

Ch. B5. la circulation sanguine, une fonction intégrée à l'échelle de l'organisme

Partie du programme traitée : SV-I-1 Intégration d'une fonction à l'échelle de l'organisme : la circulation sanguine chez les Mammifères (totalité)

I. Le réseau cardiovasculaire et la circulation sanguine

1. Rappel : la composition du sang
2. Structure et fonction des différents segments de l'appareil circulatoire
 - a) Ramifications du réseau vasculaire
 - i. Double circulation en série
 - ii. Circulation systémique en dérivation
 - b) Organisation fonctionnelle des types de vaisseaux
3. La pression artérielle : une résultante des activités cardiaque et vasculaires

II. Le coeur, une pompe automatique

1. Le coeur : une pompe à l'origine du débit sanguin
2. Le tissu nodal à l'origine de l'automatisme cardiaque
 - a) Le potentiel pacemaker des cellules nodales
 - b) Transmission des potentiels d'action par le tissu cardionecteur et contraction cardiaque

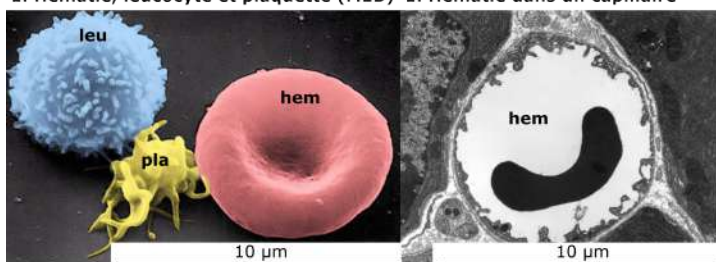
III. La boucle de régulation de la pression artérielle

1. Mise en évidence d'une boucle de régulation
2. Le baroréflexe
 - a) Théorie de la boucle de régulation
 - b) Anatomie fonctionnelle du système nerveux autonome
 - c) Modèle de régulation en boucle de la pression artérielle

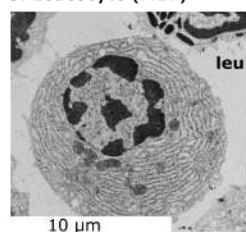
IV. Adaptation physiologique à l'effort physique

1. Modifications physiologiques lors d'un effort physique
2. Contrôles à l'origine de ces modifications

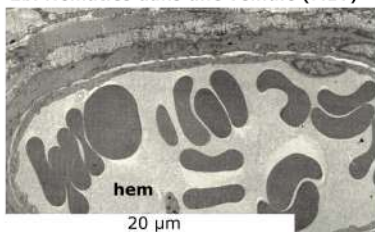
1. Hématie, leucocyte et plaquette (MEB) 1. Hématie dans un capillaire



3. Leucocyte (MET)

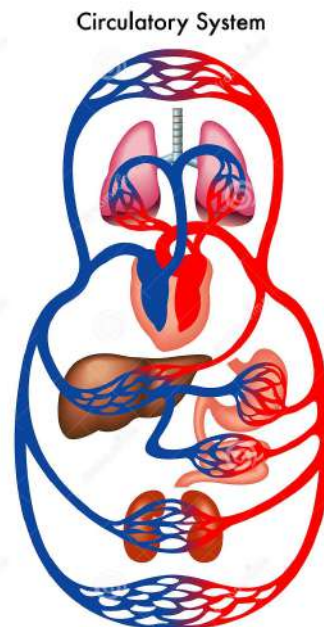


2b. Hématies dans une veinule (MET)

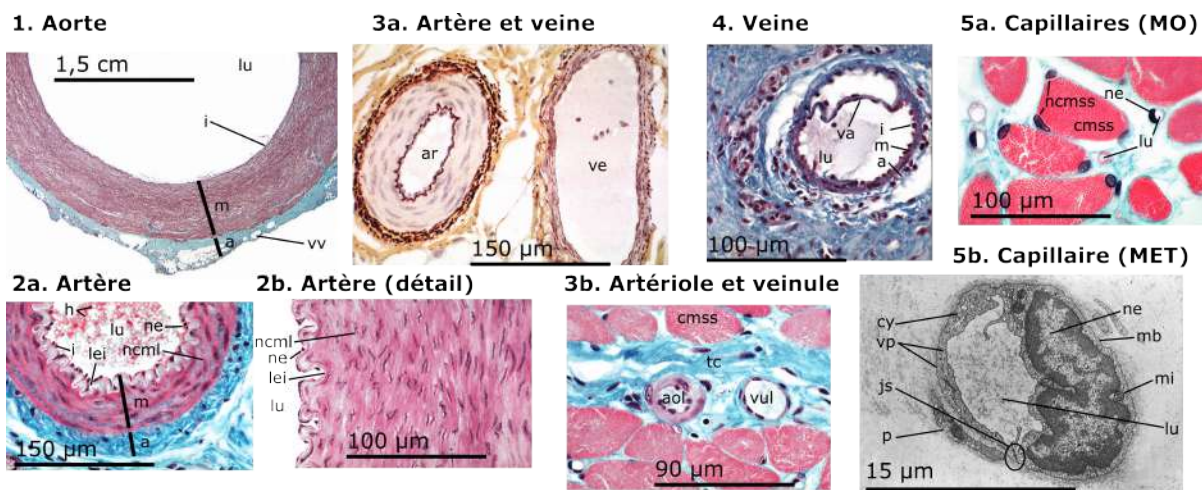


Document 1: Les éléments figurés du sang à différentes échelles.
leu : leucocyte ; hem : hématie ; pla : plaquette. Compilation de sources diverses.

Document 2: La double circulation en série, et la circulation systémique en dérivation. Noter le système porte hépatique. Source inconnue

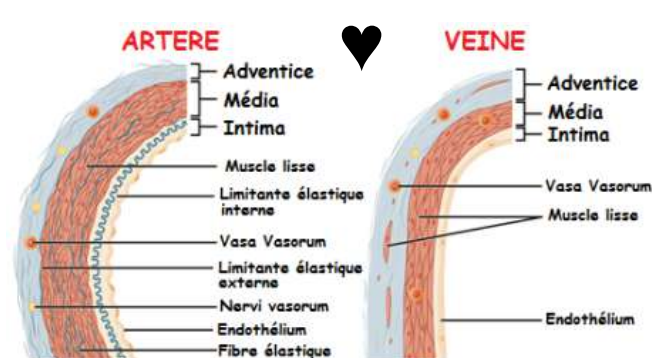


1 « Histologie générale - université de Namur », consulté le 13 janvier 2025, <https://www.histology.be/atlas/HG/index.html>.

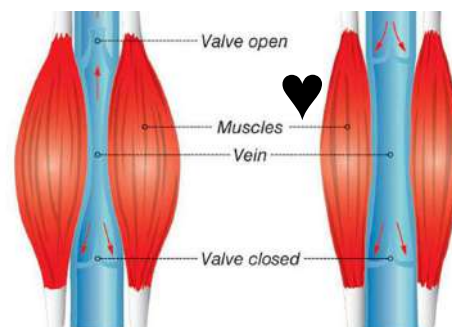


Document 3: Diverses images de vaisseaux obtenues au MO ou au MET. a : adventice ; aol : artériole ; ar : artère ; cmss : cellule musculaire striée squelettique ; cy : cytosol ; h : hématie ; i : intima ; js : jonction serrée ; lei : limitante élastique externe ; lu : lumière ; m : media ; mb : membrane plasmique ; mi : mitochondrie ; ncml : noyau d'une cellule musculaire lisse ; ncmss : noyau d'une CMSS ; ne : noyau d'une cellule endothéliale ; p : péricyte ; va : valvule ; ve : veine ; vp : vésicule de pinocytose ; vul : veinule ; vv : vasa vasorum. Compilation de sources diverses.

2



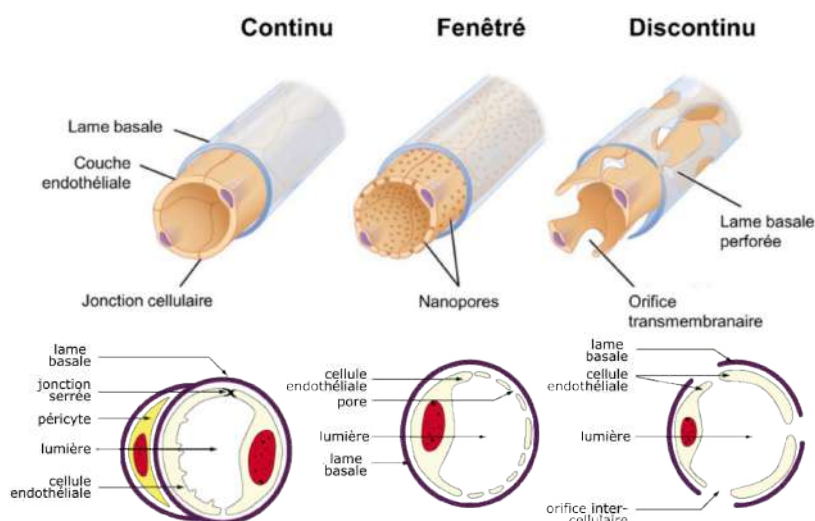
Document 4: Structure d'une artère musculaire (les plus courantes) et d'une veine. Source inconnue.



Document 5. Les valves veineuses et leur fonctionnement, en lien avec les muscles squelettiques.

3

Document 6: Structure des trois types de capillaires sanguins, en vue tridimensionnelle (haut) ou en coupe (bas).

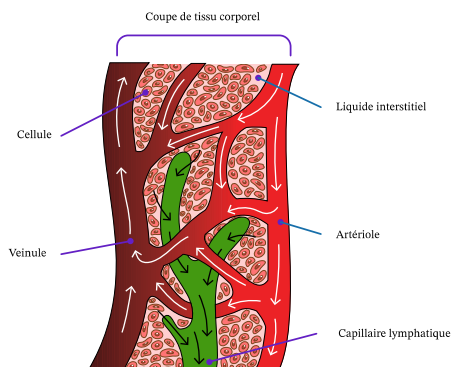


4

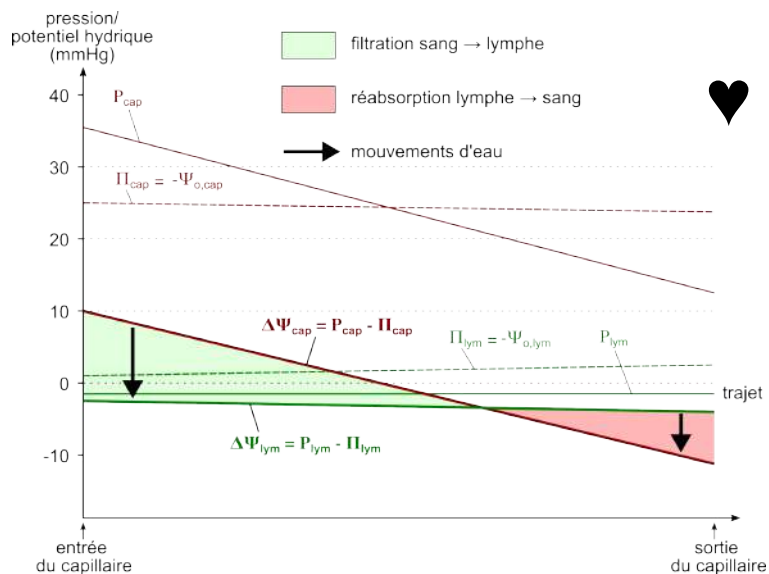
2 « Histologie générale », consulté le 13 janvier 2025, <https://www.histology.be/atlas/HG/index.html>.

3 Brenda Bernhardt, *Importance of Calf Muscle Pump for Venous Health* | Totality, 10 avril 2017, <https://totalityok.com/walking-and-the-importance-of-ankle-mobility-for-priming-the-calf-muscle-pump-for-venous-health/>.

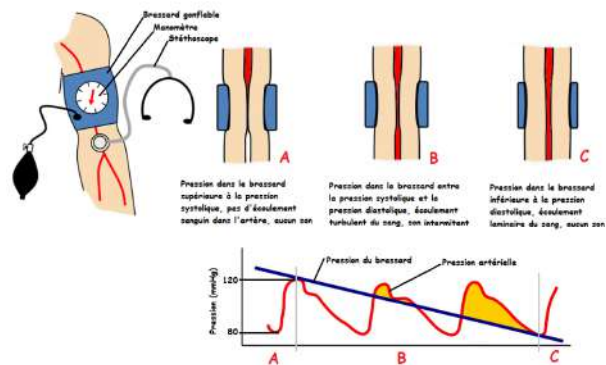
4 « Wikimedia Commons », consulté le 29 août 2024, <https://commons.wikimedia.org/wiki/Accueil>.



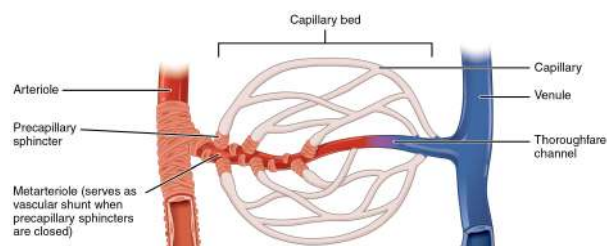
Document 7. Trajets du sang dans le réseau capillaire, et drainage de la lymphe interstitielle par le réseau lymphatique.



Document 8. Variations de pression et de potentiel hydrique dans le capillaire et la lymphe interstitielle. On en déduit les sens des échanges entre capillaire et lymphe.

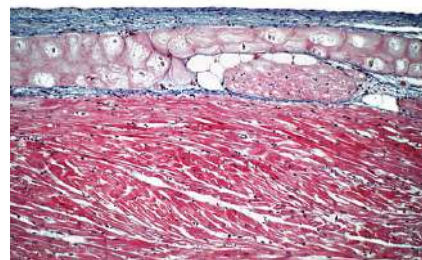
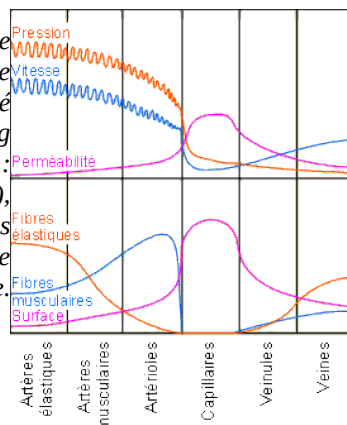


Document 9: Principe de la mesure de la pression artérielle par le sphygmomanomètre. Voir TP pour les détails.



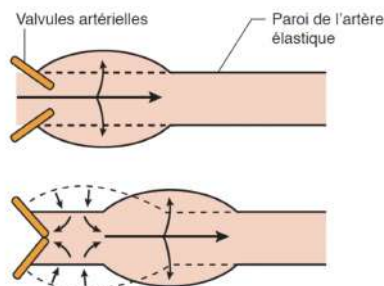
Document 10: Réseau capillaire et contrôles de son irrigation par les sphincters précapillaires. Noter l'anastomose artério-veineuse, qui permet dans certaines situations la circulation du sang tout en évitant le réseau capillaire.

Document 11. Haut : variation de la pression artérielle, de la vitesse d'écoulement, et de la perméabilité de la paroi des vaisseaux le long du réseau vasculaire. Bas : Variation de la surface (section), de la quantité de fibres élastiques et de fibres musculaires lisses le long du réseau vasculaire.



Document 12: Réseau de Purkinje observé sur une coupe de ventricule. Bas : myocarde ; haut : endocarde, dont réseau de Purkinje. La couche la plus superficielle est constituée d'endothélium.

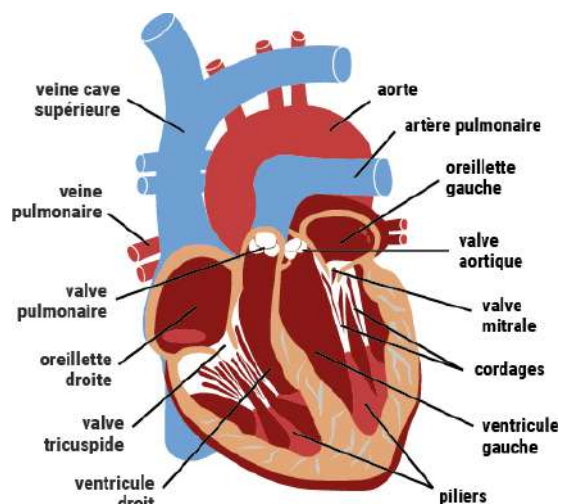
- 5 Fiche explicative de la leçon: Système lymphatique | Nagwa, « Fiche explicative de la leçon: Système lymphatique | Nagwa », consulté le 14 janvier 2025, <https://www.nagwa.com/fr/explainers/898101068250/>.
- 6 Joseph Démaret-Nicolas, Joseph Nicolas – SVT – BCPST2 – Lycée Chaptal - Paris, s. d., consulté le 29 septembre 2024, <http://josephnicolassvt.fr/>.
- 7 Unisciel – L'université des sciences en ligne, s. d., consulté le 14 janvier 2025, <https://www.unisciel.fr/>.
- 8 « Wikimedia Commons ».
- 9 « Physio Ch 2-3 Les systèmes vasculaires », consulté le 14 janvier 2025, <http://coproweb.free.fr/pagphy/physioan/ch2s3.htm>.
- 10 « Histologie générale - université de Namur ».



① **Systole ventriculaire**
Éjection systolique et distension de l'artère par l'afflux de sang

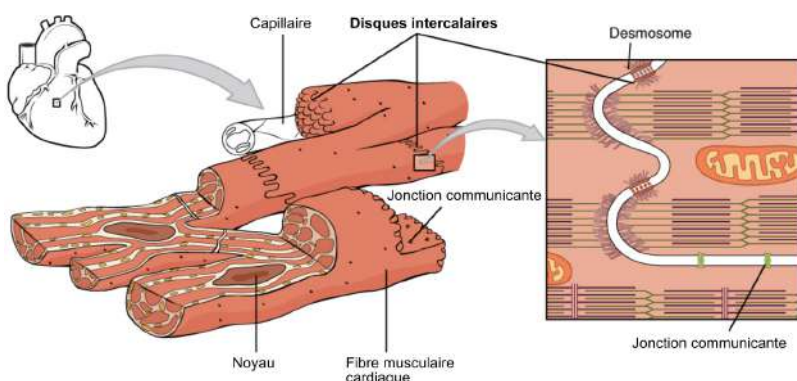
② **Diastole ventriculaire**
Fermeture des valvules, restitution du sang et distension de l'artère en aval

Document 13. Rôle des valves cardiaques et des artères élastiques (ici : aorte) dans la transmission de la pression au réseau sanguin.

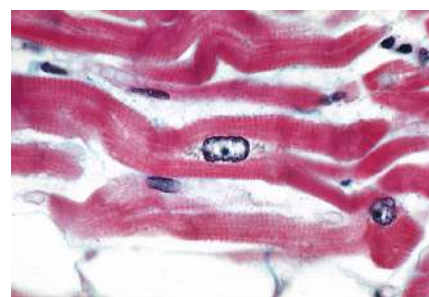


11 Document 14. Anatomie du cœur humain.

12

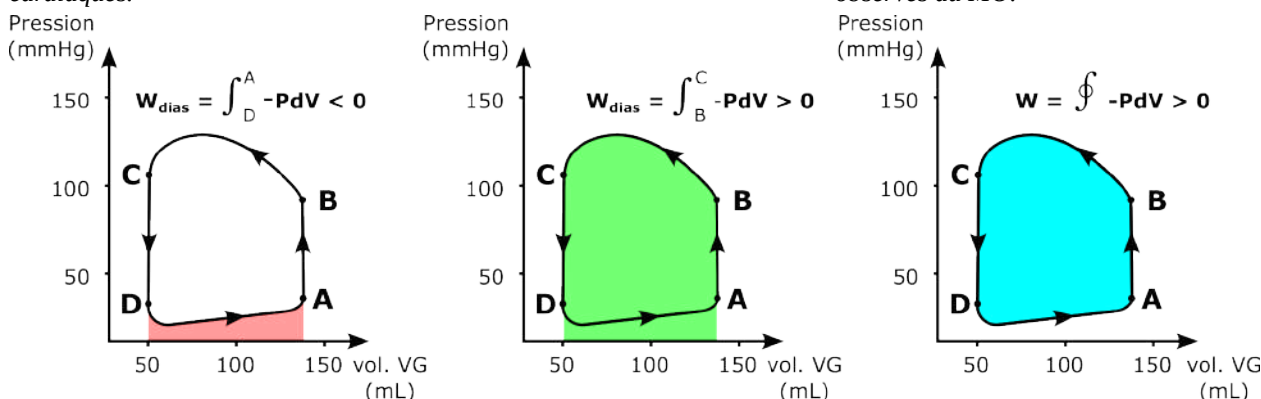


Document 15: Jonctions cellulaires entre les cellules musculaires striées cardiaques.



Document 16: Des cardiomyocytes observés au MO.

14



Document 17. Calcul du travail cardiaque à partir du cycle cardiaque dans un diagramme de Clapeyron. Le système considéré est ici le sang du ventricule gauche (et non le cœur lui-même). Le cœur peut être considéré d'un point de vue thermodynamique comme une machine thermique ; le travail total reçu par le sang est positif, et celui reçu par le cœur est donc négatif. Du point de vue de la théorie des machines thermiques, il s'agit d'un cycle récepteur, bien que le cœur soit un moteur.

15

11 Joseph Segarra et al., *Biologie BCPST2* (Ellipses, 2015).

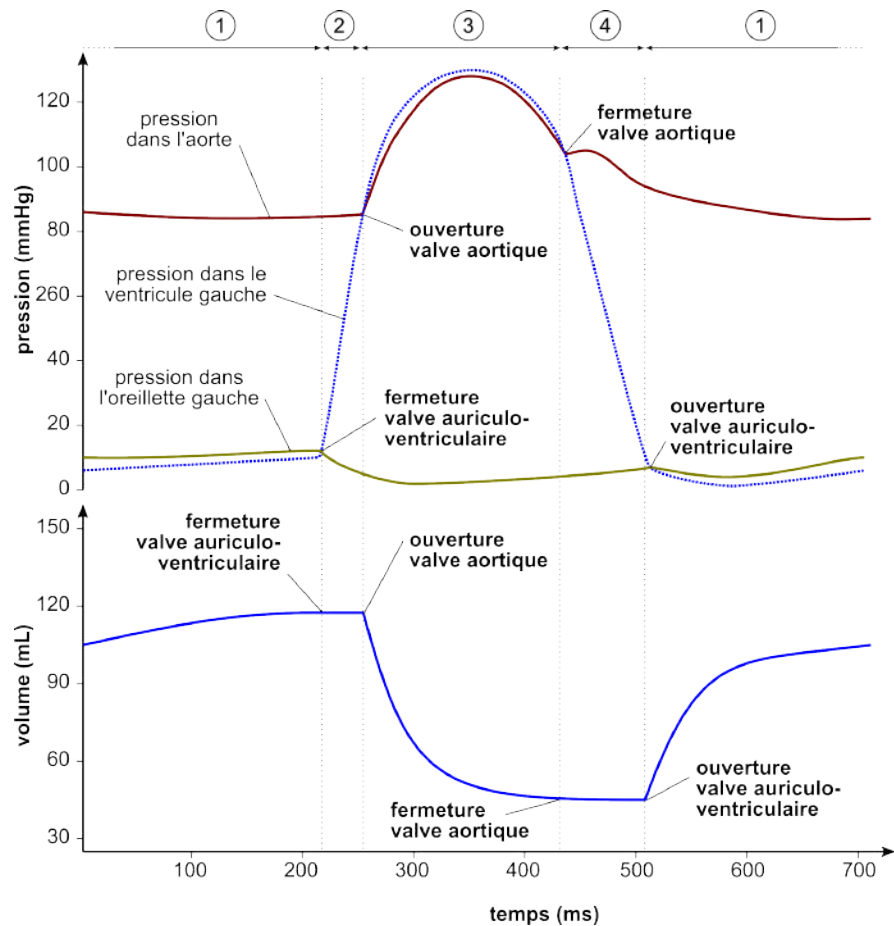
12 « Le fonctionnement du cœur - FFC », consulté le 14 janvier 2025, <https://www.fedecardio.org/je-m-informe/le-fonctionnement-du-coeur/>.

13 Elaine Marieb et Katja Hoehn, *Anatomie et physiologie humaines* (Pearson, 2010).

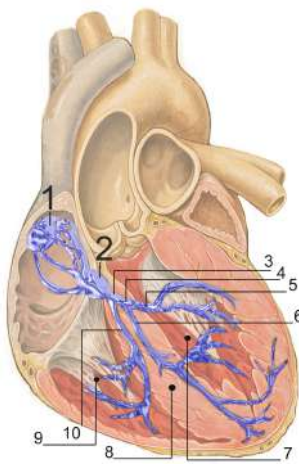
14 « Histologie générale - université de Namur ».

15 Démaret-Nicolas, Joseph Nicolas – SVT – BCPST2 – Lycée Chaptal - Paris.

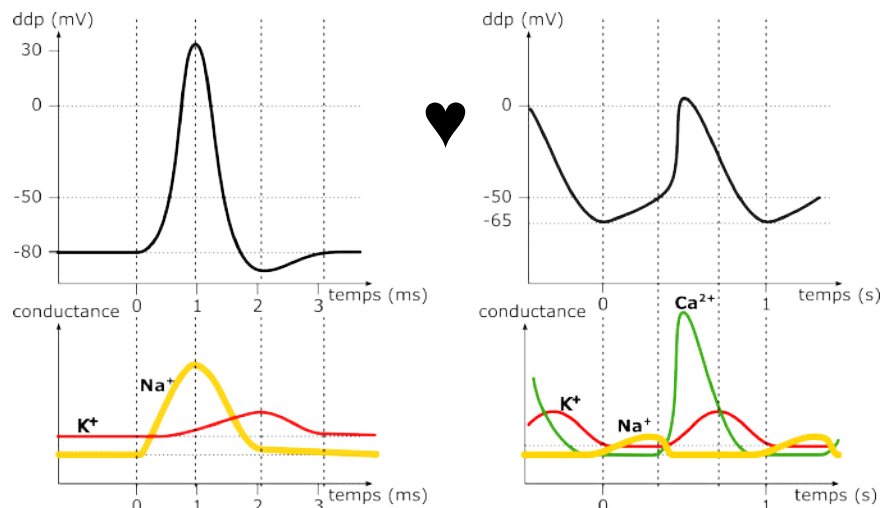
Document 18. ouverture et fermeture des valves cardiaques, en lien avec les variations de pression et de volume du ventricule gauche.



16



Document 19: Localisation du tissu nodal et du tissu cardionecteur sur un cœur humain. 1 : nœud sinusal ; 2 : nœud atrio-ventriculaire ; 3-6 : diverses branches du faisceau de His ; 8 : septum interventriculaire.



Document 20: Comparaison du potentiel d'action neuronal (gauche) et du potentiel d'action du nœud sinusal (droite). Haut : enregistrement du potentiel de membrane. Bas : interprétation en termes de conductance aux ions. Noter les échelles temporelles très différentes dans chacun des deux cas (quelque ms pour le neurone, quelques s pour le nœud sinusal). Production personnelle.

18

16 Démaret-Nicolas, « Joseph Nicolas – SVT – BCPST2 – Lycée Chaptal - Paris ».

17 « Wikimedia Commons ».

18 Démaret-Nicolas, Joseph Nicolas – SVT – BCPST2 – Lycée Chaptal - Paris.

a. Equation de Nernst et potentiel d'équilibre
Variation d'enthalpie libre $\Delta\mu$ associée au passage d'une mole d'ion de charge z du compartiment i (intracellulaire, concentration C_i) au compartiment e (extracellulaire, concentration C_e) :

$$\Delta\mu = \mu_i - \mu_e = RT \ln \frac{C_i}{C_e} + zF \Delta E$$

A l'équilibre, $\Delta\mu = 0$, donc $\Delta E_{eq} = \frac{RT}{zF} \ln \frac{C_e}{C_i}$

c. On donne la concentration moyenne en ions K^+ , Na^+ , Cl^- et Ca^{2+} dans des neurones au repos. Calculer le potentiel d'équilibre pour chacun de ces ions.

ion	concentration intracellulaire	concentration extracellulaire	potentiel d'équilibre
Na^+	20 mM	140 mM	
K^+	150 mM	5 mM	
Cl^-	20 mM	100 mM	
Ca^{2+}	0,0001 mM	1,8 mM	

b. Un calcul simple du potentiel de membrane, en fonction de la conductance g_i de l'ion i , et du potentiel d'équilibre E_i de cet ion.

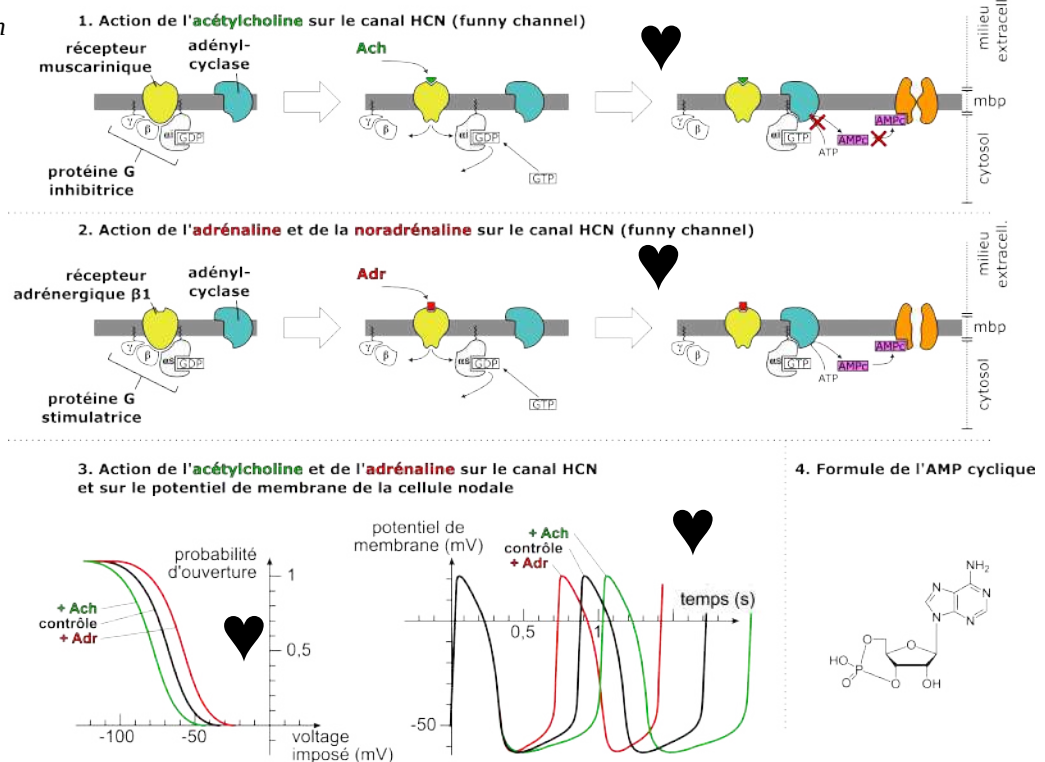
$$\Delta E = \frac{\sum g_i E_i}{\sum g_i}$$

d. On donne la perméabilité relative des ions Na^+ , K^+ et Cl^- et Ca^{2+} (par rapport au K^+) dans quatre situations différentes. Calculer pour chacune le potentiel de membrane correspondant (à compléter).

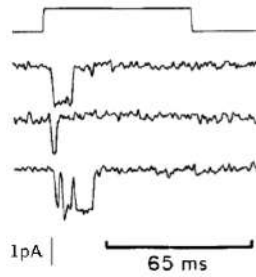
ion	cellule au repos	ouverture des $c^x Na^+$ (x 100)	ouverture des $c^x K^+$ (x 100)	ouverture des $c^x Ca^{2+}$ (x 100)
Na^+	0,05			
K^+	1			
Cl^-	0,05			
Ca^{2+}	0,05			
ΔE				

Document 21: Potentiel de membrane, potentiel d'équilibre et conductance ionique transmembranaire.

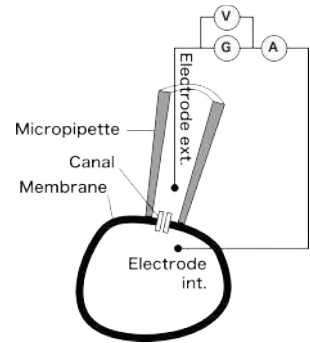
Document 22. Action de l'acétylcholine et de l'adrénaline sur les cellules nodales du cœur.



Document 23: Mesure de l'ouverture d'un canal par patch clamp sur canal isolé en voltage imposé. Haut : potentiel de -50mV ; trois pistes du bas : intensités mesurées (ouverture du canal). D'après Patlak et al., 1982.

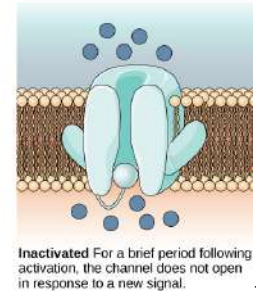
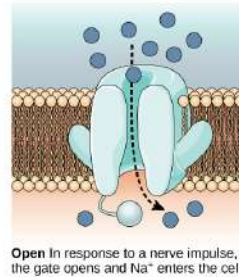
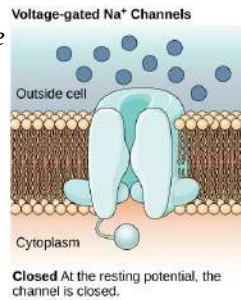


Document 24: Patch clamp en voltage imposé : principe de la technique. Voir cours pour les détails.

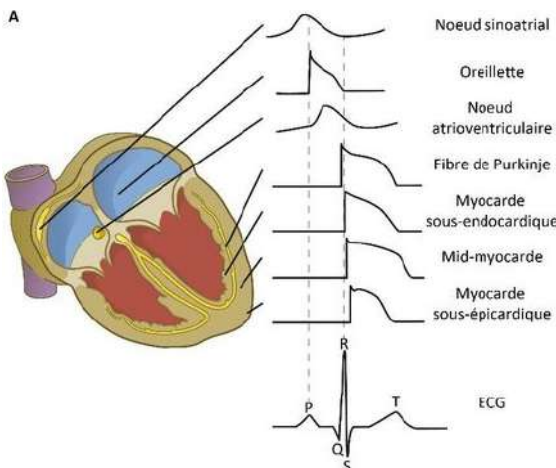


21

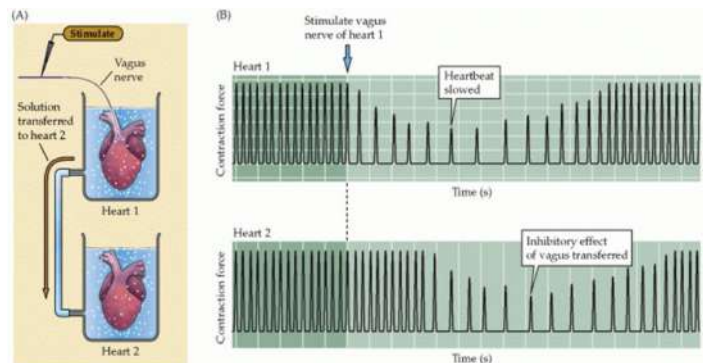
Document 25: Trois états du canal voltage dépendant Na⁺ (fermé, ouvert, inactivé). D'après OpenStax College.



22



Document 26. Mesure du potentiel de membrane dans diverses cellules du cœur. La référence temporelle est la même pour toutes les courbes. En bas : correspondance avec l'électrocardiogramme.



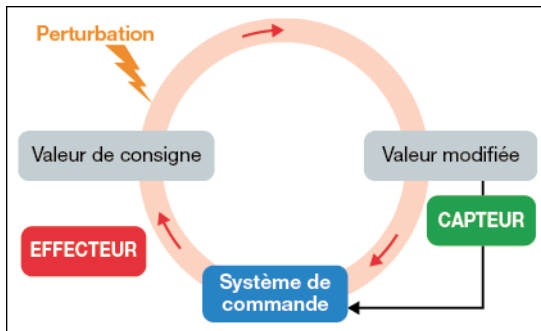
Document 27: Expérience de Loewi (1921). Un cœur de grenouille non dénervé est stimulé via le nerf parasympathique cardiaque, ce qui provoque un ralentissement de sa fréquence et de sa force de contraction. Un second cœur, totalement dénervé, est perfusé avec du liquide provenant du premier cœur. Avec un décalage de quelques minutes, le 2^e cœur voit également sa fréquence et sa force diminuer. D'une part, la stimulation par le nerf se traduit donc par la libération d'une molécule (on sait aujourd'hui que c'est l'acétylcholine), d'autre part cette innervation permet d'envisager un contrôle de l'activité cardiaque. Source inconnue.

20 J Patlak et R Horn, « Effect of N-bromoacetamide on single sodium channel currents in excised membrane patches. », *Journal of General Physiology* 79, n° 3 (1982): 333-51, <https://doi.org/10.1085/jgp.79.3.333>.

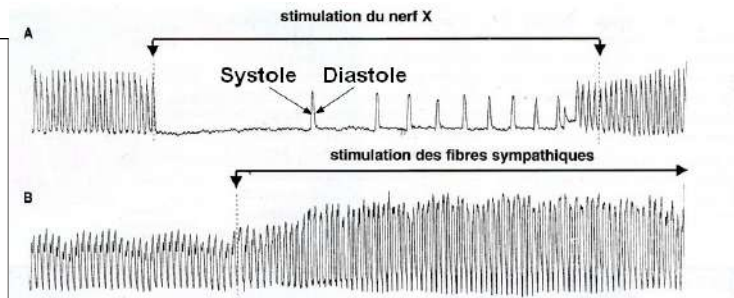
21 Démaret-Nicolas, Joseph Nicolas – SVT – BCPST2 – Lycée Chaptal - Paris.

22 charles-molnar, 16.2 How Neurons Communicate, s. d., consulté le 19 janvier 2025, <https://biol1113temp.pressbooks.tru.ca/chapter/16-2-how-neurons-communicate/>.

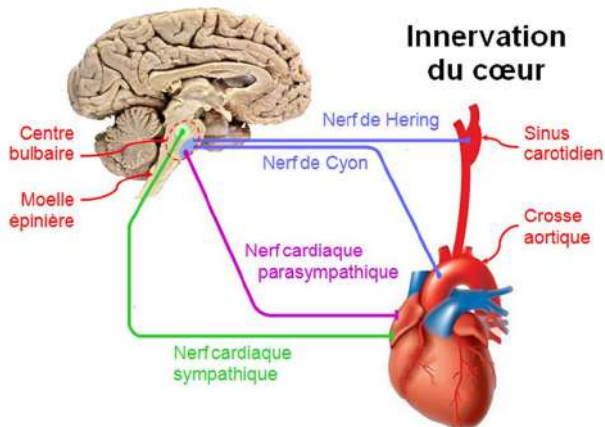
23 Robin Canac, « Etude du développement cardiaque et ses facteurs de transcription par l'utilisation des cellules souches pluripotentes induites » (2022).



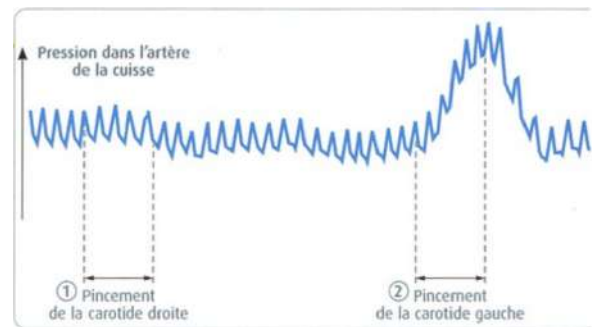
Document 28: Principe d'une régulation en boucle.



Document 29: Expérience de stimulation de nerfs après section. A : section du nerf de Cyon et stimulation de son extrémité centrale. B : section du nerf orthosympathique cardiaque et stimulation de son extrémité périphérique. Source : école vétérinaire de Lyon.



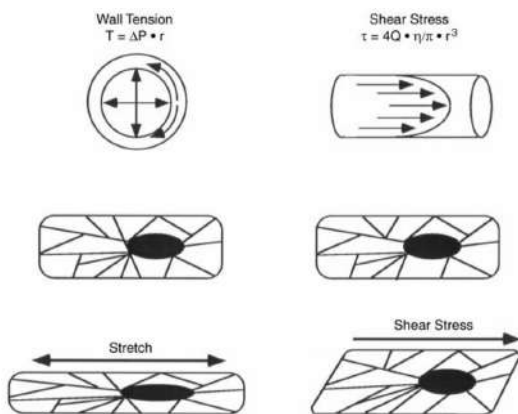
Document 30. Innervation du cœur (nerfs efférents (ortho)sympathique et parasympathique), et des barorécepteurs artériels (nerfs afférents de Hering et de Cyon).



Document 31. Expérience de Heinrich Hering (1923). Après avoir coupé tous les nerfs innervant le sinus carotidien **droit** sur un chien anesthésié, Hering pince la carotide **droite** pendant quelques secondes (1), puis fait de même sur la carotide **gauche**. La pression artérielle **systémique** est mesurée en parallèle.

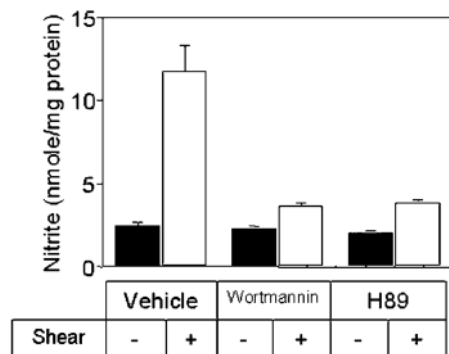
24

25



Document 32. Déformations de cellules endothéliales en lien avec l'écoulement sanguin. Gauche : étirement (stretch) ; droite : cisaillement (shear).

Document 33. Mesure de la concentration en monoxyde d'azote NO (quantifié en nitrite ici) dans une culture de cellules endothéliales in vitro, dans diverses conditions. Shear – ou + : sans ou avec cisaillement imposé. Vehicle : témoin : wortmannin et H89 : inhibiteurs respectifs de la phosphoinositide-3-kinase et de la protéine kinase A, deux enzyme impliquées dans de nombreuses voies de transduction de la signalisation intercellulaire.



26

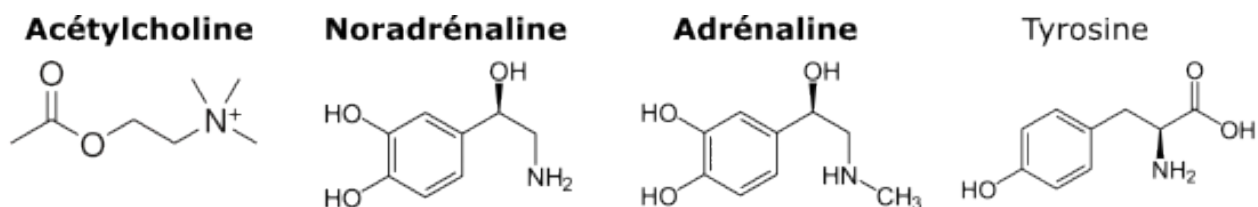
27

24 « Raymond Rodriguez SVTperso - Accueil », consulté le 13 janvier 2026, <http://raymond.rodriguez1.free.fr/>.

25 Eric Lacouture, « La pression artérielle, une grandeur régulée », consulté le 20 janvier 2025, http://eric.lacouture.free.fr/lycee/2nde/cours_2_ch7np.

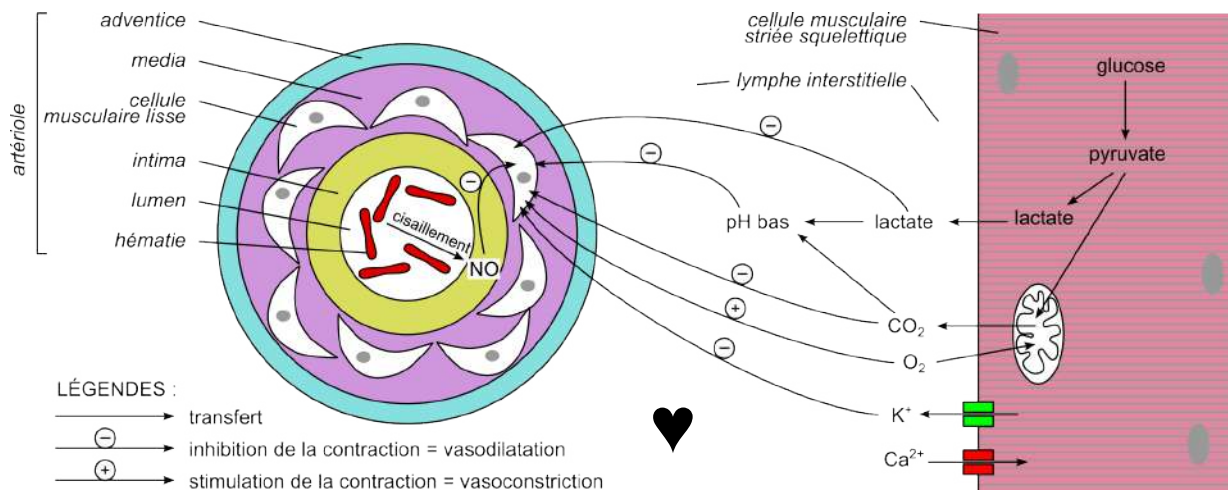
26 Barbara J. Ballermann et al., « Shear Stress and the Endothelium », *Kidney International* 54 (septembre 1998): S100-108, <https://doi.org/10.1046/j.1523-1755.1998.06720.x>.

27 Yong Chool Boo et al., « Shear Stress Stimulates Phosphorylation of Endothelial Nitric-Oxide Synthase at Ser1179 by Akt-Independent Mechanisms », *Journal of Biological Chemistry* 277, n° 5 (2002): 3388-96, <https://doi.org/10.1074/jbc.M108789200>.



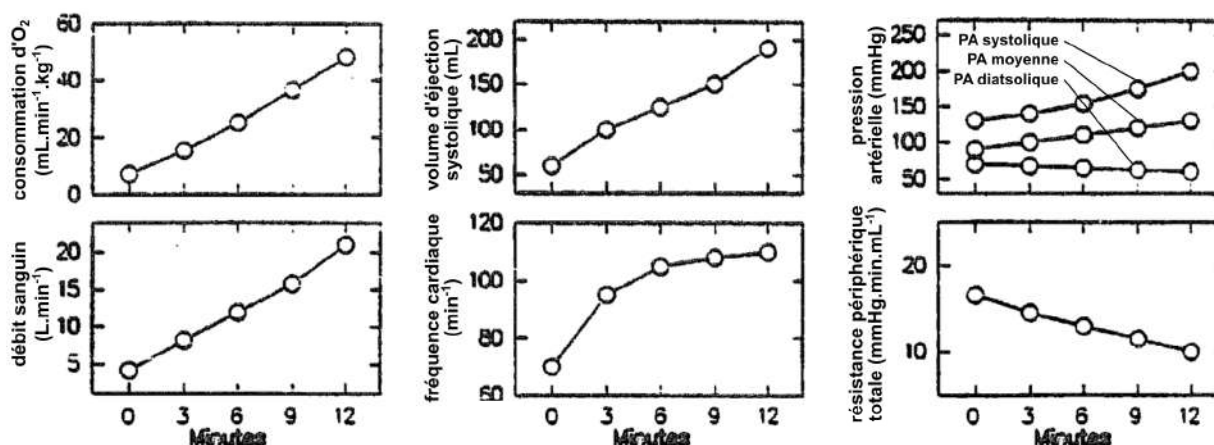
Document 34: Formule chimique de l'acétylcholine, de la noradrénaline et de l'adrénaline. Pour comparaison, le précurseur de Nad et Adr : la tyrosine (acide aminé aromatique).

28



Document 35. Réponse des cellules musculaires lisses de la paroi des artérioles irrigant le muscle strié squelettique à des facteurs locaux lors de l'effort physique.

29



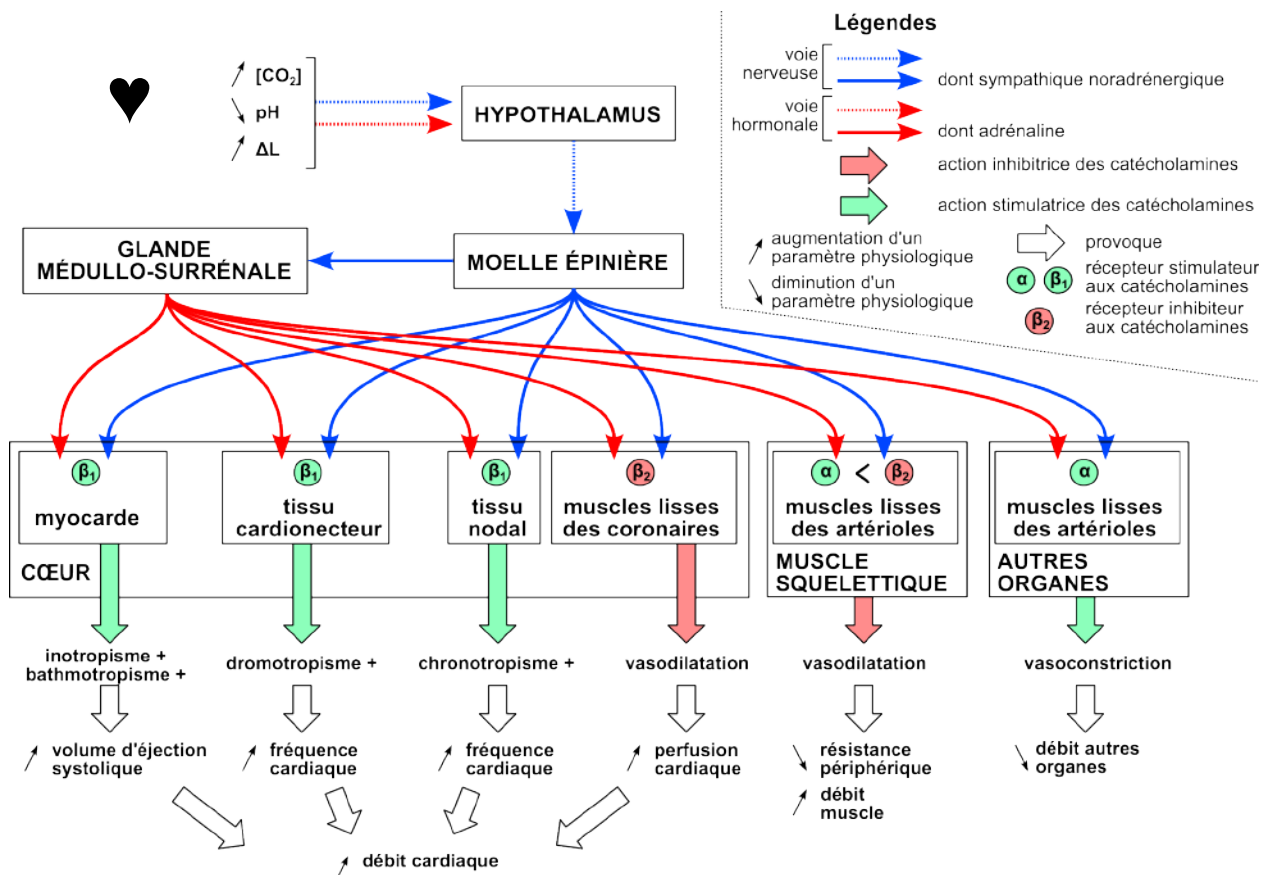
Document 36. Variation de divers paramètres physiologiques au cours de l'effort physique. On a mesuré des paramètres au cours du temps chez des sujets humains. Mesure initiale : avant le début de l'effort ; l'intensité de l'effort augmente régulièrement toutes les trois minutes, jusqu'à atteindre un effort d'intensité maximale à 12 min.

30

28 « Wikimedia Commons ».

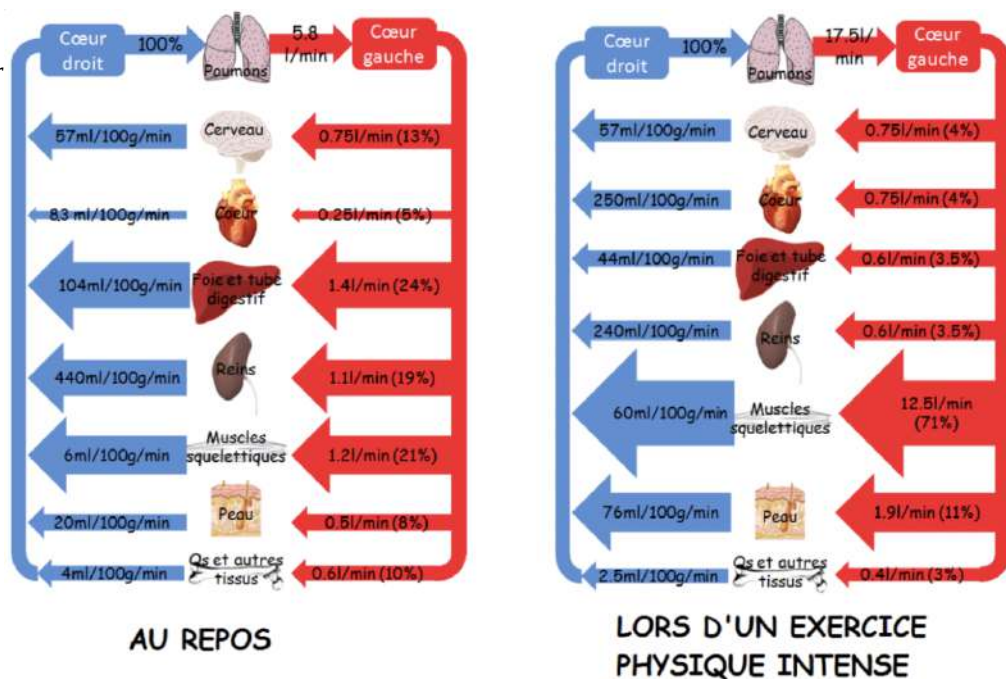
29 Démaret-Nicolas, Joseph Nicolas – SVT – BCPST2 – Lycée Chaptal - Paris.

30 Jere Mitchell, « Classification of Sports », *Journal of the American College of Cardiology*, 1994, <https://www.jacc.org/doi/epdf/10.1016/0735-1097%2894%2990841-9>.



Document 37. Effet de l'adrénaline et de la noradrénaline sur les paramètres circulatoire pendant l'effort physique. 31

Document 38.
Variation du débit par organe (en L/min), de la part de ce débit par rapport au débit cardiaque (en %), et du débit normalisé à la masse de l'organe (en mL/100 g/min, c'est-à-dire en mL/min relativement à 100 g de tissu), au repos (gauche) ou lors d'un exercice physique (droite).



32

31 Démaret-Nicolas, Joseph Nicolas – SVT – BCPST2 – Lycée Chaptal - Paris.

32 « Physiologie des systèmes intégrés, les principes et fonctions - Introduction », consulté le 20 janvier 2025, https://ressources.unisciel.fr/physiologie/co/act4_Debit_sanguin_1.html.

Ch. B6. Communications intercellulaires chez les Métazoaires

Partie du programme traitée : **SV-I-2 Communications intercellulaires chez les Métazoaires** (totalité), **SV-H-3 Différenciation d'un type cellulaire : la cellule musculaire striée squelettique** (parties relatives à la contraction musculaire).

I. Divers modes de communication intercellulaire

1. Comparaison des principales modalités de communication

- a) Communication hormonale
- b) Communication paracrine
- c) Communication nerveuse

2. Diversité des mode d'action des messenger chimiques

- a) Diversité des récepteurs et des voies de transduction
- b) Le trio molécule/récepteur/transduction détermine la nature du messenger

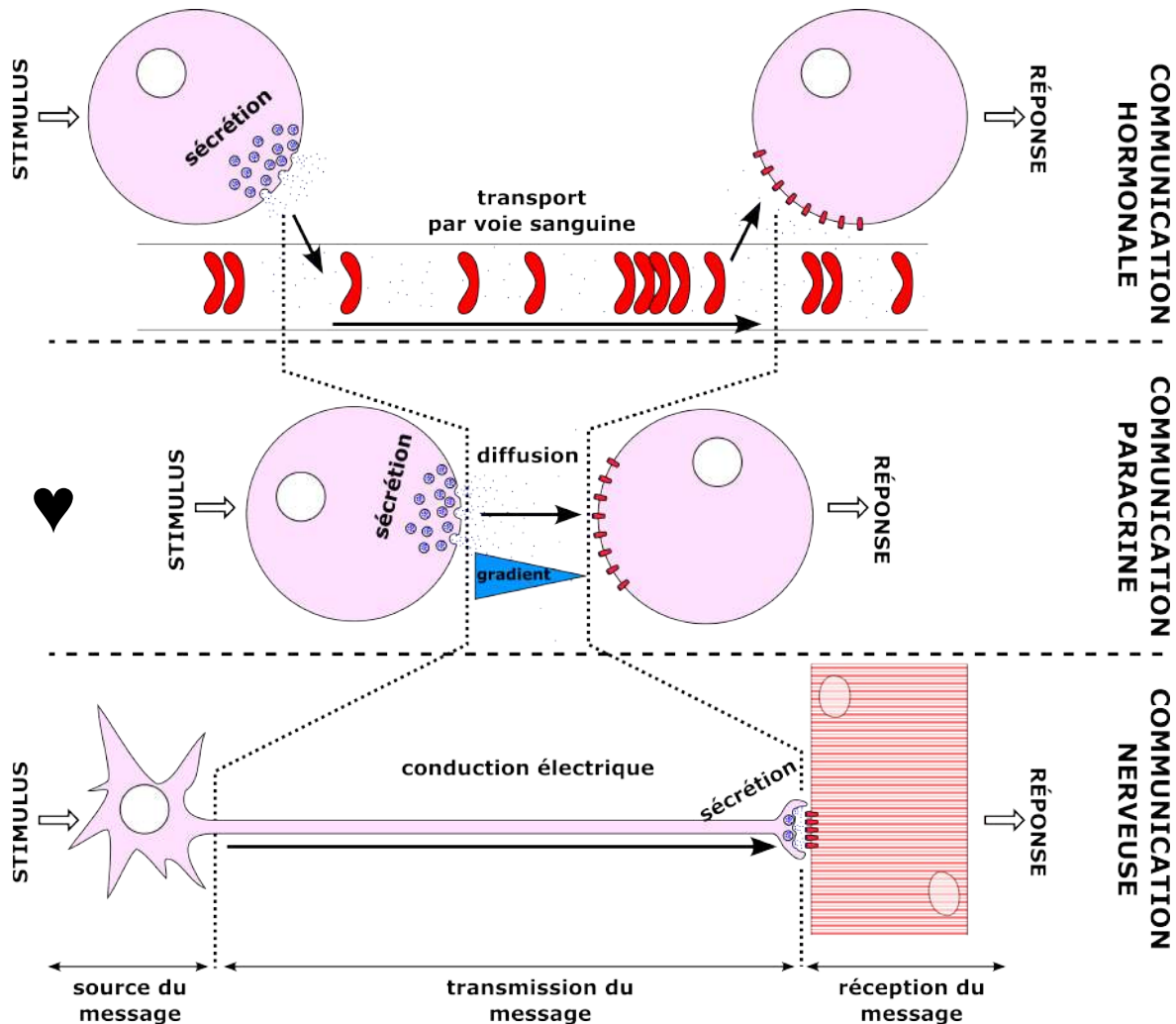
II. Cellules excitables et transmission d'un message codé électriquement

1. Genèse et propagation du potentiel d'action neuronal

2. Synapse et transmission du message à la cellule post-synaptique

3. Réponse de la cellule post-synaptique

- a) Déclenchement d'un potentiel d'action musculaire
- b) Dépolarisation et contraction musculaire

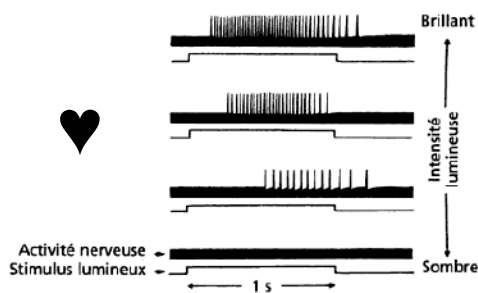


Document 39: Comparaison des trois principaux types de modes de communication intercellulaire.

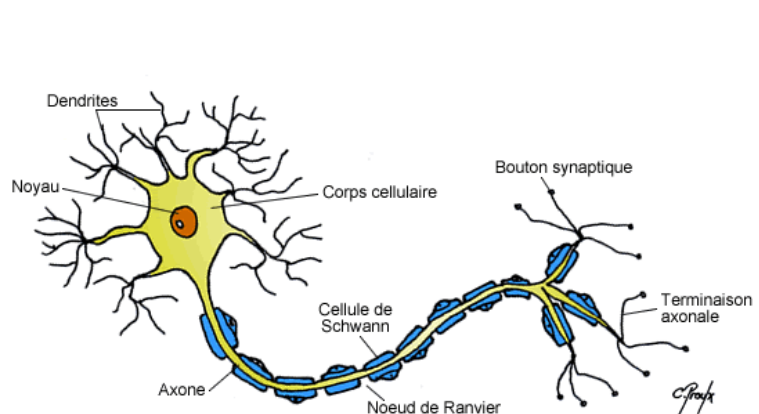
33

	communication hormonale	communication paracrine	communication nerveuse
codage	en concentration de molécule de signalisation (hormone)	en concentration de molécule de signalisation (facteur paracrine)	en fréquence de potentiel d'action et en concentration de neurotransmetteur
temps caractéristique	lent (minutes → jours)	moyennement rapide (secondes → minutes)	rapide (0,1 s → 10 s)
transmission	sang	diffusion extracellulaire	électrique + diffusion (fente synaptique)
récepteur	métabotrope, nucléaire	métabotrope, nucléaire	métabotrope, ionotrope

Document 40: Caractéristiques générales des principaux modes de communication intercellulaire.

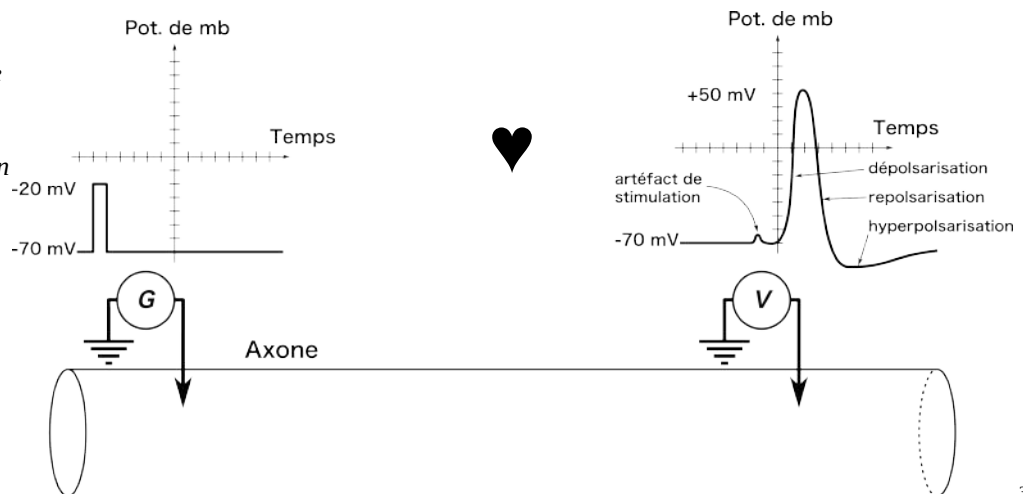


Document 41: Lien entre intensité d'un signal nerveux et fréquence de potentiel d'action. On mesure l'activité électrique de neurones de la rétine lors d'une stimulation lumineuse d'intensité décroissante. Source inconnue.

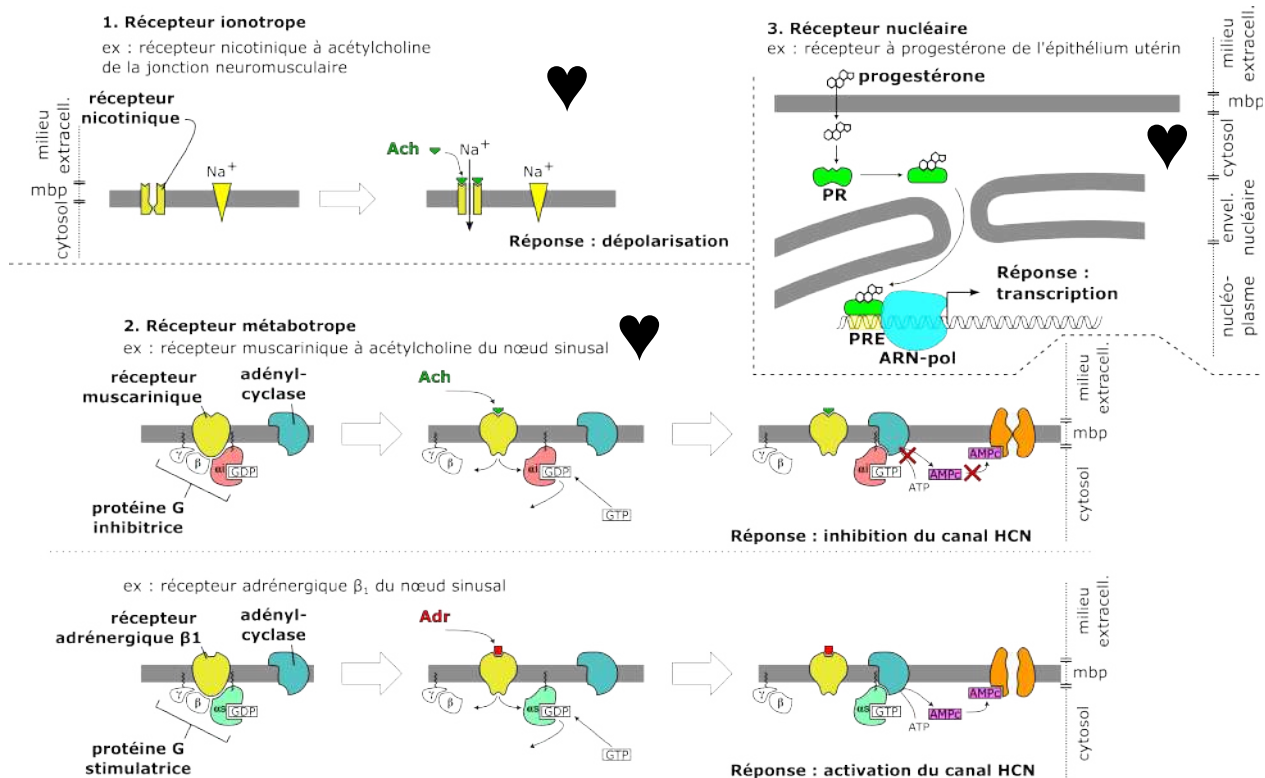


Document 42: Anatomie d'un neurone. Source inconnue.

Document 43: Stimulation d'un axone et enregistrement d'un potentiel d'action. Temps : une graduation correspond à 0,5 ms.

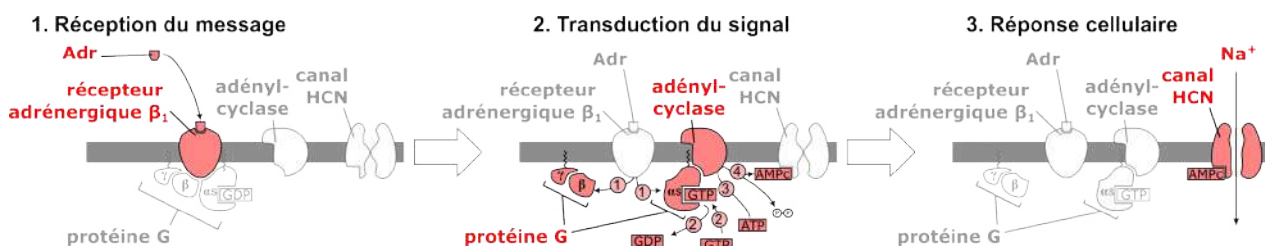


34



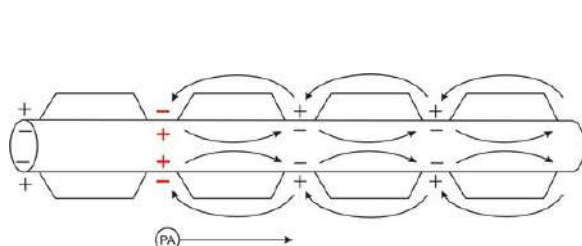
Document 44. Les trois grandes familles de récepteurs. Noter qu'une molécule peut avoir plusieurs types de récepteurs (exemple : acétylcholine, adrénaline), et par là-même des réponses très différentes selon la compétence de la cellule qui reçoit le message.

35



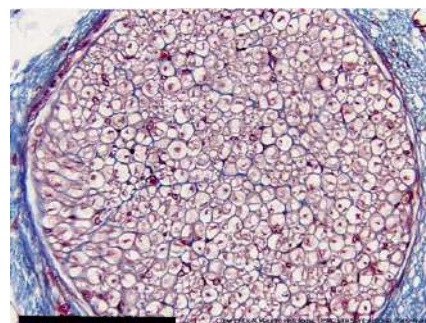
Document 45. La transduction, une étape clé dans la signalisation intracellulaire. Exemple de la communication endocrine adrénérge via le récepteur β_1 .

36



Document 46: Circulation de courants locaux dans un axone myélinisé à partir du lieu d'un potentiel d'action (déplacement du PA symbolisé par une flèche). Source : univ. Lille I.

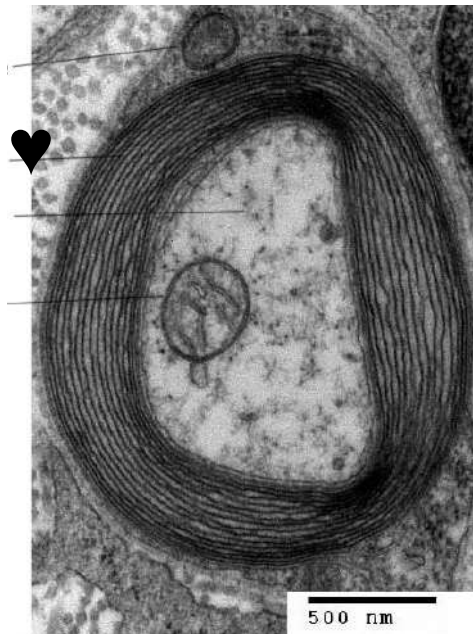
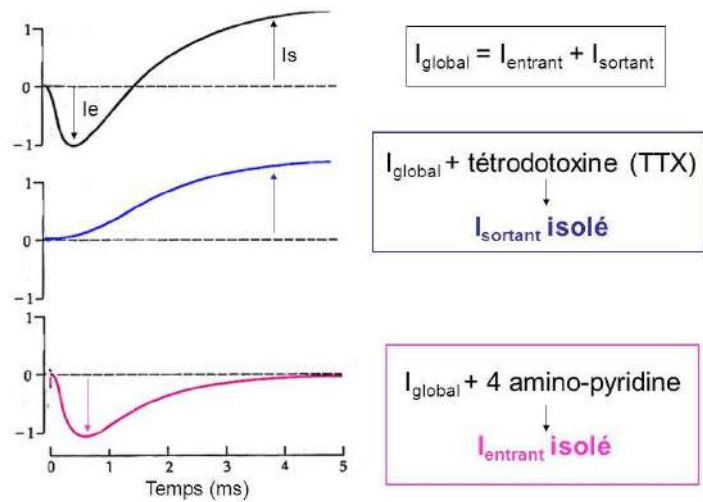
Document 47: Coupe transversale d'un nerf humain observé au microscope optique, constitué de quelques dizaines à centaines d'axones myélinisés. On y distingue les axones, fines fibres colorées, entourés de leur gaine de myéline blanche et épaisse. barre : 100 μm . D'après UPMC.



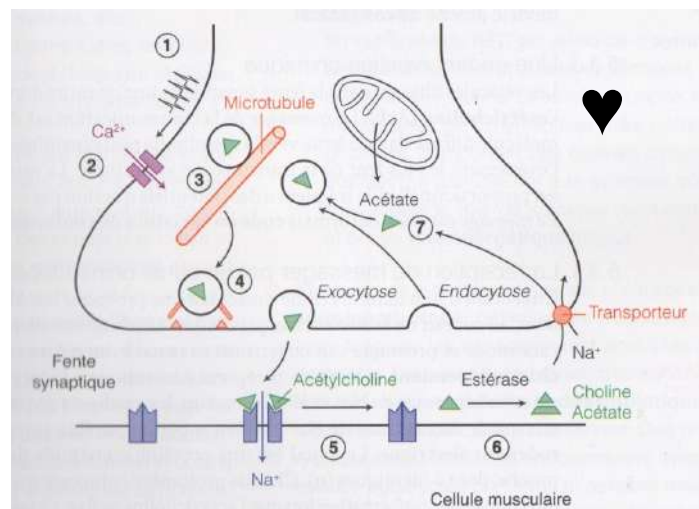
35 Démaret-Nicolas, Joseph Nicolas – SVT – BCPST2 – Lycée Chaptal - Paris.

36 Démaret-Nicolas, « Joseph Nicolas – SVT – BCPST2 – Lycée Chaptal - Paris ».

Document 48: Mesure du courant entrant (I_e) et sortant (I_s) dans un neurone dans un cas témoin (haut), avec tétrodotoxine (milieu) ou 4-aminopyridine (bas). Source inconnue. Attention : on mesure ici des **courants** (intensité électrique = débit d'ions) et non des **différences de potentiel électrique**.



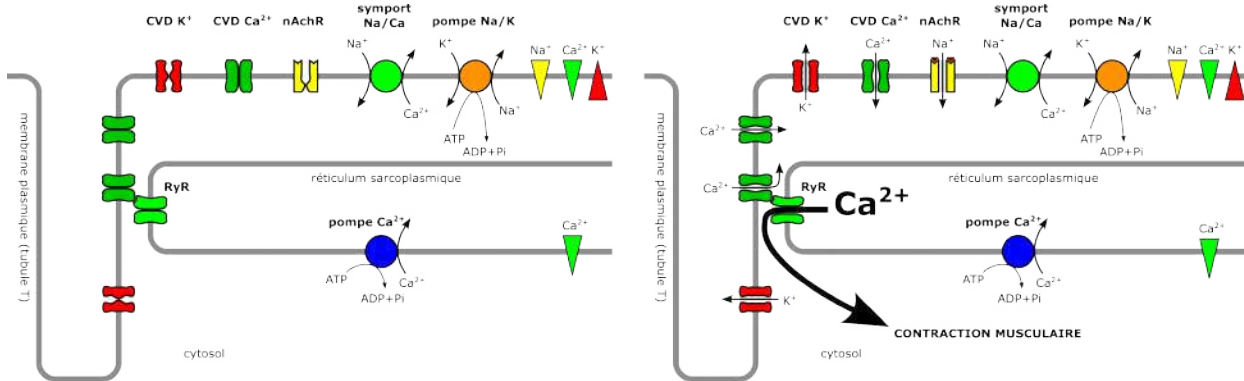
Document 49: Micrographie électronique d'une gaine de myéline sur un axone périphérique. A légèder !



Document 50: La transmission synaptique (cas particulier de la synapse neuro-musculaire). 1. Arrivée d'un train de PA ; 2. Ouverture des canaux Ca^{2+} voltage dépendants ; 3. acheminement des vésicules par le réseau de microtubules ; 4. exocytose de vésicules contenant de l'acétylcholine provoquée par l'afflux de Ca^{2+} ; 5. Fixation de l'acétylcholine sur le récepteur nicotinique (ionotrope) et ouverture du canal ; 6. Hydrolyse de l'acétylcholine par l'acétylcholinestérase membranaire ; 7. Réabsorption de la choline par transport actif secondaire et endocytose.

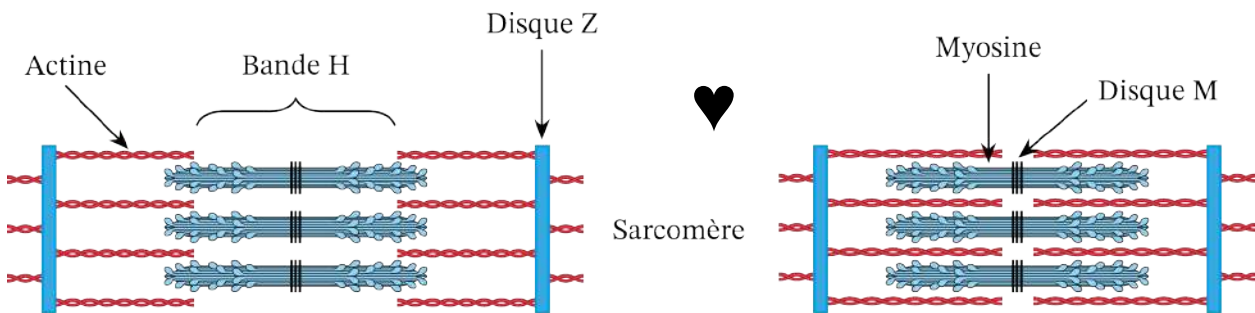
37 « Wikimedia Commons ».

38 Joseph Segarra et al., *Biologie BCPST2*.



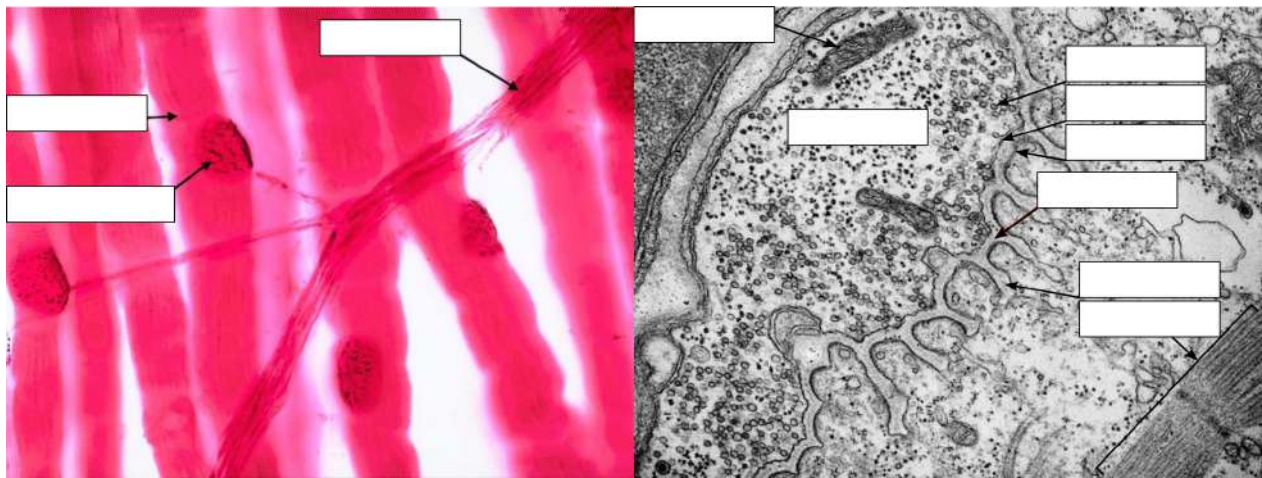
Document 51: Canaux et pompes de la cellule musculaire striée squelettique. Gauche : avant stimulation ; droite : après stimulation. Production personnelle.

39



Document 52. Evolution de la taille d'un sarcomère en fonction de l'état contracté ou relâché.

40



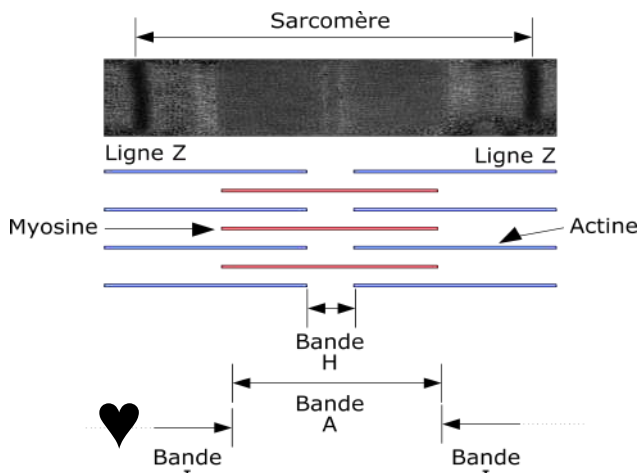
Document 53. Jonction neuromusculaire, observée au MO (gauche, 1 cm = 30 μ m) et au MET (droite, 1 cm = 0,5 μ m). Document à légender.

41

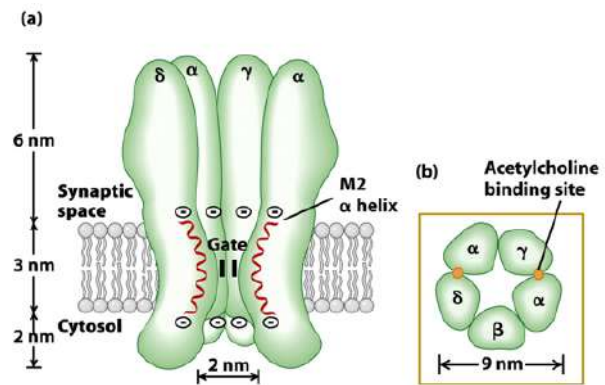
39 Démaret-Nicolas, « Joseph Nicolas – SVT – BCPST2 – Lycée Chaptal - Paris ».

40 « Wikimedia Commons ».

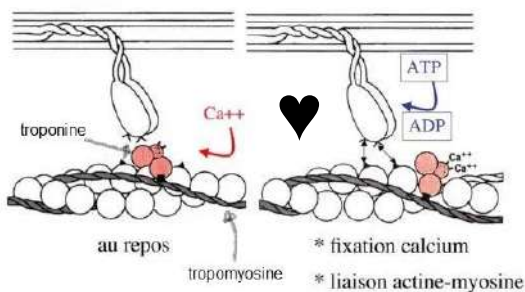
41 « Systems Cell Biology », consulté le 20 janvier 2025, https://medcell.org/systems_cell_biology/muscle_lab.php.



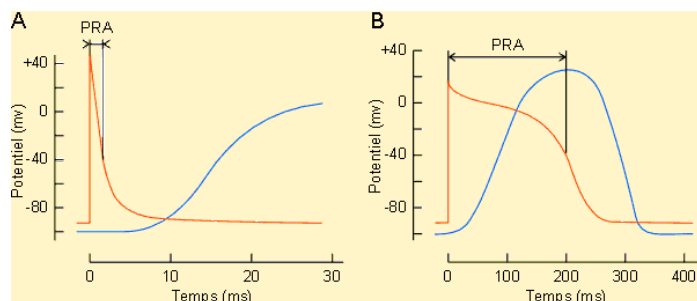
Document 54: Un sarcomère observé au MET et son interprétation.



Document 55. Structure du récepteur nicotinique à l'acétylcholine (récepteur ionotrope, jonction neuromusculaire). Source inconnue.



Document 56: L'interaction actine/myosine est permise par le calcium relargué par le réticulum sarcoplasmique. Source inconnue.

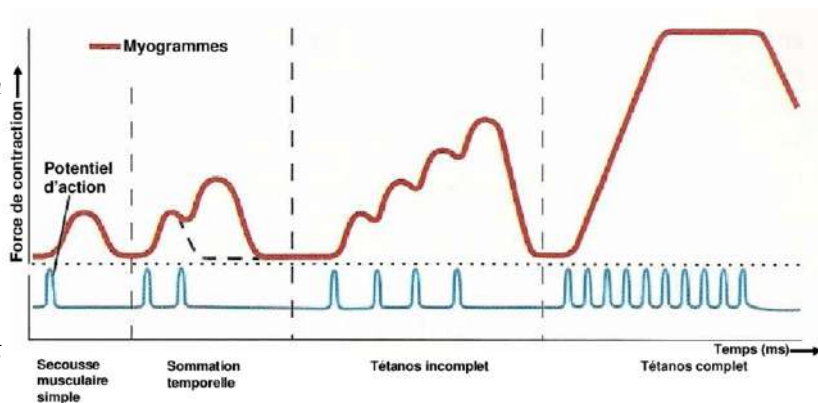


Document 57: Enregistrement d'un potentiel d'action musculaire et de la réponse en terme de contraction (muscle strié squelettique à gauche, muscle strié cardiaque à droite, courbes à légèrer). Noter la période réfractaire absolue (PRA) pour la CMSS, qui est un ordre de grandeur en dessous de celle de la contraction. Source inconnue.

Document 58: Stimulation et tétanos musculaire. Haut : myogramme (mesure de la force de contraction, en N) ; bas : enregistrement de potentiels d'action musculaires au cours du temps. La courte période réfractaire absolue et la réponse lente du muscle permet un tétanos*.

*Attention : le **tétanos** désigne à la fois la contraction d'un muscle prolongée dans le temps (et tout à fait normale), et la maladie mortelle provoquée par la bactérie

Clostridium tetani, dont un des symptômes est une contraction musculaire incontrôlée.



42 « Wikimedia Commons ».

43 Gérard Tortora et Bryan Derrickson, *Manuel d'anatomie et de physiologie humaines* (De Boeck, 2009).

Bibliographie :

- Ballermann, Barbara J., Alan Dardik, Eudora Eng, et Ailian Liu. « Shear Stress and the Endothelium ». *Kidney International* 54 (septembre 1998): S100-108. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1755.1998.06720.x>.
- Bernhardt, Brenda. *Importance of Calf Muscle Pump for Venous Health | Totality*. 10 avril 2017. <https://totalityok.com/walking-and-the-importance-of-ankle-mobility-for-priming-the-calf-muscle-pump-for-venous-health/>.
- Boo, Yong Chool, George Sorescu, Nolan Boyd, et al. « Shear Stress Stimulates Phosphorylation of Endothelial Nitric-Oxide Synthase at Ser1179 by Akt-Independent Mechanisms ». *Journal of Biological Chemistry* 277, n° 5 (2002): 3388-96. <https://doi.org/10.1074/jbc.M108789200>.
- Canac, Robin. « Etude du développement cardiaque et ses facteurs de transcription par l'utilisation des cellules souches pluripotentes induites ». 2022.
- charles-molnar. *16.2 How Neurons Communicate*. s. d. Consulté le 19 janvier 2025. <https://biol1113temp.pressbooks.tru.ca/chapter/16-2-how-neurons-communicate/>.
- Démaret-Nicolas, Joseph. *Joseph Nicolas – SVT – BCPST2 – Lycée Chaptal - Paris*. s. d. Consulté le 29 septembre 2024. <http://josephnicolassvt.fr/>.
- « Histologie générale - université de Namur ». Consulté le 13 janvier 2025. <https://www.histologie.be/atlas/HG/index.html>.
- Joseph Segarra, Olivier Chassaing, Grégory Bailly, et al. *Biologie BCPST2*. Ellipses, 2015.
- Lacouture, Eric. « La pression artérielle, une grandeur régulée ». Consulté le 20 janvier 2025. http://eric.lacouture.free.fr/lycee/2nde/cours_2_ch7np.
- « Le fonctionnement du cœur - FFC ». Consulté le 14 janvier 2025. <https://www.fedecardio.org/je-m-informe/le-fonctionnement-du-coeur/>.
- Marieb, Elaine, et Katja Hoehn. *Anatomie et physiologie humaines*. Pearson, 2010.
- Mitchell, Jere. « Classification of Sports ». *Journal of the American College of Cardiology*, 1994. <https://www.jacc.org/doi/epdf/10.1016/0735-1097%2894%2990841-9>.
- Nagwa, Fiche explicative de la leçon: Système lymphatique |. « Fiche explicative de la leçon: Système lymphatique | Nagwa ». Consulté le 14 janvier 2025. <https://www.nagwa.com/fr/explainers/898101068250/>.
- Patlak, J, et R Horn. « Effect of N-bromoacetamide on single sodium channel currents in excised membrane patches. » *Journal of General Physiology* 79, n° 3 (1982): 333-51. <https://doi.org/10.1085/jgp.79.3.333>.
- « Physio Ch 2-3 Les systèmes vasculaires ». Consulté le 14 janvier 2025. <http://coproweb.free.fr/pagphy/physioan/ch2s3.htm>.
- « Physiologie des systèmes intégrés, les principes et fonctions - Introduction ». Consulté le 20 janvier 2025. https://ressources.unisciel.fr/physiologie/co/act4_Debit_sanguin_1.html.
- « Raymond Rodriguez SVTperso - Accueil ». Consulté le 13 janvier 2026. <http://raymond.rodriquez1.free.fr/>.
- « Systems Cell Biology ». Consulté le 20 janvier 2025. https://medcell.org/systems_cell_biology/muscle_lab.php.
- Tortora, Gérard, et Bryan Derrickson. *Manuel d'anatomie et de physiologie humaines*. De Boeck, 2009.
- Unisciel – *L'université des sciences en ligne*. s. d. Consulté le 14 janvier 2025. <https://www.unisciel.fr/>.
- « Wikimedia Commons ». Consulté le 29 août 2024. <https://commons.wikimedia.org/wiki/Accueil>.