccord en ce qui concerne la pression dans le système. Les répondants de C jugent que la pression entre le coeur et les organes est plus élevée qu'ailleurs et n'est pas la même à l'aller et au retour.

La population C affiche un désaccord moins important que les populations A et B au sujet de la variation de pression partout dans le circuit fermé, lors d'une vasoconstriction ou une vasodilatation.

La population A affiche un accord très net avec l'expert alors que la population B est en désaccord au sujet de la pression dans le système. Les

répondants de A jugent que la pression entre le coeur et les organes est plus élevée qu'ailleurs.

La population A affiche un accord plus important que la population B en ce qui concerne la relation entre l'activité de l'organe, l'augmentation des besoins, la vasodilatation, la quantité et la vitesse de sang.

Troisième niveau

Au troisième niveau (Tableau XLIII), la population A se distingue en montrant un désaccord avec l'expert là où les populations C et B affichent un accord. C'est le cas en ce qui concerne la non implication du coeur ou de chaque organe comme centre de contrôle de la circulation.

La population B affiche un accord avec l'expert alors que la population A montre un désaccord au sujet de la réponse à l'hémorragie : le coeur ne contrôle pas la circulation locale dans un organe.

La majorité des répondants de la population C montrent une concordance avec l'expert en considérant que chaque organe n'agit pas comme centre décisionnel dans le contrôle de la circulation. La majorité de l'échantillon est en désaccord avec l'expert sur ce point. La majorité des répondants de la population C montrent une concordance avec l'expert en considérant que le coeur ne peut réduire la circulation locale pour réduire la perte de sang d'un organe. Moins de la moitié de l'échantillon s'accorde avec l'expert sur ce sujet.

CHAPITRE 5 : DISCUSSION

Dans ce chapitre nous discuterons de la reconnaissance par les experts des niveaux de formulation didactique que nous avons définis dans le domaine de la circulation sanguine. Nous caractériserons l'écart conceptuel des élèves avec l'expert en fonction des niveaux de formulation didactique de la circulation sanguine. Nous comparerons nos résultats aux écrits recensés sur les conceptions. Finalement nous discuterons de l'évolution de la conception à travers l'histoire et explorerons les conséquences sur l'apprentissage.

5.1 LA RECONNAISSANCE PAR LES EXPERTS DE NIVEAUX DE FORMULATION DIDACTIQUE DE LA CIRCULATION SANGUINE, POUR L'ORDRE COLLÉGIAL

La définition des niveaux de formulation didactique de la circulation sanguine pour l'ordre collégial constitue un outil didactique important. Ces niveaux de formulation peuvent servir d'objectif d'apprentissage et aussi de cadre de référence permettant de situer les conceptions des élèves.

Selon De Vecchi et Giordan (1990) les niveaux de formulation sont des étapes décisives de construction du savoir. Il nous paraît nécessaire de les définir dans un contexte d'apprentissage de concepts scientifiques puisqu'ils expriment ce vers quoi les conceptions des élèves doivent évoluer.

La reconnaissance de ces niveaux de formulation a été faite auprès d'un groupe de professeurs, mais ce groupe était très réduit. Nous n'avons pas entrepris une démarche de validation de ces niveaux de formulation puisque là n'était pas notre but. Pour notre recherche nous avons voulu consulter les professeurs afin de définir un cadre didactique de référence qui puisse nous aider à étudier les conceptions des élèves.

Nous avons produit un document synthèse à partir des ouvrages de références utilisés par les professeurs, un document qui proposait trois niveaux de formulation. Par la suite nous avons mené des entrevues au cours desquelles aucun des participants n'a remis en question notre analyse. Les modifications apportées au document original touchaient uniquement les énoncés qui décrivent le contenu conceptuel des niveaux. Nous avons construit une carte conceptuelle de chacun des

niveaux de formulation didactique (Appendice III). Les niveaux de formulation didactique que nous avons définis nous paraissent donc un indicateur valable dans le contexte de notre étude. Par ailleurs, il serait intéressant et souhaitable de les valider auprès d'un échantillon plus important de professeurs.

5.2 LE QUESTIONNAIRE

Nous discuterons des paramètres susceptibles d'influencer les réponses fournies par les élèves de notre population.

5.2.1 Cueillette des données

Lorsque les élèves sont en classe et que leur professeur distribue un questionnaire, ils pensent automatiquement à un examen. Dans un tel contexte, pour chaque question il existe une bonne réponse qu'il faut trouver. De plus cet exercice est sanctionné par une note.

Le questionnaire que nous avons distribué aux élèves comporte des questions, bien sûr, mais il importait que le répondant comprenne que le contexte était totalement différent. Pour renforcer cette réalité et souligner l'importance que nous accordions à la spontanéité des réponses nous avons procédé différemment.

Les modalités de distribution du questionnaire aux répondants prévoyaient que chaque élève réponde aux questions en dehors de la salle de classe et qu'ensuite il le rapporte à son professeur. Le questionnaire n'était pas signé, l'élève pouvait accepter ou non de répondre. Dans ces conditions, ceux qui ont choisi de le faire ont pu répondre librement et spontanément. De plus les répondants ont bénéficié d'un temps de réflexion ce qui croyons-nous a pu les inciter à répondre plus consciencieusement. Toutefois le fait de disposer de plus de temps a pu permettre aux répondants de consulter l'ensemble du questionnaire afin de rendre leurs réponses plus cohérentes, ce qui aurait réduit leur spontanéité.

Nous n'ignorons pas qu'en procédant de cette façon nous ne pouvons être certains que chaque élève a respecté scrupuleusement les consignes et a répondu seul. On ne peut exclure la possibilité que certains aient pu consulter un collègue, un personne ressource ou un ouvrage de biologie. Un tel comportement

des répondants aurait été généralisé si l'enjeu avait été de trouver la bonne réponse à chacune des questions. Les consignes au début du questionnaire mettaient l'accent sur la valeur de la spontanéité et nous n'avons aucun indice qui nous permet de croire qu'il en a été autrement.

Nous croyons possible cependant que certains élèves aient comparé leurs réponses et en aient discuté entre copains en affirmant leurs convictions ou en les modifiant au profit de celles d'un ami. On ne peut ignorer que les élèves qui participent à une recherche veulent souvent trop bien faire. Il est possible, surtout pour les questions plus difficiles des niveaux II et III que des discussions aient eu lieu entre les répondants.

5.2.2 Questions et réponses

Selon Blais, la qualité des questions repose sur trois critères : «La clarté qui assure la compréhension ; la pertinence qui renvoie à la capacité des informateurs de répondre; la neutralité qui favorise des réponses authentiques» (Gauthier, 1992, p 383).

Au moment de l'évaluation du test pilote les répondants n'ont pas signalé de problème touchant la compréhension sémantique, l'ordre des questions ou la longueur du questionnaire. Ils ont identifié certaines questions où il était plus difficile de répondre. Cette difficulté pour certains était associée à la rédaction d'une explication de leur choix mais plusieurs ont souligné leur inconfort au moment de répondre aux questions sur la pression sanguine, le déplacement du sang et le contrôle de la circulation. Nous avons abordé ces thèmes en privilégiant des mises en situation susceptibles de révéler les conceptions générales de la dynamique et de la régulation de la circulation sanguine.

Ces sujets mettent à l'épreuve la capacité des informateurs à répondre et posent le problème de la pertinence des questions pour certains élèves. Puisque ces questions sont associées aux niveaux II et III les réponses fournies ont pu être biaisées. La difficulté des questions peut amener le répondant à fuir vers le choix «Ne sais pas». Nos résultats indiquent en effet que le pourcentage de «Ne sais pas» est plus élevé pour les questions que les élèves ont jugées plus difficiles.

Ces questions plus difficiles se retrouvent à la fin du questionnaire et nous croyons que cela a pu contribuer également à augmenter la fréquence du choix «Ne sais pas».

5.2.3 Traitement des données

Avant de débiter le traitement des données, nous avons choisi d'éliminer les questionnaires qui ne comportaient pas de réponse à la question 5. Nous avons fait ce choix à cause de l'importance pour notre analyse d'obtenir la vision globale des répondants touchant l'organisation du système circulatoire. Nous avons voulu obtenir la construction d'un schéma simple afin de le comparer aux réponses fournies à d'autres questions sur le sujet. Nous avons éliminé 66 questionnaires, 8,5% des questionnaires recueillis.

5.3 LES CARACTÉRISTIQUES DE L'ÉCART CONCEPTUEL DES ÉLÈVES

Nos résultats indiquent une variation de l'écart entre les élèves et l'expert en fonction des niveaux de formulation. Nous discuterons ces résultats afin d'identifier les caractéristiques générales des éléments où il y a accord ou désaccord avec l'expert.

5.3.1 Niveau I

Pour l'ensemble de notre échantillon, on retrouve une proportion de répondants en accord avec l'expert qui se situe au-dessus de 70%, la population C affiche un score un peu plus faible à 63%, ce qui demeure relativement élevé.

Nous observons un niveau d'accord fort élevé lorsque les questions portent sur la description des structures (coeur, sang, vaisseaux, organes), sur le rôle de propulsion du coeur et sur les énoncés qui concernent les fonctions nutritives du sang (poumons, reins).

Le désaccord apparaît lorsque les énoncés concernent les relations avec le tube digestif et la peau, ce qui exclue la reconnaissance d'une relation entre les mécanismes d'absorption intestinale et de thermorégulation et la circulation

sanguine. Le désaccord porte aussi sur l'organisation du système circulatoire perçu comme un circuit qui relie les organes entre eux.

Le désaccord concerne également la relation entre la fonction d'un organe, les processus d'échanges nutriments-déchets métaboliques, et les niveaux d'organisation cellulaire et tissulaire.

5.3.2 Niveau II

Nous devons noter au départ que le niveau de formulation II porte sur l'aspect dynamique de l'ensemble du système circulatoire. Le second niveau concerne les relations dynamiques entre le coeur, le sang et les vaisseaux

Pour l'ensemble de notre échantillon, on retrouve une proportion de répondants en accord avec l'expert qui se situe près de 50%. La population C affiche le score le plus élevé à 66%, alors que la population A se situe à 59% et la population B à 45%.

L'accord avec l'expert est à son niveau le plus élevé lorsqu'on isole un événement et qu'on demande à l'élève de prévoir l'effet d'une variable sur cet événement. Par exemple, les élèves prévoient facilement qu'une vasodilatation locale facilitera l'entrée de sang dans un organe. C'est le cas également lorsque la dynamique d'un phénomène entraîne un ensemble d'ajustements qui vont tous dans le même sens. Par exemple, lors d'une course, tous les ajustements circulatoires vont dans le sens de l'augmentation : la consommation d'O₂, la ventilation, la fréquence cardiaque, le débit cardiaque, la dilatation des vaisseaux.

Le désaccord avec l'expert devient plus fort à mesure que la dynamique touche l'ensemble du système et fait intervenir plusieurs variables : l'interaction entre la résistance vasculaire, la pression et le débit sanguin.

Les élèves de la population C se distinguent des populations A et B en affichant un accord avec l'expert lorsqu'il est question des répercussions dans le système d'un déséquilibre survenu localement et lorsqu'ils associent le déplacement du sang à une différence de pression.

Par ailleurs les élèves de la population B affichent un désaccord particulier avec l'expert lorsqu'ils jugent majoritairement que la pression dans le système est partout la même.

5.3.3 Niveau III

Nous devons noter au départ que le niveau de formulation III porte sur la dynamique et la régulation de l'ensemble du système circulatoire. Le second niveau concerne les relations dynamiques entre le coeur, le sang et les vaisseaux alors que le troisième niveau se penche sur le contrôle de cette dynamique dans le contexte de l'homéostasie.

Dans l'ensemble de notre échantillon, 50% des répondants sont en accord avec l'expert sur les sujets du troisième niveau de formulation. Dans les populations B et C le niveau de l'accord est identique, soit 54%, alors qu'il se retrouve à 45% pour la population A.

L'accord avec l'expert se limite à la reconnaissance du rôle du cerveau comme organe de décision et d'un lien entre certains phénomènes familiaux et la circulation sanguine. L'accord ne porte donc pas sur la dynamique qui caractérise le processus de contrôle.

Le désaccord avec l'expert porte sur le mécanisme de contrôle. Notons d'abord l'extension des fonctions du cerveau et du coeur à celles de récepteur; l'extension des fonctions ventilatoires à celles d'un effecteur impliqué dans l'activité cardiaque; l'extension des fonctions du coeur et de chaque organe à la fonction de centre de décision, ramenant le contrôle au niveau local. Le désaccord concerne ensuite la difficulté de reconnaître les vaisseaux en tant qu'effecteurs dans la distribution du sang, en réponse à une vasodilatation locale. Le désaccord porte donc sur le contrôle de la dynamique notamment en privilégiant une approche locale plutôt que systémique.

La population A se distingue par un désaccord particulier touchant l'extension des fonctions du coeur dans le contrôle de la circulation. Cette extension des fonctions inclut le rôle de récepteur et de centre de décision.

5.4 DISCUSSION SUR LES CONCEPTIONS EN FONCTION DES ÉCRITS.

Nous discuterons maintenant les conceptions touchant l'organisation du système circulatoire, les mécanismes des échanges sanguins, la nature des besoins métaboliques et le renouvellement des nutriments du sang. Nous comparerons le résultat de notre analyse aux écrits touchant les conceptions de la circulation sanguine.

5.4.1 Conceptions du premier niveau de formulation

Arnaudin et Mintzes (1985) soutiennent que certaines conceptions comme l'organisation du système circulatoire et la conception du coeur sont reliées. Ils rapportent que dans l'ensemble les répondants conçoivent que le coeur agit comme une pompe mais non comme une double pompe. Le coeur doit être vu comme une double pompe pour que le système circulatoire puisse être représenté comme un circuit pulmonaire et systémique. Entre 7 et 15 % des répondants du primaire, secondaire et collégial souscrivent à la conception d'une double circulation, pulmonaire et systémique.

Nos résultats révèlent que 28% des répondants de notre échantillon souscrivent à la conception d'une double circulation : pulmonaire et systémique. Ils souscrivent à l'existence d'un circuit coeur-poumons-coeur et d'un circuit coeur-organes systémiques-coeur. Ces résultats plus élevés concernent une population d'élèves du collégial alors que ceux d'Arnaudin et Mintzes (1985) touchent également des élèves du primaire et du secondaire.

Arnaudin et Mintzes (1985) soulignent à juste titre qu'il y a une relation entre la conception du coeur comme une double pompe et la conception d'une double circulation. Ils précisent que « most students conceive the heart as a *single* rather than a double pump » (p 726). Il s'ensuit que pour la majorité des élèves, il n'y a qu'un seul circuit.

Selon Arnaudin et Minzes (1985), la majorité des élèves qui incluent une circulation pulmonaire dans le circuit sanguin, principalement des étudiants de l'ordre collégial, placent les poumons entre le coeur et tout autre organe, soit à

l'aller ou au retour du parcours sanguin. «Blood was most often thought to traverse the lungs enroute to or from a body part other than the heart» (Arnaudin et Mintzes, 1985, p 726).

Selon notre analyse cette opinion ne correspond pas à la reconnaissance par les élèves d'une circulation pulmonaire et d'une circulation systémique. Il n'y a en fait qu'un seul circuit, le passage du sang dans les poumons se faisant soit à l'aller soit au retour, en début ou en fin de parcours. Nous voyons là plutôt une conception selon laquelle le sang en quittant un organe continue son chemin vers un autre organe et parcourt ainsi de façon linéaire le circuit sanguin avant de revenir au coeur. C'est un circuit de type séquentiel.

En fait Arnaudin et Mintzes (1985) ont décrit une conception de la circulation pulmonaire où il n'existe pas de circuit pulmonaire mais plutôt une étape pulmonaire dans un circuit systémique unique.

Nos résultats révèlent qu'environ 20% des répondants conçoivent un circuit sanguin pulmonaire du type séquentiel. Plus de 50% des élèves imaginent un circuit systémique séquentiel selon lequel le sang quitte le coeur et circule d'un organe à un autre en séquence avant de revenir au coeur. Globalement la circulation sanguine est organisée en série plutôt qu'en parallèle.

Arnaudin et Mintzes (1985) soulignent également que pour l'ensemble des répondants, y compris ceux de l'ordre collégial, le circuit sanguin n'est pas conçu comme un système où le sang demeure dans les capillaires sanguins. Les résultats de cette étude suggèrent que 80 % des élèves ont adopté l'une ou l'autre des conceptions suivantes : le sang sort des capillaires, le sang quitte les capillaires et se rend à l'intérieur des cellules, une partie du sang quitte les capillaires et baigne les cellules. Les deux dernières conceptions sont les plus fréquentes chez les élèves lors de cette étude.

Nos résultats indiquent que la majorité des élèves conçoivent que la paroi des petits vaisseaux permet le passage de produits nutritifs et de déchets en relation avec le métabolisme d'un organe. Ainsi une partie du contenu des vaisseaux sanguins quitte les capillaires et baigne les cellules, une conception également identifiée par Arnaudin et Mintzes (1985).

Toutefois, la majorité des élèves estiment que ces échanges résultent d'une sélection active de produits dont la nature dépend de la fonction d'un organe. Les élèves adoptent une conception selon laquelle la sélection résulte d'un besoin spécifique déterminé par la fonction de l'organe. Les échanges ne se déroulent qu'en fonction d'une demande et n'impliquent pas de processus physico-chimiques.

Dans une recherche portant sur le concept de diffusion auprès de 300 élèves du secondaire et du collégial, Westbrooke et Marek (1991) rapportent qu'aucun des élèves interrogés ne présentent une compréhension acceptable de la diffusion.

Friedler, Amir et Tamir (1987) ont procédé à une étude exhaustive des conceptions de l'osmose. Leur recherche a été menée auprès de 500 élèves du niveau secondaire. L'explication la plus fréquente fournie pour l'osmose implique le désir et la pulsion d'égaliser les concentrations. Un facteur externe doit intervenir.

Les travaux antérieurs sur la diffusion et l'osmose indiquent la très grande difficulté qu'ont les élèves de concevoir que ces mécanismes soient impliqués dans les échanges. Les élèves adoptent plutôt une conception de tri (Giordan et Martinand, 1987) selon laquelle l'organe prend ce qui lui faut et laisse le reste dans le sang.

Nos résultats indiquent que la grande majorité des élèves considèrent que les organes ont des besoins spécifiques. La fonction détermine des besoins nutritifs spécifiques. Près de 80% des répondants estiment qu'il est probable ou très probable que les organes choisissent activement ce qu'ils absorbent. 75% des élèves de ce groupe ont jugé improbable ou très improbable que les organes se nourrissent tous des mêmes produits.

Selon notre analyse les élèves conçoivent que les besoins spécifiques d'un organe découlent de ses fonctions. Dans ce contexte les organes sont en mesure de choisir à partir du sang les éléments nutritifs qui correspondent à ces besoins.

Les élèves semblent établir un lien entre la fonction de l'organe et l'extraction des éléments nutritifs du sang, responsables de sa composition. L'organe, pour remplir une fonction déterminée, doit posséder une structure chimique particulière, ce qui l'amène à choisir dans le sang ce qui lui est nécessaire. Il s'agit en fait d'une relation structure-fonction impliquant des composés chimiques plutôt que des cellules spécialisées.

La relation entre une structure macroscopique et ses composantes a fait l'objet de recherches. Hesse et Anderson (1992) ont complété une étude où ils concluent que certains élèves attribuent aux atomes et molécules des propriétés macroscopiques comme l'état de la matière ou la couleur.

Nous prétendons que nos répondants affichent une conception semblable lorsqu'ils jugent très probable que la fonction d'un organe détermine ses besoins nutritifs et très improbable que les organes se nourrissent tous des mêmes produits. Les propriétés macroscopiques des organes et leurs fonctions sont très variées, leurs besoins nutritifs doivent être en accord avec les caractéristiques spécifiques à chacun des organes.

Patel, Kaufman et Magder (1991) dans une étude menée auprès d'étudiants en médecine rapportent que les étudiants affichent «a difficulty in relating across different levels of granularity: cellular to organ to patient» (p 171).

Nous prétendons que chez nos répondants la relation entre la fonction d'un organe et ses besoins nutritifs ne fait pas intervenir le niveau cellulaire. Les élèves reconnaissent la différenciation des organes sans concevoir qu'elle résulte d'une différenciation cellulaire. Ils ne conçoivent pas qu'en regroupant des cellules spécialisées en tissus et qu'en associant ces tissus on obtient un organe spécialisé capable de fonctions spécifiques.

Songer et Mintzes (1994) estiment que les élèves ne cherchent pas à expliquer les phénomènes macroscopiques qui se déroulent au niveau de l'organisme en utilisant des mécanismes du niveau cellulaire. C'est le cas notamment pour les l'utilisation de nourriture et les échanges gazeux. Les auteurs (Arnaudin et Mintzes, 1985; Feltovich, Spiro et Coulson, 1988) soulignent la

difficulté de relier les phénomènes qui se déroulent au niveau cellulaire, microscopique et le fonctionnement d'un organe, au niveau macroscopique.

Par ailleurs, Stavy, Eisen et Yaakobi (1987) rapportent que les élèves ne conçoivent pas le corps humain comme un système de transformations chimiques. Les élèves associent l'O₂ à un besoin vital puisqu'ils ne peuvent cesser de respirer, sans comprendre son utilisation.

Dans une étude sur la cellule menée auprès d'élèves du secondaire, Dreyfus et Jungwirth (1988) rapportent que la majorité des élèves ne savent pas ce que signifie «the cell is the basic unit of the living body» et «the selectivity of the cell membrane». Les élèves qui ont participé à cette étude utilisent, semble-t-il, la même conception que nos répondants pour expliquer la sélection d'éléments nutritifs.

«The cell membrane... is selective in the sense that it recognizes the materials which must penetrate and rejects the others...the cell takes only those molecules which it needs.» (Dreyfus et Jungwirth, 1988, p. 227)

Cette conception du tri a également été identifiée par Giordan et Martinand (1987) dans une étude sur l'exploration des conceptions de la respiration. Les élèves jugent qu'au niveau pulmonaire, l'oxygène dont l'organisme a besoin passe dans le sang alors que le gaz carbonique reste dans les poumons et est rejeté vers l'extérieur.

Nos résultats indiquent que 40% des élèves de notre échantillon ne conçoivent pas que le tube digestif puisse intervenir dans le renouvellement du sang, bien que 95% des élèves considèrent que le sang contienne des produits nutritifs. Ces résultats suggèrent que ces élèves ne relient pas le processus digestif à la présence de nutriments dans le sang. Cette séparation entre la digestion et la circulation chez certains élèves a été remarquée par Songer et Mintzes (1994).

Songer et Mintzes (1994) soulignent que certains élèves ne conçoivent pas le transport de la nourriture digérée jusqu'aux cellules par la voie sanguine. Un élève a déclaré que : « glucose comes from the food we eat but I don't know how it gets to the cells after it is digested ». Un autre élève interrogé sur le

transport de nourriture a répondu : «the blood stream doesn't deliver glucose to the cells. That's only for oxygen.»

Nos résultats et ceux de Arnaudin et Mintzes (1985) indiquent que les élèves conçoivent que le sang transporte de l'oxygène et des nutriments. Nous estimons toutefois qu'il s'agit là d'une conviction issue du besoin de satisfaire une exigence vitale plutôt que de la reconnaissance du rôle des cellules sanguines et du plasma dans le transport. Arnaudin et Mintzes (1985) rapportent que des élèves du collégial à qui ils ont demandé : «What would be left in a container of blood if the cells were removed?», ont répondu majoritairement : « Nothing would remain» (p 724). Ces auteurs concluent que les élèves considèrent le sang comme un ensemble de cellules rouges, sans plasma.

Nous avons noté que 75% des élèves de notre échantillon attribuent au coeur un rôle dans le renouvellement du sang. Ce rôle, selon Songer et Mintzes (1994), consiste en une oxygénation du sang. Arnaudin et Mintzes (1985) rapportent qu'environ 25% des élèves du collégial considèrent que : «air tubes connect the lungs to the heart» (p 727). Songer et Mintzes (1994) rapportent que certains élèves considèrent que l'air est filtré au niveau des poumons et se rend au coeur et que l'oxygène sert de source d'énergie aux cellules du corps.

Les écrits recensés et nos propres résultats indiquent la difficulté qu'ont les élèves à concevoir la relation entre la composition du sang, sa fonction et le processus de renouvellement.

5.4.2 Conceptions du second niveau de formulation

Notre analyse nous a permis d'identifier des conceptions alternatives au sujet de la dynamique du circuit sanguin. Nous analyserons les résultats d'études antérieures portant sur les conceptions touchant la dynamique des circuits fermés.

Près de 80% des répondants sont d'avis que, dans un système fermé, la dilatation des vaisseaux d'un organe facilitera l'écoulement du sang à cet endroit. Cependant moins de 50% des élèves conçoivent que cette dilatation aura un effet à d'autres endroits dans le système. Dans le cas d'une vasoconstriction locale, la majorité des répondants adoptent une interprétation selon laquelle la pression

augmentera sur une courte distance en amont du point de constriction et diminuera sur une courte distance en aval de ce point.

Patel et al. (1992), dans une étude menée auprès d'étudiants de médecine, ont trouvé que les étudiants ne peuvent résoudre des problèmes physiopathologiques parce qu'ils ne conçoivent pas le système circulatoire et cardio-pulmonaire comme un système fermé.

«Students could not recognize that the effects in parts of the system are propagated throughout...which showed that students are incapable of treating the concepts of circulation as a closed system.» (Patel et al., 1992, p 180).

Les résultats de cette étude et les nôtres semblent indiquer que les élèves analysent la situation comme si le déséquilibre produit par la modification vasculaire locale avait une portée exclusivement locale. Les élèves semblent transposer le problème dans un contexte qui leur est familier, un contexte de déplacement linéaire dans un sens déterminé. Ils réduisent la dynamique à une suite d'étapes ponctuelles sans considérer l'effet de rétroaction au niveau systémique.

Les conceptions des élèves au sujet des circuits fermés ont également été étudiées dans le domaine de l'électricité. Eylon et Gabriel (1990) soulignent la difficulté qu'éprouvent les élèves de concevoir la dynamique du circuit électrique.

«The general idea that an electric circuit is an interactive system is not properly understood....They have difficulties in considering simultaneous changes in several variables, they adopt a local approach. They regard effects in a circuit as occurring in a sequential, directional manner, without feedback.» (Eylon et Gabriel, 1990, p 79-80)

Shipstone, Rhönechk, Jung, Dupin et Licht (1988) rapportent une conception faisant état de la difficulté pour les élèves de concevoir le circuit électrique comme un système fermé. Ils parlent également du «*local reasoning*» et du «*sequential reasoning*»

«Treating the battery as a supplier of constant current is just one example of a more general tendency of students to engage in local reasoning, focusing their

attention entirely upon what is happening at one point in a circuit completely ignoring whatever may be happening elsewhere.» (Shipstone et al., 1988, p. 310)

«Sequential reasoning is being employed by a student who analyses a circuit in terms of 'before' and 'after', believing that the current in a circuit is influenced by circuit elements such as resistors and lamps only when it comes to them and transmits information about these encounters only in the direction of flow.» (Shipstone et al., 1988, p. 311)

Nous retrouvons chez nos répondants des indices du «*local reasoning*» et «*sequential reasoning*» lorsque certains élèves, qui considèrent qu'une vasodilatation augmente le débit sanguin dans un organe, ne peuvent concevoir qu'il en résultera une chute de pression au niveau artériel (en amont et en aval de l'organe). Un autre exemple de cette conception de la dynamique circulatoire se retrouve dans la difficulté de concevoir la relation entre le retour du sang veineux au coeur et le débit cardiaque ou entre la résistance vasculaire et le débit cardiaque.

Nos résultats indiquent qu'environ 50% des répondants estiment qu'une augmentation de la pression, et non de la différence de pression, est responsable d'une augmentation du flux sanguin dans un vaisseau. La conception du «flux sanguin» pose un problème. Selon Spiro, Coulson, Feltovich, et Anderson (1988), les élèves confondent facilement le «flux sanguin» et le «volume sanguin».

«Such understanding requires the representation of a ratio of differences and poses substantial difficulty for students. A common student response is to represent rate of blood flow as blood volume.» (Spiro et al., 1988, p. 8)

Kaufman, Patel et Madger (1992) signalent une conception selon laquelle toute augmentation de pression amène une augmentation de volume et une augmentation du flux sanguin. Cette conception ne tient pas compte de la différence de pression mais uniquement de la valeur absolue de la pression. Une telle conception est généralement reliée à une autre conception selon laquelle le coeur détermine seul le flux sanguin, les veines offrant une voie passive de retour du sang au coeur. «There is a tendency in understanding cardiovascular system to eschew dynamic interpretations in favor of a more static view» (Spiro et al., 1988, p. 9)

Nous observons que 40% des répondants considèrent que la pression sanguine est la même partout dans le circuit. À la lumière des résultats nous pouvons penser qu'il existe chez les élèves de notre échantillon une conception selon laquelle le volume de sang détermine seul la pression et que la quantité de sang déplacé est la quantité que contient le vaisseau. Ces élèves semblent penser que si le volume de sang pompé par le coeur est le même volume qui retourne au coeur alors la pression ne devrait pas varier. Les vaisseaux sont perçus comme des contenants élastiques qui peuvent accommoder une quantité plus ou moins importante de sang selon ce que pompe le coeur (Feltovich et al., 1988).

Cette conception de la dynamique circulatoire associe le déplacement du sang à l'existence d'une poussée originale, une force. Le volume de sang étant toujours le même la vitesse du sang varie en fonction de la poussée cardiaque.

Dans le domaine de la mécanique, l'exploration des conceptions de la dynamique a suscité beaucoup d'intérêt. Hashweh (1988) présente une synthèse des conceptions des élèves sur le mouvement dans laquelle il résume les travaux de plusieurs chercheurs, auprès d'élèves de l'ordre collégial. Il résume les conceptions des élèves en ces termes. «When a force acts on an object it produces motion in its direction; velocity is proportional to the applied force». (Hashweh, 1988, p 124)

Il nous semble que la majorité des élèves de notre population conçoivent que le déplacement du sang relève exclusivement de l'action du coeur qui imprime la force nécessaire et ajuste la vitesse de la circulation aux besoins, en accélérant ses battements.

5.4.3 Conceptions du troisième niveau de formulation

Dans une étude portant sur la compréhension de l'homéostasie à différents âges, Westbrook et Marek (1992) rapportent que moins de 10 % des élèves qui n'ont pas atteint le stade de la pensée formelle présentent une compréhension partielle du concept. Par ailleurs, au niveau collégial, 27 % de ceux qui ont atteint ce stade manifestent une compréhension adéquate de l'homéostasie. Il s'agit d'un concept complexe qui suppose l'adoption d'une vision globale de la dynamique de l'organisme.

Selon Spiro et al. (1988),

«The presupposition that the world works in such a way that "parts add up to wholes" leads students to decompose complex processes into components that are treated mistakenly as independent.» (Spiro et al., 1988, p. 376)

La conception d'une dynamique axée sur la satisfaction des besoins locaux supporte cette idée que le bon fonctionnement de l'organisme reflète le bon fonctionnement de chacune des parties, sans qu'une intégration systémique ne soit nécessaire.

Nos résultats suggèrent que les élèves adoptent une vision selon laquelle le contrôle de la circulation s'exerce en fonction des besoins de chaque organe plutôt qu'en fonction du maintien de l'équilibre dynamique de l'organisme entier. Par exemple, lors d'une course, la majorité des élèves estiment que les muscles des jambes attirent plus de sang et plus de 50% des élèves estiment que le coeur est responsable du contrôle la circulation.

Kaufman et al., (1992) ont identifié, auprès d'étudiants de médecine, le même type de conception. Deux étudiants à qui on a demandé comment réagissait le coeur lors d'un exercice physique, ont exprimé l'idée qu'il devait répondre à une demande accrue des muscles lors d'un exercice. Ce type de réponse met l'accent sur la satisfaction de besoins locaux immédiats sans considération pour les effets sur l'ensemble de la circulation.

Plus de 80% des répondants estiment que, lors d'un exercice, les mouvements respiratoires accélèrent le coeur. Plusieurs facteurs supportent cette conception: la proximité du coeur et des poumons situés dans la cage thoracique, l'accélération des mouvements respiratoires pendant un exercice, l'idée que l'activité physique accroît la demande en O₂ et que le sang transporte l'O₂.

Cette conception selon laquelle les mouvements respiratoires sont déterminants pour assurer l'écoulement du sang remonte à l'Antiquité, d'abord chez les philosophes grecs et ensuite chez Galien de Pergame. Cette conception s'est

maintenue jusqu'au dix septième siècle, jusqu'aux travaux de William Harvey (Bariéty et Coury, 1963).

5.5 CARACTÉRISTIQUES DES CONCEPTIONS DE NOTRE POPULATION

Dans le cadre théorique nous avons défini les conceptions erronées, les conceptions alternatives et le cadre conceptuel alternatif. Nous ne pouvons parler de conceptions erronées puisque nous ne sommes pas en face d'erreurs d'interprétation reliées à un enseignement reçu. Notre analyse ne nous permet pas d'établir un véritable cadre conceptuel alternatif cohérent (Kuiper, 1994) qui puisse expliquer l'ensemble des conceptions dont nous faisons état au moment de l'analyse des résultats.

Toutefois selon notre analyse la population étudiée présente un ensemble de préconceptions et de conceptions alternatives qui s'écartent des conceptions de l'expert.

Notre analyse du désaccord des élèves avec l'expert révèle que l'écart porte essentiellement sur l'organisation du système circulatoire, les processus dynamiques d'un système fermé et l'intégration de la circulation à l'homéostasie de l'organisme. Le désaccord entre les élèves et l'expert touche les aspects de la circulation qui présentent un niveau de complexité plus élevé et nécessite une vision globale du fonctionnement de l'organisme humain.

Pour comprendre tous les aspects de la circulation, l'élève doit maîtriser plusieurs concepts, associer une multitude de variables et intégrer plusieurs processus simultanément (Feltovich et al., 1988). Un tel niveau de complexité est difficile à intégrer à la structure cognitive de l'élève et provoque une réduction de la complexité :

«An oversimplification of complex biomedical phenomena and concepts appear to be a major force in the acquisition and maintenance of misconceptions.»
(Feltovich et al., 1988, p. 2)

«Students are sometimes able to cope with difficult concepts without trivializing them, but, unfortunately, this does not appear to happen very often. Instead, there is a proclivity toward the strategic mismanagement of complexity, involving various forms of *oversimplification*.» (Feltovich et al., 1988, p. 8)

Cette sursimplification dans le domaine de la circulation sanguine se traduit par un ensemble de réductions «séduisantes» (*seductive reductions*). Il semble que la charge cognitive soit tellement grande que la structure cognitive de l'élève n'arrive pas à s'approprier toutes les dimensions de la réalité. Il en résulte l'utilisation par les élèves de certains types de réduction «séduisantes» pour expliquer la complexité des phénomènes.

Chez les élèves de notre échantillon nous croyons avoir décelé trois types de réductions : le «prior analogy bias», le «sequential bias» et le «external agent bias».

Selon Feltovich (1988), le biais analogique (*prior analogy bias*) se manifeste lorsque de nouveaux concepts sont réduits à des modèles plus simples de la vie courante, en fonction d'une similitude qui n'est que superficielle.

La conception de l'organisation de la circulation en un circuit qui relie les organes d'une façon séquentielle reflète selon nous ce biais. Les élèves conçoivent d'abord le système sanguin comme étant semblable à un réseau de cours d'eau ou à un réseau routier. Ils appuient leur comparaison sur les propriétés de l'eau, la ramification des cours d'eau et des réseaux routiers, la capacité de transport et de distribution entre plusieurs sites.

La conception de la dynamique des échanges basée sur la satisfaction des besoins relève également d'une application d'un modèle simple de consommation, associé à une explication téléologique. Le réseau de distribution assure la disponibilité des matériaux et l'organe-consommateur exerce un choix selon ses besoins spécifiques et rejette ses déchets de consommation. Dans cette dynamique la nature des besoins est déterminée par la fonction d'un organe. C'est le cas par exemple lorsque les élèves considèrent que lors d'un exercice physique les muscles attirent plus de sang. Selon Tamir et Zohar (1991) utiliser la satisfaction

des besoins d'un organe comme l'explication suffisante d'un processus, équivaut à doter cet organe de conscience et constitue une explication téléologique.

Le biais séquentiel (*step-wise bias*) est défini par Feltovich et al., (1988) comme étant la représentation d'un processus continu en une série d'événements indépendants, évacuant ainsi les caractéristiques dynamiques du processus dans son ensemble.

La conception de la dynamique circulatoire ramène la progression du sang dans le circuit à une série d'étapes marquées par les points de distribution que sont les organes consommateurs. Cette conception relève également du biais analogique qui renforce l'idée que le sang (eau ou véhicules) se déplace dans un réseau où les voies de distribution sont des canaux passifs.

Feltovich et al., (1988) ont également identifié un biais (*external agent bias*) qui se manifeste par l'attribution à une structure ou à un processus d'un ensemble de caractéristiques qui relèvent en fait de l'action d'un facteur externe.

Nous retrouvons ce biais d'abord au sujet du rôle du cœur et des organes individuels dans le contrôle de la circulation. C'est le cas également en ce qui concerne le rôle du cœur dans le renouvellement du sang et l'implication des mouvements respiratoires dans l'accélération des battements cardiaques. C'est aussi le cas dans la conception de la dynamique des échanges où on attribue à un organe la capacité de choisir activement les éléments nutritifs.

Les biais que nous retrouvons chez les élèves de notre échantillon reflètent un cadre conceptuel limité. Lorsque l'on regarde comment le concept de la circulation sanguine a été construit au fil des siècles nous constatons que les premiers hommes qui ont tenté de comprendre la circulation du sang étaient dans la même situation.

5.6 ÉVOLUTION DE LA CONCEPTION DE LA CIRCULATION

La conception scientifique de la circulation telle que nous la connaissons aujourd'hui est le fruit de progrès et de reculs, d'hésitations et de contestations. Mais au moment où elle est enseignée, cette conception est réduite à

une suite d'énoncés qui s'emboîtent parfaitement formant un ensemble cohérent bien structuré.

5.6.1 Conceptions épistémologiques

Toutefois la construction du savoir n'est ni linéaire ni monodimensionnel. Selon Giordan (1987),

«La construction du moindre élément de rationalité est le résultat d'un processus complexe qui s'inscrit toujours dans une histoire des idées. C'est une explication extravagante et abusive de voir cette rationalité comme surgie d'un pur effet de rupture. Les chemins qui mènent à un début de structuration dotée d'une rationalité balbutiante sont autrement plus sinueux.» (Giordan, 1987, p 11)

Pourtant la science est affirmative et doctrinaire à toutes les époques malgré ses balbutiements antérieurs. La certitude et la vérité caractérisent la connaissance contemporaine et la science en arrive à nier du même souffle les incertitudes du passé. Giordan (1987) énonce six conceptions épistémologiques qui caractérisent le savoir scientifique et le statut de la science.

- «1. La science s'est développée peu à peu comme un édifice verticale où chaque génération successive apporte quelques briques supplémentaires aux connaissances antérieures
2. La science repose uniquement sur les faits qui sont évidents, qui s'imposent d'eux-mêmes par leur clarté.
3. Les théories scientifiques sont déduites des faits, ou démontrées à partir des faits.
4. Les expériences vérifient les théories, un seul fait qui va à l'encontre d'une théorie suffit pour la démolir.
5. Les théories scientifiques se succèdent par emboîtement.
6. La science, garantie de vérité, est séparée des autres savoirs et des autres idéologies....»

(Giordan, 1987, p 12-13)

En nous penchant sur l'histoire nous sommes en mesure de mieux comprendre la dynamique de la construction du concept de circulation sanguine. Nous examinerons comment le concept de circulation sanguine a évolué de l'Antiquité jusqu'au 17^e siècle, comment le rôle des poumons, du cœur et des

vaisseaux, si clairs aujourd'hui, étaient intégrés au cadre conceptuel des générations passées.

Au cinquième siècle avant Jésus-Christ les physiologistes d'Alexandrie qui entreprennent l'inventaire des structures anatomiques du corps humain attribuent des fonctions aux structures observées. Ils sont convaincus par ailleurs que le corps humain fait partie de l'univers et doit obéir aux mêmes lois. Ces lois sont définies à partir d'éléments fondamentaux, de forces et d'humeurs; elles forcent l'interprétation que l'on fait des fonctions associées aux structures.

À la fin de cette époque le sang, les poumons, le coeur et les vaisseaux sanguins sont intégrés dans un ensemble où les rôles de chacun sont définis. Le sang a un rôle nutritif; il est distribué par les vaisseaux de son lieu de formation jusqu'aux organes périphériques. Les éléments nutritifs sont absorbés et acheminés au coeur pour la production du sang, avec une certaine coopération du foie et de la rate. Aux extrémités, le sang et le pneuma sont consommés par les organes et remplacés par l'air et la nourriture. La circulation est donc un système ouvert.

Puisque le coeur est l'organe central, il est le siège de l'âme et l'origine de tous les vaisseaux. Le rôle du coeur n'est pas spécifique à la circulation puisqu'on le retrouve au centre de la respiration, en tant que réceptacle du pneuma dont il assure l'écoulement dans les artères. On conçoit la structure vasculaire comme étant composée d'un réseau artériel pour le pneuma et veineux pour le sang. Pourtant Érasistrate avait constaté que les poumons recevaient du sang par un vaisseau qui avait les caractéristiques des artères, réservés au transport du pneuma. Il observe également que les vaisseaux qui relient le ventricule gauche aux poumons et qui doit transporter le pneuma a les caractéristiques des veines, réservées au transport du sang.

La conception retenue s'accorde à la fois avec les idées philosophiques dominantes et s'inspire d'une conception de l'univers où tout est en perpétuel changement. Elle s'accorde également avec les observations des phénomènes naturels comme la combustion qui «aspire» l'air ou les champs que les rivières alimentent sans cesse. La vie est un phénomène naturel, elle obéit donc aux mêmes lois et présente la même dynamique que le feu qui brûle ou la récolte qui pousse.

Au cours du second siècle après Jésus-Christ Galien combine la théorie des Humeurs d'Hippocrate, le concept de pneuma de Platon le mode de pensée téléologique d'Aristote.

Galien réaffirme que les fonctions vitales obéissent à des lois physiologiques strictes manifestant une très grande efficacité et poursuivant un noble but. Ainsi les explications sont fondées sur des analogies tirées de l'observation de la nature. Le coeur qui produit la chaleur interne comme une fournaise nécessite un système pulmonaire qui agit comme refroidisseur : l'air froid pénètre et l'air chaud en ressort. Par ailleurs les organes sont nourris par le mouvement lent du sang, à la manière des rivières qui coulent dans les champs.

Chez Galien la mécanique cardiaque est révisée il associe les oreillettes aux veines plutôt qu'au coeur et n'utilise que les ventricules dans son modèle cardiaque. Il affirme par ailleurs que les mouvements respiratoires déterminent la diastole et la systole. L'inspiration est responsable de la diastole puisque l'expansion de la cage thoracique entraîne la dilatation du coeur. Le sang entre donc dans le ventricule droit et de là passe directement dans le ventricule gauche. La dilatation du coeur entraîne celle des artères ce qui facilite le déplacement du sang vers les organes.

Fait à noter il observe que les vaisseaux reliant les poumons au ventricule gauche transportent du sang et non du pneuma. Il intègre cette nouvelle donnée à sa théorie et propose alors un nouveau modèle où le sang transporte le pneuma. À partir du ventricule droit une faible quantité de sang provenant du foie atteint les poumons pour les nourrir. Pour Galien un organe si léger ne peut accueillir tout le sang qui atteint le ventricule droit. La majeure partie du sang traverse donc vers le ventricule gauche par des «pores interventriculaires». Le ventricule gauche est le site d'une combustion interne. Le sang du ventricule gauche, dans un mouvement de va-et-vient, se charge de pneuma et libère ses vapeurs nocives en allant aux poumons et se mélange ensuite au sang provenant du ventricule droit.

Dans ce modèle le coeur, bien que contractile, n'est pas responsable du déplacement du sang, c'est plutôt l'affaire des mouvements respiratoires. Le coeur est considéré comme une extension de poumons assorti d'une fonction

purificatrice. Cette domination de la ventilation sur la fonction cardiaque fait que l'inspiration et la diastole cardiaque sont perçus comme les événements actifs alors que l'expiration et la systole correspondent au retour à l'état de base, au repos. Une telle conception est strictement à l'opposé de la conceptions actuelle et pourtant elle a prévalu pendant près de quinze siècles.

Le modèle de Galien tente d'établir une relation structure-fonction basée sur l'observations tout en comblant les vides par des postulats. C'est ainsi que Galien affirme l'existence de «pores interventriculaires». Il prétend même qu'ils sont difficiles à voir puisqu'ils se referment à la mort de l'animal ! En postulant que les organes consomment littéralement le sang riche en humeurs nutritives, Galien et ses prédécesseurs ne peuvent qu'imaginer un système circulatoire où la qualité du sang l'emporte sur la quantité afin de répondre aux besoins des organes.

La doctrine de Galien a dominé le monde jusqu'au milieu du 17^e siècle. À ce moment William Harvey décrit le modèle de la circulation comme un système circulaire et fermé.

À partir du seizième siècle plusieurs médecins s'intéressent à l'anatomie et apportent un éclairage nouveau. La dissection devient l'outil privilégié de la connaissance des structures et du fonctionnement du corps humain. Cette nouvelle façon de faire porte un dur coup au postulat des pores entre le ventricule droit et le ventricule gauche du coeur. Sans oser réfuter la doctrine de Galien, les chercheurs explorent de nouvelles avenues. En même temps l'existence de valvules cardiaques et veineuses et leur fonctionnement suscitent un nouvel intérêt. Progressivement les chercheurs entrevoient la circulation pulmonaire qui permet au sang de passer du ventricule droit au ventricule gauche du coeur.

À la fin du seizième siècle la doctrine de Galien devient plus difficile à supporter. Les connaissances anatomiques dépassent largement celles dont il disposait à son époque et en plus la démarche des scientifiques n'est plus celle des anciens. On se concentre de plus en plus sur le «comment» des choses et très peu sur le «pourquoi». Cette démarche permet de mieux comprendre la dynamique basée sur la connaissance anatomique d'une structure. Les travaux de Colombo lui permettent d'observer que le ventricule droit du coeur projette aux poumons une

importante quantité de sang. Il propose une véritable circulation pulmonaire et place au niveau des poumons le processus d'aération du sang et l'acquisition du pneuma.

Au début du 17^e siècle l'esprit baroque influence le monde scientifique. Les sciences naturelles manifestent un intérêt grandissant pour la dynamique des phénomènes. Au cours de cette période la physiologie, la chimie et la physique connaîtront une évolution phénoménale. La médecine tente d'expliquer les fonctions de l'organisme à partir de la physique, surtout la mécanique, une démarche inspirée de Galilé qui invite les chercheurs à «mesurer tout ce qui est mesurable». L'approche qualitative cède le pas à l'approche quantitative. Ce nouveau cadre conceptuel influencera la construction du savoir.

Les travaux de William Harvey s'inscrivent dans le cadre conceptuel de cette époque. Il adopte une nouvelle approche : «l'anatomie animée», caractérisée par la déduction des fonctions des organes à partir des structures observées en action. C'est ainsi qu'il procède à une démonstration de l'action des valvules des veines du bras. Il démontre que le sang ne peut se déplacer que dans un seul sens; il n'y a donc pas de va-et-vient. Cette observation était pourtant à la portée de tous ses prédécesseurs.

Ensuite Harvey dénonce l'association entre les mouvements respiratoires et le cycle cardiaque. Il redéfinit la systole et la diastole et leur effet sur le déplacement du sang et la dilatation des artères. Il établit un modèle circulatoire fermé en postulant l'existence des capillaires et en intégrant les observations anatomiques concernant les valvules des veines.

La théorie circulatoire de Harvey n'est certes pas le produit de simples observations. Aucune dissection, si minutieuse soit-elle, ne permet de conclure à l'évidence de la circulation.

La nature du sang et le processus des échanges seront élucidés plus tard. A la fin du 17^e siècle Stephen Hales mesure pour la première fois la pression sanguine dans les artères et les veines et s'intéresse à la résistance vasculaire à l'écoulement sanguin. Il applique des notions de mécanique à la dynamique de la circulation sanguine.

5.6.2 Éléments didactiques

Du point de vue didactique l'étude des étapes de la construction de la conception de la circulation nous permet *a posteriori* de cerner les grands paramètres qui ont contribué à façonner ce savoir. Cette connaissance nous renseigne sur les tâtonnements, les biais et les difficultés conceptuelles qui se sont présentées et peut nous aider à identifier des paramètres susceptibles de favoriser la construction du savoir des élèves.

Wandersee (1985) souligne l'importance didactique de l'histoire pour la planification d'une intervention.

«If the history of science can be used to predict the misconceptions some students hold, classroom teachers can plan instructional experiences to modify students' invalid or inappropriate subsuming concepts and increase the probability of meaningful learning in their classrooms.»
(Wandersee, 1985 p 594)

Selon Wandersee, dans la perspective proposée par Ausubel, lorsque les élèves disposent d'une structure cognitive limitée ou inappropriée on risque de retrouver des conceptions qui ressemblent à ce que nous révèle l'étude historique de la construction du savoir.

Notre analyse des conceptions révèle en effet des caractéristiques que l'on retrouve dans les conceptions adoptées par les philosophes grecs et chez Galien. On retrouve notamment la conception d'un système ouvert analogue aux cours d'eau, l'importance des mouvements respiratoires pour le déplacement du sang, la prépondérance de la qualité du sang sur la quantité pour répondre aux besoins nutritifs.

5.7 CONCEPTIONS ET OBSTACLES À L'APPRENTISSAGE

De nombreux travaux issus des orientations de Bachelard mais aussi de Piaget tentent de décrire les obstacles que rencontrent les élèves au cours de l'apprentissage de concepts scientifiques.

Selon Piaget et Garcia, (1983),

«D'une part il y a une continuité entre la pensée préscientifique et scientifique dans la mesure où les mécanismes en jeu dans le processus cognitif sont les mêmes ; et d'autre part il y a un certain type de rupture chaque fois que l'on passe d'un état de connaissance à un autre, dans la science comme dans la psychogénèse.» (Piaget et Garcia, 1983, p 282)

Pour Giordan (1987)

«La rupture, qui a été appelée épistémologique par certains, révolutions par d'autres, n'apparaît de fait qu'*a posteriori*. Elle n'a sa raison d'être que pour des facilités d'argumentation ou de pédagogie. Alors et alors seulement, on fige deux équilibres, on les stabilise artificiellement pour les opposer et montrer leurs différences à des fins d'explication.» (Giordan, 1987, p 12)

Du point de vue didactique il nous paraît important d'identifier le ou les obstacles de manière à organiser leur dépassement. En identifiant les écarts de la pensée scientifique témoignés par les conceptions des élèves il devient possible de repérer celles qui sont franchissables au cours d'une séquence d'enseignement et d'imaginer des stratégies favorisant l'évolution des conceptions.

Nous examinerons l'ensemble des encadrés que nous avons produits au cours de l'analyse des résultats afin de les intégrer à portrait global des conceptions de notre population. Nous indiquerons en caractères gras les conceptions dont la présence chez l'élève nous paraît plus importante dans le contexte d'une intervention didactique portant sur le fonctionnement de la circulation sanguine. Selon notre analyse ces conceptions sont des obstacles à l'apprentissage de la circulation sanguine.

Le système circulatoire

le système circulatoire est perçu comme un en réseau de conduits qui s'insinuent dans les moindres parties de l'organisme.

Le système circulatoire est un circuit où le sang part du coeur se rend à chacun des organes les uns après les autres avant de revenir au coeur.

Dans le système circulatoire, la dilatation des vaisseaux d'un organe n'a pas d'effet sur la pression artérielle.

La portée d'une constriction ou d'une dilatation des vaisseaux sur la pression dans un circuit fermé est limitée.

La constriction et la dilatation des vaisseaux ne sont pas perçues comme un moyen normal de redistribuer le sang dans le système circulatoire.

Lors d'une activité physique les organes impliqués (muscles) attirent le sang selon leurs besoins. L'organe reçoit plus de sang et le sang circule plus vite parce que le coeur bat plus vite. L'accélération des mouvements respiratoires, commandée par le cerveau, entraîne l'augmentation de l'apport d'oxygène et de la vitesse de la circulation.

Le sang

Le sang qui se déplace sans arrêt en parcourant un circuit, assure la nutrition de l'organisme et subit un recyclage.

Les organes ont des besoins spécifiques. Ils ne se nourrissent pas des mêmes produits et ont la faculté d'absorber ce qui leur convient en puisant dans le sang.

Le recyclage du sang est assuré par les poumons et les reins. Le coeur plutôt que le tube digestif est considéré comme organe participant au recyclage du sang.

Le coeur

Le coeur assure le mouvement du sang. L'activité du coeur peut varier et sa paroi est élastique permettant d'ajuster son débit. Il intervient dans le contrôle de l'afflux de sang aux organes.

Les vaisseaux sanguins

La paroi des vaisseaux est perméable et élastique et les vaisseaux sont dilatés par l'afflux de sang.

Dans un vaisseau le volume de sang qui se déplace d'une zone de haute pression vers un zone de basse pression ne dépend pas de la différence de pression.

La conception selon laquelle le système circulatoire se présente comme un circuit «en série» constitue un élément de la structure cognitive de l'élève que l'on doit faire évoluer. L'organisation du circuit sanguin en un système fermé

est un concept général qui se situe au sommet du réseau conceptuel de la circulation sanguine. Il constitue, selon les termes d'Ausubel, un concept englobant servant à intégrer à la structure cognitive les concepts plus spécifiques.

En représentant la circulation sous la forme d'un système de distribution linéaire qui relie les organes, toute la dynamique associée à un circuit fermé se trouve évacuée. Une telle conception suppose que la circulation dessert chacun des organes sans que cela n'affecte le circuit dans son ensemble. Dans ce contexte, les vaisseaux sanguins ne peuvent que jouer un rôle passif de conduits apportant le sang et le cœur ne peut être que l'élément moteur. Il est donc essentiel de redéfinir chez l'élève la conception de l'organisation du système avant d'aborder la participation active des vaisseaux dans la distribution du sang et de mieux encadrer le rôle du cœur.

La fonction nutritive de la circulation du sang est bien reconnue par les élèves. Ils reconnaissent également que l'apport sanguin augmente lors d'une activité physique. Toutefois le processus d'ajustement de la circulation à l'activité physique et le processus d'échanges associé à la nutrition doivent évoluer. En effet, l'augmentation de la vitesse du sang proposée par les élèves n'est pas compatible avec une augmentation de l'absorption de nutriments par les organes.

Notons que les conceptions qui font obstacles à l'apprentissage sont reliées à des processus et à la dynamique de la circulation sanguine.

CHAPITRE 6 : CONCLUSION

L'exploration des conceptions alternatives des élèves dans un domaine de connaissances s'inscrit dans une démarche qui vise d'abord à comprendre comment peut s'opérer le changement de la structure cognitive et ensuite à déterminer les caractéristiques d'une séquence d'enseignement qui favorise ce changement (Hasweh, 1988). Notre étude exploratoire des conceptions de la circulation sanguine se situe au tout début d'une telle démarche qui place l'élève au centre du processus d'apprentissage.

6.1 NIVEAUX DE FORMULATION DIDACTIQUE

Plutôt que de nous intéresser simplement aux conceptions des élèves sur la circulation sanguine, nous avons voulu explorer les conceptions des élèves en regard d'une analyse didactique du contenu enseigné pour l'ordre collégial. Nous avons amorcé notre recherche en procédant à une analyse qui nous a mené à structurer le contenu en termes de niveaux de formulation didactique de la circulation sanguine. Notre analyse suggère que l'enseignement de la circulation sanguine au collégial est organisé selon trois niveaux de formulation didactique. Cette analyse qui a fait consensus auprès d'un groupe d'experts, nous a permis ensuite de comparer ces niveaux de formulation didactique de la circulation aux données recueillies auprès des élèves de notre échantillon.

L'analyse des données nous porte à croire que les élèves affichent des conceptions différentes de celles des experts sur plusieurs sujets, correspondant aux trois niveaux de formulation didactique. Plusieurs élèves considèrent notamment que le circuit sanguin est linéaire. Il est organisé de façon telle que le sang qui quitte un organe continue son chemin vers un autre organe plutôt que de revenir au coeur. Nos données suggèrent que les élèves estiment que la fonction d'un organe détermine ses besoins nutritifs et le choix des nutriments disponibles dans le sang. La conception du circuit sanguin comme étant un système dynamique fermé ne recueille pas l'appui de la majorité des élèves. La plupart des élèves considèrent que le coeur constitue l'élément dynamique du système alors que les vaisseaux sanguins ont un rôle passif. Notons également que nos élèves adoptent une conception du contrôle de la circulation qui privilégie une action locale en fonction de besoins nutritifs immédiats.

Lorsque l'on compare l'écart entre les élèves et les experts dans les trois niveaux nous observons une progression régulière de l'écart pour la population A : 71%, 59% et 44%. Pour cette population qui représente 40,6% de l'échantillon, il semble y avoir correspondance entre la hiérarchisation des niveaux de formulation didactique et les conceptions des élèves. Toutefois la population B, qui représente 45,6% de l'échantillon, affiche une progression qui montre un écart plus élevé pour le niveau II que pour le niveau III : 71%, 45%, 54%. Notons également que la population C, qui représente 13,8% de l'échantillon, affiche un écart équivalent pour les niveaux I et II (63% et 66%, respectivement) alors qu'il est plus grand pour le niveau III (54%).

Il n'y a qu'une correspondance partielle entre les niveaux de formulation des experts, utilisés pour l'enseignement et les conceptions des élèves. Au premier niveau de formulation didactique on retrouve un grand nombre de descriptions de structures et de définition de rôles, en rapport avec le coeur, les vaisseaux et le sang. Les populations A et B qui représentent plus de 85% de notre échantillon affichent une expertise plus forte pour les sujets associés au premier niveau de formulation didactique que pour les sujets des autres niveaux. Ainsi, pour le premier niveau de formulation didactique la concordance entre ces élèves et les experts est généralement élevée (71%). Par contre aux niveaux II et III on traite surtout de sujets qui concernent la dynamique de la circulation, son contrôle et l'homéostasie. C'est là que les élèves affichent l'accord le plus faible avec les experts. Nous prétendons que l'ensemble des processus qui touchent la dynamique, le contrôle et l'homéostasie représentent un niveau de formulation pour les élèves de notre échantillon. Si l'analyse didactique nous a permis d'identifier trois niveaux de formulation quant à l'enseignement du contenu de la circulation sanguine, l'analyse des données nous suggère une progression différente. Il y aurait chez les élèves deux niveaux de formulation. Le premier niveau que l'on peut associer à la description des caractéristiques des structures et le second niveau qui touche la dynamique et le contrôle général de la circulation.

On ne peut prétendre que les niveaux de formulation didactique de la circulation sanguine définis dans le cadre de cette étude résultent d'une recherche très large et approfondie. Une telle étude reste à faire. Toutefois ils font consensus auprès du groupe de professeurs consultés. Ces niveaux sont issus de la pratique de professeurs expérimentés qui les utilisent pour planifier leur enseignement de la

circulation sanguine pour l'ordre collégial. Il nous semble que la reconnaissance de trois niveaux de formulation par nos experts pourrait correspondre à une modélisation propre à un niveau d'expertise donné, celui de l'ordre collégial. Cette modélisation pourrait être poussée plus loin auprès d'autres experts et permettre de définir plus de trois niveaux de formulation didactique. En médecine par exemple, les experts pourraient identifier un quatrième niveau touchant les pathologies cardiovasculaires et un cinquième niveau touchant les symptômes cliniques. Cette recherche reste à faire.

Les données concernant les élèves proviennent d'un échantillon très large ce qui donne une plus grande importance à l'identification de deux niveaux de formulation à partir des analyses descriptives et comparatives que nous avons menées. Chez les élèves l'expertise manifestée pour les sujets des niveaux II et III est nettement plus faible, de plus on ne peut distinguer entre le second et le troisième niveau. Cette nouvelle connaissance devrait être utilisée par les enseignants au moment où ils planifient leur enseignement de la circulation sanguine. Elle suggère de mettre en oeuvre les moyens nécessaires pour favoriser l'apprentissage de la dynamique et du contrôle de la circulation sanguine.

6.2 PISTES POUR UNE INTERVENTION DIDACTIQUE

Nos résultats suggèrent que l'apprentissage de la dynamique et du contrôle de la circulation ne découle pas automatiquement de l'expertise manifestée par les élèves au premier niveau de formulation didactique. Si tel était le cas, nous aurions pu observer chez les élèves qui affichent une fréquence élevée d'accord avec l'expert au premier niveau, une fréquence d'accord comparable pour les autres niveaux. Alors, il importe de faire évoluer le cadre conceptuel des élèves en intégrant aux descriptions plus statiques les aspects de la dynamique et du contrôle de la circulation, afin de leur permettre de s'approprier progressivement la nature complexe des phénomènes dynamiques de la circulation. Toutefois la progression du cadre conceptuel des élèves peut être balisée en utilisant les niveaux de formulation définis par les experts. Les niveaux de formulation didactique servent à fixer des cibles intermédiaires pour la planification des séquences d'enseignement qui visent à faire progresser l'élève.

Il semble que les élèves de notre échantillon aient tendance à réduire la complexité des phénomènes circulatoires, ce qui favorise le développement de conceptions alternatives face à la dynamique et aux processus de contrôle de la circulation. Au niveau de l'enseignement, notre analyse suggère que les analogies familières utilisées pour décrire certains attributs de la circulation sanguine favorisent le développement de conceptions alternatives de l'organisation et de la dynamique circulatoire (*prior analogy bias*). La plupart des systèmes de distribution familiers sont des systèmes ouverts et fonctionnent dans un contexte de consommation. Ils assurent une distribution selon un processus séquentiel et régulier. Les systèmes familiers permettent d'illustrer certains aspects de la fonction nutritive du sang mais ne peuvent représenter adéquatement le circuit sanguin et la dynamique circulatoire d'un système fermé. Il faut savoir que leur utilisation risque de renforcer la conception que la circulation sanguine se déroule selon un processus séquentiel (*stepwise bias*). Par ailleurs au moment d'expliquer le contrôle de la circulation sanguine, certains élèves font preuve d'une réduction de la complexité en attribuant à un organe des propriétés qui relèvent d'un agent extérieur (*external agent bias*). C'est le cas lorsqu'ils supposent que chaque organe assure le contrôle de ses activités de manière indépendante, sans intégration systémique.

Ces connaissances peuvent avoir des effets déterminants puisqu'elles peuvent suggérer des pistes de développement d'environnements didactiques qui prennent en compte les conceptions et les niveaux de formulation auxquels elles correspondent.

Notre recherche nous a permis d'identifier des conceptions sur lesquelles il est possible d'intervenir dans un contexte didactique. Les trois niveaux de formulation nous offrent trois axes d'intervention.

Le premier axe touche l'organisation non séquentielle du circuit sanguin et la façon dont le sang assume son rôle nutritif. Déjà à ce niveau nous avons noté la difficulté qu'éprouvent les élèves à fournir une explication des échanges sanguins qui utilise des concepts scientifiques supposés connus comme la diffusion et l'osmose.

À partir du deuxième niveau de formulation didactique nous avons identifié la nécessité d'intégrer à la structure cognitive de l'élève le concept de vasomotricité

et son importance dans la distribution du sang aux organes. Nous avons souligné également la difficulté pour l'élève de concevoir la dynamique d'un circuit fermé et de reconnaître les facteurs qui influencent la pression.

Le troisième axe d'intervention touche les processus de contrôle qui se réfèrent au troisième niveau de formulation didactique. Ils reconnaissent que l'activité physique suppose un ajustement de l'apport sanguin aux organes mais ne disposent pas de modèles satisfaisants permettant d'expliquer le processus. Ils se rabattent alors sur une explication anthropomorphique et téléologique centrée sur la prise de conscience des besoins et la mise en oeuvre de leur satisfaction. Il faut noter que les processus de régulation de la circulation font intervenir massivement la vasomotricité. L'apprentissage de ce concept se trouve ainsi au centre de la dynamique de la circulation.

Notre recherche ne nous permet pas d'expliquer comment s'opère le changement de la structure cognitive de l'élève. Toutefois elle met en évidence la nécessité de mettre à l'épreuve des stratégies nouvelles et de vérifier leur effet sur l'apprentissage.

Notre analyse suggère que les élèves ont utilisé le modèle de systèmes de distribution connus pour expliquer l'organisation et le fonctionnement de la circulation. L'utilisation d'exemples et de modèles analogiques fait partie des moyens dont disposent les enseignants.

Ausubel propose l'usage de «comparative organizers» (Anderson et Ausubel, 1965, p 103) surtout lorsque la connaissance antécédente est insuffisante chez l'élève. Ils permettent de relier les nouveaux concepts à des référents déjà présents dans la structure cognitive. Cependant lorsque les phénomènes étudiés sont complexes il est dangereux de n'utiliser qu'un seul point d'ancrage de la structure cognitive.

Dans une étude sur les conceptions de l'insuffisance cardiaque Feltovich et al. (1988) concluent que : «when single analogies are applied to complex phenomena, they can also promote entrenched misunderstanding» (p 25). Ils proposent l'utilisation de plusieurs analogies pour l'étude de la fonction du muscle cardiaque.

«Each analogy connects to others and reinforces their contributions on dimensions of muscle function that are mutually appropriate; or a new analogy fills in aspects missed by others; or it *punishes* aspects of others that are misleading.» (Feltovich et al., 1988, p. 25)

Dans un domaine connexe, la physiologie respiratoire, Patel et al. (1991) ont identifié des conceptions alternatives concernant la dynamique du système cardio-pulmonaire. Leurs conclusions supportent l'idée qu'une représentation multiple du système pourrait permettre un dépassement des conceptions alternatives. «It is clear that more than one representation of the same system is necessary to understand a complex physiological phenomenon» (Patel et al., 1991, p 182).

De cette façon, l'utilisation d'analogies multiples permet d'assurer la mise en place d'un «advance organizer» (Novak, 1992, p 8) qui a une puissance suffisante pour intégrer la complexité d'un phénomène étudié.

Patel et al. (1991) proposent d'adopter une approche globale selon laquelle les élèves sont amenés à utiliser des modèles de plus en plus sophistiqués simulant la dynamique des circuits.

Nous souscrivons à l'idée selon laquelle l'approche globale est nécessaire, particulièrement dans le cas de l'apprentissage de la circulation sanguine. Une telle approche permet d'imaginer un environnement didactique axé sur la dynamique du système. Il s'agit là d'une caractéristique fondamentale de la circulation bien qu'elle soit souvent négligée.

Nous estimons qu'il faut créer un environnement didactique qui permette à l'élève «d'observer la dynamique et de la disséquer» au même titre qu'il peut le faire avec du matériel anatomique. L'utilisation de simulations informatisées peut répondre à cette attente.

Perkins (1991) souligne le rôle que peuvent jouer les logiciels qui simulent, à l'aide d'un modèle informatique, un phénomène naturel complexe que l'élève peut manipuler. Il note que dans un environnement du type «*phenomenarium*», la demande cognitive est importante mais l'opportunité d'apprentissage est excellente

puisque ce type de mise en situation favorise l'expression des conceptions existantes de l'élève. Les logiciels Domino (Robitaille, 1988) et Domino II (Robitaille et Tranquille, 1996) s'inscrivent dans cette foulée. L'objectif est de fournir un environnement complexe et une aide appropriée à l'élève pour qu'il puisse travailler dans un tel environnement. Perkins (1991) préconise que l'élève construise ses connaissances en donnant un sens à la réalité qu'il perçoit et mette à l'épreuve ses interprétations jusqu'à ce qu'une structure satisfaisante émerge. Il serait intéressant de développer un modèle dynamique d'un système circulatoire fermé.

Ce modèle devrait intégrer les paramètres qui permettent de simuler les conceptions alternatives et les concepts scientifiques de la dynamique circulatoire.

6.3 IMPORTANCE DIDACTIQUE DE CETTE RECHERCHE

Nous avons souligné, au début de notre étude, le petit nombre de recherches portant sur l'exploration des conceptions en biologie et, particulièrement, dans le domaine de la circulation sanguine.

«It is surprising that studies on biology are comparably small in number and that many areas of science instruction are totally missing or are only represented by a few studies. Further research is necessary to provide teachers and curriculum developers with information about students' most important conceptual framework in science instruction topics.» (Glynn, Yeany et Britton, 1991, p. 70)

Nous avons noté l'absence de travaux touchant les conceptions de la circulation sanguine pour les élèves de l'ordre collégial. Notre étude contribue à combler une lacune puisqu'elle s'adresse à une nouvelle population et qu'elle porte sur un sujet peu étudié. Notre recherche exploratoire sur les conceptions de la circulation sanguine fournit les premières analyses didactiques menées dans ce domaine auprès d'élèves de l'ordre collégial.

Cette recherche apporte une contribution significative. D'abord, parce qu'elle porte sur les conceptions dans un domaine de la biologie en s'intéressant à

l'un des systèmes les plus importants, ensuite parce qu'elle touche une population d'élèves plus âgés et peu étudiée par les chercheurs.

Dans le domaine de la circulation sanguine notre étude contribue à l'avancement des connaissances de diverses façons :

1. Elle présente une analyse didactique et une structuration du contenu de la circulation sanguine enseignée au collégial, en termes de niveaux de formulation didactique.
2. Elle fournit un instrument d'exploration des conceptions de la circulation sanguine.
3. Elle compare les écrits sur les conceptions de la circulation sanguine aux données recueillies auprès d'élèves du collégial.
4. Elle fournit une analyse d'un ensemble de conceptions d'élèves de l'ordre collégial en regard des niveaux de formulation didactique de la circulation sanguine reconnus par un groupe d'experts de l'ordre collégial.
5. Elle permet de proposer des pistes d'intervention didactique basées sur la connaissance des conceptions des élèves dans le domaine de la circulation sanguine.

6.4 POURSUITE DES RECHERCHES

Notre travail ouvre la voie sur de nouvelles questions de recherche. Nous avons exploré les conceptions d'un nouveau domaine de la biologie peu étudié. Nous avons travaillé auprès d'une population d'élèves qui ont complété avec succès le programme du secondaire.

Le premier champ de recherche qui découle de notre travail concerne les choix que les élèves ont fait pendant leur passage au secondaire. Ils ont d'abord choisi de poursuivre leurs études dans un programme particulier au collégial; ils ont aussi choisi certains cours, par exemple, le cours de biologie 534. Est-ce que les

élèves qui ont choisi un programme d'études dans le domaine de la Santé présentent un profil de conceptions particulier? Ceux qui ont suivi le cours de biologie 534 ont-ils un profil distinct? Ces élèves ont-ils des conceptions plus proches de celles des experts? L'attitude et la motivation influencent-elles le portrait conceptuel des élèves?

Une deuxième voie découle de la première. Elle concerne la recherche sur la façon dont se produit un changement de la structure cognitive et les stratégies qui permettent d'opérationnaliser le changement dans une intervention didactique. Pouvons-nous identifier et valider les éléments didactiques qui permettent l'évolution des conceptions des élèves concernant la dynamique circulatoire? De tels éléments seraient-ils communs à l'apprentissage des processus d'autres domaines de connaissance? Comment pouvons-nous suivre l'évolution conceptuelle des élèves afin de rendre optimales les interventions didactiques?

Finalement nous pourrions poursuivre l'étude sur les niveaux de formulation didactique de la circulation sanguine pour d'autres populations d'élèves ou identifier les niveaux de formulation pour d'autres disciplines.

Cette recherche croyons-nous contribue de façon significative à l'avancement des connaissances dans le domaine de la didactique des sciences en fournissant des réponses à de nouvelles questions et en ouvrant la voie à de nouvelles recherches.

CHAPITRE 7 : RÉFÉRENCES

Abimbola, O. (1988). The problem of terminology in the study of student conceptions in science education. Science Education, 72(2) p. 175

Abraham, M.R., Grzybowski, E.B., Renner, J.W., Marek, E.A. (1992). Understandings and Misunderstandings of Eighth graders of five chemistry concepts found in textbooks. Journal of Research in Science Teaching, 29 (2), p 105-120.

Anderson, B., E.I. Smith (1983). Children's preconceptions and content area textbooks. In D. Duff, L. Rochler, & J. Mason (Éds.), Comprehension instruction: Perspectives and suggestions. New York: Longman Inc.

Anderson, R.,C et D. Ausubel (1965). Readings in psychology of Cognition. New York, Holt Rinehart et Winston inc. 690 p

Arnaudin, M.W., Mintzes, J. J. (1985). Students' alternative conceptions of the human circulatory system: A cross-age study. Science Education, 69(5), 721-733.

Astolfi, J.-P., Develay, M. (1989). La didactique des sciences. Paris: Presses universitaires de France.

Ausubel, David P. (1968). Educational psychology: a cognitive view. New York: Holt, Rinehart and Winston inc.

Bariéty, M. et Charles Coury (1963). Histoire de la médecine. Paris: Librairies Arthème Fayard, 1200 p.

Berbaum, Jean (1984). Apprentissage et Formation. Paris: Presses universitaires de France, 1984, 127 p.

Brown, David. E. (1992). Using examples and analogies to remediate misconceptions in physics : factors influencing conceptual change. Journal of Research in Science Teaching, 29(1), 17-34.

Carey, S. (1985). Conceptual change in childhood. Cambridge: The MIT press, 1985. 222 p.

Chomienne Martine (1986). Une approche qualitative à l'étude du processus de l'enracinement des applications pédagogiques de l'ordinateur au Québec. Conseil interuniversitaire des professeurs en technologie éducative: La technologie éducative et le développement humain, 1986

Confrey, J. (1990). A Review of the Research on Student Conceptions in Mathematic, Science, and Programming. Review of Educational Research, 16, (3)

De Vecchi, G., Giordan, A. (1990). L'enseignement scientifique: comment faire pour que ça marche ?. Nice: Z'éditions. 208 p

Dreyfus, A, Jungwirth, E. (1988). The cell concept of 10 th graders: curricular expectations and reality. International Journal of Science Education, 10(2) 221-229.

Dreyfus, A., Jungwirth, E., Eliovitch, R. (1990). Applying the "cognitive conflict" strategy for conceptual change : somme implications, difficulties and problems. Science Education, 74(5), 555-569.

Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. International Journal of Science Education (11), p 481-490.

Driver, R. Easley, J. (1978). Pupils and paradigms : a review of literature related to concept development in adolescent science students. Studies in Science Education, 13, p 105-122.

Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. Science education, 75 (6), 649-672.

Dupin J.-J., Johsua, S. (1987). Conceptions of french pupils concerning electric circuits: structure and evolution. Journal of reasearch in Science Teaching 24(9), 791-806.

Eylon, B.-S., Gabriel, U. (1990). Macro-micro relationships : the missing link between electrostatics and electrodynamics in students' reasoning. International Journal of Science Education, 12(1), 79-94.

Eylon, B.-S., Lynn, M. (1988). Research perspectives in science education. Review of Educational Research, 58, p 251-301.

Feldsine, J.E. (1987). Distinguishing student misconceptions from alternate conceptual frameworks through the construction of concept maps, in Proceedings of the Second International Seminar. Misconceptions and educational strategies in science and mathematics 1987. Cornell university, Ithaca, NY, USA. Volume 1. p 177-181.

Feltovich, P.J., Spiro, R., Coulson, R.L. (1988). The nature of conceptual understanding in biomedecine: The deep structure of complex ideas and the development of misconceptions. Reading Research and Education Report, Technical report no. 440, University of Illinois at Urbana-Champaign.

Finley, F.N., Stewart, J., Yarrock, W.L. (1982). Teachers' perceptions of important and difficult science concepts. Science Education, 66, p 531-538.

Friedler, Y., Amir, R., Pinchas, T. (1987) High School students' difficulties in understanding osmosis. International Journal of Science Education, 9(5), 541-551.

Gauthier, Benoît. (1992) Recherche sociale. (2e édition). Québec, Presses de l'Université du Québec.

Gellert, E. (1962). Children's conceptions of the content and functions of the human body. Genetic psychology monographs, (65), 293-405.

Gilbert, J.K., Osborne, R.J., Fensham, P. (1982). Children's science and its consequences for teaching. Science Education, 66,(4), 623-633.

Giordan, A. (1987) Histoire de la Biologie. Paris :Technique et Documentation-Lavoisier, Petite collection d'histoire des sciences. Vvolume 1 (281 p) et volume 2.(279 p).

Giordan, A., Martinand, J.L (1987). Modèles et simulation: une mode ou des outils pour la Communication, Éducation et culture scientifique. Actes JES (9).

Glynn, S.M., Yeany, R.H., Britton, B.K. (1991). The psychology of learning science. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates. 269 p.

Griffiths, A.K.,Thomey, K.,Cooke, B., Normore, G. (1988). Remediation of student-specific misconceptions relating to three science concepts. Journal of Research in Science Teaching, 25(9), 709-719.

Hashweh, M.Z. (1988). Descriptive studies of students' conceptions in science. Journal of Research in Science Teaching. 25(2), 121-134.

Henze-Fry, J. A.,Novak, J. D. (1990). Concept mapping brings long-term movement toward meaningful learning. Science Education, 74(4), 461-472.

Hesse III, J. J., Anderson, C. (1992). Students' Conceptions of Chemical Change. Journal of Research in Science Teaching, 29 (3), 277-299.

Hewson, P. W., Thorley, N. R. (1989). The conditions of conceptual change in the classroom. International Journal of Science Education,, 11, special issue, 541-533.

Hewson, P. W. (1981). A conceptual change approach to learning science. European Journal of Science Education, 3(4), 383-396.

Inhelder, B., Piaget, J. (1955). De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent. Paris: Presses Universitaires de France, 1955.312 p.

Kaufman, D. R., Patel, V. L.,Magder, S. A. (1992). Conceptual understanding of circulatory physiology. Paper presented at the Meetings of the American Educationnal Research Association, San Francisco, California, April 24, 1992.

Kuiper, J. (1994). Student ideas of science concepts: alternative frameworks ? International Journal of Science Education, 16(3), 279-292.

Lawson, A.E., Renner, J.W. (1975). Relationship of science subject matter and developmental level of learners. Journal of Reasearch in Sciecne Teaching, 12, p 347-358.

Lawson, A.E., Worsnop, W.A. (1992). Learning about evolution and rejecting a belief in special creation: effects of reflective reasoning skill, prior knowledge, prior belief and religious commitment. Journal of Research in Science Teaching, 29 (2), p 143-166.

Lawson, A.E., Abraham, M.R. et Renner, J.W. (1989). A theory of instruction: using the learning cycle to teach science concepts and thinking skills. Cincinnati, OH: National Association for Research in Science Teaching.

Lebert, G. (1967). Piaget Paris: Éditions Universitaires.

Legendre, R. (1988). Dictionnaire actuel de l'éducation. Paris, Montréal: Larousse, c1988, XIV, 679 p.

Licht, P. Thijs, G. D. (1990). Method to trace coherence and persistence of preconceptions. International Journal of Science Education, 12 (4), 403-416.

Linn, M.C. (1986). Issues in cognitive psychology and instruction: Science. in R.F. Dillon & R.J. Sternberg (Eds.), Cognition and instruction. San Diego: Academic Press, 155-204

Marieb, E. N. (1993). Anatomie et physiologie humaines. St-Laurent : Éditions du renouveau pédagogique, 1014 p.

Mc Closkey, M. (1983). Intuitive physics. Scientific American, 248, 122-130

Mintzes, J. J., Arnaudin, M. W. (1984). Children's biology : a review of research on conceptual development in the life sciences. Wilmington, NC: University of North Carolina, Department of Biological Sciences.(ERIC document 249044).

Novak, J. D. (1992). A view on the current status of Ausubel's assimilation theory of learning. Paper presented at the Meetings of the American Educational Research Association, San Francisco, California, April 24, 1992

Osborne, R.J., Bell, B.F., Gilbert, J.K. (1986). Science teaching and children's views of the world. Science in Schools, Open university press, ISBN 0334 159818

Osborne, R.J., Bell, B.F., Gilbert, Y.K. (1983). Science teaching and children's view of the world. European Journal of Science Education, 5, 1-14

Patel, V. L., Kaufman, D. R., Magder, S. (1991). Causal explanation of complex physiological concepts in medical students. International Journal of Science Education, 13 (2), 171-185.

Perkins, D.N. (1991). What constructivism demands of the learner. Educational technology, 31(9), p 19-21

Piaget, J. (1967). Biologie et connaissance. Paris: Éditions Gallimard.

Piaget, J. et Garcia, R. Psychogénèse et histoire des sciences. Paris : Flammarion, 1983. 390 p

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P.W., Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of a scientific conception : Toward a theory of conceptual change. Science Education, 66(2), 211-227.

Robitaille, J.M., (1988). Domino: simulation des systèmes respiratoire et cardiovasculaire. MESS, Québec, 1988. (ISBN 2-550-17755-X)

Robitaille, J.M. et Tranquille R., (1996). Domino II : simulation des systèmes respiratoire et cardiovasculaire. CCDMD, Montréal, 1996. (ISBN 2-89470-010-5)

Shipstone D.M., Rhöneck, C., Jung, W., Dupin, J.J., Licht, P. (1988). A study of students' understanding of electricity in five European countries. International Journal of Science Education, 10 (3), 303-316.

Simpson, W.D., Marek, E.A. (1988). Understandings and misconceptions of biology concepts held by students attending small high schools and students attending large High schools. Journal of research in Science Teaching, 25(5), 361-374.

Songer, C., J., Mintzes, J. (1994). Understanding cellular respiration: an analysis of conceptual change in college biology. Journal of Research in Science Teaching, 31(6), 621-637

Spiro, R.J., Coulson, R.L., Feltovich, P.J., Anderson, D.K. (1988). Cognitive flexibility theory: advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. in Vastel (Eds.) Tenth annual conference of the cognitive science society. New Jersey, Laurence Erlbaum Associates, p 375-383.

Stavy, R., Eisen, Y., Yaakobi, D. (1987). How students aged 13-15 understand photosynthesis. International Journal of Science Education, 9(1), 105-115.

Strike, K., Posner, G.J. (1982). Conceptual change and science teaching. European Journal of Science Education, 4(3) 231-240.

Tamir, P. et A. Zohar (1991). Teleology in reasoning about biological phenomena. Science Education, 75(1) 57-67.

Tortora, G.J. et Gabrowski, S.R. (1994). Principes d'anatomie et de physiologie. Montréal: Centre éducatif et culturel., 1204 p.

Treagust, D. F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. International Journal of Science Education, 10(2), 159-169.

Trowbridge, J. E., Mintzes, J. J. (1988). Alternative conceptions in animal classification: a cross age study. Journal of Research in Science Teaching, 25(7), 547-571.

Van der Maren, J.M. (1990). Edu 6650-6651: Méthodes de recherche en éducation. Montréal: Service des entreprises auxiliaires, Université de Montréal.

Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary physics. European Journal of Science Education, 1, p 205-221

Wandersee, J.H., (1985) Can the history of science help science educator anticipate student's misconceptions. Journal of Research in Science Teaching, 23(8), 581-597.

Wandersee, J.H., Mintzes, J.J., Arnaudin, M. (1987). Children's biology: a content analysis of conceptual development in the life sciences. Proceedings of the Second International Seminar: Misconceptions and educational strategies in science and mathematics 1987. Cornell university, Ithaca, NY, USA. Volume 2. p 523-534

Westbrook, S. L., Marek, E. A. (1991). A cross-age study of student understanding of the concept of diffusion. Journal of Research in Science Teaching, 28(8), 649-660.

Westbrook, S. L., Marek, E. A. (1992). A cross-age study of student understanding of the concept of homeostasis. Journal of Research in Science Teaching, 29(1), 51-61.

APPENDICE I : le questionnaire

L'objet du questionnaire

Ce questionnaire porte sur l'exploration des conceptions de la circulation sanguine des étudiants avant qu'ils ne suivent un cours de biologie sur ce sujet au collégial. Cette recherche s'inscrit dans un programme qui vise l'amélioration de l'apprentissage et de l'enseignement.

Il s'agit d'un projet de recherche subventionné par le ministère de l'Éducation.

Afin de mieux connaître tes conceptions sur la circulation du sang nous te prions de répondre au présent questionnaire.

Comment répondre?

Ce questionnaire n'est pas un examen, souviens-toi qu'il n'y a ni bonnes, ni mauvaises réponses. Il te faudra environ 30 minutes

IL EST IMPORTANT DE RÉPONDRE À TOUTES LES QUESTIONS ET DANS L'ORDRE.

Pour la plupart des questions, il faut te prononcer sur tous les énoncés, en encerclant le chiffre sur l'échelle qui correspond à ce que tu penses.

Voici un exemple.

	Très improbable	Assez improbable	Assez probable	Très probable	Je ne sais pas
1. Parte du coeur et emprunte un vaisseau principal qui se divise en plus petits vaisseaux pour atteindre chaque organe.	1	②	3	4	9
2. Revienne au coeur par le même chemin qu'il emprunte pour se rendre à un organe	1	2	③	4	9

Pour répondre à certaines questions on te demandera d'encercler le oui ou le non. Finalement tu devras, à l'occasion, écrire un court texte. S'il te plaît, utilise des caractères d'imprimerie, pour qu'il soit plus lisible.

Nous te remercions d'accepter de participer à cette étude. Toutes les données ne seront utilisées qu'aux fins de la présente étude et demeureront confidentielles.

2. Pour chacun des organes de la colonne de gauche, encerclez le oui ou le non, selon que vous croyez qu'il permet, ou non, à la circulation sanguine de jouer son rôle.

Si vous répondez oui, indiquez comment cet organe supporte la circulation sanguine.

Organes	L'organe permet à la circulation sanguine de jouer son rôle.	Si, vous répondez oui, comment supporte-t-il la circulation sanguine?
1. Le coeur	Oui Non	_____ _____ _____ _____
2. Les vaisseaux sanguins	Oui Non	_____ _____ _____ _____
3. Les poumons	Oui Non	_____ _____ _____ _____
4. Les reins	Oui Non	_____ _____ _____ _____
5. Le tube digestif (estomac-intestin)	Oui Non	_____ _____ _____ _____

4. Imaginez que vous êtes miniaturisé, placé dans une capsule et injecté dans le sang à partir du bout d'un doigt.
Vous vous retrouvez dans le système circulatoire et suivez le trajet naturel du sang jusqu'au coeur.

Encerclez une seule réponse

Vous passez...

1. directement au coeur et repartez vers d'autres parties du corps
 2. par d'autres organes (reins, tube digestif...) avant de revenir au coeur et de repartir vers d'autres parties du corps
 3. d'abord par les poumons , ensuite au coeur et vous repartez vers d'autres parties du corps
 4. directement au coeur, ensuite aux poumons et revenez au coeur avant de repartir vers d'autres parties du corps.
 5. autre trajet (précisez).
-
-

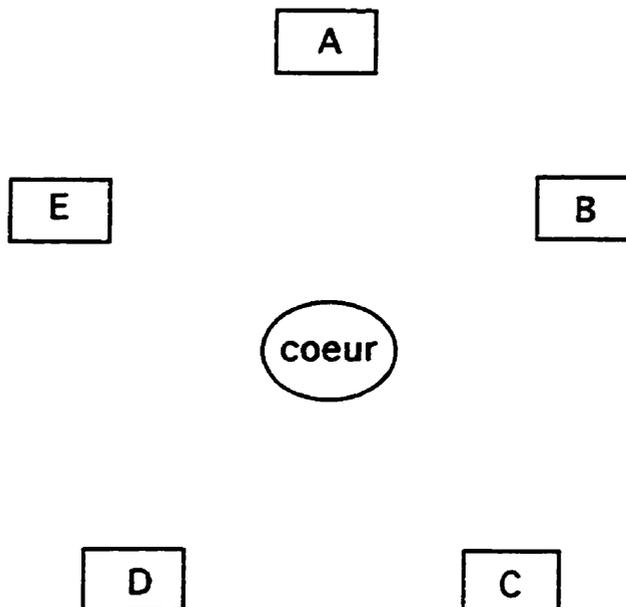
Partant du coeur, vous suivez le trajet naturel du sang jusqu'au gros orteil.

Encerclez une seule réponse

Vous passez...

1. directement au gros orteil.
 2. par d'autres organes (reins, tube digestif...) avant de rejoindre le gros orteil.
 3. par les poumons d'abord, ensuite directement au gros orteil.
 4. autre trajet (précisez)
-
-

5. Voici un schéma présentant cinq organes: A,B,C,D,E ainsi que le coeur.



Sur le schéma, faites un tracé de la circulation sanguine reliant le coeur et les organes en indiquant avec une flèche sa direction, tel que vous vous l'imaginez.

6. Croyez-vous très improbable, assez improbable, assez probable, très probable de retrouver dans le sang..

	Très improbable	Assez improbable	Assez probable	Très probable	Je ne sais pas
1. De l'oxygène	1	2	3	4	9
2. Des produits nutritifs	1	2	3	4	9
3. Du gaz carbonique	1	2	3	4	9
4. Des résidus de nourriture utilisée	1	2	3	4	9
5. Des débris d'usure	1	2	3	4	9
6. Des cellules	1	2	3	4	9
7. Autre élément (précisez)	1	2	3	4	9

7. Croyez-vous très improbable, assez improbable, assez probable, très probable que les organes suivants interviennent pour assurer le renouvellement du contenu du sang?

	Très improbable	Assez improbable	Assez probable	Très probable	Je ne sais pas
1. Les poumons	1	2	3	4	9
2. Les reins	1	2	3	4	9
3. Le tube digestif	1	2	3	4	9
4. La peau	1	2	3	4	9
5. Le cerveau	1	2	3	4	9
6. Le coeur	1	2	3	4	9
7. Autre organe(précisez)	1	2	3	4	9

8. Croyez-vous très improbable, assez improbable, assez probable, très probable que le coeur comporte une paroi qui...

	Très improbable	Assez improbable	Assez probable	Très probable	Je ne sais pas
1. Délimite des cavités remplies de sang.	1	2	3	4	9
2. S'étire, sous la pression sanguine.	1	2	3	4	9
3. Se contracte.	1	2	3	4	9
4. Contienne des petits vaisseaux sanguins.	1	2	3	4	9
5. Nettoie le sang.	1	2	3	4	9
6. Oxygénise le sang	1	2	3	4	9
7. Enrichisse le sang.	1	2	3	4	9

9. Croyez-vous très improbable, assez improbable, assez probable, très probable que la quantité de sang pompée par le cœur

	Très improbable	Assez improbable	Assez probable	Très probable	Je ne sais pas
1. Soit toujours la même	1	2	3	4	9
2. Dépende de la quantité de sang qui revient au cœur	1	2	3	4	9
3. Dépende de l'élasticité de la paroi du cœur.	1	2	3	4	9
4. Dépende de l'élasticité des vaisseaux sanguins qui reçoivent le sang après le cœur	1	2	3	4	9
5. Dépende du niveau d'activité du corps.	1	2	3	4	9
6. Dépende de «l'épaisseur» du sang.	1	2	3	4	9

10. Croyez-vous très improbable, assez improbable, assez probable, très probable que...

	Très improbable	Assez improbable	Assez probable	Très probable	Je ne sais pas
1. Le nombre des battements du cœur puisse augmenter.	1	2	3	4	9
2. Le nombre des battements du cœur puisse diminuer.	1	2	3	4	9
3. Le volume de sang pompé à chaque battement du cœur puisse augmenter.	1	2	3	4	9
4. Le volume de sang pompé à chaque battement du cœur puisse diminuer.	1	2	3	4	9
5. La force de propulsion du cœur puisse augmenter.	1	2	3	4	9
6. La force de propulsion du cœur puisse diminuer.	1	2	3	4	9

11. Croyez-vous très improbable, assez improbable, assez probable, très probable que ...

	Très improbable	Assez improbable	Assez probable	Très probable	Je ne sais pas
1. À mesure que l'on s'éloigne du coeur, les vaisseaux soient plus nombreux.	1	2	3	4	9
2. À mesure que l'on s'éloigne du coeur, les vaisseaux soient plus petits	1	2	3	4	9
3. La paroi des vaisseaux contienne de petits vaisseaux sanguins	1	2	3	4	9
4. À mesure que les besoins d'un organe augmente, ses vaisseaux se dilatent	1	2	3	4	9
5. La paroi des vaisseaux serve à propulser le sang.	1	2	3	4	9

12. Croyez-vous très improbable, assez improbable, assez probable, très probable que dans les vaisseaux, la pression sanguine

	Très improbable	Assez improbable	Assez probable	Très probable	Je ne sais pas
1. Soit plus forte en allant du coeur aux organes qu'au retour	1	2	3	4	9
2. Soit la même à l'aller et au retour	1	2	3	4	9
3. Augmente à mesure que l'on s'approche d'un organe	1	2	3	4	9
4. Diminue après le passage dans des petits vaisseaux.	1	2	3	4	9

13. Croyez-vous très improbable, assez improbable, assez probable, très probable que des vaisseaux sanguins soient présents

	Très improbable	Assez improbable	Assez probable	Très probable	Je ne sais pas
1.Partout à l'intérieur d'un organe	1	2	3	4	9
2.Seulement à la surface à l'intérieur d'un organe	1	2	3	4	9
3.Antour, à l'extérieur d'un organe.	1	2	3	4	9
4. Autre (précisez)	1	2	3	4	9

14. Croyez-vous très improbable, assez improbable, assez probable, très probable de retrouver dans un organe..

	Très improbable	Assez improbable	Assez probable	Très probable	Je ne sais pas
1.Des cellules	1	2	3	4	9
2.De l'eau	1	2	3	4	9
3.De l'oxygène	1	2	3	4	9
4.Du gaz carbonique	1	2	3	4	9
5.Des produits nutritifs	1	2	3	4	9
6.Des déchets	1	2	3	4	9
7.Autre élément (précisez):	1	2	3	4	9

15. Croyez-vous très improbable, assez improbable, assez probable, très probable que

	Très improbable	Assez improbable	Assez probable	Très probable	Je ne sais pas
1. Le contenu du sang soit modifié localement par l'activité d'un l'organe	1	2	3	4	9
2. L'ouverture des vaisseaux soit modifiée localement par l'activité d'un l'organe	1	2	3	4	9
3. La paroi des petits vaisseaux soit étanche.	1	2	3	4	9
4. La vitesse du sang qui circule localement augmente avec l'activité de l'organe	1	2	3	4	9
5. La quantité du sang qui circule localement augmente avec l'activité de l'organe	1	2	3	4	9

16. Croyez-vous très improbable, assez improbable, assez probable, très probable que l'organe

	Très improbable	Assez improbable	Assez probable	Très probable	Je ne sais pas
1. Absorbe les éléments sanguins selon ses besoins	1	2	3	4	9
2. Utilise le contenu du sang pour sa propre construction	1	2	3	4	9
3. Utilise l'oxygène et les produits nutritifs pour la production d'énergie	1	2	3	4	9
4. Produise des déchets toxiques	1	2	3	4	9
5. Accumule des produits nutritifs	1	2	3	4	9

17. Croyez-vous très improbable, assez improbable, assez probable, très probable que...

	Très improbable	Assez improbable	Assez probable	Très probable	Je ne sais pas
1. L'organe choisie activement ce qu'il absorbe.	1	2	3	4	9
2. Les produits du sang et de l'organe traversent la paroi des petits vaisseaux	1	2	3	4	9
3. Le sang des petits vaisseaux soit déversé dans l'organe.	1	2	3	4	9
4. Le sang laisse des produits nutritifs et prene les déchets de l'organe	1	2	3	4	9
5. Les organes se nourrissent tous des mêmes produits.	1	2	3	4	9

18. Êtes-vous très en désaccord, assez en désaccord, assez en accord ou très en accord avec les énoncés suivants.
Au repos, les organes reçoivent

	Très en désaccord	Assez en désaccord	Assez en accord	Très en accord	Je ne sais pas
1. Tous la même quantité de sang.	1	2	3	4	9
2. Une quantité de sang déterminée par la taille de leurs vaisseaux	1	2	3	4	9
3. Une quantité de sang déterminée par le nombre de leurs vaisseaux	1	2	3	4	9
4. Une quantité de sang déterminée par la fonction d'un organe	1	2	3	4	9
5. Autre (précisez)	1	2	3	4	9

19. Êtes-vous très en désaccord, assez en désaccord, assez en accord ou très en accord avec les énoncés suivants.

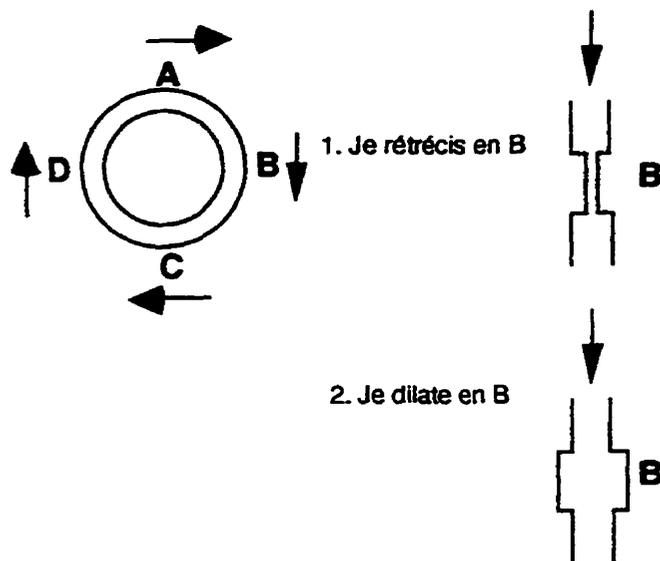
Lors d'une course, le CONTRÔLE DE LA CIRCULATION du sang aux jambes dépend ...

	Très en désaccord	Assez en désaccord	Assez en accord	Très en accord	Je ne sais pas
1. Du cerveau qui détecte les besoins nutritifs des jambes.	1	2	3	4	9
2. Du coeur qui détecte les besoins de sang des jambes et augmente son pompage.	1	2	3	4	9
3. Des vaisseaux sanguins qui réagissent en se dilatant au niveau des jambes et se contractant ailleurs afin de détourner le sang vers les jambes.	1	2	3	4	9
4. Des muscles des jambes qui réagissent et attirent plus de sang.	1	2	3	4	9
5. Des mouvements respiratoires qui entraînent l'accélération des battements du coeur.	1	2	3	4	9
6. Du sang qui réagit et se dirige vers les organes dont le besoin est plus grand.	1	2	3	4	9
7. Autre (précisez)	1	2	3	4	9

20. Croyez-vous très improbable, assez improbable, assez probable, très probable que la décision d'augmenter la circulation vienne...

	Très improbable	Assez improbable	Assez probable	Très probable	Je ne sais pas
1. Du cerveau	1	2	3	4	9
2. Du coeur	1	2	3	4	9
3. De chaque organe	1	2	3	4	9
4. Du sang	1	2	3	4	9
5. Autre (précisez)	1	2	3	4	9

21. Voici un vaisseau où le sang se déplace dans un circuit fermé



21.1 Si je rétrécis le vaisseau en B,

21.2 Si je dilate le vaisseau en B

Encerclez une seule réponse.

Encerclez une seule réponse.

Diriez-vous que la pression sanguine...

Diriez-vous que la pression sanguine...

1. Augmente en A et diminue en C.
2. Augmente en A et reste la même en C
3. Augmente en A et en C
4. Reste la même en A et diminue en C
5. Reste la même en A et augmente en C
6. Reste la même en A et en C
7. Diminue en A et augmente en C
8. Diminue en A et reste la même en C
9. Diminue en A et en C

1. Augmente en A et diminue en C.
2. Augmente en A et reste la même en C
3. Augmente en A et en C
4. Reste la même en A et diminue en C
5. Reste la même en A et augmente en C
6. Reste la même en A et en C
7. Diminue en A et augmente en C
8. Diminue en A et reste la même en C
9. Diminue en A et en C

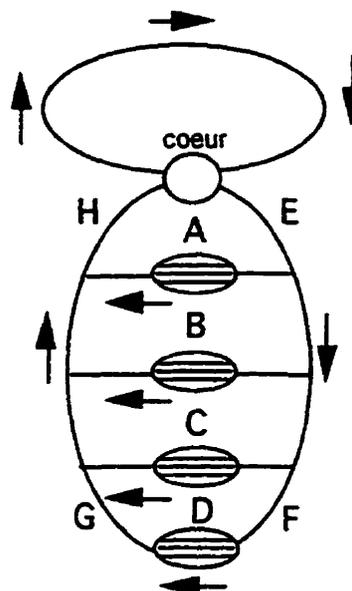
22. Voici trois vaisseaux et pour chacun d'eux on a mesuré la pression sanguine en deux points différents.

Pression	A= 105	B= 100
<hr/>		
vaisseau #1		
<hr/>		
Pression	A1= 190	B1= 185
<hr/>		
vaisseau #2		
<hr/>		
Pression	A2= 275	B2= 270
<hr/>		
vaisseau #3		
<hr/>		

Après avoir comparé les trois séries de valeurs de la pression sanguine, diriez-vous que vous êtes-vous très en désaccord, assez en désaccord, assez en accord ou très en accord avec les énoncés suivants.

	Très en désaccord	Assez en désaccord	Assez en accord	Très en accord	Je ne sais pas
1. Dans les trois vaisseaux le sang circule de la valeur de pression la plus forte vers la plus faible	1	2	3	4	9
2. Dans le vaisseau no 3 il y a un plus grand volume de sang qui se déplace parce que la pression est plus élevée	1	2	3	4	9
3. Dans tous les vaisseaux, il y a le même volume de sang qui se déplace parce que la différence de pression est la même.	1	2	3	4	9

23. Voici un schéma de la circulation sanguine.



23.1 Êtes-vous très en désaccord, assez en désaccord, assez en accord ou très en accord avec les énoncés suivants.

Si le coeur bat normalement et que l'on dilate le vaisseau sanguin à l'entrée de l'organe B.

Les effets sur la circulation sanguine apparaîtront...

	Très en désaccord	Assez en désaccord	Assez en accord	Très en accord	Je ne sais pas
1. Dans l'organe B parce que la dilatation du vaisseau facilite l'écoulement à cet endroit	1	2	3	4	9
2. À l'entrée des organes C et D parce qu'ils sont situés après B dans le circuit.	1	2	3	4	9
3. Partout entre E et F parce que la dilatation en B fait chuter la pression	1	2	3	4	9
4. Dans le coeur qui devra pomper plus de sang pour répondre à la demande.	1	2	3	4	9
5. À l'entrée des organes A, C et D où les vaisseaux seront rétrécis pour dévier le sang vers B.	1	2	3	4	9
6. À l'entrée du coeur parce qu'il y aura une augmentation de pression entre G et H	1	2	3	4	9

23.2 Êtes-vous très en désaccord, assez en désaccord, assez en accord ou très en accord avec les énoncés suivants.

Lors d'une hémorragie au niveau de l'organe D.

	Très en désaccord	Assez en désaccord	Assez en accord	Très en accord	Je ne sais pas
1. Le coeur envoie plus de sang vers D pour faciliter la coagulation et la réparation du vaisseau sanguin.	1	2	3	4	9
2. Le coeur diminue la circulation en D pour réduire la perte de sang	1	2	3	4	9
3. Les vaisseaux sanguins en D rétrécissent pour dévier le sang ailleurs.	1	2	3	4	9
4. Le coeur pompera plus pour compenser la perte de sang.	1	2	3	4	9
5. Les autres organes ne seront pas affectés par la perte de sang au niveau de D.	1	2	3	4	9

24. Êtes-vous très en désaccord, assez en désaccord, assez en accord ou très en accord avec les énoncés suivants.

Les phénomènes suivants sont reliés à la circulation

	Très en désaccord	Assez en désaccord	Assez en accord	Très en accord	Je ne sais pas
1. L'évanouissement	1	2	3	4	9
2. Le coup de soleil	1	2	3	4	9
3. Le rougissement du visage (émotion)	1	2	3	4	9
4. La transpiration	1	2	3	4	9
5. La prise de médicaments.	1	2	3	4	9

25. Veuillez, s'il vous plaît, répondre aux questions suivantes.

25.1 Parmi les cours de sciences offerts au secondaire, avez-vous suivi ceux de la liste ci-dessous ? Encerchez le oui ou le non

Si oui, les avez-vous réussis? Encerchez le oui ou le non

	Cours <u>suivis</u>		Cours <u>réussis</u>	
	Oui	Non	Oui	Non
Biologie 534	Oui	Non	Oui	Non
Chimie 534	Oui	Non	Oui	Non
Physique 534	Oui	Non	Oui	Non

25.2 Quelle était votre moyenne générale au secondaire?
Encerchez le chiffre de la colonne de gauche.

- | | |
|----|--------------|
| 1. | entre 90-100 |
| 2. | entre 80-90 |
| 3. | entre 70-80 |
| 4. | entre 60-70 |
| 5. | entre 50-60 |

25.3 À quel Programme êtes-vous inscrit actuellement au collégial?
Encerchez le chiffre de la colonne de gauche.

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1. Sciences de la Santé | 2. Soins infirmiers |
| 3. Techniques d'électrophysiologie | 4. Techniques dentaire |
| 5. Techniques d'hygiène dentaire | 6. Techniques de diététique |
| 7. Techniques d'inhalothérapie | 8. Technique radiodiagnostic |
| 9. Techniques de médecine nucléaire | 10. Techniques de radiothérapie |
| 11. Techniques d'orthèses et prothèses | 12. Techniques chimie-biologie |
| 13. Techniques de réadaptation | 14. Autre (précisez) |

25.4 Depuis quand êtes-vous inscrit à ce programme
Encerchez le chiffre de la colonne de gauche.

- | | |
|---------------|------------------------|
| 1. Automne 93 | 2. Janvier 94 |
| 3. Automne 94 | 4. Janvier 95 |
| 5. Automne 95 | 6. Autre (précisez) : |

25.5 Quel (s) cours de biologie (101) suivez-vous actuellement?
Encerchez le chiffre de la colonne de gauche.

- | | |
|----|------------|
| 1. | Aucun |
| 2. | 902 ou 911 |
| 3. | 903 ou 921 |
| 4. | 942 |
| 5. | 943 |
| 6. | 301 |
| 7. | 401 |

25.6 Quels sont les cours de biologie que vous avez déjà suivis au collégial?
Encerclez le chiffre de la colonne de gauche.

1. Aucun
2. 902 ou 911
3. 903 ou 921
4. 942
5. 943
6. 301
7. 401

25.7 Date de naissance (jour-mois-année): ____/____/____

25.8 Sexe: Encerclez le chiffre de la colonne de gauche.

1. Masculin
2. Féminin

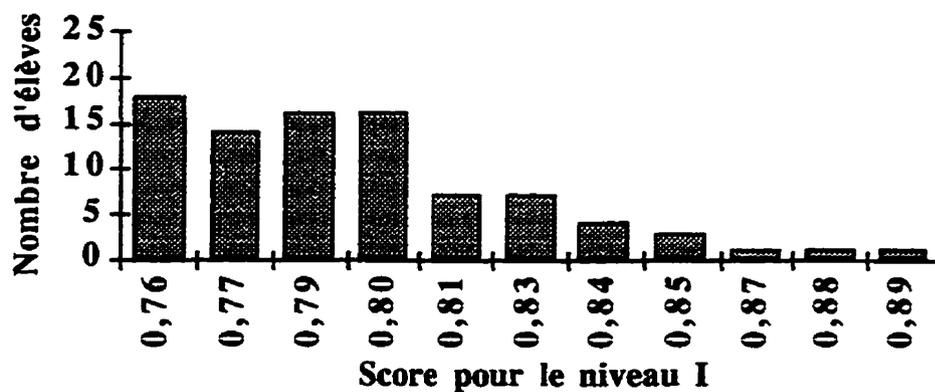
25.9 Nous aimerions pouvoir vous consulter plus tard dans le cadre de cette recherche. Si vous n'y voyez pas d'inconvénient, indiquez ici votre code permanent:

Code permanent: _____

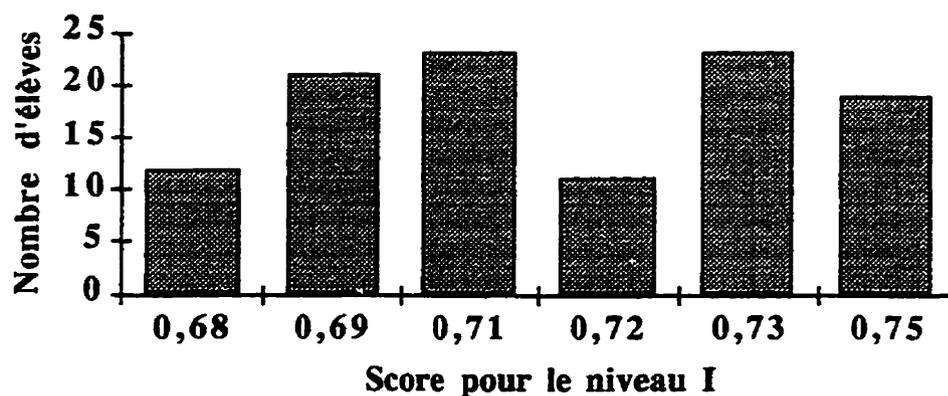
APPENDICE II : Histogrammes des populations d'élèves et de l'échantillon

Les sous-groupes de la population A

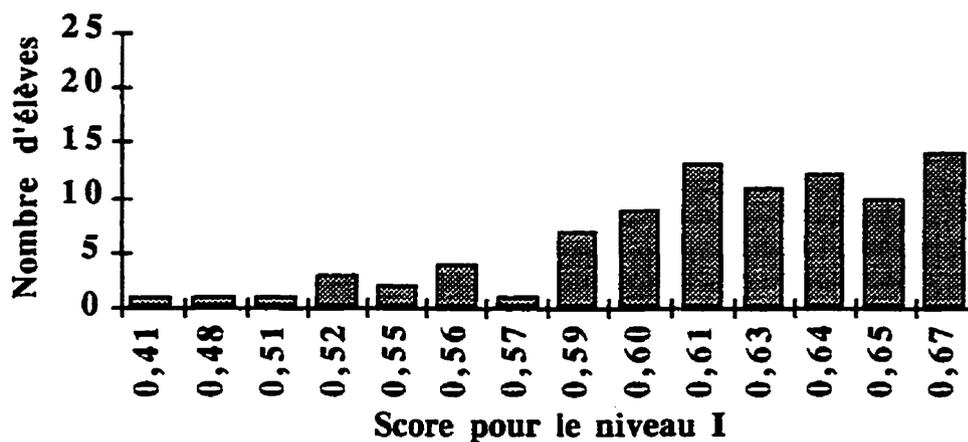
Distribution des élèves du groupe A1



Distribution des élèves du groupe A2

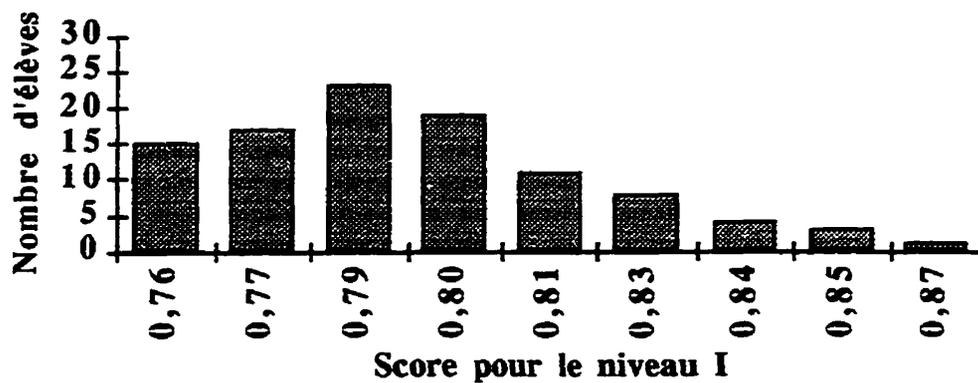


Distribution des élèves du groupe A3

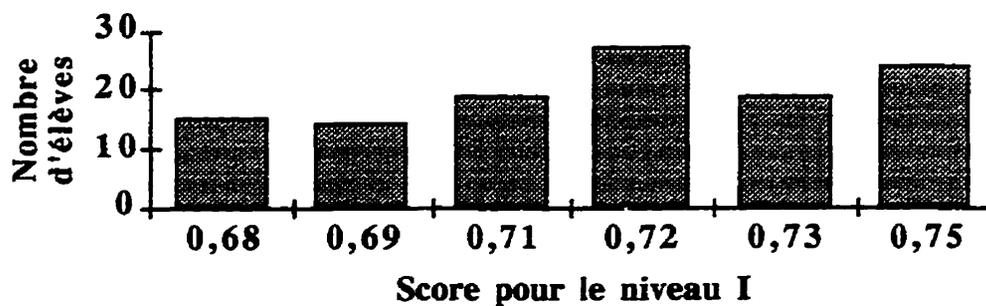


Les sous-groupes de la population B

Distribution des élèves du groupe B1



Distribution des élèves du groupe B2

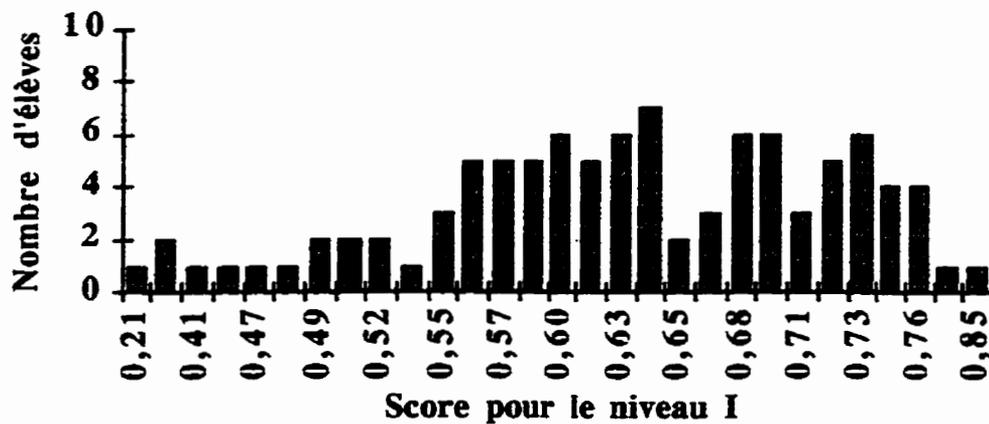


Distribution des élèves du groupe B3



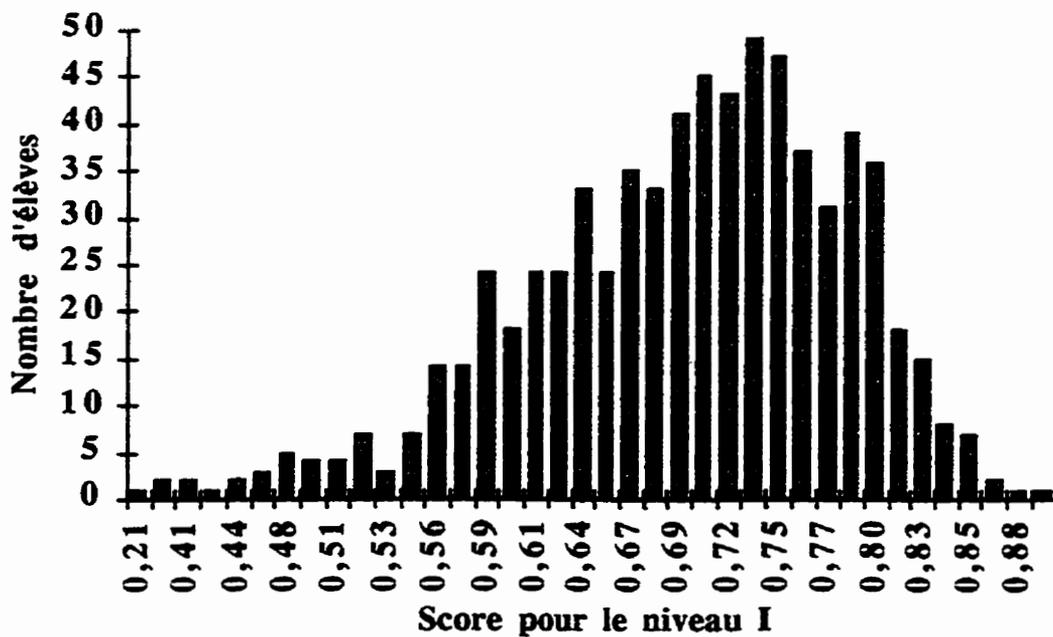
La population C

Distribution des élèves de la population C



L'échantillon

Distribution des élèves de l'échantillon



APPENDICE III : Cartes conceptuelles des niveaux de formulation didactique.

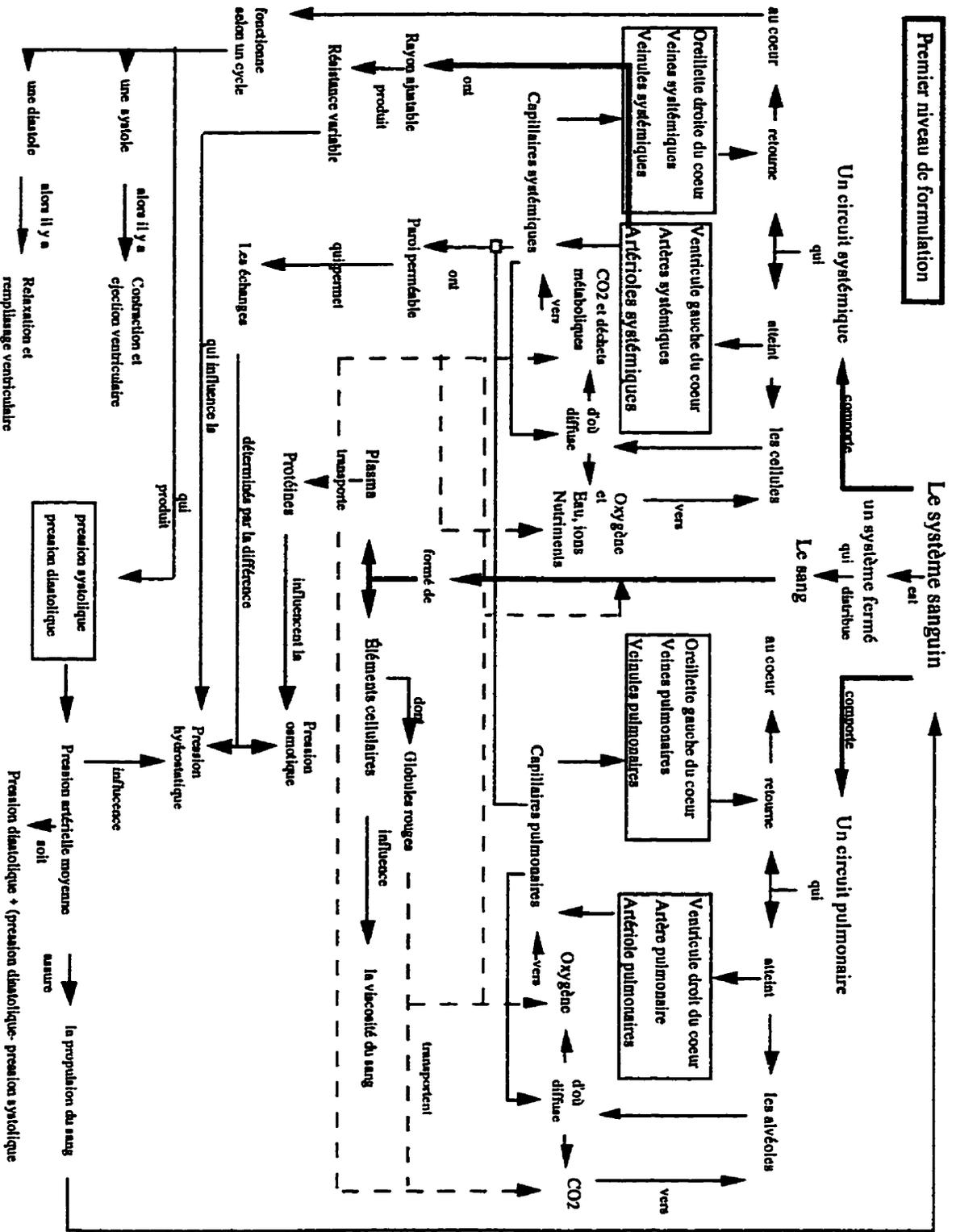
NOTE TO USERS

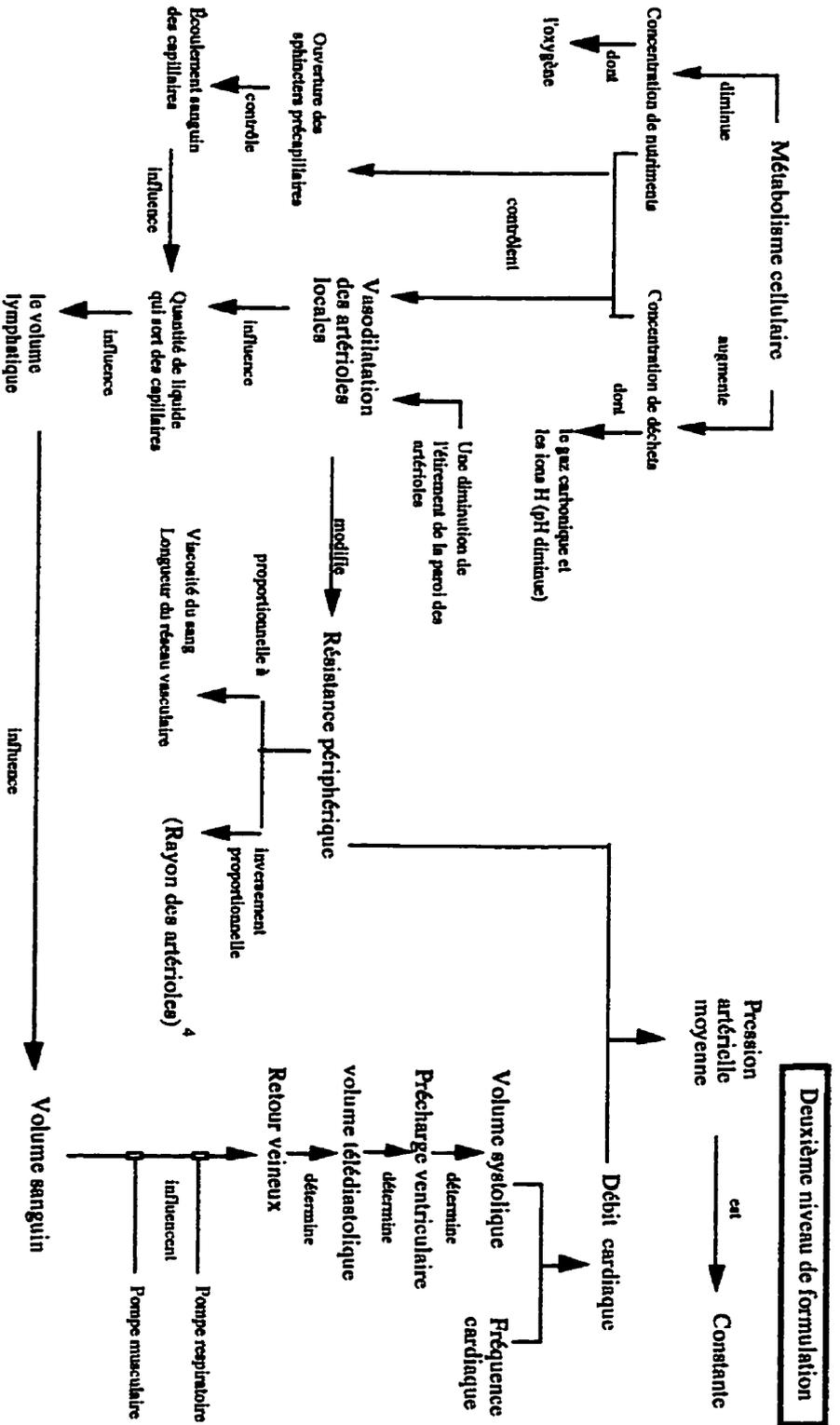
Page(s) not included in the original manuscript and are unavailable from the author or university. The manuscript was microfilmed as received.

PRE- PAGE XXV

This reproduction is the best copy available.

UMI





LA PRESSION ARTÉRIELLE

Troisième niveau de formulation

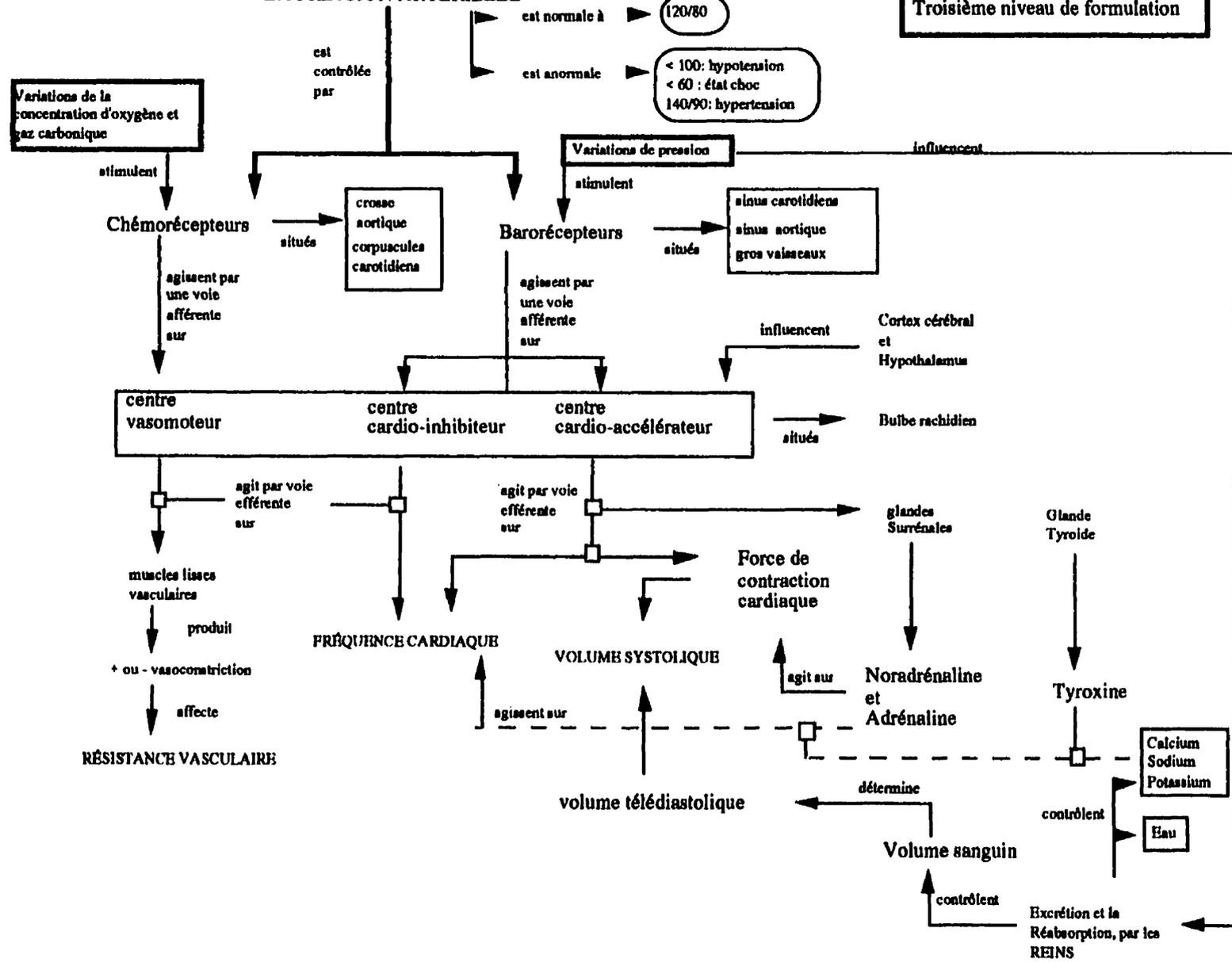
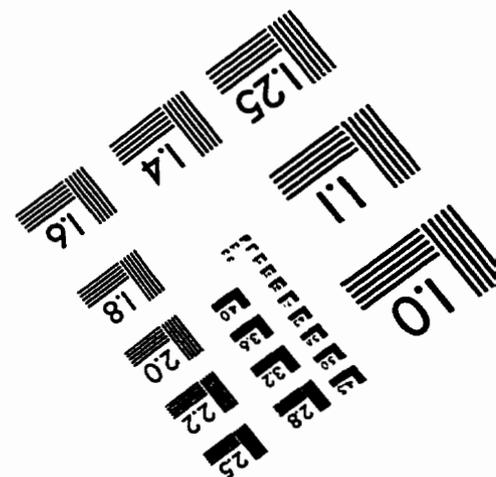
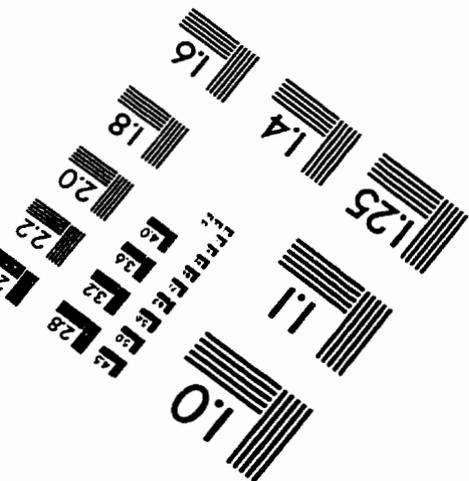
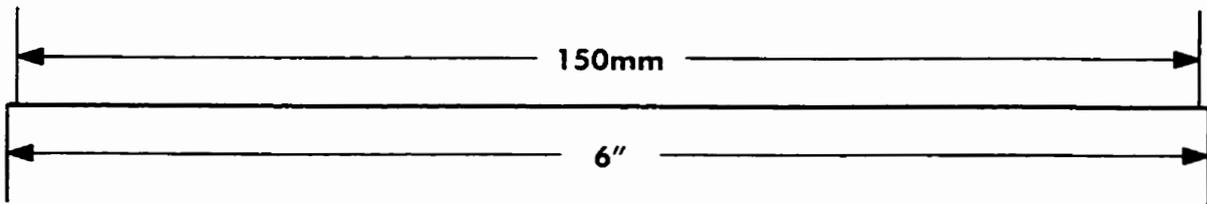
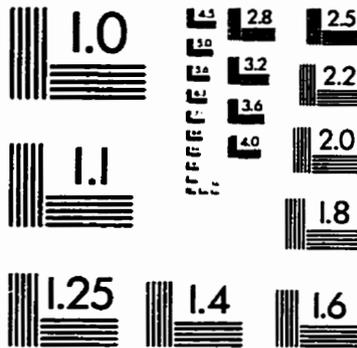
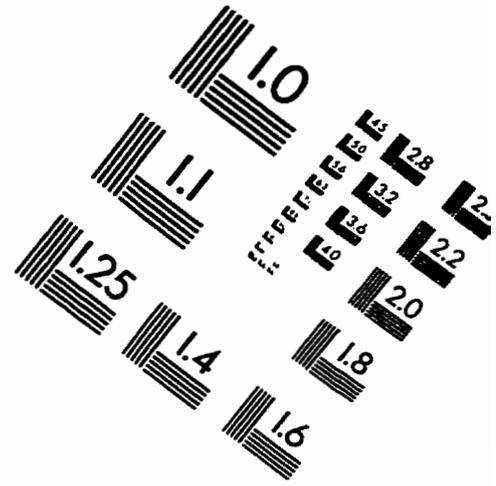
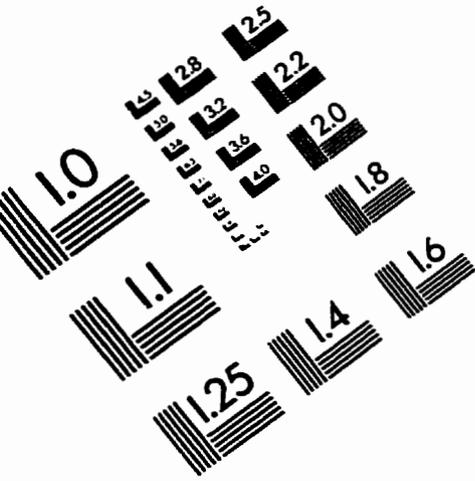


IMAGE EVALUATION TEST TARGET (QA-3)



APPLIED IMAGE, Inc
1653 East Main Street
Rochester, NY 14609 USA
Phone: 716/482-0300
Fax: 716/288-5989

© 1993, Applied Image, Inc., All Rights Reserved