



« Mon sang n'a fait qu'un tour »
*La découverte
de la circulation pulmonaire*

Nadia Ouahioune et Corinne Fortin

© Éditions Le Pommier, 2009

Pré-requis en cycle 3 de l'école primaire : première approche de la respiration dans la partie « Corps humain et éducation à la santé ».

Objectifs notionnels :

Cycle 3

- Connaître le rôle de la circulation dans la nutrition des organes ;
- Connaître les relations anatomiques entre l'appareil circulatoire et l'appareil respiratoire ;
- Appréhender les risques liés au tabagisme, à la consommation d'alcool et à celles des drogues.

Collège, classe de cinquième

- Comprendre que le sang circule à sens unique dans des vaisseaux qui forment un système clos ;
- Rôle du cœur dans la mise en mouvement du sang.

Référence au programme de sciences et technologie du cycle 3 de l'école primaire :

Corps humain et éducation à la santé (première approche de la circulation sanguine).

Référence au programme de science de la vie et de la terre au collège (classe de cinquième) :

Fonctionnement de l'organisme et besoins en énergie : rôle du cœur dans le bon fonctionnement de l'organisme.

Liste du matériel pour une classe de 25 à 30 élèves :

Chronomètre, tuyau en plastique transparent assez long (50 cm), seringues, gants en vinyle, pailles, trousse garnie de 4 instruments inox pour dissection (petite et grosse pinces, scalpel, une paire de ciseaux), 2 cœurs-poumons, 15 cœurs d'agneau en bon état avec 2 cm de vaisseaux sanguins (afin de pouvoir y introduire les tuyaux en plastique) – à commander chez le boucher –, prévoir 2 bassines blanches (pour mieux voir le sang), des éponges.

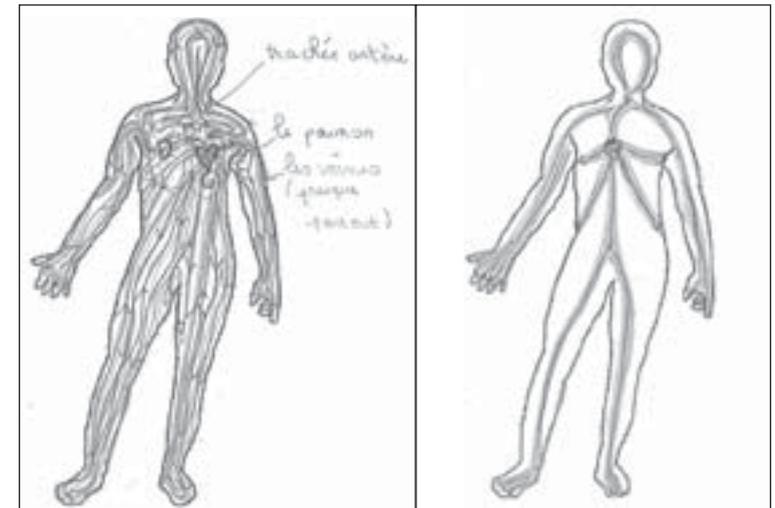
Vers le 11^e siècle après J.-C., le médecin Galien propose une conception du trajet du sang dans le cœur qui fera autorité jusqu'au 13^e siècle. Selon Galien, une partie du sang contenu dans la partie droite du cœur sert à nourrir les poumons, l'autre partie à éliminer des substances produites par le corps. Un peu de sang contenu dans la cavité droite du cœur passe aussi vers la cavité gauche en traversant la cloison qui sépare les deux moitiés du cœur.

Cette conception sera remise en cause, vers 1230, par Ibn al-Nafis, médecin chirurgien au Caire. Ibn al-Nafis fait une autre proposition : le sang sort de la cavité droite du cœur pour aller aux poumons, mais revient vers la cavité gauche du cœur, sans traverser la cloison. Ce n'est qu'au 16^e siècle que le trajet du sang entre le cœur et les poumons, décrit par Ibn al-Nafis, sera « redécouvert » en Europe, par Servet et par Colombo. Au 17^e siècle, Harvey s'appuiera sur l'idée du flux sanguin entre le cœur et les poumons pour construire son modèle circulaire de trajet du sang entre le cœur et tous les organes.

Ce bref rappel historique illustre à quel point les seules connaissances anatomiques ne renseignent pas, ou si peu, sur le fonctionnement réel des organes, car les mêmes faits anatomiques peuvent être différemment interprétés. Nous proposons, ici, de discuter quelques pistes pédagogiques pour confronter les thèses d'Ibn al-Nafis et de Galien, et montrer ainsi pourquoi l'idée de Galien fut abandonnée au profit de celle d'Ibn al-Nafis.

Les représentations des enfants face aux conceptions scientifiques

Les enfants ont leurs propres conceptions du trajet du sang dans le corps. Cela va de l'irrigation, telle l'eau s'écoulant dans les canaux d'un jardin, à l'idée de distribution du sang à partir d'un organe central (généralement le cœur), ou de circulation, au sens d'un trajet en une boucle fermée. Les dessins des enfants représentent aussi bien des « tuyaux » en réseau dans lesquels le sang est canalisé, mais pas nécessairement en mouvement, que des « tuyaux » reliés au cœur et parfois aux poumons.



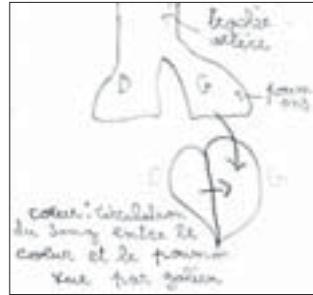
Représentations du trajet du sang dans le corps

Dessin de Lice (CM2, école Joliot-Curie, Montreuil) Dessin d'Aurore (CM1, école Joliot-Curie, Montreuil)

La confrontation entre ces conceptions « spontanées » et les conceptions historiques de Galien et d'Ibn al-Nafis permet d'engager, en classe, une discussion autour de quelques questions : que dit Galien ? que dit Ibn al-Nafis ? est-ce que le sang bouge ? bouge-t-il dans tous les sens ou dans un seul seulement, quel est le trajet du sang dans le cœur et dans le corps, etc. ?

La conception de Galien

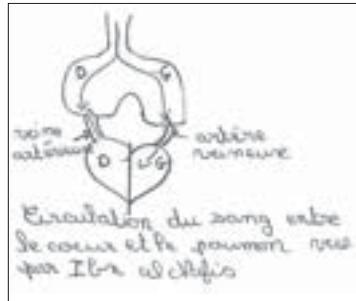
Selon Galien, une partie du sang contenu dans la partie droite du cœur traverse la cloison par de petits pores (non visibles à l'œil nu) pour aller dans la partie gauche. L'air inspiré venant des poumons passe directement dans le cœur gauche.



Dessin de Sarah
(CM1, école Joliot-Curie, Montreuil)

La conception d'Ibn al-Nafis

Ibn al-Nafis suppose, contrairement à Galien, que les poumons contiennent du sang ; que celui-ci vient du cœur et y retourne par deux chemins différents : « Il n'y a pas de passage entre ces deux cavités [droite et gauche] car la substance du cœur en cet endroit est compacte, ne comprenant ni de passage apparent comme on le croyait communément, ni de passage inapparent qui permettrait la traversée du sang comme l'a imaginé Galien. [...] Aussi, une fois raffiné, le sang doit nécessairement passer de la veine artérielle [artère pulmonaire] au poumon pour se répandre dans la masse, se mélanger à l'air, purifier sa partie fine puis pénétrer dans l'artère veineuse [veine pulmonaire] qui l'amène à la cavité gauche du cœur. »



Dessin de Kévin
(CM2, école Joliot-Curie, Montreuil)

Comment établir un lien fonctionnel entre le cœur et les poumons ?

Pour beaucoup d'enfants, le cœur et les poumons ont deux fonctions séparées :

- le cœur pour répartir le sang dans le corps ;
- les poumons pour respirer.

Comment vérifier un possible lien entre ces deux organes comme le suppose Ibn al-Nafis ?

Le poumon est connu comme organe de la respiration, assurant l'entrée (l'inspiration) et la sortie d'air (l'expiration), tandis que le cœur est un organe qui contient du sang. Aussi, certains enfants soulignent le lien entre l'essoufflement lors d'un effort physique et l'accélération des battements du cœur : « Si on court trop longtemps, le cœur bat très vite, trop fort et on a du mal à respirer. » Un moyen d'établir une corrélation entre respiration et activité cardiaque consiste à mesurer les fréquences respiratoire et cardiaque, au repos et après un effort.

La mesure de la fréquence cardiaque

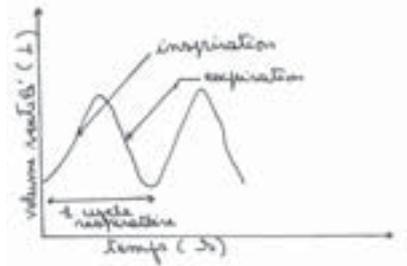
Elle peut se faire par la prise du pouls : il suffit de placer l'index et le majeur sur l'artère radiale (à l'intérieur du poignet) ou sur l'artère carotide du cou (à droite ou à gauche du larynx, sous la mâchoire inférieure). Ces pulsations correspondent à la propagation, dans la paroi de l'artère, d'une onde résultant de la contraction du cœur.

La fréquence cardiaque correspond au nombre de pulsations par minute. Chaque élève note son nombre de pulsations en une minute, au repos et après un exercice physique (après vingt flexions, par exemple).



La mesure de la fréquence respiratoire

Il s'agit de compter le nombre de cycles respiratoires. Chaque cycle est constitué d'une inspiration et d'une expiration. La fréquence est donc le nombre de cycles respiratoires en une minute. Là encore, cette mesure est d'abord effectuée au repos puis après un exercice physique (le même que celui réalisé pour la prise du pouls).



Les mesures sont alors consignées dans un tableau récapitulatif pour obtenir une moyenne.

Activités	Repos	Exercice physique
Fréquence respiratoire	26	40
	27	42
	28	40
	Moyenne = 27 cycles/min	Moyenne = 40,6 cycles/min
Fréquence cardiaque	80	120
	90	120
	70	110
	Moyenne = 80 pulsations/min	Moyenne = 116 pulsations/min

Représentation des résultats sous forme d'histogramme.



Les fréquences – cardiaque et respiratoire – varient de la même façon, au repos comme à l'effort. Les enfants envisagent alors de rechercher un lien explicatif entre les deux.

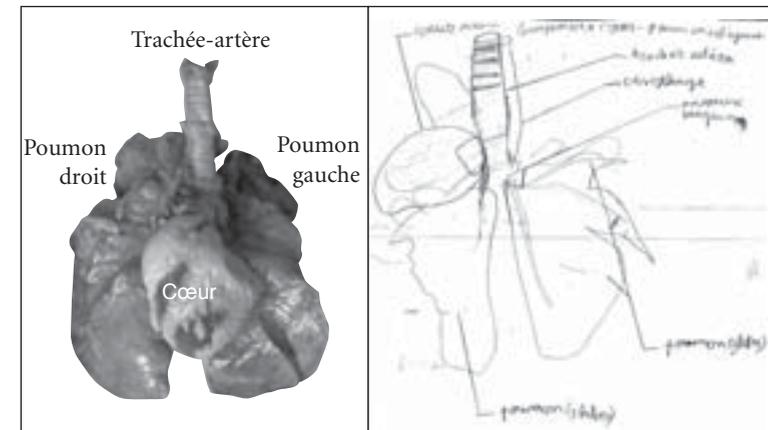
Pour la majorité des enfants, l'air inspiré passe dans les poumons où il se transforme en air expiré, sans se « mélanger » au sang. Un retour à la conception d'Ibn al-Nafis permet de s'interroger sur la présence du sang dans les poumons. Comment l'y mettre en évidence ?

Y a-t-il du sang dans nos poumons ?

Pour vérifier la présence de sang dans les poumons, les enfants observent, touchent et découpent des poumons. Un ensemble cœur-poumons, de préférence de mouton, est utilisé pour la manipulation (il faut prévoir au moins deux poumons-cœurs, l'un servant de témoin pour le comparer avec l'autre qui fait l'objet de manipulations).

L'observation à l'œil nu permet de découvrir deux poumons formés de trois lobes et la présence de deux types de « tuyaux » : ceux qui sont durs au toucher avec des anneaux (trachée et bronches) et ceux qui sont mous (les vaisseaux sanguins).

Pour vérifier que de l'air entre et sort des poumons, les enfants proposent de souffler dans la trachée (il est cependant préférable d'utiliser une seringue



Appareil cardio-respiratoire

Photo Didier Pol
(Multimédia)

Dessin d'observation de Sarah
(CM1, école Joliot-Curie, Montreuil)

Ensemble cœur-poumons (vue externe). Il s'agit d'un bloc cœur-poumons de mouton – l'organisation générale de l'appareil cardio-respiratoire du mouton est similaire à celle de l'homme. Pour aider les enfants à comprendre que moitié gauche et moitié droite du cœur sont inversées lorsque le corps est vu de face, il est intéressant de disposer d'une radiographie du thorax (de face et de profil) qui leur permette de situer exactement le cœur et les poumons et de les dessiner en vue de face avec l'orientation gauche-droite.

remplie d'air que de souffler, c'est-à-dire d'expirer une certaine quantité de CO₂). En utilisant un tuyau d'arrosage introduit dans la trachée, et en pinçant celle-ci sur le tuyau pour obtenir une bonne étanchéité, les enfants soufflent. Les poumons se gonflent et deviennent quasiment blancs. Les poumons dans lesquels les enfants n'ont pas soufflé demeurent rouges et n'augmentent pas de volume. Quant au cœur, il ne subit aucune modification de couleur ou de volume. Cette manipulation montre l'entrée de l'air dans les poumons par la trachée, mais pas sa sortie. En comparant par le toucher le poumon gonflé et celui non gonflé, on constate que le premier présente un aspect granuleux avec des bulles qui éclatent sous les doigts, tandis que le second reste mou. Des coupes transversales de poumons gonflés et non gonflés de 2 cm d'épaisseur placées dans des bassines remplies d'eau permettent d'observer, pour les poumons gonflés, la présence de quelques petits caillots de sang et de bulles et, pour les poumons non gonflés, la présence de quelques petits caillots mais l'absence des bulles.

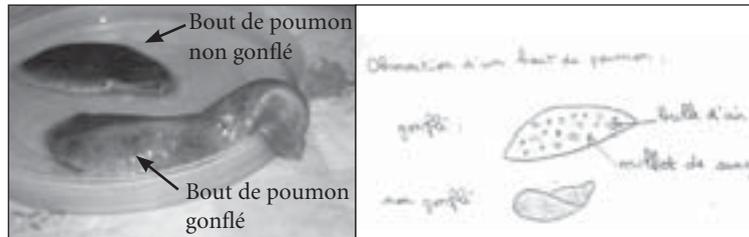
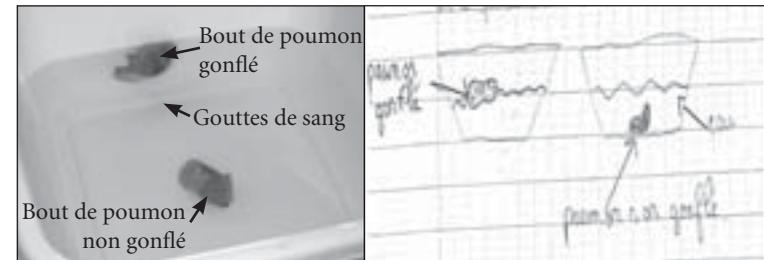


Photo Nadia Ouahioune,
(*La main à la pâte*)

Dessin de Lice
(CM2, école Joliot-Curie, Montreuil)

Certains enfants font une analogie avec le bain dans leur baignoire et les gaz « relâchés » !

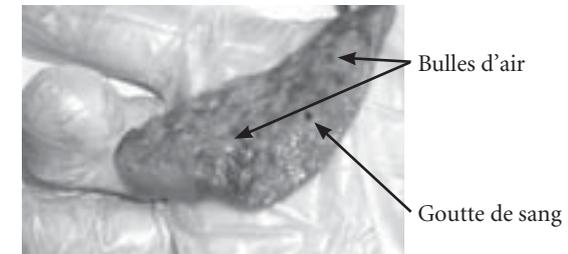
Le fragment de poumon gonflé flotte tandis que le bout de poumon non gonflé coule au fond de la bassine. À leur grande surprise, les enfants constatent aussi que des gouttes de sang s'échappent des morceaux de poumons. L'origine des bulles est expliquée, par les enfants, par la présence de « tuyaux » pour l'air, et celle du sang par la présence d'autres « tuyaux ». Ils écrasent alors les fragments de poumons pour chasser l'air et les gouttes de sang.



Fragments de poumons gonflé et non gonflé plongés dans une bassine d'eau

Photo Nadia Ouahioune,
(*La main à la pâte*)

Dessin de Lice
(CM2, école Joliot-Curie, Montreuil)



Les enfants distinguent donc des « tuyaux » qui transportent l'air (la trachée, les bronches) et des « tuyaux » qui contiennent du sang (les vaisseaux sanguins).

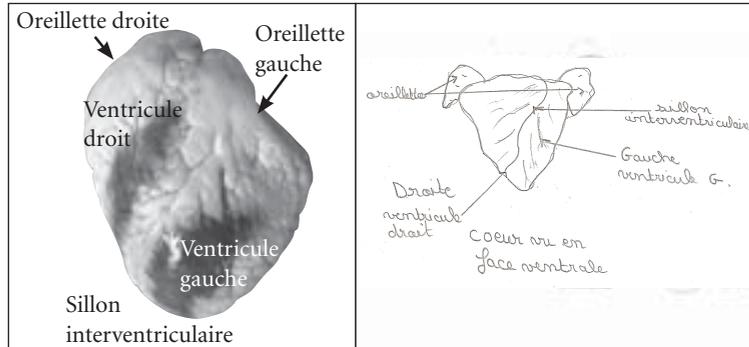
Un retour à l'observation de l'ensemble cœur-poumons va alors permettre de visualiser les connexions anatomiques des vaisseaux sanguins entre le cœur et les poumons et de s'interroger sur le trajet du sang entre les deux organes.

Quel est le trajet du sang entre le cœur et les poumons ?

À cette étape du raisonnement, il est important de revenir aux conceptions de Galien et d'Ibn al-Nafis pour reprendre leurs hypothèses sur le trajet du sang dans le cœur.

D'après Galien, la cloison interventriculaire est perméable et le sang la traverse de la cavité droite vers la cavité gauche par de petits pores.

D'après Ibn al-Nafis, la cloison interventriculaire est imperméable. Le sang sort de la cavité droite du cœur pour rejoindre les poumons et revient des poumons vers la cavité gauche du cœur.



Cœur de mouton en face ventrale

Photo Didier Pol, Multimédia

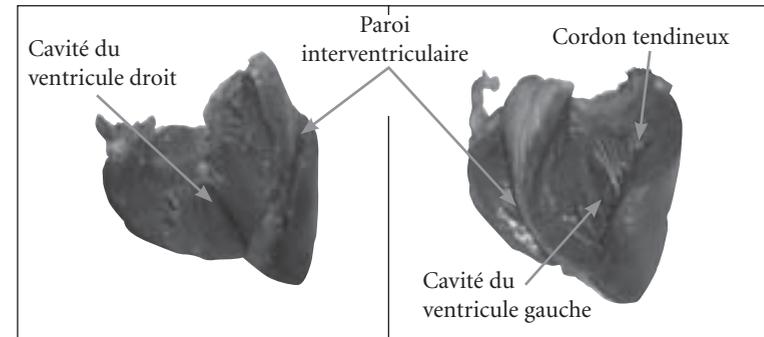
Dessin d'Aurore
(CM2, école Joliot-Curie, Montreuil)

Pour tester ces deux hypothèses, il faut repérer préalablement les faces ventrale et dorsale du cœur : la face ventrale, à l'inverse de la face dorsale, présente un sillon interventriculaire en oblique et elle est renflée. Le sillon interventriculaire indique le tracé de la cloison de séparation entre les moitiés droite et gauche du cœur. À l'aide de pailles introduites dans les vaisseaux sanguins, il est possible de constater que le cœur est doté de :

- quatre cavités : deux oreillettes et deux ventricules ;
- deux types de vaisseaux sanguins sur la partie supérieure du cœur : les artères, à paroi blanche et rigide, et les veines, à paroi rouge et molle. Les artères désignent les vaisseaux contenant le sang qui sort du cœur, et les veines ceux contenant du sang qui revient au cœur.

Comment tester l'hypothèse de Galien ?

En ouvrant le cœur (voir les photos ci-contre), on constate que la cloison interventriculaire présente une texture rugueuse qui laisse penser à certains enfants qu'il existe bien des « espèces de trous » qui peuvent laisser passer le sang d'un ventricule à l'autre.



Cœur gauche ouvert

Cœur droit ouvert

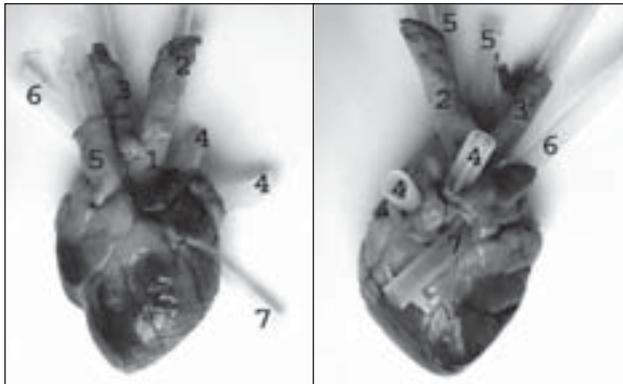
(photo Nadia Ouahioune, *La main à la pâte*)

Pour tester s'il existe ou non des « trous » au niveau de la cloison, les enfants imaginent de remplir le cœur droit avec de l'eau colorée (à l'encre simplement) d'un volume déterminé, et de fermer, à l'aide d'un élastique, les deux demi-cœurs. Pour cela, prendre le cœur séparé des poumons avec des tronçons de vaisseaux sanguins assez longs (2 à 4 cm), comme expliqué en annexe. Par ailleurs, le cœur peut être maintenu « debout » dans un verre en plastique transparent. Quelques heures après, ou en fin de journée, on prend soin de vider le cœur en le retournant. D'abord le cœur droit : de l'eau colorée sort, et le volume recueilli est identique à celui introduit initialement. La même opération est réalisée avec le cœur gauche, mais aucun liquide ne sort. L'eau colorée n'est donc pas passée dans le cœur gauche. La cloison qui sépare les deux cœurs est donc bien étanche, comme l'affirmait Ibn al-Nafis.

Comment tester l'hypothèse d'Ibn al-Nafis ?

Pour Ibn al-Nafis, le trajet du sang entre le cœur et les poumons se fait donc en sens unique selon les étapes suivantes : arrivée du sang dans le cœur droit → sortie du cœur droit par l'artère pulmonaire → entrée du sang dans les poumons → sortie du sang des poumons → retour du sang au cœur gauche par la veine pulmonaire. Ainsi, selon Ibn al-Nafis, le sang passe du cœur droit aux poumons par l'artère pulmonaire, se mélange au « souffle vital » et rejoint le cœur gauche par la veine pulmonaire.

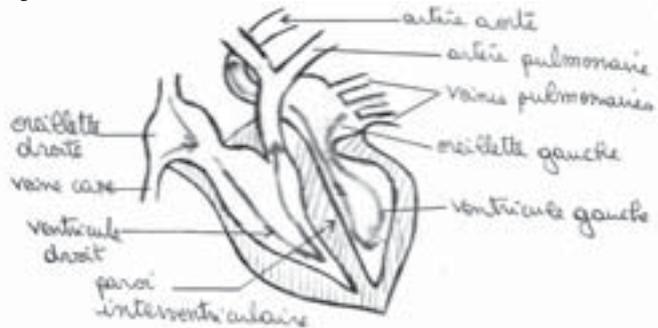
Les enfants proposent d'injecter de l'eau colorée dans les vaisseaux, pour simuler le sang et voir ainsi où se font l'entrée et la sortie de l'eau colorée. Après plusieurs tentatives dans les différents vaisseaux, les enfants notent que l'eau colorée injectée dans la veine cave (au niveau du cœur droit) ressort par l'artère pulmonaire. Si l'injection se fait par la veine pulmonaire, au niveau du cœur gauche, l'eau ressort par l'artère aorte.



Cœur de mouton
Face antérieure Face postérieure
(photos Didier Pol, Multimédia)

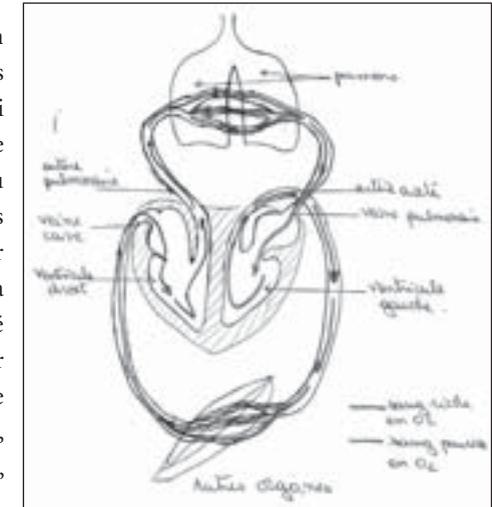
1 : départ du tronc aortique ; 2 : aorte ; 3 : tronc brachio-céphalique droit ; 4 : veine pulmonaire ; 5 : artère pulmonaire (repoussée vers la droite du cœur pour le départ de l'aorte) ; 6 : veine cave supérieure ; 7 : veine cave inférieure.

À l'aide d'un schéma du cœur disséqué, les enfants flèchent le trajet du sang dans le cœur :



Épilogue

L'histoire de la circulation sanguine ne s'arrête pas avec Ibn al-Nafis. On lui doit d'avoir déterminé le déplacement du sang, du cœur droit aux poumons et des poumons au cœur gauche. Mais on doit à Harvey d'avoir démontré que le sang part du cœur et y revient en une boucle reliant la petite circulation, ou circulation pulmonaire, à la grande circulation.



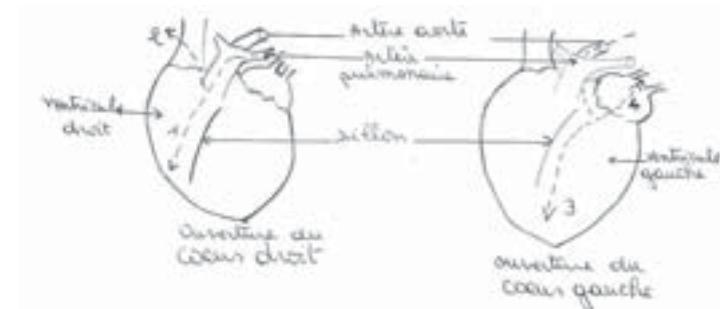
Annexe

Protocole expérimental de dissection

Placez le cœur dans la cuvette de dissection de façon à avoir la face ventrale face à vous.

Ouverture du cœur droit : Introduisez votre paire de ciseaux dans l'artère reliée au ventricule droit (artère pulmonaire) et couper tout le long au-dessus du sillon interventriculaire (incision 1-2).

Ouverture du cœur gauche : introduisez votre paire de ciseaux dans l'artère reliée au ventricule gauche et couper tout le long en dessous du sillon interventriculaire (incision 3-4).



Les Découvertes en pays d'Islam

Pour repérer les faces ventrale et dorsale du cœur

La face ventrale, à l'inverse de la face dorsale, présente un sillon interventriculaire en oblique et est renflée. Avec des pailles introduites dans les vaisseaux sanguins, on constate que le cœur est doté de cavités séparées par une paroi correspondant extérieurement au sillon interventriculaire.

Pour détacher le cœur de l'ensemble cœur-poumons

Il faut sectionner les vaisseaux du cœur en veillant à garder environ 4 cm au-dessus du cœur afin d'étudier plus facilement la couleur et la texture de la paroi. Ces tronçons de 4 cm peuvent aussi ultérieurement servir à y introduire des tuyaux en plastique et à y injecter de l'eau à l'aide de seringues et ainsi déterminer le trajet du sang à l'intérieur du cœur. Enfin, l'ouverture du cœur droit et du cœur gauche est plus aisée ainsi et les valvules sigmoïdes sont sauvegardées. On peut aussi se procurer des cœurs issus des abattoirs, mais bien souvent ils sont entaillés et les vaisseaux sont sectionnés trop court.



Enfants de CM1 de l'école
Joliot-Curie (Montreuil)

Pour repérer les deux types de vaisseaux sanguins sur la partie supérieure du cœur

Les artères : paroi blanche et rigide,
Les veines (paroi rouge et molle).

Pour aller plus loin

La présence d'air dans les poumons est acquise par les enfants, de même le fait que l'air entre en contact avec le sang de nos poumons mais il en est tout autrement du « mélange » de l'air et du sang dans les poumons au niveau des alvéoles pulmonaires. L'enseignant proposera éventuellement une expérience qui leur permette de visualiser l'action de l'air, ou plus exactement du dioxygène sur le sang.

Deux flacons contenant du sang sont utilisés. Dans l'un, on place un bulleur d'aquarium et le sang prend une couleur rouge vif, tandis que le second fermé, présente un sang de couleur rouge sombre.

La différence de coloration des deux flacons est l'occasion de relancer le questionnement sur le lien entre l'air et le sang contenu dans les poumons : comment le sang arrive-t-il aux poumons ? d'où vient-il ?