

Physique de la pression sanguine

Marine Thomas, Cyprien Fumey

Biomécanique

Introduction

Pression

Rapport de l'intensité de la force s'exerçant uniformément sur une surface et perpendiculairement à celle-ci, à l'aire de cette surface.

On considère un tube long, vertical, rempli d'eau.

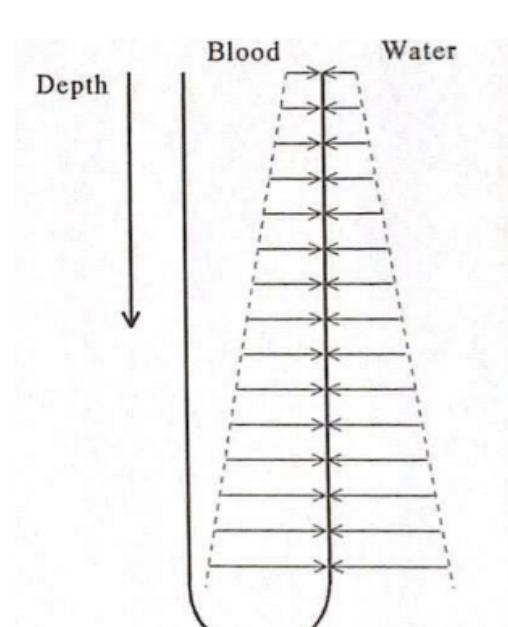
L'eau en bas du tube à une pression hydrostatique plus élevée que l'eau en haut du tube. Cela est due à la gravité qui exerce une force sur le fluide. Cette variation de pression selon la profondeur peut être déterminée par la relation mathématique $P = \rho gh$.

On sait donc que plus on se situe vers le bas du tube, plus l'eau du tube exerce une forte pression dirigée vers l'extérieur de celui-ci. Pour que le tube reste intact, ses parois doivent résister à cette pression.

Milieu Aqueux



Ce n'est pas un problème si le tube est immergé complètement dans l'eau. La pression hydrostatique dans le tube est compensée par la pression hydrostatique extérieure. Il n'y a pas de pression nette autour des parois dans ce cas donc les parois ne doivent résister à aucune force.

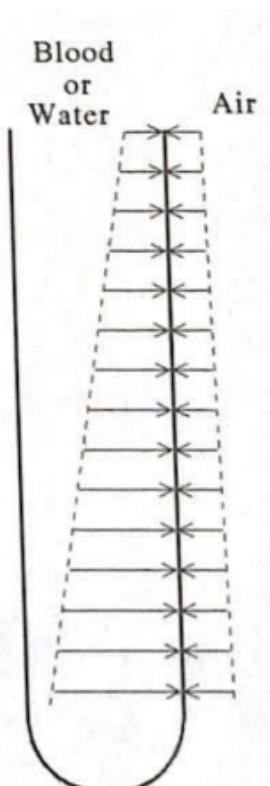


Ce cas de figure se rapproche de celui rencontré par les vaisseaux sanguins des animaux marins. L'animal est entouré d'eau, un changement de pression hydrostatique dans les vaisseaux sanguins est contrebalancé par un changement de pression proportionnel à la pression hydrostatique de l'eau environnante.

En pratique c'est plus compliqué chez un animal, dans une artère le sang doit être maintenu à une pression supérieure à celle de l'eau environnante par le mouvement de pompe du cœur. Cette pression accrue est nécessaire pour faire circuler le sang dans les capillaires.

Cependant, chez un organisme aquatique, la pression dans les artères est la même à peu près partout dans le corps donc les artères ne doivent résister qu'à la pression créée par le cœur.

Milieu Terrestre



La pression exercée par l'air à l'extérieur du tube varie moins en fonction de l'altitude que celle exercée par l'eau (l'air est moins lourd). De plus, vers le fond du tube, les parois doivent résister à une force importante du fluide vers l'extérieur. C'est le cas de nos jambes et nos pieds.

Pression Standard

Sphygmomanomètre

On mesure la pression sanguine avec un Sphygmomanomètre (tensiometre). Fonctionnement : Le brassard est gonflé jusqu'à ce que le pouls huméral ou radial ne soit plus perçu. Un stéthoscope est appliquée au niveau de l'artère humérale, au-dessus du pli du coude, puis le brassard est lentement dégonflé.

Elle varie entre 70 mm de mercure ($9,3 \cdot 10^3 \text{ Pa}$) quand le cœur se remplit et 120 mm de mercure ($1,6 \cdot 10^4 \text{ Pa}$) quand le cœur pompe. Il s'agit de la valeur standard, norme mesurée proche du cœur : corresponds à la pression des artères à la sortie du cœur. Pour que vous ayez un ordre d'idée: 1 mm de mercure vaut exactement 1760 atmosphère (atm), soit environ 133,322 pascals (Pa).

Variation de la pression

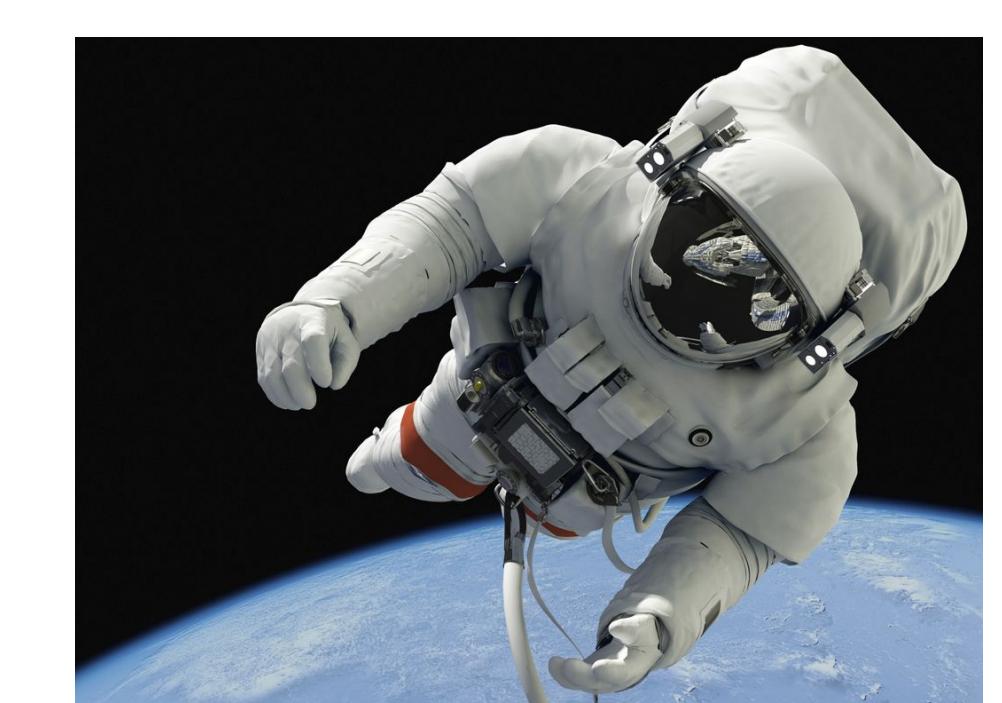
Qu'en est-il de la pression dans des zones plus éloignées du cœur comme les pieds ?

La pression dans les pieds (situés à environ 1,5m en dessous du cœur) est plus grande de $1,5 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ que la valeur standard. C'est une augmentation de 1,6 fois la valeur diastolique. Elles sont naturellement hypertendues et capables de faire face à cette plus grande pression grâce à une plus grande élasticité.

En effet, les artères et les veines des pieds peuvent faire face à des niveaux élevés de pression sanguine en s'adaptant grâce à leur capacité de distension (grande élasticité vu précédemment). Les veines peuvent également se contracter pour maintenir une circulation sanguine adéquate, mais si la pression est excessivement élevée, cela peut entraîner une détérioration de la paroi vasculaire et augmenter le risque de maladies cardiovasculaires et de lésions des tissus.

Chez les personnes plus grandes, le volume sanguin total est généralement plus élevé et les artères sont plus larges, ce qui peut entraîner une pression artérielle plus faible. De plus, la gravité peut jouer un rôle dans la différence de pression artérielle entre les personnes de grande et petite taille. Chez les personnes plus grandes, le sang circule sur une plus grande distance depuis le cœur jusqu'aux pieds, ce qui peut entraîner une dilatation des artères et une réduction de la pression artérielle.

Pour mettre un exemple sur ce qu'on viens de voir, cette élasticité peut poser un problème pour les astronautes. Dans l'espace, l'environnement zéro gravité fait que la pression est la même partout dans le corps. L'élasticité supplémentaire de ces vaisseaux sanguins des extrémités force l'écoulement du sang vers la tête. De plus l'élasticité réduite des vaisseaux sanguins dans les jambes peut causer des problèmes dans l'espace en raison de l'absence de gravité. Dans un environnement sans gravité, le sang peut s'accumuler dans les pieds et réduire le retour veineux, ce qui peut entraîner une baisse de la circulation sanguine et des problèmes circulatoires. Cela peut également entraîner une accumulation de liquides et des œdèmes.



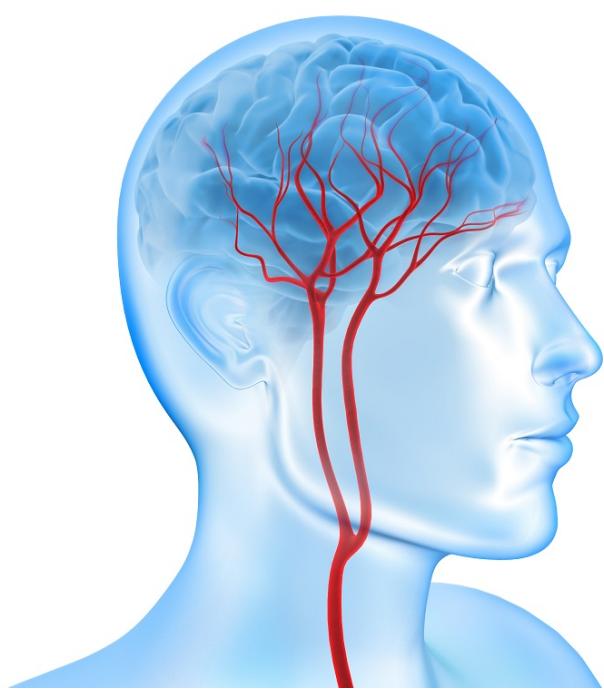
Physique de la pression sanguine

Marine Thomas, Cyprien Fumey

Biomécanique

Imaginons que l'on se tiennes debout sur la tête avec celle-ci à 0,6m du cœur. On ressent alors une pression dans le crâne, un gonflement des yeux et une apparition de rougeur sur le visage. Ces symptômes résultent de l'augmentation de la pression hydrostatique. Dans l'eau ces symptômes n'existent pas. Un autre signe de la variation de pression sanguine dans le corps est la tendance des chevilles à gonfler quand tu restes assis longtemps. La haute pression dans les capillaires des cuisses tend à rejeter l'eau du système circulatoire dans les tissus environnants. En l'absence d'activité musculaire, ce liquide s'accumule dans le système lymphatique.

Qu'en est-il de la pression au niveau du cerveau ?



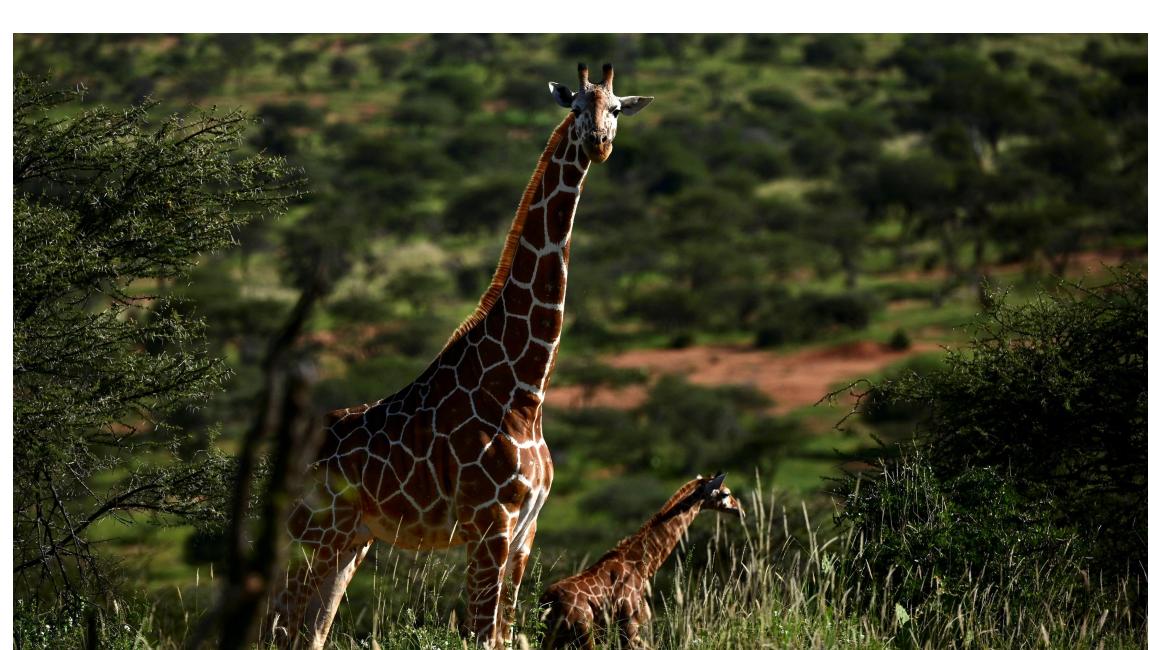
La tête est 30 cm plus haut que le cœur. La pression y est de $3 \cdot 10^3$ plus faible que la pression standard. La pression standard sanguine minimum nécessaire pour approvisionner le cerveau en sang est de $3 \cdot 10^3$ Pa (25 mm de mercure). Sinon, le spécimen meurt.

De plus, la pression dans le cerveau doit

être au-dessus de la pression atmosphérique car les vaisseaux sanguins n'ont pas de parois rigides. Si la pression dans un vaisseau est en dessous de la pression ambiante, le vaisseau s'effondre et le flux est coupé.

Cette différence de pression peut être particulièrement frappante chez certaines espèces. On observera le cas de la girafe et du serpent.

Cas de la girafe

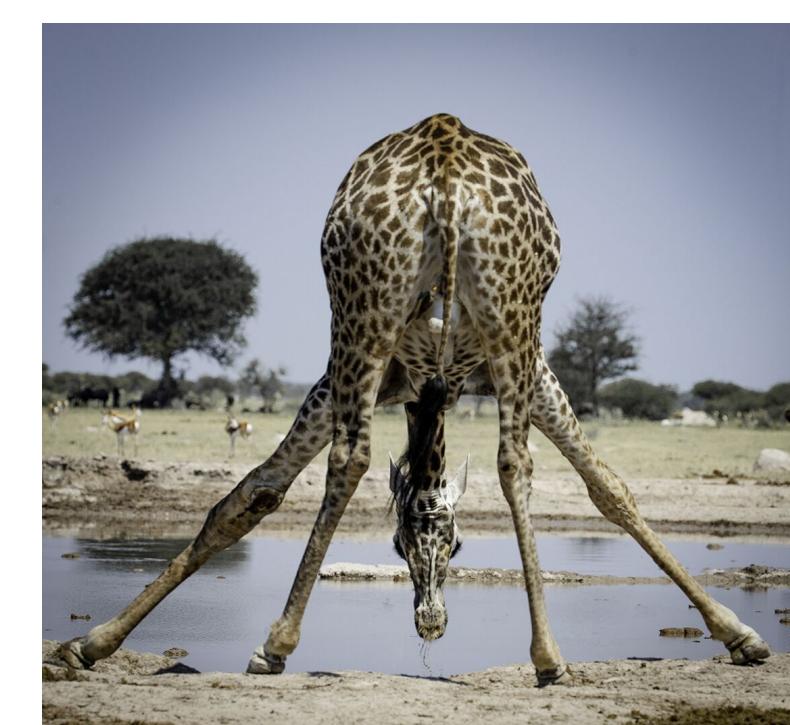


Elle mesure 5m de haut, sa tête se situe à 2,5m de haut par rapport au cœur et les pieds sont plus bas que le cœur de 2,5m également.

Tout d'abord la girafe a un cœur énorme : il pèse 11 kilos. En proportion, il est 5 fois plus gros que le nôtre

! Il brasse 60 litres de sang par minute en 150 pulsations. Il envoie ainsi le sang à une pression 2,5 fois plus grande que notre cœur humain.

Ainsi, le sang est propulsé jusqu'au cœur. Quand la girafe baisse la tête pour boire, son cerveau fait une chute brutale de 4 à 5 mètres (cela correspond à une variation de pression d'environ une demi-atmosphère). Elle n'est pourtant pas brutalement étourdie, et n'a pas le cerveau noyé de sang. Cela vient du fait que les nombreux vaisseaux sanguins de son cou freinent le sang et ne laissent passer que ce qu'il faut. Ils absorbent ainsi le surplus de sang, un peu comme une éponge. Aussi, pour réduire cette chute de pression, elle écarte les pattes lorsqu'elle se penche en avant.



De plus la girafe évite le phénomène de chevilles enflées grâce à leur peau élastique et serré des pattes. Ainsi ses pattes résistent à la tendance des fluides à être expulsés des capillaires.

Valeurs de pressions

Pour la girafe :

- pression au niveau du cœur : 175 mmHg en moyenne
- environ 100 mmHg à la base du cerveau
- au niveau de l'extrémité des pattes, 260 mmHg
- en position baissée, au niveau du cerveau, une valeur de 255 mmHg

Pour l'Homme :

- 95 mmHg au niveau du cœur
- 65 mmHg au niveau du cerveau
- 210 mmHg au niveau des pieds

Pour aller plus loin il y a certains dinosaures qui étaient deux fois plus grands qu'une girafe. Lorsqu'ils baissaient la tête pour boire la pression devait varier d'une atmosphère.

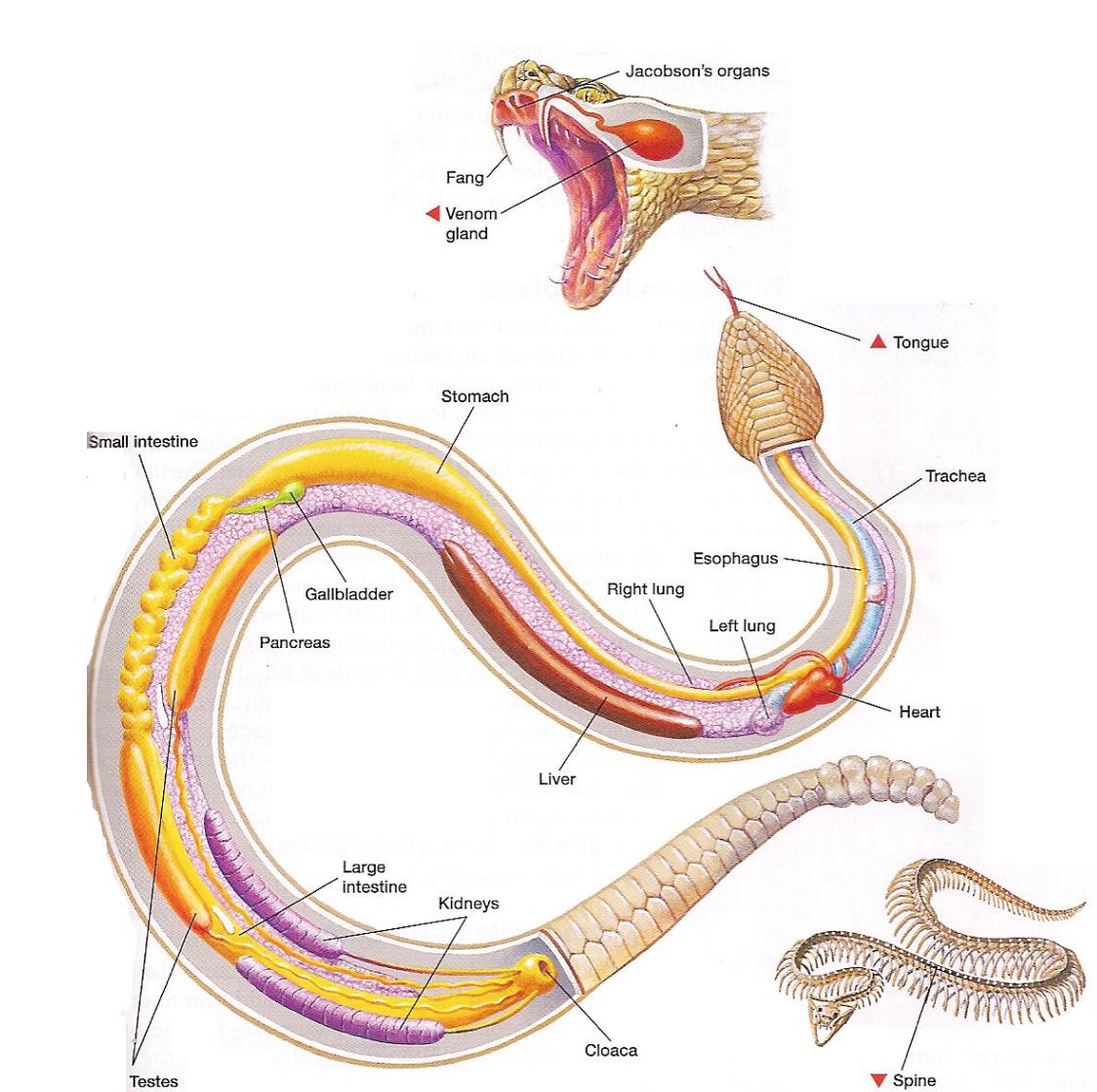
Cas du serpent



Le cas qui nous intéresse est le serpent grimpeur car il peut se tenir longtemps dans des positions verticales. L'idée est de regarder comment ces serpents font pour réguler leur pression sanguine et s'assurer que le sang soit bien répartit dans leur corps.

En général, les serpents grimpeurs sont des serpents courts et se sont adaptés à une vie verticale au cours de leur évolution. Chez les arboricoles, la distance moyenne entre la tête et le cœur correspond à 15 pourcent de la longueur totale du corps. Plus le cœur est près de la tête, plus l'irrigation du cerveau est facile, en toute circonstance.

La position antérieure du cœur chez les arboricoles présente toutefois deux inconvénients. Lorsqu'ils ont la tête en bas, la queue risque d'être mal irriguée ; toutefois, elle n'a pas une importance vitale. Mais surtout, quand la tête est en haut, le sang en provenance de la queue doit traverser toute la longueur du corps contre la pesanteur, pour retourner au cœur. Or les coeurs des serpents ne comportent pas de valvules, replis membraneux s'opposant au reflux de sang. Le retour au cœur est facilité par trois mécanismes : la contraction des muscles lisses des vaisseaux, la contraction des muscles squelettiques et la compression par la peau.



Physique de la pression sanguine

Marine Thomas, Cyprien Fumey

Biomécanique

On remarque qu'un serpent arboricole ayant entrepris une longue progression s'arrête souvent et effectue alors des ondulations du corps, créant des vagues de contractions musculaires de la partie postérieure vers la tête. Ces mouvements ont pour effet de comprimer les veines et de pousser le sang vers la tête. La pression veineuse centrale augmente ainsi à proximité du cœur.

Les serpents arboricoles ont un corps de très petit diamètre, ils sont musclés et leur peau est tendue, contrairement aux serpents aquatiques et terrestres non arboricoles, qui ont proportionnellement une peau plus flasque et un corps plus mou, et moins effilé. Cette peau serrée et étroite joue le rôle d'une combinaison anti-G.

Les grands serpents, comme les anacondas, ne montent pas aux arbres en général (trop grands , pas approprié).

Le cas des végétaux

L'eau du xylème des plantes vasculaires forment une colonne ininterrompue des racines aux feuilles.



On prend le séquoia comme exemple pour examiner la pression dans cette colonne. Un séquoia fait 60m de haut environ. La pression hydrostatique subit par l'eau dans la racine est supérieure de 6 atmosphères à l'eau présente dans la couronne. Cela ne signifie pas nécessairement que la pression contenue dans les racines a une pression supérieure de 6 atmosphère à celle de l'air ambiant. En effet, l'eau de l'arbre est soutenue par la pression des racines, créée par osmose, et par le fait que le sommet de la colonne d'eau ne permette pas à l'air de rentrer : on dit que la colonne d'eau est « suspendue » à la feuille.

A cause de l'interaction mécanique entre les racines et les feuilles, la pression dans le xylème est élevée au départ dans les racines, atteint ensuite la pression de l'air ambiant à quelques mètres du sol et continue de diminuer avec l'altitude. Une grande partie de l'eau contenue dans le xylème a donc une pression inférieure à celle de l'atmosphère environnante.

Ce problème est donc l'opposé de celui avec une artère : les parois doivent résister à une forte force dirigée vers l'intérieur.

Bibliographie

- Larousse: (<https://www.larousse.fr/encyclopedie/medical/tension-maladie>)
- Wiktionary: (<https://fr.wiktionary.org/wiki/sphygmomanom>)
- wikipedia: (<https://fr.wikipedia.org/wiki/Millim>)
- OMS (<https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/hypertension>)
- image doc: (<https://www.imagesdoc.com/blog/questions-nature/comment-le-sang-arrive-il-jusquau-cerveau-des-girafes-theau-10-ans>)
- agro-veto: (<https://www.concours-agro-veto.net/IMG/pdf/a-0821-sujet-principal-ads-physiquepub.pdf>)
- Jimdofree: (<https://shadows-passion.jimdofree.com/les-serpents/le-système-circulatoire-des-serpents>)
- Images :
 - <https://www.pourlascience.fr/sr/chroniques-de-lévolution/limpenetrable-venin-du-serpent-a-sonnettes-18434.php>
 - <https://www.pinterest.com/pin/518617713321073717/>
 - <https://wsceleb.com/lifestyle/tout-savoir-sur-la-girafe/>
 - <https://ici.radio-canada.ca/premiere/emissions/la-nature-selon-boucar/segments/entrevue/190659/girafe-animal-savane-afrique>
 - <https://www.ld-medical.fr/diagnostic-medical/3366-tensiometre-duo-control-veroval-hartmann.html>
 - <https://www.projetecolo.com/animaux-marins-caracteristiques-types-et-liste-51.html>
 - <https://g1.globo.com/natureza/noticia/como-escapar-do-guepardo-o-animal-terrestre-mais-rapido-do-mundo.ghtml>
 - <https://sante.journaldesfemmes.fr/fiches-maladies/2652141-artere-coronaire-definition-schema-role-circonflexe-droite-gauche/>
 - <https://neuro.santelog.com/2019/03/22/alzheimer-si-cetait-juste-une-question-de-debit-sanguin-cerebral/>
 - <https://www.pngegg.com/fr/png-bhska>
 - <http://www.sequoias.eu/Pages/Lorraine/inseminganne.htm>