

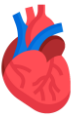


- Introduction à la physiologie -

- Terminale santé 2025/2026 -

Sommaire

I – Milieu intérieur et milieux extérieurs de l'organisme humain.....	- 2 -
A – Les différents milieux	- 2 -
B – L'individu standard	- 3 -
C – Volumes, débits et surface d'échange	- 3 -
II – Echanges entre les compartiments.....	- 5 -
A – Echanges par diffusion	- 5 -
B – Pression osmotique	- 6 -
1 – Osmomètre de Dutrochet	- 6 -
2 – Abaissement cryoscopique	- 8 -
C – Membranes plasmiques	- 9 -
D – Propriétés électriques des molécules transmembranaires.....	- 9 -
1 – Patch-clamp.....	- 9 -
2 – Chambre d'Ussing.....	- 10 -
3 – La micro perfusion in vitro	- 11 -
E – Molécules transmembranaires	- 11 -
III – Origine de l'énergie cellulaire.....	- 15 -
A – Propriétés chimiques des atomes	- 15 -
B – Réactivité des atomes entre eux : partage d'électrons.....	- 16 -
C – Composition des molécules simples.....	- 16 -
D – Mesure de l'énergie de liaison des molécules simples.....	- 17 -
E – Capital énergétique	- 18 -
F – Rendement énergétique.....	- 20 -
G – Mesure de la chaleur produite	- 21 -
H – Production minimale de chaleur.....	- 21 -
IV – Ventilation et respiration.....	- 23 -
A – Respiration cellulaire	- 23 -
B – Puissance musculaire et consommation d'oxygène	- 24 -
C – Utilisation des molécules énergétiques à l'effort	- 24 -
D – Application en médecine	- 25 -



I – Milieu intérieur et milieux extérieurs de l'organisme humain

A – Les différents milieux

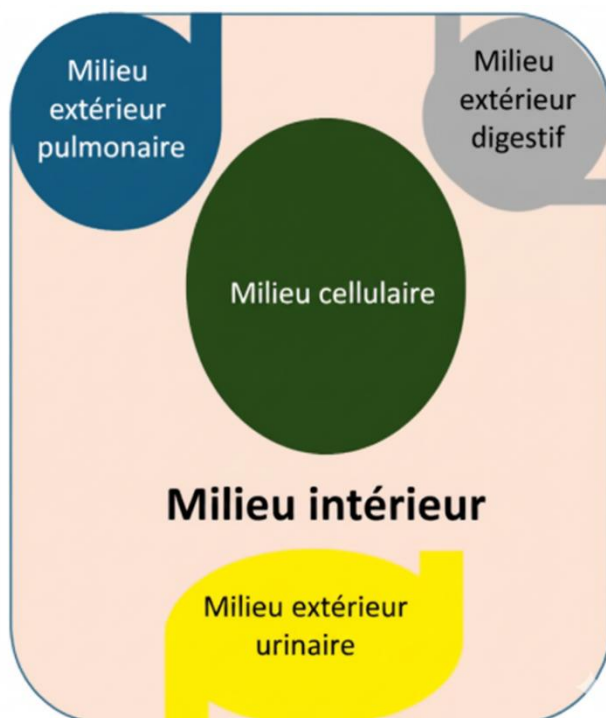
La physiologie ne se base pas comme l'anatomie sur le découpage de l'organisme en compartiments. Elle se base sur le découpage en compartiments fonctionnels.

Définition de milieu intérieur : milieu hydrique dans lequel baignent toutes les cellules.

Ce milieu est stable et en communication avec les milieux extérieurs. Les milieux extérieurs correspondent aux systèmes ou aux organes en contact direct avec l'extérieur, dans ce cours nous allons en considérer 3 :

- L'appareil pulmonaire : en contact direct avec l'extérieur via la bouche
- Le milieu digestif : en contact direct avec l'extérieur via la bouche et l'anus
- Le système urinaire : en contact direct avec l'extérieur via le méat urinaire

Le professeur donne une image pour mieux comprendre : il faut imaginer des crustacés ou des mollusques qui baignent dans l'eau de mer. Les crustacés sont nos cellules et l'eau de mer prend alors le rôle du milieu intérieur.



Vous voyez ici un schéma de ce que l'on vient de décrire :

- En vert au milieu vous avez une cellule qui constitue le milieu cellulaire
- En rose/orangé autour vous avez le milieu intérieur, qui correspond au liquide dans lequel baigne la cellule
- En bleu/jaune/gris vous avez les 3 milieux extérieurs, leur contact avec l'extérieur est représenté par les petits tubes qui vont jusqu'au bord de l'image



Attention, le milieu intérieur correspond au liquide qui baigne les cellules. Ainsi, le milieu intérieur correspond au milieu extracellulaire, ne confondez pas !



Milieu intérieur = milieu extracellulaire

Milieu intérieur ≠ milieu cellulaire = milieu intracellulaire

B – L'individu standard

En physiologie, lorsqu'on présente des valeurs chiffrées, on considère qu'elles correspondent à un individu standard. Cet individu standard n'existe pas et n'a pas de sexe et présente des caractéristiques prédéfinies :

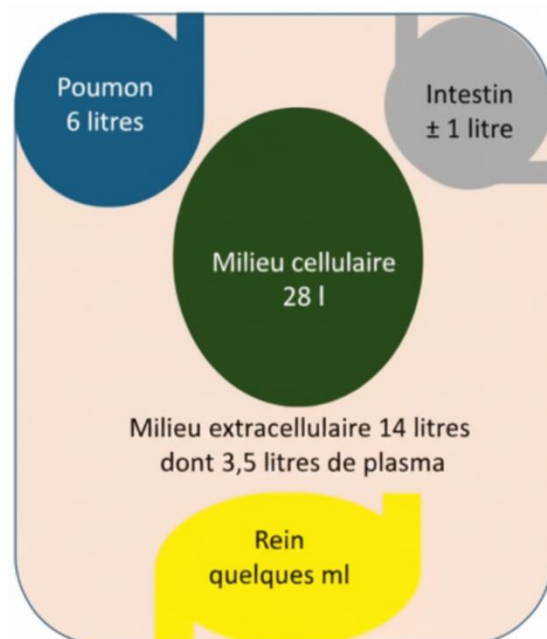
- 1,70 m
- 65 kg
- Volume extracellulaire (milieu intérieur) = 12,9 L
- Surface corporelle = 1,73 m²

Les grandeurs physiologiques mesurées chez des individus réels de sexe, d'âge et de gabarits différents sont divisées par leur surface corporelle pour être comparables entre elles :

Débit cardiaque = 5 L/m²

Débit de filtration glomérulaire (mL d'urine primitive produit par minute) = 120 mL/min/1,73 m²

C – Volumes, débits et surface d'échange

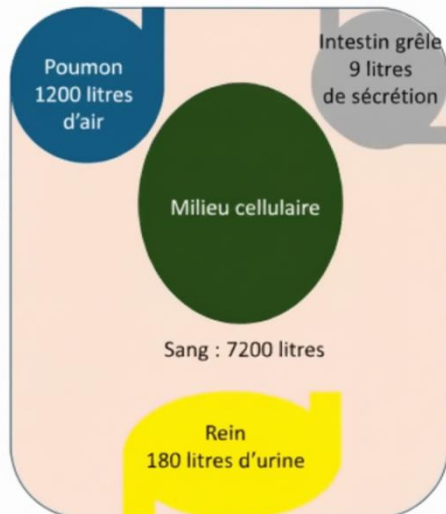


Les différents milieux sont envahis de fluide, aérien pour le poumon et liquide pour les autres.

On retrouve approximativement :

- 6 litres d'air dans les poumons
- 1 litre pour l'intestin
- Quelques mL pour les reins
- 28 L dans le milieu cellulaire
- 14 L dans le milieu extracellulaire (intérieur) dont 3,5 L de plasma

Le milieu intérieur est composé du liquide qui baigne les cellules (liquide interstitiel) et du plasma (liquide circulant) qui forme le sang quand il contient des cellules (globules rouges, blancs etc.)

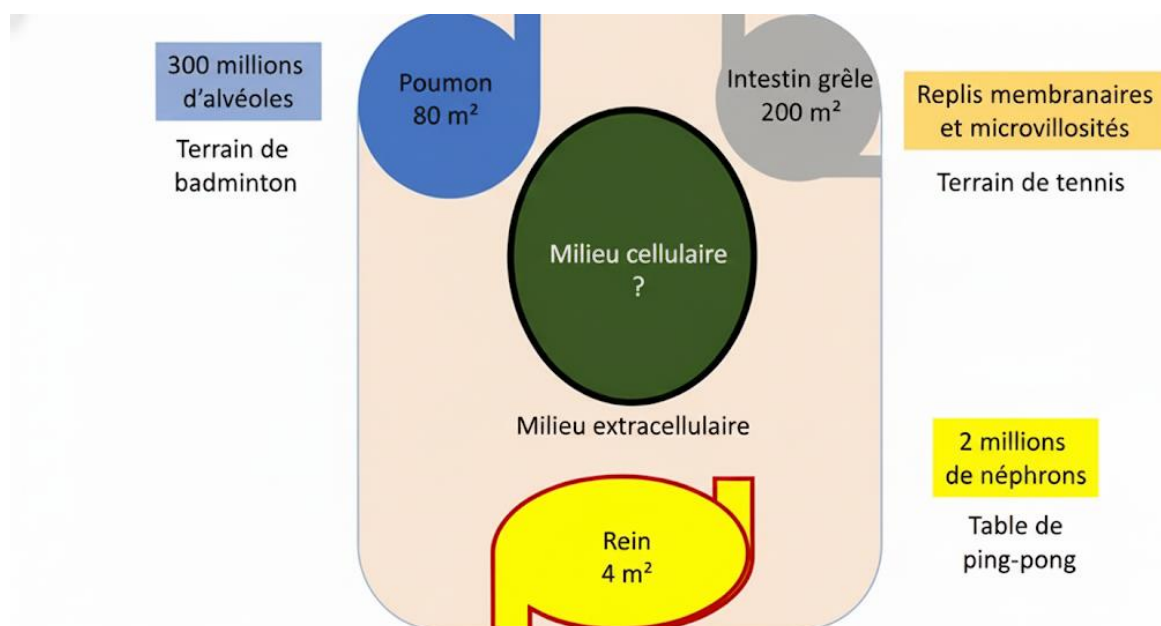


Il est également intéressant d'étudier les débits sur 24h.

- La **ventilation pulmonaire** peut brasser jusqu'à **1200 L d'air/jour**.
- L'**intestin grêle** est le siège d'un débit de **9 L/jour** de liquide qui va être **sécrété et réabsorbé** en permanence.
- Les **reins** génèrent environ **180 L d'urine primitive/jour**.
- Le **débit sanguin total** est de **7200 litres/jour**.

Il est impossible d'évaluer le débit du milieu cellulaire, c'est un milieu fermé très difficile d'accès.

Ces milieux sont en communication étroite les uns avec les autres, les débits sont des facteurs importants à considérer tout comme les surfaces :



Les **surfaces sont énormes** si on les considère dans leur ensemble. Les cellules et leurs microvillosités sont déposées sur une surface plane.

- Le **poumon mesure 80 m²**, avec **300 millions d'alvéoles**, c'est l'équivalent d'un terrain de **badminton**.
- L'**intestin grêle mesure 200 m²**, c'est l'équivalent d'un terrain de **tennis** si l'on considère toutes ses microvillosités (plis et micro-replis).
- Le rein mesure **4 m²**, c'est l'équivalent d'un terrain de **ping-pong**.

Cela permet de donner une idée de la surface d'échange entre le milieu intérieur et extérieur.



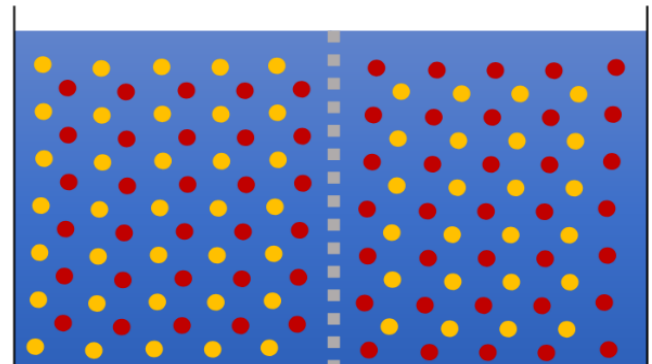
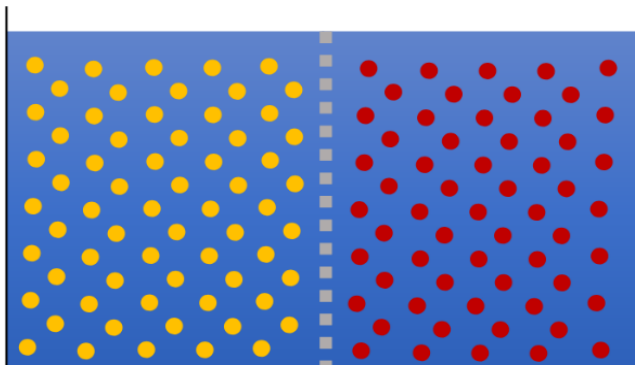
II – Echanges entre les compartiments

Pour comprendre comment se déroulent les échanges entre les différents compartiments fonctionnels de l'organisme, il faut établir quelques principes physico-chimiques

A – Echanges par diffusion

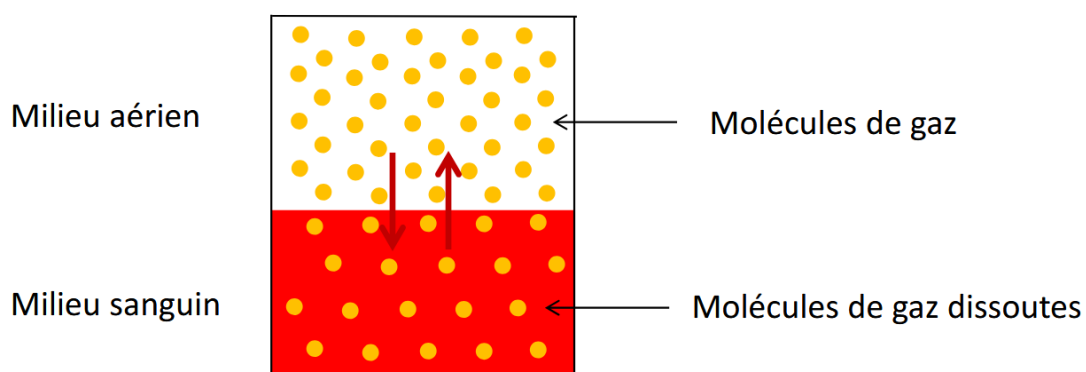
Etat initial

Etat après diffusion



La diffusion est un principe fondamental régissant les échanges entre compartiments. Prenons l'exemple d'un grand bac d'eau divisé par une membrane : le compartiment de gauche contient des molécules jaunes et celui de droite, des molécules rouges.

Si la membrane est perméable (c'est-à-dire qu'elle laisse passer les deux types de molécules), on observera après un certain temps que les molécules migrent vers le côté où elles étaient absentes. Ce mouvement se poursuit jusqu'à ce que les concentrations s'équilibrent parfaitement de part et d'autre. C'est ce mécanisme que l'on appelle la diffusion.



La diffusion au niveau d'une interface air-eau repose sur le même principe. Prenons l'exemple des échanges entre l'air pulmonaire et le sang : les molécules de gaz diffusent naturellement du milieu où elles sont très concentrées vers celui où elles le sont moins. Ainsi, les gaz présents en plus faible quantité dans le sang vont y pénétrer depuis l'air alvéolaire, et inversement.



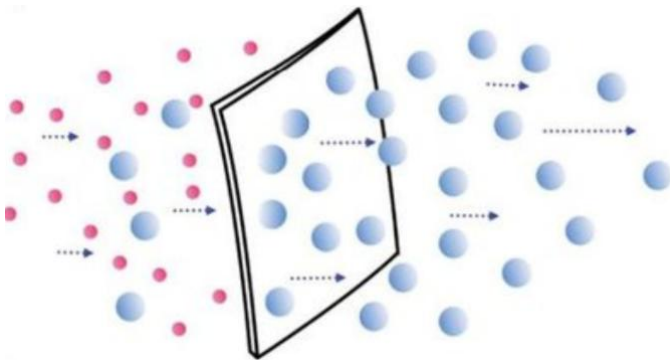
B – Pression osmotique

Les molécules dissoutes dans les liquides ont une appellation particulière : on les appelle osmole.

Osmole : molécule en solution.

Pression osmotique : Toute molécule en solution (y compris les molécules d'eau) exerce une pression proportionnelle à sa concentration. Cette pression s'appelle la pression osmotique.

Petite explication bonus :



Ici on a une membrane qui ne laisse passer que des molécules bleues. Elle est donc sélective. Les molécules roses qui cherchent à aller de l'autre côté selon le principe de diffusion sont bloquées par la membrane sélective. Elles vont alors « pousser » sur la membrane.

La pression osmotique est la pression générée par les chocs incessants des molécules dissoutes (les osmoles) contre une membrane sélective. Puisque ces molécules sont bloquées par la membrane (elles sont non diffusibles), elles exercent une poussée sur la paroi en tentant de sortir. Comme elles ne peuvent pas traverser pour rétablir l'équilibre, c'est l'eau qui va franchir la membrane en sens inverse. L'eau entre donc spontanément dans le compartiment concentré pour diluer les solutés et ainsi diminuer la fréquence et la violence de leurs chocs contre la paroi.

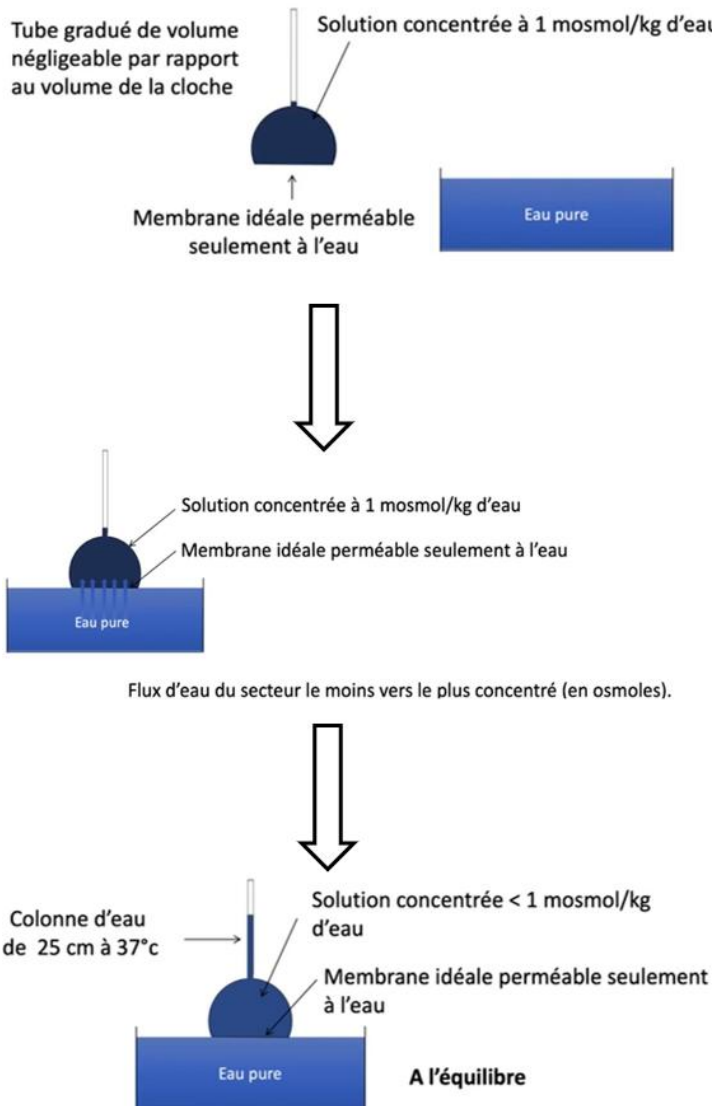
Parmi ces osmoles il y en a qui sont électriquement neutres : c'est le cas du glucose par exemple et il y en a qui sont électriquement chargées comme le sodium (Na⁺) et le chlorure (Cl⁻).

1 – Osmomètre de Dutrochet

Le phénomène de pression osmotique peut être mis en évidence simplement avec un montage expérimental : l'osmomètre du Dutrochet (*Henri Dutrochet est un médecin et physiologiste français du XIXe siècle*).



Mise en évidence avec l'osmomètre de Dutrochet



Si on dispose une cloche contenant une solution faiblement concentrée sur un bac d'eau pure (les deux étant séparés par une membrane perméable seulement à l'eau), on observe un flux d'eau du secteur le moins concentré vers le plus concentré.

Les osmoles et l'eau ont le même objectif : égaliser/rendre homogène les concentrations de chaque côté.

Les osmoles ne pouvant pas aller dans la solution d'eau pure à cause de la membrane, c'est donc l'eau pure qui va passer du côté de la solution (dans la cloche) pour équilibrer les concentrations (*c'est que je viens de présenter dans l'explication bonus*).

L'eau monte donc dans la colonne d'eau graduée. L'eau monte environ à 25 cm pour une solution concentrée à 1 mosmol/kg d'eau à 37°C.

Grâce à ce procédé il est donc possible de déterminer l'osmolalité.

Si nous avons une solution à 10 mosmol/kg d'eau on aurait une pression égale au 1/3 de la pression atmosphérique au niveau de la mer, 10 mosmol = 0,3 g de sel (NaCl).

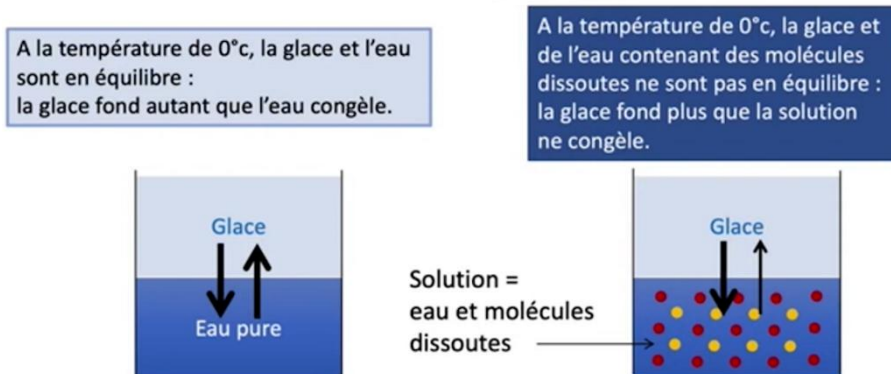
L'organisme contient bien plus que 0,3 g de sel. Le plasma par exemple en contient 9 g/kg d'eau, ce qui correspond à 300 mosmol/kg d'eau. Si nous faisons cette expérience en mettant du plasma sous la cloche, on pourrait faire monter l'éprouvette graduée jusqu'à 75 mètres soit le 1^{er} étage de la tour Eiffel. Tout cela permet de vous donner une idée de la force osmotique que contient le plasma.



2 – Abaissement cryoscopique

Cette méthode n'est donc pas utilisée en laboratoire pour mesurer les forces osmotiques (pour des raisons logistiques évidentes). A la place on utilise une autre méthode basée sur l'abaissement cryoscopique.

Phénomène physique



La capacité de l'eau pure à congeler autant que la glace fond à 0°C, est modifiée par l'introduction d'osmoles dans l'eau.

Exemple : l'eau de mer. (*Fun fact : c'est pour ça qu'on met du sel sur les routes en hiver, pour abaisser la température de congélation et ainsi éviter qu'il y ait du verglas qui se forme*)

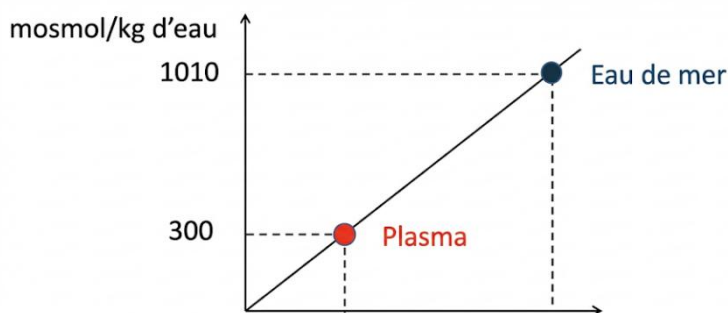
A 0°C, la glace et l'eau contenant des molécules dissoutes ne sont plus en équilibre : la glace fond plus que la solution ne congèle.

Il faut donc descendre en dessous de 0°C pour arriver à congeler une eau contenant des osmoles dissoutes.

Cette propriété permet de définir l'abaissement cryoscopique.

Définition : l'abaissement cryoscopique est la différence entre la température de congélation de l'eau pure et celle d'une solution.

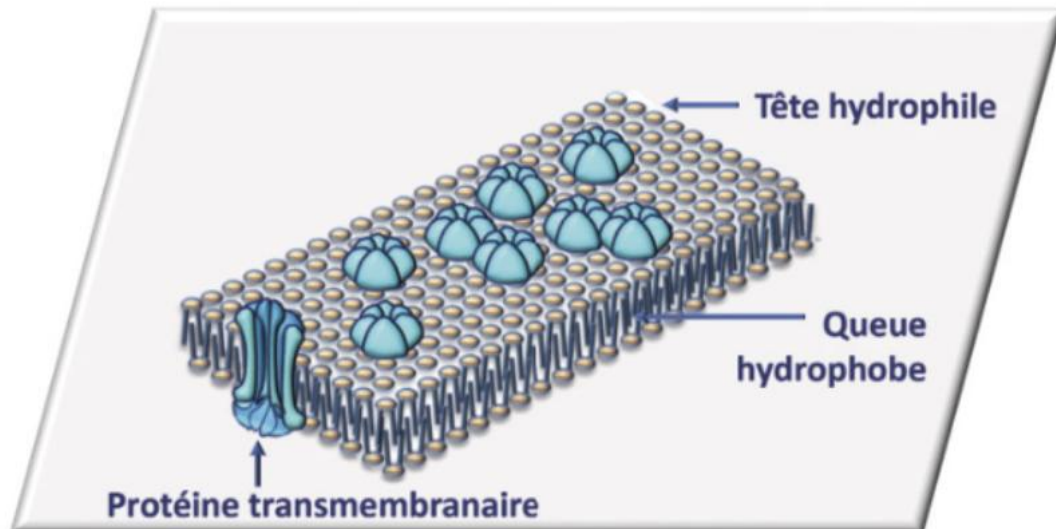
Il existe une relation linéaire entre l'abaissement cryoscopique et l'osmolalité de la solution.



Grâce à cette relation de proportionnalité, on peut déduire l'osmolalité et donc la pression osmotique des solutions en mesurant l'abaissement cryoscopique, puisque la pression osmotique dépend directement de la forte concentration en osmole (osmolalité) des solutions.



C – Membranes plasmiques



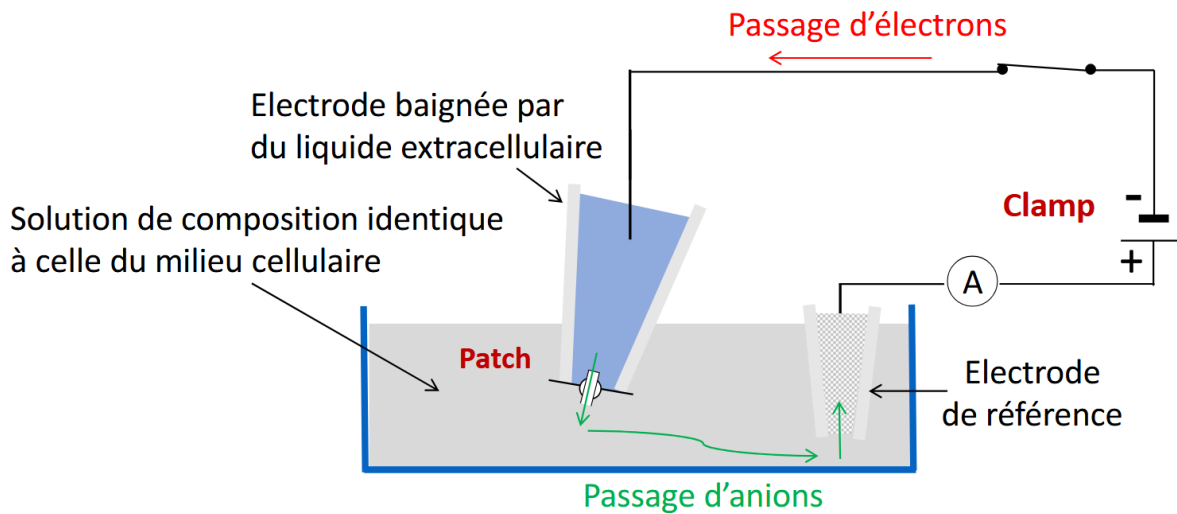
A la surface de ces compartiments on retrouve les cellules entourées de leur membrane plasmique. On dit de ces membranes qu'elles ont une structure de cristal liquide, elle a la cohérence de ses éléments structuraux (comme un cristal) et en même temps ces éléments sont extrêmement mobiles (comme un liquide). Les composants moléculaires sont les phospholipides, qui ont des têtes et des queues. Les têtes sont hydrophiles et les queues sont hydrophobes. Au milieu de cet assemblage de phospholipides on retrouve des protéines qui traversent la membrane et des protéines qui ne sont présentes que d'un côté ou de l'autre. Cette membrane cellulaire est imperméable à l'eau et à toute molécule dissoute, en revanche elle est perméable aux lipides qui peuvent la traverser en se fondant dans la masse des phospholipides en passant d'un côté à l'autre. En revanche, pour faire passer des molécules d'eau ou des molécules dissoutes dans l'eau on a besoin de transporteurs membranaires.

D – Propriétés électriques des molécules transmembranaires

1 – Patch-clamp

Ces protéines transmembranaires sont étudiables grâce à leurs propriétés électriques via un montage expérimental, appelé patch-clamp, qui a révolutionné la description des échanges entre les compartiments. L'élaboration de cette méthode expérimentale a valu un prix Nobel de Physiologie et de Médecine aux chercheurs Neher et Sackmann en 1991.

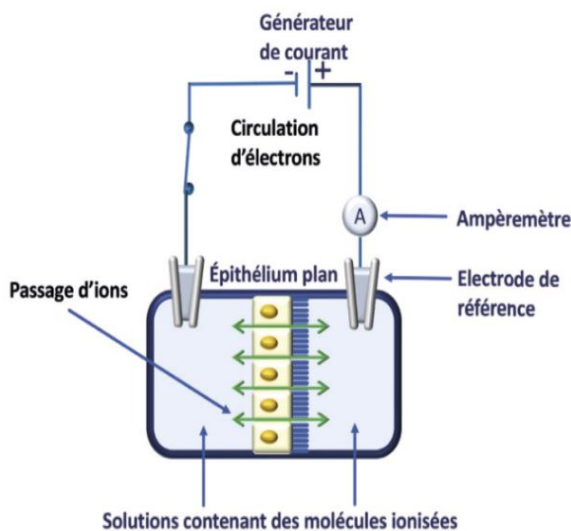
(Suite à la prochaine page pour que vous ayez l'image et l'explication à la même page)



On voit qu'il y a dans un bain (correspondant au milieu cellulaire), un morceau de membrane plasmique qu'on a arraché, qui trempe accrochée à l'extrémité d'une pipette dans laquelle se trouve un liquide correspondant au milieu extracellulaire. La membrane « patchée » sur la pipette se trouve donc entre deux solutions représentant les milieux cellulaire et extracellulaire. Ce système osmotique est connecté à un circuit externe permettant de libérer un voltage dit clamped, c'est-à-dire avec une valeur fixe que nous connaissons. On peut ensuite mesurer l'intensité après l'électrode de référence via un galvanomètre (ampèremètre utilisé pour mesurer les faibles courants) qui correspond au passage d'électrons à travers la membrane et qui confirme donc la présence de protéines transmembranaires.

L'organisme n'est pas uniquement analysable de cette manière, il possède aussi des structures plus complexes. C'est le cas des épithéliums, qui sont les tissus qui séparent le milieu intérieur des milieux extérieurs

2 – Chambre d'Ussing

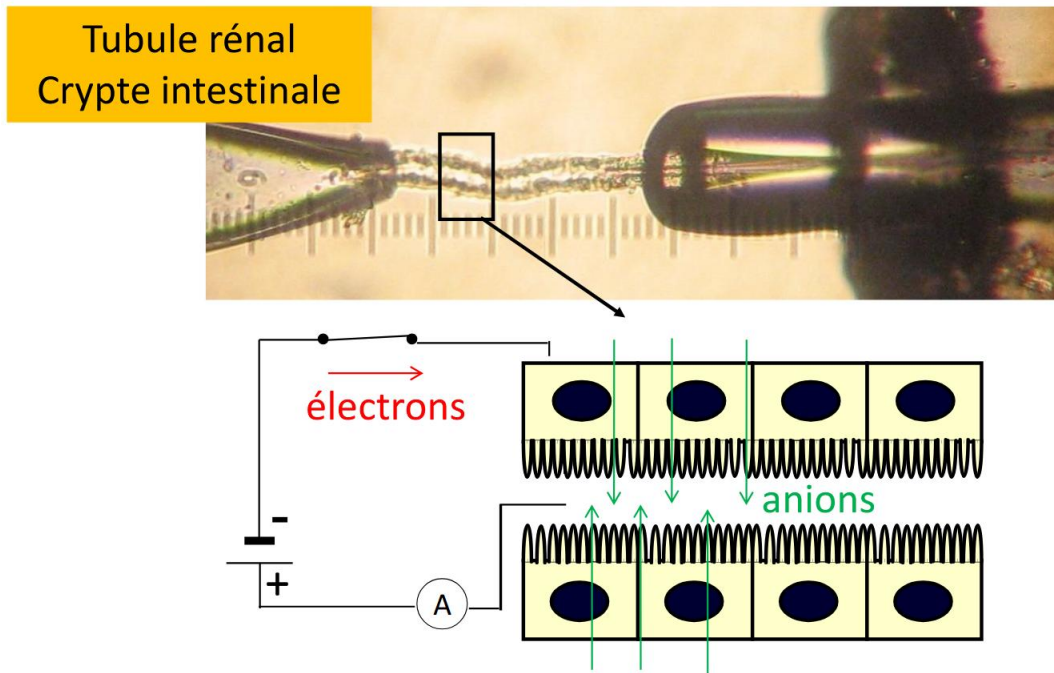


Pour étudier ces épithéliums (pulmonaire et digestif notamment) on utilise ce qu'on appelle la chambre d'Ussing. Ce dispositif permet de monter un épithélium entre 2 chambres perfusées et oxygénées (pour maintenir les cellules en vie) que l'on relie à un circuit électrique externe. On va pouvoir, sur le même principe que la patch-clamp, mesurer l'intensité du courant qui se produit à l'intérieur grâce à l'ampèremètre



3 – La micro perfusion in vitro

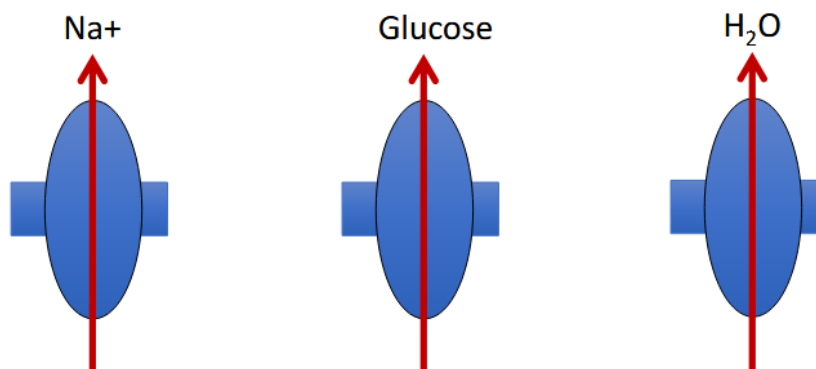
Le rein est formé de néphrons qui sont des tubes. L'intestin est formé de villosités, c'est un tube aussi. Pour étudier ces tubes on dispose d'un montage spécifique représenté en dessous qui nous permet de la même manière de mesurer le passage d'électrons au niveau de la surface de ce cylindre.



A droite et à gauche de la photo vous voyez deux micropipettes de verre microforgées et entre ces deux pipettes un tubule rénal.

E – Molécules transmembranaires

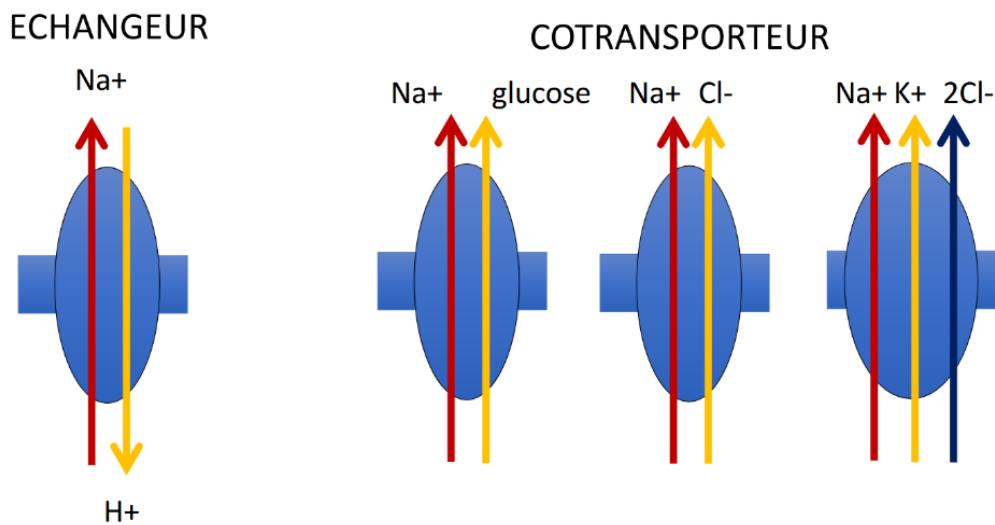
Grâce à ces divers montages expérimentaux on a pu identifier plusieurs types de transporteurs moléculaires à la surface des membranes plasmiques et épithéliales.



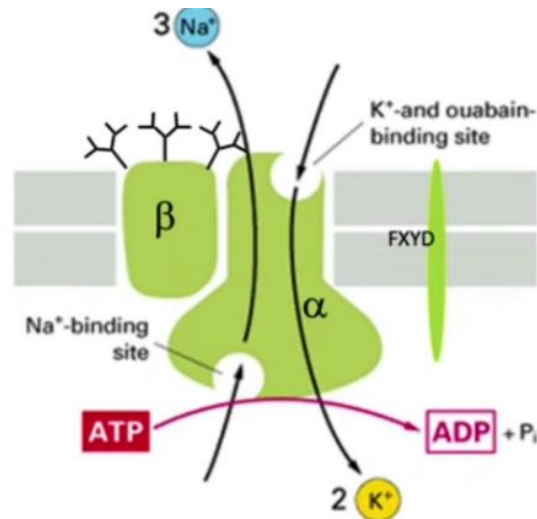


Notamment les aquaporines, qui sont des transporteurs ubiquitaires (présent partout) qui permettent de faire passer l'eau de part et d'autre de la membrane plasmique.

On retrouve aussi des systèmes qui asservissent le passage d'un composé avec un autre. Soit dans le même sens, ce sont les co-transporteurs, soit dans un sens opposé, ce sont des échangeurs.

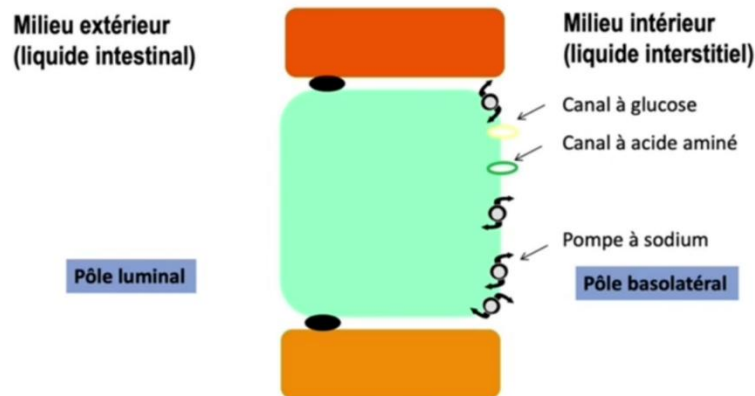


Vous voyez que ces échangeurs et ces co-transporteurs ont en commun d'être asservi au passage de sodium (Na⁺). Cet asservissement (on va le détailler juste après) est rendu possible grâce à une pompe, la pompe à sodium.

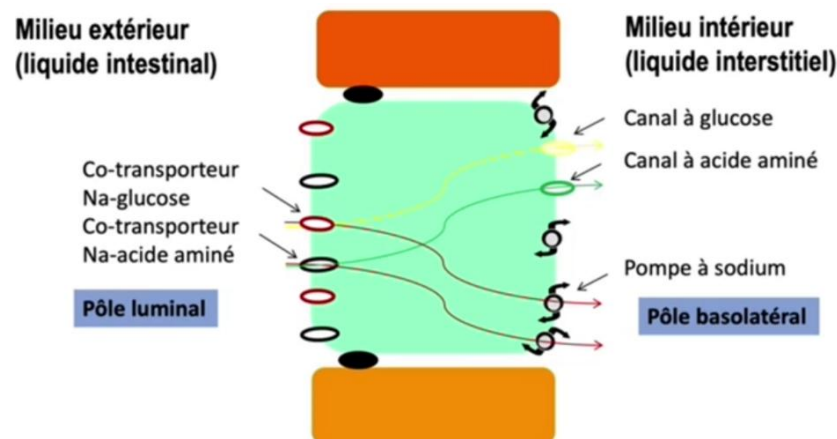


Cette pompe est également ubiquitaire, c'est-à-dire présente sur toutes les membranes plasmiques. C'est une pompe, donc elle consomme de l'énergie (l'ATP). Lorsqu'elle lyse une molécule d'ATP elle permet de faire sortir 3 sodium dans le milieu intérieur et de faire entrer 2 potassium dans le milieu intracellulaire.

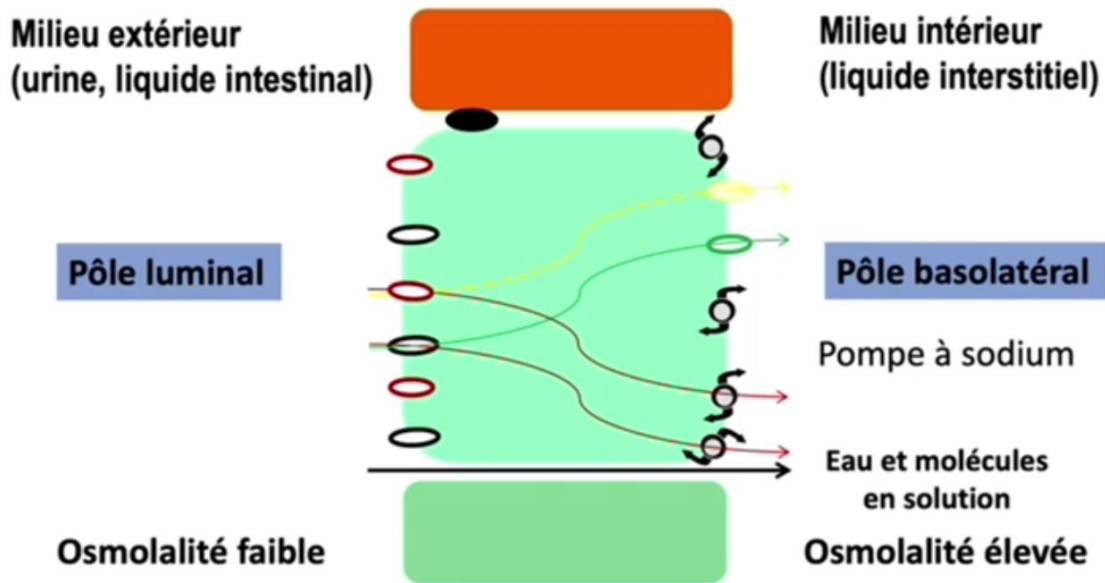
Sa découverte a aussi valu un prix Nobel à un chercheur en 1997, Jens Skou.



Pour expliquer cette histoire de pompe à sodium et de transport asservi au sodium voici un exemple. Vous voyez ici une cellule épithéliale présente dans l'intestin grêle, on a dit que les épithéliums sont des tissus qui séparent le milieu intérieur des milieux extérieurs. Ici la cellule épithéliale de l'intestin permet donc de séparer à gauche la lumière de l'intestin grêle (centre du tube) qui correspond au milieu extérieur et le milieu intérieur (plasma et liquide interstitiel) à droite. On a dit que les pompes à sodium permettent de faire sortir le sodium des cellules, c'est ce qu'elles font dans les cellules épithéliales de l'intestin. Vous voyez sur le schéma à droite qu'il y a des pompes à sodium sur le côté en regard du milieu intérieur. La cellule se retrouve donc vidée de son sodium. Si vous avez une faible concentration de sodium dans la cellule et une forte concentration dans l'intestin (milieu extérieur à gauche) vous allez avoir le principe de diffusion qui s'applique, le sodium va avoir envie de diffuser dans la cellule pour équilibrer les concentrations.



Vous voyez que le côté en regard de la lumière de l'intestin est équipé en co-transporteur sodium-glucose et sodium-acide aminé (les acides aminés composent les protéines). Ainsi, lorsque la cellule est vidée de son sodium par la pompe à sodium, et bien un gradient de diffusion favorable à l'entrée du sodium depuis la lumière de l'intestin est créé, et puisque le transport du glucose et des acides aminés est asservi à celui du sodium, lorsque celui-ci va rentrer dans la cellule épithéliale, il va emmener avec lui le glucose et les acides aminés qui ressortiront librement dans le milieu intérieur par les canaux simples que vous voyez représentés à droite. C'est comme cela que les nutriments que vous mangez passent dans votre sang.



L'absorption des nutriments depuis l'intestin vers le plasma comme nous venons de le montrer crée une plus grande osmolalité du milieu intérieur par rapport au milieu extérieur (en gros tous les nutriments se retrouvent dans le plasma donc il est très concentré). Toujours sur le principe de la diffusion que nous avons présenté plus haut, on va chercher à équilibrer les concentrations. Puisque les nutriments ne peuvent pas repartir en sens inverse, c'est l'eau qui va diffuser depuis l'intestin vers le milieu intérieur et c'est ainsi que vous pouvez vous hydrater. Vous comprenez donc que pour vous hydrater il faut aussi qu'il y ait du sodium et du glucose dans l'intestin. Cette réalité possède de nombreuses applications médicales comme celle du soluté de réhydratation orale indiqué par l'OMS en cas d'épidémie de choléra particulièrement chez l'enfant (en cas de diarrhée aiguë du nourrisson et du petit enfant).

$$\begin{aligned}[\text{Na}^+] &= 75 \text{ mmol/L} \\ [\text{Anion}] &= 75 \text{ mmol/L} \\ [\text{Glucose}] &= 75 \text{ mmol/L}\end{aligned}$$

Il contient à la fois du sodium et du glucose rationnellement puisqu'on a vu que l'absorption de l'un est couplée à celle de l'autre.

Ces substances sont essentielles à la création d'un gradient osmolaire, à condition que l'osmolarité du soluté de réhydratation soit inférieure à celle du plasma (pour que l'eau diffuse vers le plasma). En l'occurrence, c'est le cas puisque l'osmolarité de ce soluté est à 245 mmol/L contre 300 mmol/L pour le plasma. Cette disposition est favorable à la réhydratation et un soluté hyperosmolaire ou dépourvu en sodium ou en glucose, ne permettrait pas de réhydratation.



Petite conclusion pour cette première partie :

Les échanges entre les milieux se font par

- Diffusion facilitée par les molécules transmembranaires
- Transport actif via des pompes consommant de l'ATP

Les échanges entre les milieux dépendent de

- La surface de contact entre les milieux
- Les débits de fluide
- L'équipement moléculaire des membranes cellulaires

III – Origine de l'énergie cellulaire

A – Propriétés chimiques des atomes

Colonne = capacité similaire à céder ou accepter des électrons (réactivité)

Eléments dont la couche électronique externe est saturée

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
¹ H																	² He
³ Li	⁴ Be											⁵ B	⁶ C	⁷ N	⁸ O	⁹ F	¹⁰ Ne
¹¹ Na	¹² Mg											¹³ Al	¹⁴ Si	¹⁵ P	¹⁶ S	¹⁷ Cl	¹⁸ Ar
¹⁹ K	²⁰ Ca	-Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
...																	

← Nombre de couches d'électron (ou de périodes)

← Dernière période

⁶C Nombre d'électrons (≠numéro atomique)

Eléments des colonnes 1,2 et 13 à 18 de la ligne 2 = couche externe saturée avec 8 électrons
Réactivité : tendance à saturer la couche externe

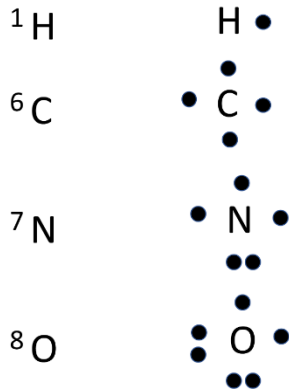
Pour comprendre l'origine de l'énergie cellulaire, on a déjà besoin de revenir sur la notion de tableau périodique. Le tableau périodique pour rappel, classe les atomes par colonnes, et chacune de ces colonnes représente la réactivité de l'atome : c'est-à-dire sa capacité à accepter ou céder des électrons en fonction des conditions chimiques. Les lignes, elles, décrivent les périodes, c'est-à-dire le nombre de couches électroniques (1ère ligne 1 couche e-, 2ème ligne 2 couches e- etc.) Pour la chimie organique (celle qui va nous être utile à l'échelle du corps humain), ce qui nous intéresse ce sont les éléments des colonnes 1, 2 et de 13 à 18 de la 2^{ème} ligne. Ces éléments sont donc dans la 2ème période et ont une couche externe (= couche de valence) saturée avec 8 e-. On définit la réactivité comme la tendance à saturer la couche externe : ainsi l'intérêt du tableau périodique est de prédire comment les atomes vont s'assembler en molécules.



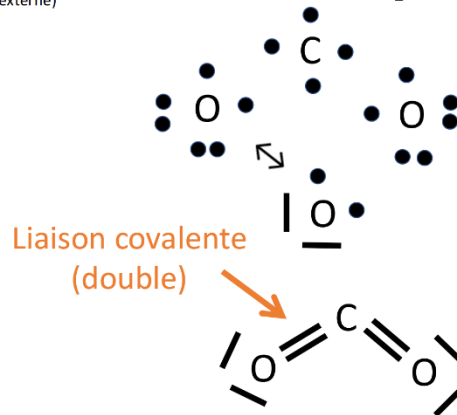
B - Réactivité des atomes entre eux : partage d'électrons

(diagramme de Lewis)

Electrons de valence (couche électronique externe)



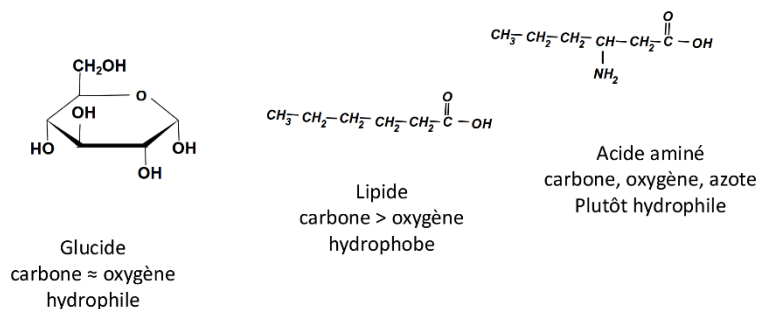
Liaisons covalentes
(molécule de CO_2)



Le mécanisme de base ici repose sur le partage d'électrons des atomes qui s'assemblent en molécules afin de se stabiliser et saturer leur couche externe. Le partage d'électrons de valence donne une liaison covalente. Une liaison covalente contient de l'énergie chimique et est utilisable par l'organisme dans les métabolismes pour produire de l'ATP. On exprime cette énergie en Kcal/mol. Les liaisons peuvent être simples, doubles ou triples et produisent d'autant plus d'énergie qu'il y a d'électrons en commun (une liaison double produira plus d'énergie qu'une liaison simple, mais moins d'énergie qu'une liaison triple).

Lorsque l'on représente schématiquement les atomes, on ne représente que les électrons de la couche de valence avec des points (ce sont les seuls qui nous intéressent). Lorsque deux atomes mettent des électrons en commun et forment une liaison covalente, on la représente par un trait (simple, double ou triple en fonction de la liaison).

C – Composition des molécules simples

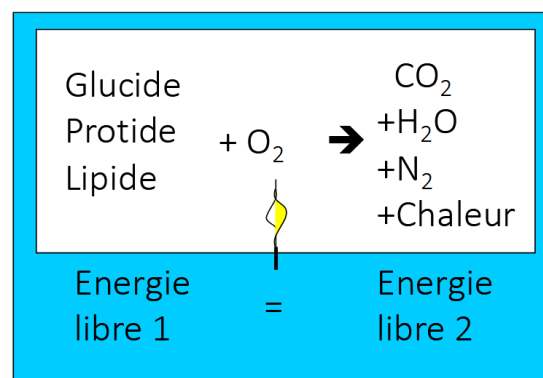


Les molécules simples de l'organisme sont celles que l'on considère comme des nutriments, c'est-à-dire que l'on est capable d'assimiler. Attention assimiler ne veut pas dire ingérer : on est capable d'ingérer des choses qui resteront toujours dans le milieu extérieur et ne rentreront pas dans l'organisme puisqu'il n'existe pas de transporteurs pour. La cellulose par exemple, un dérivé du glucose, n'est pas absorbable par le corps puisque sa structure chimique est différente du glucose et que le transporteur du glucose n'est conçu pour reconnaître QUE le glucose.



Petit aparté pour expliquer : je rappelle qu'en physiologie on compartimente le corps en milieu intérieur et milieu extérieur, et c'est normal qu'il faille un peu de temps pour s'y faire. Le contenu du système digestif fait partie du milieu extérieur : pour passer dans le milieu intérieur une molécule doit toujours passer une « barrière » en quelque sorte. Un nutriment doit passer la paroi des intestins, ou une molécule d'oxygène doit traverser la membrane des alvéoles par exemple. Essayez de réfléchir comme ça : tant qu'on n'a pas passé une barrière de cellules, on n'est pas encore rentré dans le milieu intérieur. Ça permet de réguler et contrôler ce qui rentre ou sort dans l'organisme. Vous verrez que ces barrières sont ce qu'on appelle des épithéliums. Ainsi, si vous avalez une pièce par exemple (c'est très schématique pour vous aider à comprendre), votre organisme n'est pas fait pour l'absorber, il n'existe pas de transporteur pour les pièces. Vous pouvez l'ingérer, elle traversera tout le long de votre tube digestif mais ressortira finalement : elle n'est donc jamais passée dans le milieu intérieur. En revanche, il existe des transporteurs spécifiques aux nutriments, qui eux vont pouvoir traverser la barrière et entrer dans le milieu intérieur. Les molécules simples sont donc les glucides, les lipides et les acides aminés. Il existe différents types de glucides et acides aminés qui sont absorbables, chacun ayant son transporteur spécifique. Il y a juste une exception pour les lipides : ils sont hydrophobes et peuvent donc traverser la membrane plasmique des cellules intestinales (qui est hydrophobe aussi) sans l'aide de personne. On parle de diffusion passive.

D – Mesure de l'énergie de liaison des molécules simples



Lorsque l'on prend des glucides des protides et des lipides et qu'on les enferme dans un récipient étanche dont on contrôle la pression et que l'on déclenche une combustion dans ce récipient on va avoir une production de chaleur. Selon l'hypothèse du principe de conservation de l'énergie qui est universellement valable on va retrouver la même quantité d'énergie dans la chaleur produite mais aussi dans les liaisons des molécules produites (gaz carbonique avec un peu d'eau et d'azote).

On considère que l'organisme « brûle » des calories (de manière simplifiée car c'est un peu différent de ce qui se passe dans la bombe calorimétrique de Berthelot)



Combustion dans la bombe calorimétrique de Berthelot :

- 1 gramme de glucide = 4.1 kcal
- 1 gramme de lipide = 9.3 kcal
- 1 gramme de protide = 5.6 kcal

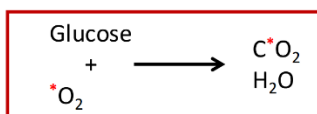
Oxydation dans l'organisme :

- 1 gramme de glucide = 4 kcal
- 1 gramme de lipide = 9 kcal
- 1 gramme de protide = 4 kcal

On retrouve des valeurs proches dans l'organisme, cependant pour les protides on constate une différence plus marquée car l'organisme est incapable d'utiliser de l'azote qui doit donc être éliminé avec de l'oxygène et du carbone sous forme d'urée. Le foie fabrique l'urée à partir de la dégradation des protéines. C'est pour cela qu'un gramme de protide ne nous permet d'obtenir que

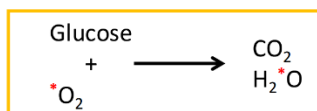
Energie libre sous forme de chaleur

Combustion



Notre organisme ne réalise pas une combustion, mais une oxydation. L'oxydation est la combinaison de l'oxygène avec un nutriment (dans l'exemple du glucose).

Oxydation biologique



Afin de pouvoir voir où se retrouve l'oxygène à la fin de la réaction, on marque l'O2 avec un isotope radioactif (*l'isotope 18 de l'O2*).

Energie libre sous forme de chaleur et d'ATP

E – Capital énergétique

Liaison covalente = énergie chimique mobilisable

Poids corporel des tissus

Glucides < 1%
Eau et minéraux 65%
Protéines 14%
Lipides 20%

Réserve d'énergie libre

Glycogène 0,2 kg	→ 800 Kcal
Protéines 6 kg	→ 24.000 Kcal
Tissu Adipeux 15 kg	→ 135.000 Kcal

Les différentes sources d'énergie sont mobilisées ensemble dans des proportions variables selon les situations, et non à tour de rôle

On considère que l'organisme, en fonction de sa composition et du poids corporel en tissus, a un capital énergétique.

Nous pouvons voir (à gauche) le poids corporel en nutriment des principaux tissus et les réserves d'énergie libre disponible.

On a dans l'organisme une grande quantité de sel et d'eau (65%), mais aussi 20% de lipide, 14% de protéines et moins de 1% de glucide.

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction ou vente est interdite.



Ce qui est utilisé physiologiquement par l'organisme c'est la réserve d'énergie. On peut utiliser des protéines, du tissu adipeux, et des glucides sous forme du glycogène (qui génère du glucose) à hauteur d'une certaine quantité d'énergie :

- Tissu adipeux : 135 000 Kcal
- Protéines : 24 000 Kcal
- Glycogène : 800 Kcal

Ainsi quand on fournit un effort, quand on est stressé, on va consommer nos réserves, et au contraire quand on s'alimente, on reconstitue nos réserves, notre capital énergétique. L'application importante en médecine est d'analyser les variations de poids à partir des apports et des dépenses énergétiques. Ainsi lorsqu'on a un poids stable, on a un équilibre entre les apports et les dépenses, tandis que si on prend du poids ou on en perd on a un déséquilibre.

Apport énergétique = dépense énergétique → poids stable

Apport énergétique > dépense énergétique → prise de poids

Apport énergétique < dépense énergétique → perte de poids

Exemple :

Une personne a un apport énergétique moyen de 3100 kcal/j en 15j et elle prend 400g en 15jours.

Un médecin peut se demander ce qu'il faudrait faire pour équilibrer les apports et les dépenses, pour que le patient arrête de grossir ou pour qu'il puisse même perdre du poids.

Le sujet est en bilan énergétique positif puisqu'il prend du poids.

- Apport énergétique = dépense énergétique + énergie libre stockée

Si on souhaite calculer l'énergie libre stockée, il faut considérer que ce stockage se fait au profit du tissu adipeux.

On sait que 1g de tissu adipeux = 9 kcal

On peut donc calculer l'énergie stockée sous forme libre : 400 g x 9 kcal/g = 3600 kcal

Donc sur 15 jours on a :

$$\text{Dépense énergétique} = \frac{(3100 \text{ kcal/j} \times 15 \text{ j}) - 3600 \text{ kcal}}{15 \text{ j}} = 2860 \text{ kcal / j}$$



Finalemment (*on reprend la formule plus haut*) : $3600/15 = 240$ kcal/jour.

Dépense énergétique en fonction de l'activité :

- Natation: 350 Kcal/m²/h
- Footing: 600 Kcal/m²/h
- Marche (4km/h) → 200 kcal/h

Grâce à ces calculs et à ses connaissances, le médecin peut donc encourager à faire certains types d'exercices et pendant une certaine durée quotidienne en fonction des habitudes de vie de la personne, pour qu'elle puisse stabiliser son poids, ou bien retrouver son poids de base.

F – Rendement énergétique

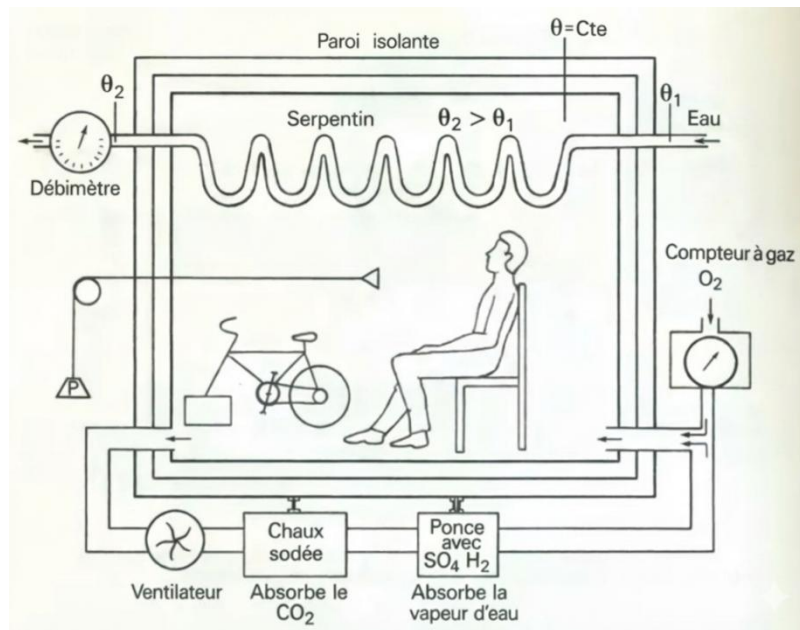
L'organisme produit de la chaleur car tout travail de l'organisme a un rendement inférieur à 1 : le ratio entre l'énergie libre transformée en travail et l'énergie libre consommée est inférieur à 1. Il y a une déperdition de chaleur qui est inéluctable

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Energie libre transformée en travail}}{\text{Energie libre consommée}} < 1$$

- La contraction musculaire (qui utilise de l'ATP pour faire des mouvements ou des contractions isométriques) a un rendement de l'ordre de 25%. Ainsi l'énergie dissipée sous forme de chaleur est de l'ordre de 75%
- La phosphorylation oxydative (qui produit de l'ATP à partir des nutriments) a un rendement de 40%. Donc 60% de l'énergie libre des liaisons covalentes des nutriments est dissipée sous forme de chaleur. (Anecdote du prof : le moteur diesel a un rendement équivalent à celui de la phosphorylation oxydative, ce qui est une performance technique).
- Le moteur diesel a un rendement équivalent à celui de la phosphorylation oxydative, entre 0.4 et 0.45



G – Mesure de la chaleur produite



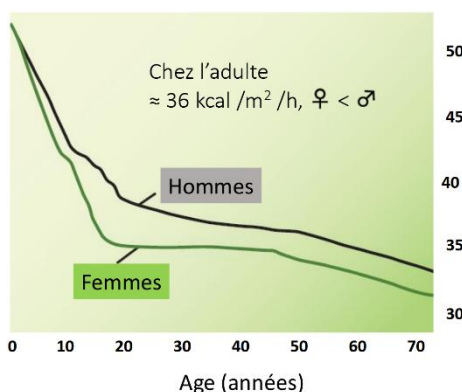
Pour mesurer la production de chaleur, on utilise des montages comme la chambre calorimétrique (utilisé dans des centres de physiologies).

Ces chambres sont thermiquement totalement isolées et on mesure la quantité d'oxygène consommé, et la quantité de CO₂ expiré, la quantité de vapeurs d'eau produite (l'eau a besoin d'énergie pour s'évaporer, c'est comme ça que l'on refroidit le corps).

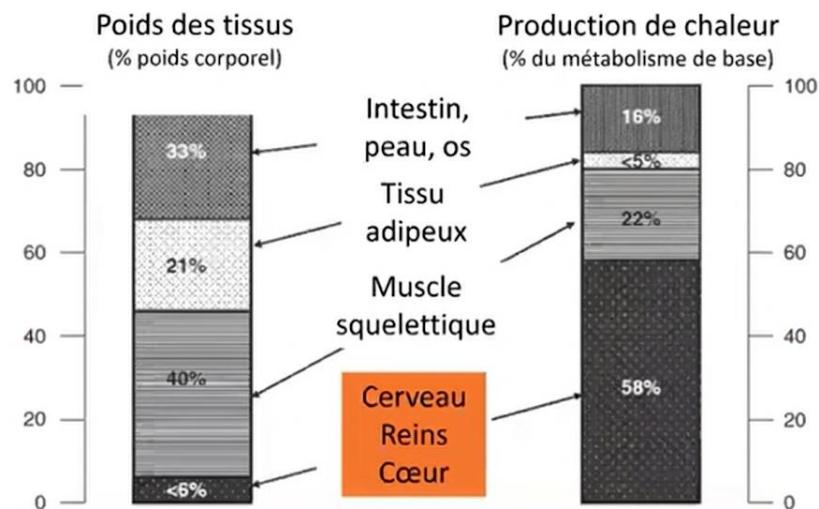
Si on met dans cette chambre quelqu'un au repos en position couchée, à distance des repas, à distance de tout exercice physique et en situation de neutralité thermique, on considère qu'il est au métabolisme de base.

Métabolisme de base : production de chaleur par l'organisme dans une situation de repos complet en position couchée, à distance d'un repas, en situation de neutralité thermique (quand il ne fait ni chaud ni froid).

H – Production minimale de chaleur



On représente le métabolisme (valeur à l'axe vertical) par rapport à l'âge (axe horizontal). Chez les femmes comme chez les hommes le métabolisme de base est très élevé chez l'enfant, cette valeur élevée décroche au moment de l'adolescence (entre 10 et 20 ans), puis a une décroissance très faible lorsqu'on vieillit. La différence de métabolisme de base entre les hommes et les femmes provient de la différence de composition corporelle, car certains tissus sont plus actifs métaboliquement que d'autres.

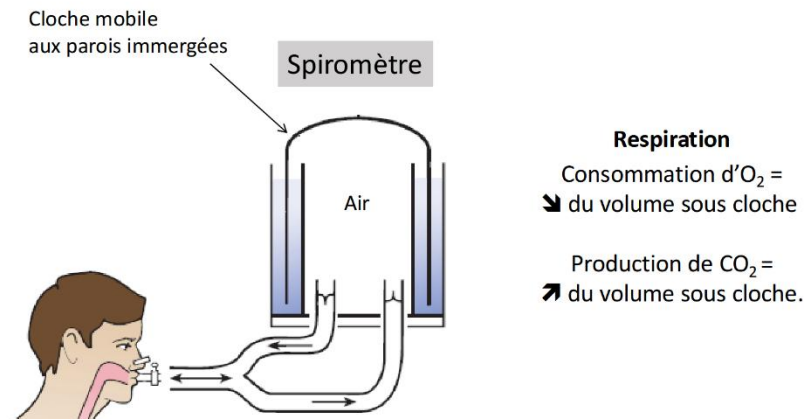


Le muscle squelettique, le tissu adipeux, la peau, les os et l'intestin forment l'essentiel de la masse du corps mais les tissus métaboliquement actifs sont ceux qui pèsent peu par rapport au corps : le cerveau, les reins et le cœur. Le tissu adipeux a une très faible dépense métabolique mais il est dans une proportion importante du poids de l'individu.

Ainsi si on observe une différence de métabolisme de base entre l'homme et la femme à partir de la puberté, c'est parce que la femme a plus de tissus adipeux que l'homme, à âge égal (*le tissu adipeux est peu actif métaboliquement*).



IV – Ventilation et respiration



La ventilation est la capacité à mobiliser de l'air au niveau de la bouche, air qui va entrer et ressortir. Cette ventilation peut être mesurée en volume et en débit à l'aide d'un spiromètre.

Le spiromètre est composé d'une cloche et à chaque respiration la cloche va bouger de haut en bas et donc ces mouvements vont être enregistrés sur un graphe. Le sujet respire dans un circuit fermé (il a le nez bouché), il respire à l'intérieur de la cloche : il inspire l'air de la cloche et il expire l'air sous la cloche.

Ainsi, on peut mesurer le volume inspiratoire et le volume expiratoire, ainsi que la consommation d'oxygène (responsable d'une diminution de volume sous la cloche) et la production de CO₂.

Pour cela on utilise un piège à CO₂ à la chaux sodée, ainsi les variations de volumes sont strictement proportionnelles à la consommation d'O₂.

On mesure ainsi que la consommation d'O₂ est de 250 ml/min au repos et on déduit la production de CO₂ qui est de 200 ml/min.

A – Respiration cellulaire

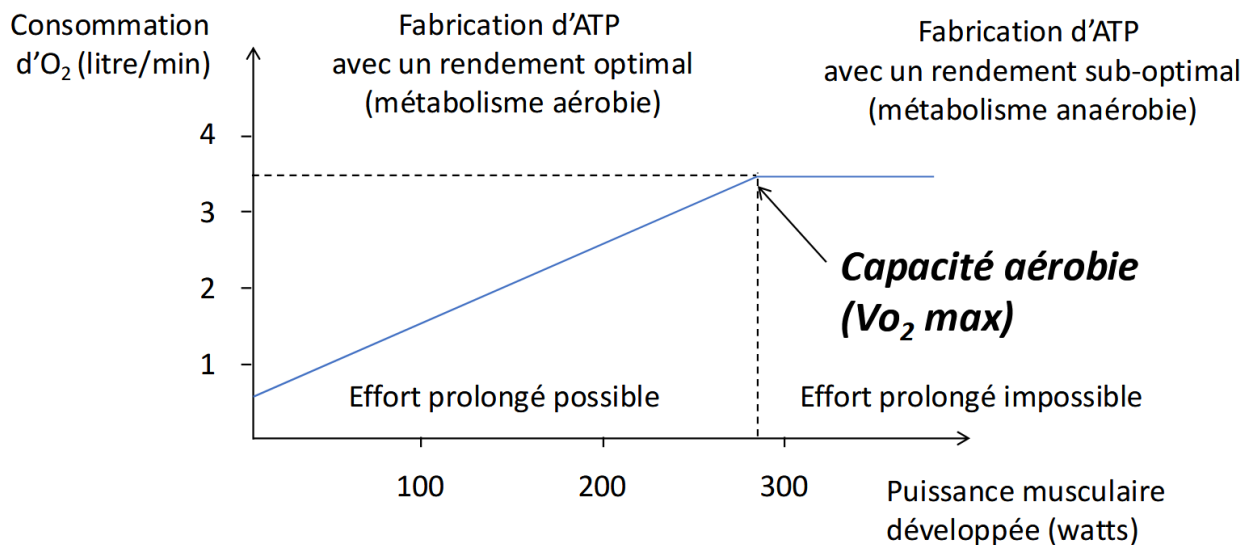
La respiration cellulaire désigne l'utilisation de l'O₂ pour produire de l'ATP. Au cours de ce processus, les molécules organiques (glucides, lipides, protides) sont oxydées et du CO₂, de l'ATP et de l'eau sont produits.

On a une consommation d'oxygène pour une production de CO₂, mais on a surtout une production d'ATP à partir des nutriments que l'on a dans son intestin (*alimentation*) ou dans son capital énergétique (*graisse stockée...*). Ces nutriments passent à travers les corpuscules cellulaires qui produisent de l'énergie appelés les mitochondries, il y aura production d'ATP avec un rendement uniquement de 40% avec donc 60% de production de chaleur. Une partie des nutriments vont donner des nutriments qui ne pourront pas être utilisés par l'organisme qui sont essentiellement de l'azote qui va être associé pour former de l'urée ou associé avec de l'hydrogène pour former l'ammonium.

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction ou vente est interdite.



B – Puissance musculaire et consommation d'oxygène



La puissance musculaire est proportionnelle à la consommation d'oxygène, car on a besoin d'O₂ pour former de l'ATP selon les besoins.

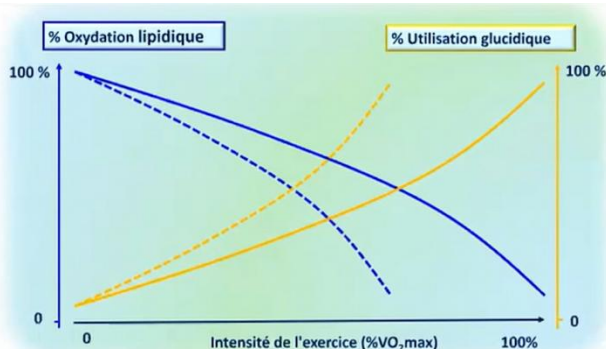
Métabolisme aérobie : métabolisme qui produit de l'ATP avec un rendement optimal selon une gamme de puissance (musculaire), grâce à un apport suffisant d'O₂ par le cœur et le poumon, aux cellules.

A un point on n'aura plus suffisamment d'O₂ pour fournir des efforts dans des capacités optimales, on entre alors dans le métabolisme anaérobie, les efforts soutenus deviennent bien moins évidents.

Capacité aérobie maximale (VO₂ max) : consommation maximale d'oxygène avant de changer de métabolisme en métabolisme anaérobie.

On va faire ces tests chez des sujets malades qui ont des cardiopathies ou encore chez des athlètes car on cherche à optimiser leurs efforts.

C – Utilisation des molécules énergétiques à l'effort



Ce qui est intéressant c'est de savoir que les nutriments que l'on va oxyder pour fournir un effort vont changer en fonction de l'intensité de l'effort.

Sur l'axe horizontal on a l'intensité de l'exercice en pourcentage de VO₂ max. On va de 0% à 100%.

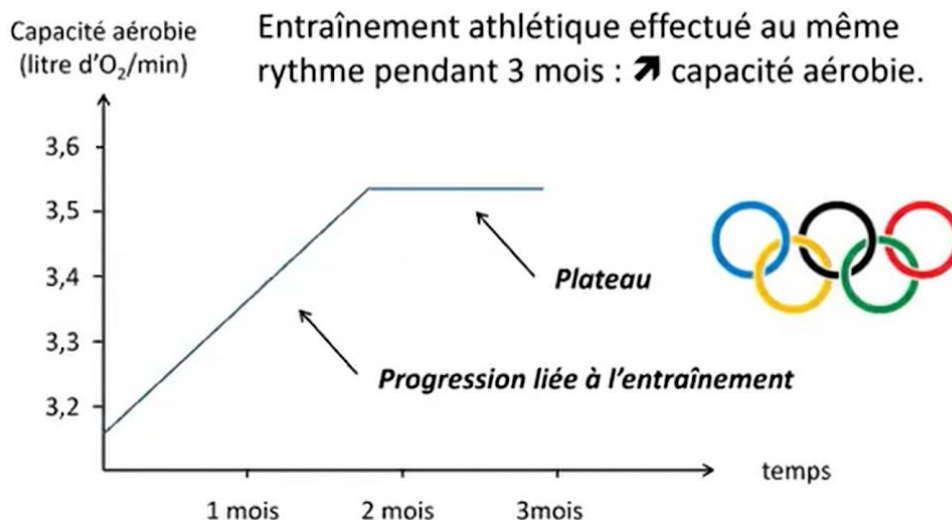


La courbe bleue montre l'utilisation des lipides et des glucides en fonction de l'intensité de l'exercice.

Lors d'un effort d'intensité moyenne (à gauche) les combustions qui sont utilisées pour produire de l'ATP sont principalement les graisses. Tandis que sur une intensité d'exercice forte (partie droite du schéma) on utilise des glucides. Ce changement de nutriments utilisé lors d'un effort est important à considérer selon les objectifs : faire maigrir les gens ou optimiser leurs capacités physiques.

Le trait pointillé montre les effets de l'exercice qui permet d'optimiser la production d'énergie et la consommation de glucide et de lipide.

D – Application en médecine



En médecine du sport on peut essayer d'optimiser la capacité musculaire des individus.

Sur l'axe vertical on a la capacité aérobie et sur l'axe horizontal le temps.

Il y a toute une phase où la consommation d'oxygène (axe vertical) augmente en fonction de la puissance développée (indiquée en watts ou en kcal/min).

Grâce aux entraînements les athlètes pourront augmenter leur capacité aérobie.



Petit mot de la part de Nicolasthme :

Salut ! Un conseil que je pourrais vous donner c'est de ne pas trop vous prendre la tête avec ces premiers cours : vous commencez à vous intéresser à tout ça tôt, ne vous mettez pas déjà la pression. Prenez le temps de découvrir, de vous mettre un peu dans le bain, de comprendre comment tout ça fonctionne, l'objectif c'est ça pour l'instant. Dites-vous que vous avez le temps et que la première chose à faire en LAS selon moi c'est de bien se familiariser avec la filière, de tester un peu ses manières de travailler et vous allez voir que même arrivé en LAS, vous allez passer du temps à chercher votre organisation, votre manière d'apprendre et de réviser, c'est vraiment ok et c'est même indispensable selon moi de passer du temps là-dessus. Ne vous dites pas que c'est du temps perdu, testez un maximum. N'hésitez pas à fouiller un peu le forum pour découvrir tous les supports, pour vous avancer un peu si vraiment vous ne tenez pas en place et allez voir les témoignages des anciens LAS qui sont passés avant vous : pour moi c'est le meilleur moyen de découvrir ce qu'on fait en LAS, quelle licence peut vous convenir le mieux et de s'inspirer de leur manière de faire. Sur ce travaillez bien (en douceur), bonne chance, bon courage pour cette année et l'année prochaine, j'espère vous voir bientôt sur les bancs de la fac !

Petit mot d'Opiacédric :

J'espère que ce 1^{er} cours introductif à la physio vous a plu, ne vous prenez pas trop la tête, le prof a présenté beaucoup de choses sans forcément donner d'explications donc c'est normal si vous n'avez pas tout saisi à 100%, vous comprendrez l'année prochaine ;) Pour rebondir sur les mots de Nicolas, profitez vraiment de cette période pour cultiver votre curiosité sans l'enjeu immédiat du concours. En physiologie particulièrement, mon meilleur conseil serait de ne jamais apprendre sans comprendre : la médecine n'est pas qu'une accumulation de par cœur, c'est avant tout une logique, une mécanique fine qu'il faut saisir. Si vous prenez le réflexe dès maintenant de chercher le "pourquoi" derrière chaque fonction du corps, vous gagnerez un temps précieux et vous verrez que la matière devient passionnante. Gardez aussi en tête que l'entrée en études de santé est un marathon qui demande de la régularité, mais n'oubliez pas pour autant de préserver votre équilibre et vos moments de détente, c'est ce qui vous fera tenir sur la durée. Faites-vous confiance, vous avez toutes les clés en main pour réussir cette transition, alors bon courage pour le bac et à très vite !