



Figurabilité dans le domaine de la circulation sanguine

André LAVARDE

IUFM de Picardie
3, rue Bossuet
60000 Beauvais

Résumé

La communication scientifique fait souvent appel à des représentations imagées désignées sous le nom de schémas. Paradoxalement, l'étude des productions d'élèves montre que ceux-ci les emploient très peu de façon spontanée lorsqu'une tâche de restitution des connaissances leur est proposée. Pour en comprendre les raisons, il paraissait intéressant d'interpréter le problème par le biais de l'épistémologie, en considérant la façon dont les schémas sont apparus dans l'histoire. Peu de recherches ont tenté de mettre en rapport l'état de la science sur un sujet et les supports imagés ou iconiques. L'étude qui suit montre comment les connaissances dans le domaine de la circulation sanguine et leur codification sous forme de schémas ont évolué au cours de l'histoire.

Mots clés : *épistémologie, histoire des sciences, circulation sanguine, illustration, schéma.*

Abstract

Science communications use illustrations, especially diagrams. Nevertheless, study of pupils' productions shows that those pupils never draw any illustrations in situations of recall. An epistemological approach appears to be a better way of giving information about this problem. It would be interesting

to study the production of images throughout history. The method consists in comparing the scientific discoveries and the illustrations about a same subject. This method is unusual in this sort of research. The purpose of this study is to specify the relations between the chronological evolution of the knowledge and illustrations about blood circulation.

Key words : *epistemology, science history, blood circulation, illustration, diagram.*

Les recherches qui portent sur la schématisation s'orientent dans trois directions. Les premières se situent à l'interface entre l'élève et le schéma ; elles commencent avec Dwyer (1967) qui montre la relation entre type de schéma et variation dans l'accomplissement d'une tâche donnée. Elles se poursuivent avec les recherches sur l'optimisation des codes pour une meilleure intelligibilité de l'image (Bertin, 1970 ; Richaudeau, 1979 ; Rankin, 1989). Un second courant tente de préciser la place du schéma parmi les représentations imagées (Moles, 1981 ; Vézin, 1986, 1989).

Un troisième axe correspond au problème que suscite soit leur compréhension (Giordan, 1984 ; Rabardel, 1984), soit la mise en rapport des connaissances et leur présentation sous forme de schéma, c'est-à-dire leur figurabilité (Fresnault-Deruell, 1984 ; Jacobi, 1984). Ce dernier auteur a effectué des recherches sur la relation entre le dessin et la notion représentée lorsque celle-ci est abstraite ou non perceptible. La circulation sanguine met en jeu des mécanismes non visibles ; la transmission des connaissances dans ce domaine fait appel à des schémas. Des problèmes de figurabilité apparaissent obligatoirement.

Plusieurs auteurs ont étudié le rôle des schémas dans la circulation. Ces derniers ont été classés en plusieurs catégories correspondant à leur fonction (Léoutre, 1979 ; Ducros, 1989). On sait d'autre part que le code de couleur employé dans la matérialisation des vaisseaux est source d'erreur (Lavarde, 1985 ; Roncin, 1987 ; Bornancin, 1987). D'autre part, il convient de souligner l'uniformité des schémas dans ce domaine (Lavarde, 1985). Une telle constance des modes de figuration devait avoir deux explications possibles. Il pouvait s'agir d'une représentation arrivée à un tel point de pertinence qu'il n'était pas possible d'en inventer une plus parfaite. Cette constance pouvait traduire également une absence de réflexion sur le sujet ; le schéma, une fois inventé, pouvait être reproduit sans que personne ne vienne mettre en cause sa pertinence.

Notre première étude (Lavarde, 1985) avait permis de montrer que, loin d'être une production réfléchie et fonctionnelle, le schéma de la circulation devait une large part de sa construction à des considérations contingentes (problème d'imprimerie, croyances, etc.). Mais ces études restaient incomplètes. Nous avons donc poursuivi cette recherche pour savoir quels étaient les stades précis qui avaient jalonné son évolution. Comme souvent dans l'histoire

des sciences, les transformations qui ont affecté le schéma de la circulation ne sont pas progressives. Elles s'accompagnent de phénomènes de rupture, liés à l'état d'avancement de la science. Nous voulons montrer qu'un décalage important existe entre une découverte et le moment où une représentation imagée vient la formaliser.

LES ORIGINES DES SCHÉMAS CIRCULATOIRES

Il n'existe, à notre connaissance, aucune illustration datant de la période grecque. Les seuls témoignages de cette époque correspondent à des copies dans des manuscrits arabes ou persans. Cependant, la technique de copie des manuscrits a permis de suivre l'état de la connaissance à cette époque.

Deux modèles explicatifs coexistent alors : la "théorie" des humeurs et l'existence supposée des pneuma. Dans le premier modèle, le corps et les astres sont régis par une sorte de cosmogonie universelle reliant les éléments (l'air, l'eau, le feu et la terre), les quatre horizons et les humeurs présentes dans le corps (phlegme, pituite, bile et sang). Ce modèle des humeurs donne lieu à diverses représentations imagées et symboliques (figure 1). Les éléments sont en relation les uns avec les autres (y compris les âges de la vie : printemps = enfance, été = adolescence, etc.).

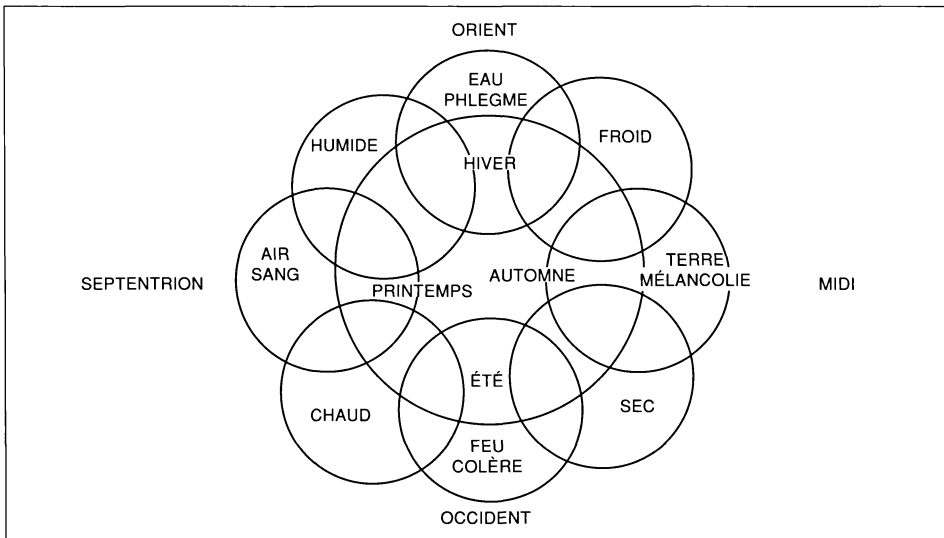


Figure 1 : Fac-similé de la cosmologie des humeurs.

Les quatre éléments, les horizons, les humeurs et les propriétés de la matière forment un ensemble géométrique qui mime le monde planétaire – tracé à partir du manuscrit 62, f 37 v° (XV p. 19).

Ces éléments appartenant à des domaines différents (âge, matière...) s'associent en une cosmologie s'appuyant sur le cercle, connu dès cette époque comme la figure décrite par les astres. Cette figuration de type organigramme se suffit à elle-même en raison de son aspect symbolique.

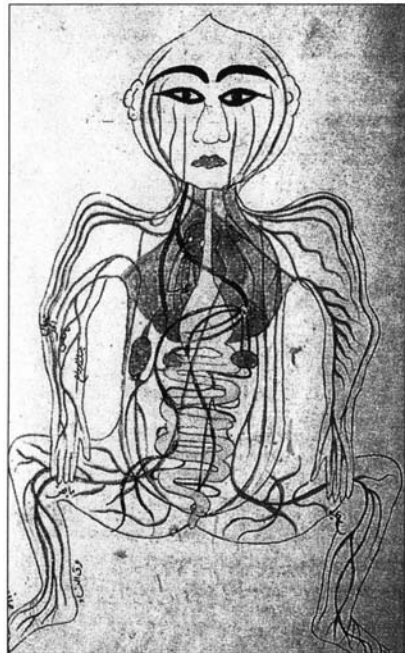
Indépendamment des humeurs, une véritable étude anatomique débute avec Praxagoras de Cos (340-320 av. J.C.) qui différencie veine et artère (Beaujeu, 1966). Cette différenciation en deux catégories d'organes qui possèdent la même fonction, transporter le sang, est à l'origine d'erreurs et d'imprécisions. Ces dernières se traduisent d'abord, historiquement, dans le vocabulaire. La confusion se crée entre l'aspect du vaisseau et le compartiment vasculaire auquel il se trouve rattaché. Le système des "pneuma" de Galien, médecin grec du II^e siècle, s'appuie davantage sur l'observation de la respiration. Comme toute dissection est interdite, les représentations imagées du Moyen Age sont recopiées de manuscrit en manuscrit, sans support scientifique possible. Cependant, les éléments à figurer étant en petit nombre (pneuma, sang), le schéma descriptif devient possible, en y associant les structures anatomiques correspondantes. Les vaisseaux et le sang sont indifférenciés, représentés par un seul trait, ce qui traduit l'amalgame entre le sang circulant et la vaisseau qui le contient.

Dans les dessins de l'époque (figure 2), les circuits artériel et veineux sont non seulement indépendants, mais codés de façon différente. Les artères sont colorées en bleu dans le manuscrit original (couleur en rapport avec l'air) ; les veines sont colorées en rouge puisqu'elles sont connues comme renfermant du sang.

En fait, le problème est plus complexe car le pneuma est un élément qui n'est pas vraiment matériel, à la fois gaz et esprit. Rappelons que Diderot définit la pneumatologie comme l'étude des pensées (et non l'étude des poumons), et qu'inspirer veut dire aussi bien donner de l'esprit que faire entrer l'air dans l'appareil respiratoire.

Figure 2 : Représentation anatomique de tradition persane.

Le foie (à gauche) est le centre de production du sang. Le cœur, en relation avec les poumons, est le centre de production du pneuma vital. Le tracé des vaisseaux dérive vraisemblablement de manuscrits grecs perdus depuis. Les codes de couleur sont inverses par rapport à l'emploi actuel (adapté de CARO M. et al. (1989). *Biologie 3^e*. Paris, Magnard, p. 126).



Les dissections étant tolérées, les dessins véritablement anatomiques apparaissent au XVI^e siècle ; ils s'appuient sur de réelles observations. Cependant, ils respectent encore les préceptes de Galien. C'est ainsi que Vésale dessine séparément réseau veineux et réseau artériel. Trois organes sont représentés en rapport avec la circulation : le foie (source du sang / pneuma naturel), le cerveau (source de l'esprit / pneuma animal) et le cœur (source de chaleur / pneuma vital).

Léonard de Vinci associe en un seul ensemble les veines caves et l'artère pulmonaire, ce qui ne correspond pas à la réalité, mais qui s'explique par le fait que les oreillettes n'étaient pas considérées comme faisant partie du cœur. Il figure également les pores interventriculaires, inventés par Galien pour expliquer la présence de sang dans les artères (figure 3).

Ceci prouve bien qu'à cette époque les auteurs dessinent davantage ce qu'ils s'attendent à trouver plutôt que ce qu'ils observent vraiment.

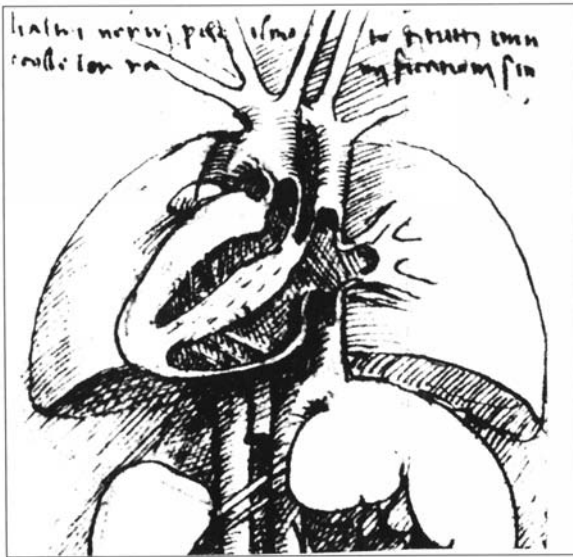


Figure 3 : Dessin anatomique de Léonard de Vinci.

Les structures représentées illustrent bien les théories de l'époque : pores à l'intérieur de la cloison interventriculaire ; foie, centre de la circulation sanguine, avec comme corollaire, la liaison directe entre les veines caves et l'artère pulmonaire (extrait de MATHÉ J. (1978). *Léonard de Vinci, dessins anatomiques*. Fribourg, Liber SA, p. 72).

Harvey découvre le mécanisme de la circulation sanguine ; cependant il désigne encore l'artère pulmonaire sous le nom de veine artérielle et les veines pulmonaires sous le nom d'artères veineuses. Les dessins qui accompagnent le texte de son livre *De motu cordis* viennent seulement en illustration des expériences prouvant le sens du mouvement du sang dans les vaisseaux sanguins (Harvey, 1628). Les autres figures qu'il a laissées correspondent simplement à des planches anatomiques. Aucun dessin ne vient matérialiser le circuit sanguin à l'intérieur du corps.

L'absence de schématisation est à mettre en parallèle avec le fait que le rôle de la circulation n'est pas encore établi. Les connaissances de l'époque

prennent toujours en compte les théories galéniques sur le pneuma vital et la théorie des humeurs.

La notion de chaleur interne, déjà connue par Galien, vient modifier les principes anciens en y associant le système des pneuma : *“Pour ce qui est des parties du sang qui pénètrent jusqu’au cerveau, elles n’y servent pas seulement à nourrir et entretenir sa substance, mais principalement aussi à y produire un certain vent très subtil, ou plutôt une flamme très vive et très pure, qu’on nomme les esprits animaux.”* (Descartes, 1637).

La chaleur interne reste encore un modèle explicatif pour Claude Bernard qui en rédige même un traité (Bernard, 1876). Ce principe, qui restera encore en vigueur au début du XX^e siècle (Perrier, 1918), consiste à mettre en rapport les mécanismes vitaux avec la production de chaleur.

Cette importance accordée à la production de chaleur explique toutes les mesures calorimétriques qui ont été effectuées dès 1780 par Seguin et Lavoisier (Giordan, 1987). Elle explique également que la valeur énergétique des aliments ait été longtemps exprimée en calories.

Le raisonnement en terme de chaleur interne apporte un élément nouveau par rapport au principe de pneuma vital de Galien : elle permet de mieux comprendre la structure des poumons. En effet, les poumons jouant le rôle de radiateur, ils acquièrent une fonction concrète plus satisfaisante pour l’esprit. Bien que partiellement inexacte, l’interprétation de la respiration comme échange calorique permet d’expliquer la différence entre veine et artère et conduit à abandonner le système des humeurs. Des rôles différents vont être attribués aux sangs artériel et veineux.

La couleur rouge clair du sang artériel conduit à amplifier son rôle par rapport au sang veineux : il sera considéré comme vivifiant. Le sang veineux, plus sombre (donc supposé plus froid), sera considéré plus tard comme toxique (Bichat, 1802) jusqu’au début du XX^e siècle (Brémant, 1924). Cette différence de couleur s’accorde bien avec l’image que l’on se fait d’un corps changeant de température. Le fer en refroidissant passe lui aussi du rouge clair au rouge sombre. Cette image, ainsi que la découverte d’une nouvelle méthode d’étude des vaisseaux sanguins, va favoriser la représentation du sang sous forme de schémas.

C’est effectivement à cette époque que Ruysch (Binet, 1988) applique la technique des injections de substances colorées dans les vaisseaux sanguins. Ces injections sont à l’origine des codes rouge et bleu employés dans les schémas circulatoires actuels. Cette couleur bleue convient d’autant mieux qu’elle est qualifiée de couleur froide.

D’autre part, les veines apparaissent bleues par phénomène de contraste simultané avec la couleur jaunâtre de la peau. Ainsi, une simple particularité perceptive se trouve à l’origine d’un code de couleur qui ne sera plus modifié par la suite. Le code couleur répond bien à la figurabilité de la température du sang.

A notre connaissance, le premier schéma de la circulation est celui de Claude Bernard, paru dans la *Revue des Deux Mondes*, le 1^{er} mars 1865. Cette première représentation du schéma circulatoire est reprise dans la Grande Encyclopédie de 1890 (figure 4). Il est bien question de schéma de la circulation et non de dessin de l'appareil circulatoire, puisque les parois du "contenant" (cœur et vaisseaux sanguins) disparaissent.

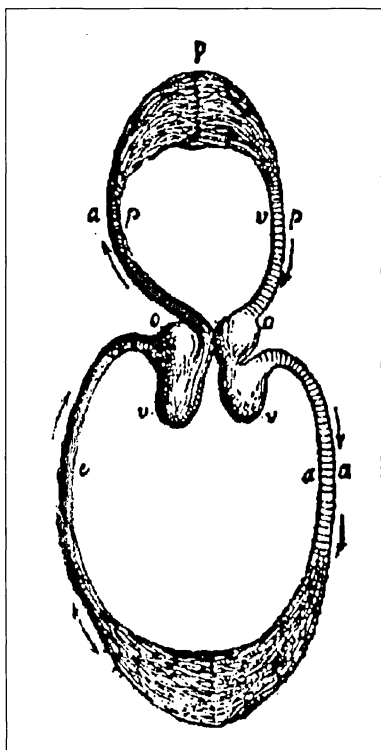


Figure 4 : Schéma de Claude Bernard.

Pour la première fois, le circuit sanguin est représenté sous forme d'une double boucle. Le figuré dans les artères permet de les rendre plus claires par rapport aux veines, respectant ainsi la variation de la couleur du sang. Il y a correspondance entre l'apparition de ce schéma et la découverte du transport des gaz respiratoires par le sang (extrait de HAHN L. (1890). *La grande encyclopédie, inventaire raisonné des sciences, des lettres et des arts*. Paris, Société de la Grande Encyclopédie).

Le principe de la chaleur interne a certainement influencé Claude Bernard puisque celui-ci, comme cela a été dit plus haut, lui a consacré un traité. Néanmoins, cela n'apparaît pas clairement dans la schématisation. Nous pouvons seulement constater le parallélisme entre la découverte du rôle du sang dans la respiration et le changement dans la signification des codes employés dans les illustrations.

Les couleurs rouge et bleu voulaient indiquer un réseau particulier (sang artériel, sang veineux). A partir de cette époque, la différence de couleur du sang s'interprète comme une différence de composition chimique.

Le schéma circulatoire ne correspond plus au circuit du sang dans le corps ; il correspond à une fonction de distribution de l'oxygène dans l'organisme. Le circuit sanguin n'est pas figuré à l'intérieur d'une silhouette humaine

comme cela existe dans beaucoup de manuels scolaires actuels, car le schéma se veut général, applicable à n'importe quel mammifère. Paradoxalement, la cellule qui a contribué à énoncer la notion de milieu intérieur ne figure pas dans cette symbolisation.

Postérieurs à celui de Claude Bernard, les schémas de Mathias Duval (figure 5) prennent moins en compte la respiration. Ils mettent l'accent sur les aspects hémodynamiques en insistant sur la variation de diamètre des vaisseaux sanguins. Celui de Claude Bernard ne respectait pas ces aspects du circuit sanguin. La diminution du flux au niveau des capillaires n'apparaît pratiquement pas.

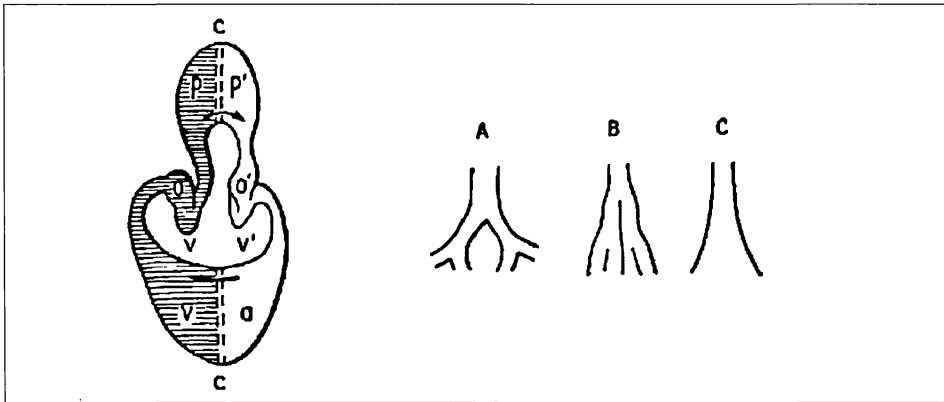


Figure 5 : Schéma de Mathias Duval.

Bien que contemporain de Claude Bernard, M. Duval propose postérieurement une autre représentation de la circulation. Elle vise à préciser les concepts "mécaniques" de la circulation qui ne sont pas encore unanimement admises (adapté de Chanton & Paniel, 1964).

Pour pallier cet inconvénient, Mathias Duval introduit la notion de cône vasculaire pour rendre compte de l'augmentation du diamètre total des vaisseaux au niveau des capillaires. Ce schéma s'inscrit dans le courant matérialiste de la physiologie qui consiste à réduire les phénomènes vitaux à des mécanismes physiques. Ce courant reprend vigueur avec le succès des méthodes physiques lors des études hémodynamiques développées par Marey et Poiseuille.

Le schéma de type Mathias Duval n'est pas repris dans les livres actuels. Il figure encore, cependant, dans celui de Chanton et Paniel (1964), au chapitre consacré à l'hémodynamique. De nos jours, dans les manuels et les ouvrages de vulgarisation, l'aspect respiratoire prime sur l'aspect mécanique et le schéma de Claude Bernard est seul conservé.

Cette vision purement respiratoire du schéma traditionnel n'a pas échappé à L. Chauvois (1934) qui a étudié l'histoire de la circulation sanguine. Cet auteur a tenté d'introduire un schéma qui fournisse une représentation

imaginée plus complète de la circulation (figure 6). Elle permet de visualiser non seulement le transport des gaz respiratoires, mais aussi celui des nutriments et la formation de la lymphe, ainsi que l'augmentation du volume vasculaire au niveau des capillaires (schéma de M. Duval). D'autre part, au plan de la figurabilité, il apporte une solution au caractère progressif des échanges nutritionnels dans le sang en codant plusieurs éléments contenus dans le sang. La répartition en secteurs n'est pas immédiatement compréhensible. Elle s'explique par le fait que, dans la continuité des visions mécanistes (chaleur et combustion internes), l'auteur compare la circulation à un moteur à quatre temps (d'où les quatre secteurs).

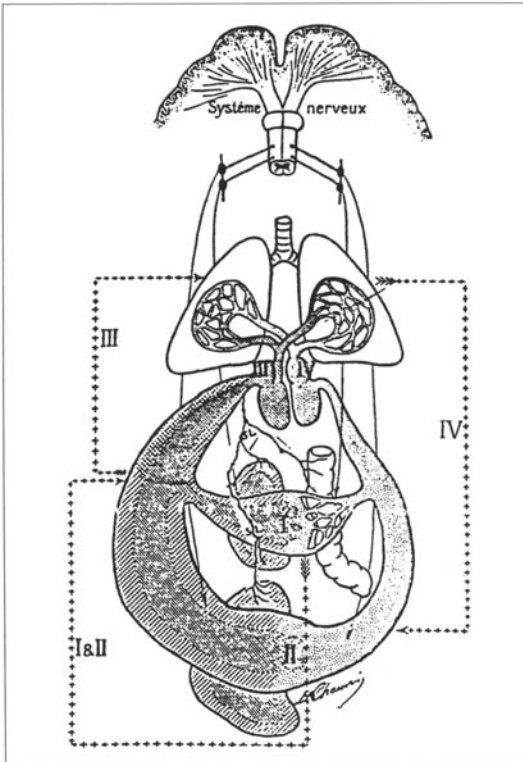


Figure 6 :
Schéma de Chauvois.

Il tente de compléter le schéma de Claude Bernard en faisant figurer les nutriments. La complexité des codes qui en résulte l'a fait abandonner par l'édition scientifique (extrait de Chauvois, 1934).

On remarquera également que ce schéma ne prend pas en compte la structure cellulaire. La circulation reste un mécanisme conçu au niveau des organes et non au niveau des cellules. Il ne matérialise toujours pas le concept de milieu intérieur. Ce type de schéma ne sera pas non plus retenu par la suite. Les codes de couleur continueront de désigner des différences de composition gazeuse.

Un dernier type de schéma (figure 7) est proposé par Gamble (1954). Il ne s'agit plus de la circulation au sens de circulation sanguine, mais de répartition des éléments organiques dans le corps, plus précisément au niveau cel-

lulaire. Le mouvement sanguin par lui-même n'a pas d'importance ; ce qui importe, c'est la distribution des éléments dans le compartiment cellulaire. Les éléments figurés du sang sont inclus dans ce compartiment. L'apparition du concept d'homéostasie fait perdre au schéma son aspect circulaire, pour ne conserver que l'aspect de la distribution des éléments, même si sa forme n'évoque pas le milieu intérieur. Les flèches traduisent l'équilibre entre les entrées et les sorties.

Actuellement, la tendance de l'enseignement consiste à souligner que le maintien de la vie s'explique par des transferts d'énergie. Le maintien de la constance du milieu intérieur ne s'appuie pas sur les schémas circulatoires. Cette nouvelle approche n'a pas encore de retombées directes sur la forme des schémas. Ceux qui illustrent les pages des manuels scolaires correspondent toujours au modèle de Claude Bernard, car celui-ci apparaît comme la forme la plus adaptée pour illustrer le nom même de circulation (figure 8).

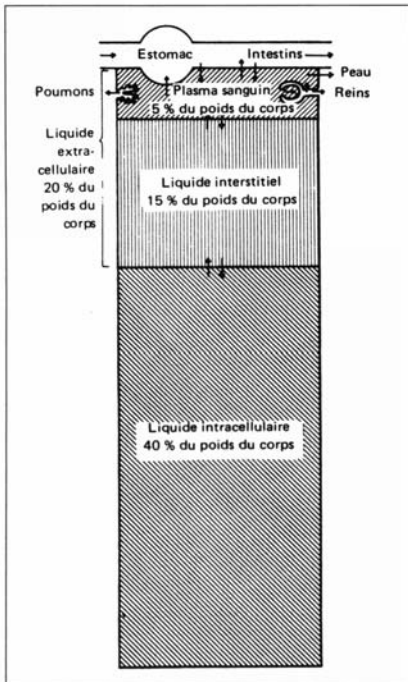


Figure 7 : Le schéma de Gamble rompt avec le schéma circulaire en y substituant la diffusion, le mouvement circulaire n'ayant comme fonction que de favoriser cette diffusion (cité par GANONG W.H. (1977). *Physiologie médicale*. Paris, Masson, p. 8).

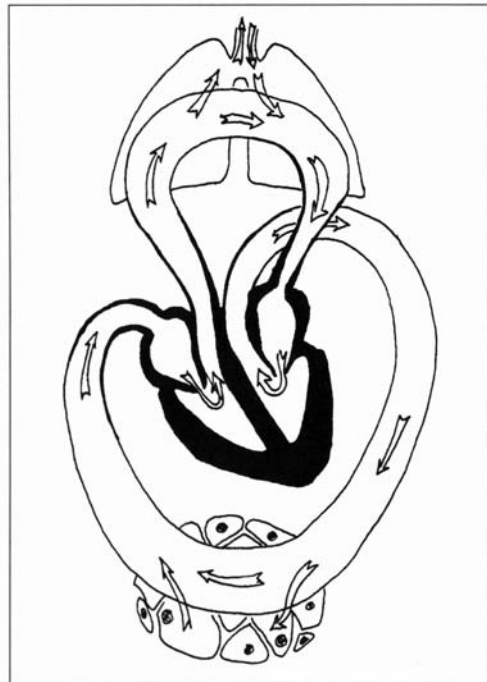


Figure 8 : Les schémas actuels contiennent de présenter une version circulaire du mouvement sanguin pour illustrer la notion de cycle. Les codes rouge et bleu qui matérialisent sang artériel et sang veineux contribuent à privilégier les propriétés du sang dans la respiration (d'après DEBRUNE M. et al. (1980). *Sciences naturelles*, 3^e. Paris, Belin).

ENSEIGNEMENTS TIRÉS DE L'ÉTUDE HISTORIQUE DES SCHÉMAS

L'étude historique des représentations imagées de la circulation sanguine apporte quelques éclaircissements à propos de la figurabilité, c'est-à-dire la possibilité de présenter sous forme iconique des objets abstraits ou non visibles.

Les premières représentations montrent que la traduction sous forme de dessin purement iconique n'est pas possible. La plupart des éléments qui doivent apparaître ne sont pas matériels (humeurs). Il s'ensuit une représentation de type organigramme où les éléments sont inscrits sous forme textuelle. L'image n'apporte pas vraiment d'information nouvelle ; elle ne facilite pas le mécanisme de reconnaissance rapide.

Une étape est franchie quand l'auteur peut mettre en rapport une substance et un vaisseau conducteur. Cet artifice permet de figurer un élément non matériel (pneuma) en désignant le contenu par le contenant. Un code vient en superposition par rapport à un support anatomique réputé perceptible (après dissection). Ce type de représentation, élaboré depuis le Moyen Age, subsiste encore dans les livres de sciences, mais il fige la conception de la circulation en tant que mécanisme respiratoire puisque les codes de couleur, obligatoirement en nombre restreint, ne matérialisent (de façon imparfaite) que la composition gazeuse du sang.

Le concept d'homéostasie, plus abstrait que le simple transport de gaz ou de nutriments, crée une nouvelle difficulté de figurabilité. Les auteurs se tournent vers des représentations également plus abstraites comme l'organigramme. Le dessin devient plus pauvre que la conception à illustrer.

Ces constatations sont à relier au rôle du schéma qui est double. Celui-ci doit fournir une vision rapide d'un phénomène et assurer une redondance par rapport au message textuel. La nécessité d'une lecture rapide explique que malgré un contenu sémantique souvent dense, le schéma présente un aspect dépouillé.

La redondance du message se heurte quant à elle à des difficultés de figurabilité puisque, pour que le dessin crée un nouveau sens (et non une simple reconnaissance), il faut que le lecteur "réinvente" ou découvre la relation entre le code et la notion exprimée.

Les exemples sur la circulation sanguine montrent que le décalage entre l'énoncé du phénomène et sa figuration peut être considérable, par le fait que les découvertes concernent généralement des abstractions. La figurabilité d'un mécanisme dépend de l'apparition et de l'acceptation de codes suffisamment explicites.

BIBLIOGRAPHIE

- BEAUJEU J. (1966). La science hellénistique. In R. Taton, *Histoire générale des sciences*, tome 1. Paris, PUF, pp. 393-423.
- BERNARD C. (1876). *Leçons sur la chaleur animale*. Paris, Baillière.
- BERTIN J. (1970). La graphique. *Communication*, n° 15, pp. 169-185.
- BICHAT X. (1802 - éd. 1981). *Recherches physiologiques sur la vie et la mort*. Paris, Vrin.
- BINET J.-L. (1988). *Le sang et les hommes*. Paris, Gallimard-Cité des Sciences.
- BORNANCIN B. (1987). Quelques activités de modélisation à l'École élémentaire. In A. Giordan & J.-L. Martinand (Eds), *Modèles et modélisation. Actes des IX^{es} Journées internationales sur l'éducation scientifique*. Paris, Université Paris 7, UER de Didactique des disciplines, pp. 169-177.
- BRÉMANT A. (1914). *Sciences physiques et naturelles, cours supérieur*. Paris, Hatier.
- CHANTON R. & PANIEL J. (1964). *Anatomie et physiologie animales, fonctions de nutrition*. Paris, Doin.
- CHAUVOIS L. (1934). *Circulation du sang. Schéma nouveau*. Paris, Baillière.
- DESCARTES R. (1637 - éd. 1963). *Oeuvres et lettres*. Paris, La Pléiade.
- DIXON B. et al. (1986). *The human machine*. Oxford, Equinox Ltd.
- DUCROS B. (1989). *Le concept de circulation du sang : production d'outils didactiques*. Thèse de doctorat, Université Paris 7.
- DWYER F.M. (1967). Adapting visual for effective learning. *Harvard Educational Review*, n° 37, pp. 250-265.
- FLOURENS P. (1854). *Histoire de la découverte de la circulation du sang*. Paris, Baillière.
- FRESNAULT-DERUELL P. (1984). Métaphores / métamorphoses / figurabilité. *Langages*, n° 75, pp. 55-64.
- GAMBLE (1954). *Chemical anatomy, physiology and pathology of extracellular fluid*. Harvard University Press.
- GIORDAN A. (1984). Compréhension de livres scientifiques de vulgarisation (texte et iconographie) par des élèves de 8 à 14 ans. In A. Giordan & J.-L. Martinand (Eds), *Signes et discours dans l'éducation et la vulgarisation scientifiques. Actes des VI^e Journées internationales sur l'éducation scientifique*. Paris, Université Paris 7, UER de Didactique, pp. 661-670.
- GIORDAN A. et al (1987). *Histoire de la biologie*. Paris, Lavoisier.
- HARVEY W. (1628 - éd. 1962). *La circulation du sang*. Traduction de C. Richet. Paris, Masson.
- JACOBI D. (1984). Figures et figurabilité de la science. *Langages*, n° 75, pp. 23-42.
- JACOBI D. (1985). Références iconiques et modèles analogiques dans le discours de la vulgarisation scientifique. *Informations en sciences sociales*, n° 24, pp. 847-867.

JACOBI D. (1987). Des images pour apprendre les sciences. *Éducation permanente*, n° 90, pp. 39-55.

JACOBI D. (1987). *Textes et images de la vulgarisation scientifique*. Berne, Peter Lang.

JACOBI D. (1988). Les images et la vulgarisation scientifique. *Bulletin de Psychologie*, n° 386, pp. 559-570.

JACQUINOT G. (1988). Pas sage comme une image ou de l'utilisation des images en pédagogie. *Bulletin de Psychologie*, n° 386, pp. 603-609.

LARKIN J.H. & SIMON H.A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth than thousand words. *Cognitive Science*, n° 11, pp. 65-99.

LAVARDE A. (1985). *Sang rouge-sang bleu, 700 ans de représentations de l'appareil circulatoire*. Mémoire de DEA, Université Paris 7.

LAVARDE A. (1992). *Contribution à l'étude de la schématisation dans l'enseignement de la circulation sanguine*. Thèse de doctorat, Université Paris 7.

LÉOUTRE G. (1979). Les moyens d'expression graphique. In *Fiches documentaires*, n° 3. Paris, CNDP, pp. 13-21.

MOLES A. (1981). *L'image, communication fonctionnelle*. Tournai, Casterman.

PERRIER E. (1918). *La vie en action*. Paris, Flammarion.

RABARDEL R. (1984). Problème de lecture du dessin technique mécanique. In A. Giordan & J.-L. Martinand (Eds), *Signes et discours dans l'éducation et la vulgarisation scientifiques. Actes des VI^{es} Journées internationales sur l'éducation scientifique*. Paris, Université Paris 7, UER de Didactique, pp. 117-127.

RANKIN R.D. (1989). The development of an illustration design model. *Educational and Teaching Review*, vol. 37, n° 2, pp. 25-46.

RICHAUDEAU F. (1979). *Conception et production des manuels scolaires*. Paris, UNESCO-Retz.

RONCIN M. (1987). Les idées fausses induites par le schéma actuel de la circulation du sang. In A. Giordan & J.-L. Martinand (Eds), *Modèles et modélisation. Actes des IX^{es} Journées internationales sur l'éducation scientifique*. Paris, Université Paris 7, UER de Didactique des disciplines, pp. 231-234.

VÉZIN J.-F. (1986). Schématisation et acquisition des connaissances. *Revue Française de Pédagogie*, n° 77, pp. 71-78.

VÉZIN J.-F. & VÉZIN L. (1988). Illustration, schématisation et activité interprétative. *Bulletin de Psychologie*, n° 386, pp. 655-666.

VÉZIN L. (1986). Les illustrations, leur rôle dans l'apprentissage des textes. *Enfance*, n° 1, pp. 109-126.

VÉZIN L. (1989). Sémiologie et fonction de l'illustration. *Bulletin de Psychologie*, n° 392, pp. 796-807.

VETTER T. (1965). *Un siècle d'histoire dans la circulation du sang*. Documenta Geigy.