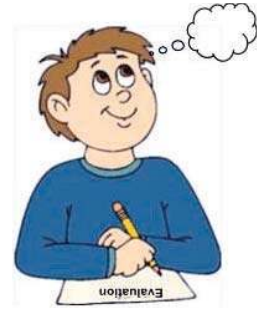


Notions de réflexe, arc réflexe, encéphale,
neurone, synapse, salive



Vérification – consolidation des pré-requis

Pré-requis

Pour chacun des items suivants (de 1 à 3), mettre une (X) devant la (ou les) réponse(s) correcte(s).

1- Maintenir son équilibre sur une bicyclette est une action :		
a-	réflexe.	
b-	acquise.	
c-	involontaire.	
d-	provoquée par un stimulus extérieur.	
2- La salivation suite à la prise d'un aliment est une réaction:		
a-	innée.	
b-	réflexe.	
c-	acquise.	
d-	automatique.	
3- L'ordre correct des éléments impliqués dans le réflexe inné est:		
a-	récepteur sensoriel- centre nerveux- voie nerveuse centripète -voie nerveuse centrifuge – effecteur.	
b-	récepteur sensoriel- voie nerveuse centripète- centre nerveux- effecteur- voie nerveuse centrifuge.	
c-	voie nerveuse centripète- récepteur sensoriel- centre nerveux- voie nerveuse centrifuge – effecteur.	
d-	récepteur sensoriel- voie nerveuse centripète- centre nerveux- voie nerveuse centrifuge – effecteur.	

Historique

<p>Ivan Pavlov (1849-1936)</p>	<p>Burrhus Frédéric Skinner (1904-1990)</p>	<p>Le chien de Pavlov (Pavlov Museum) aussi célèbre que son maître</p>
<p>Deux pionniers dans l'étude du réflexe conditionnel</p>		

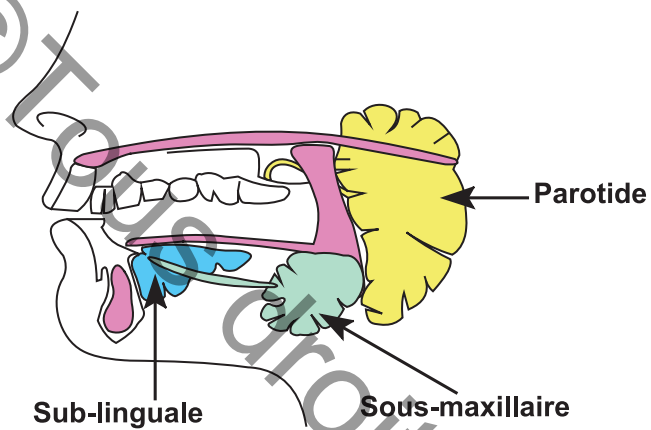
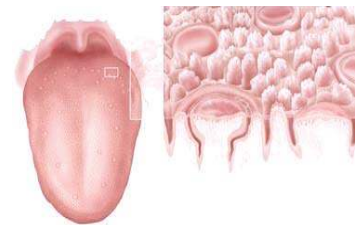
Historique

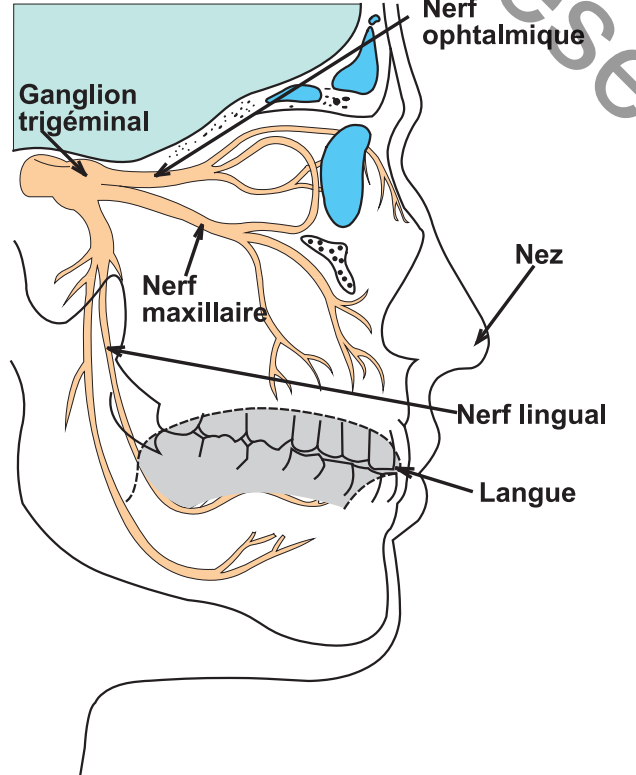
1. LE CONDITIONNEMENT CLASSIQUE DE PAVLOV OU CONDITIONNEMENT REPENDANT

1. 1. LE REFLEXE INNE DE SALIVATION

Activité 1 : Déterminer le support anatomique du réflexe salivaire

Observation 1:

 <p>Localisation des 3 paires de glandes salivaires</p>	 <p>Un récepteur sensoriel : les papilles gustatives de la langue</p>
<p>Document 1</p>	

	<p>Au voisinage des nerfs olfactifs et gustatifs, il existe un 3ème nerf: le nerf trijumeau qui est sensible à la chaleur, au froid, aux irritants comme le poivre et à la consistance (liquide, solide ou gazeux). Le nerf trijumeau se divise en trois branches: le nerf ophtalmique, le nerf maxillaire et le nerf lingual.</p>
<p>Document 2</p>	

Observation 2:

Chaque fois que l'on dépose un aliment dans la bouche (sur la langue) d'un chien, il salive.

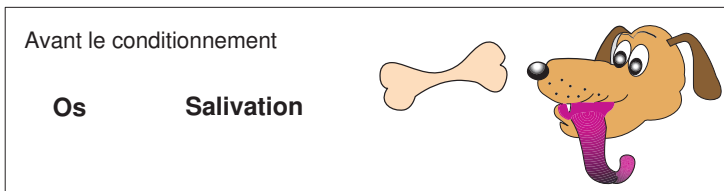


Figure a

La réaction de salivation du chien présenté par la figure a est:

- Adaptée, car elle permet à l'organisme de produire une réponse physiologique en rapport avec la stimulation ;
- Involontaire, car elle se déroule sans intervention consciente du sujet et sans contrôle possible de sa part ;
- Stérotypie, car elle se répète à l'identique après chaque stimulation du même ordre et de même intensité ;
- innée puisqu'elle ne nécessite aucun apprentissage et apparaît spontanément une fois que le système nerveux est mature.
- Inéluçtable : l'animal ne peut s'opposer à la salivation (obligatoire).
- à circuits nerveux préétablis
- prévisible : on s'attend à cette réponse pas à une autre.

Taches



- 1- **Identifier** cette réaction ? **justifier** la réponse.
- 2- **Indiquer** les éléments anatomiques mis en évidence dans cette réaction ?
- 3- **Schématiser** le circuit général d'un réflexe.

1. 2. ETUDE EXPERIMENTALE D'UN REFLEXE CONDITIONNEL : « LA TOUR DU SILENCE » DE PAVLOV.

Activité 2 : Préciser les conditions d'acquisition d'un conditionnement

Observation :

L'évocation d'un mets savoureux fait venir « l'eau à la bouche ». Il s'agit d'une abondante sécrétion salivaire, inutile puisqu'il n'y a pas d'aliments dans la bouche.

Les travaux de Pavlov, réalisés en 1902, permettent de le comprendre.

Ivan Petrovich Pavlov, médecin et physiologiste russe (1849-1936) est connu pour son travail sur les régulations nerveuses de la physiologie du cœur et du système digestif. Son objectif principal était de mettre en évidence un **phénomène psychique** dont les bases seraient uniquement physiologiques.

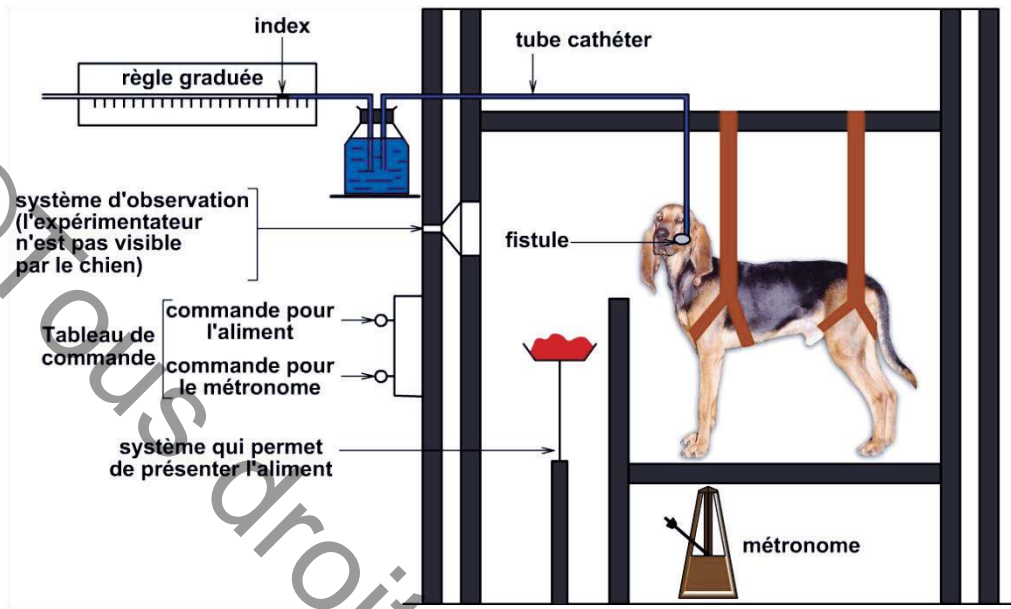


Document 3

Expérience :

- Mise en place d'une fistule afin de voir le fonctionnement des glandes salivaires en fonction des stimulations reçues, l'animal est attaché dans une camisole de force, il est mis en isolement total dans une tour de silence sans bruits, sans lumières, sans odeurs. On ne lui donne rien à manger.

- A l'arrivée d'une gamelle de **nourriture** sur un plateau, **il va saliver**, Pavlov associe celle-ci à un **son** (batttement d'un métronome, clochette ou sifflet). Par la suite, après **plusieurs répétitions** de cette association, avant la présence de la gamelle, **uniquement au son**, l'animal **salive**.



Document 4



1. **Comparer** les deux stimuli (l'aliment et le signal sonore).
2. **Quand** le signal sonore seul déclenche-t-il la salivation ?
3. **Quelles** sont les étapes du conditionnement ?
4. **Qu'appelle-t-on** ce type de conditionnement ? Justifier la réponse.
5. **Quels sont** les principes qui régissent le conditionnement répondant ?
6. **Donner** des exemples de stimuli inconditionnels qui sont devenus des stimuli conditionnels dans la vie courante chez l'Homme.

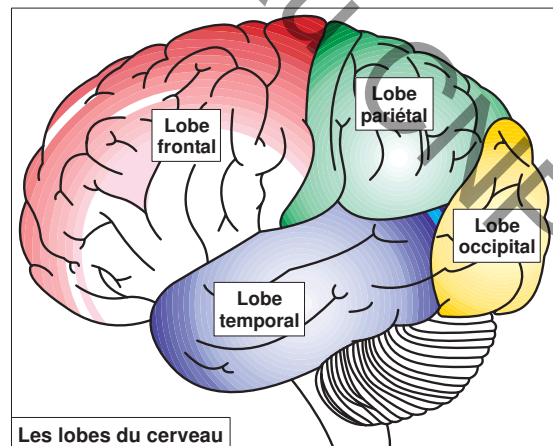
Activité 3 : Anatomie fonctionnelle du cerveau

Les hémisphères contrôlent l'ensemble de nos fonctions mentales supérieures : mouvements volontaires, pensée, apprentissages, mémoire, etc.

Chaque hémisphère est lui-même partagé en quatre zones appelées lobes, dans lesquels ces différentes fonctions sont gérées : le lobe frontal, le lobe pariétal, le lobe temporal et le lobe occipital.

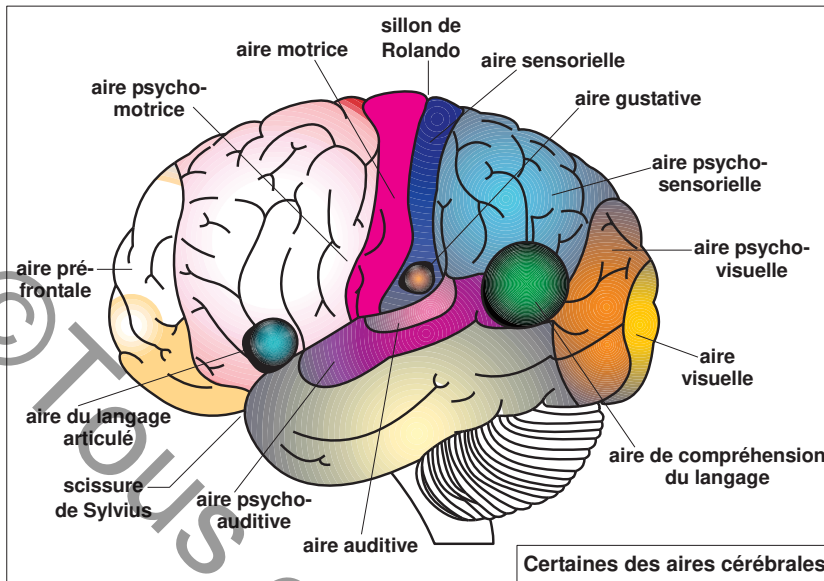
Le cortex cérébral renferme des milliards de neurones interconnectés entre eux, cet ensemble est responsable de ce qu'on appelle la pensée, le moi. Cependant certaines zones du cerveau sont spécialisées dans certaines fonctions.

On individualise ainsi une aire motrice, une aire sensitive, une aire visuelle, une aire auditive.

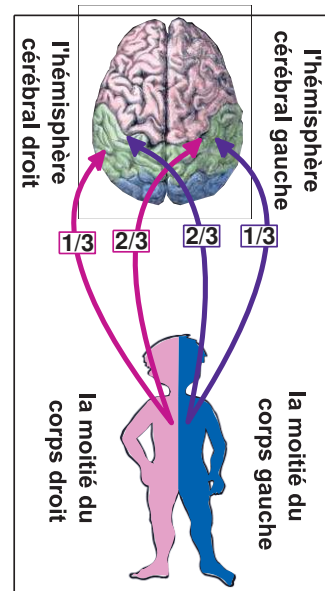


Les lobes du cerveau

Document 5



Document 6



Document 7

A proximité de ces aires s'étendent des régions moins bien délimitées, ce sont les centres d'association psychique qui vont intégrer la sensation élémentaire (perception) et l'identifier (gnosie).

La majorité de ces voies nerveuses sont croisées (document 7) c'est à dire que les voies de la sensibilité de la moitié du corps gauche sont ressenties par l'hémisphère cérébral droit et inversement, de même la commande de la moitié du corps gauche est sous la dépendance de l'hémisphère cérébral droit et inversement. Le « cerveau » gauche est le dominant chez un droitier, le droit chez un gaucher. Ainsi chez le droitier, c'est le cerveau gauche qui va héberger le centre de la parole et les raisonnements de type mathématiques, alors que le droit sera plutôt celui du sens artistique et de l'intuition.

Pour pouvoir effectuer un mouvement quelconque, il faut que l'enchaînement et la durée des mouvements élémentaires de chaque segment corporel impliqué dans le geste puisse être réglé de façon très précise. Le cervelet assume, entre autres, cette fonction de réglage temporel de nos mouvements. Il le fait grâce à **un circuit en boucle** qui le relie au cortex moteur et permet la modulation du signal qui y est envoyé en direction des motoneurones



1. En se référant au document 4, **réaliser** :
 - a- Un schéma fonctionnel simple du réflexe salivaire inné.
 - b- Un schéma fonctionnel simple du réflexe salivaire conditionnel.

2. LE CONDITIONNEMENT OPÉRANT DE SKINNER :

2. 1. L'ÉTABLISSEMENT D'UN RÉFLEXE OPÉRANT :

Activité 4 : Préciser les conditions d'un conditionnement répondant

En 1938, le psychologue **Skinner** met en évidence un autre type de réflexe acquis. Il place un rat dans une cage munie d'un petit levier et d'un distributeur de nourriture. Le rat explore d'abord la cage, puis appuie par hasard sur le levier. Il est immédiatement **récompensé** par une ration de nourriture. Le rat se retrouvant dans la même situation va chercher à reproduire le même comportement. Si **l'acte opérant** (appui sur le levier) est à nouveau suivi du **renforcement** (distribution de nourriture), l'animal va appuyer sur le levier avec de moins en moins d'hésitation.

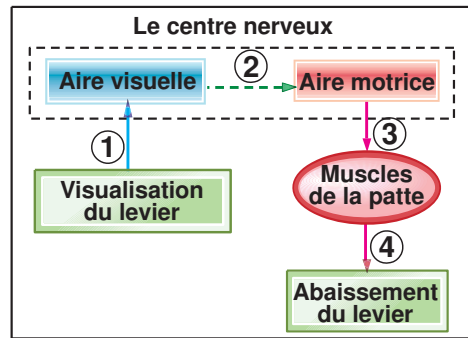
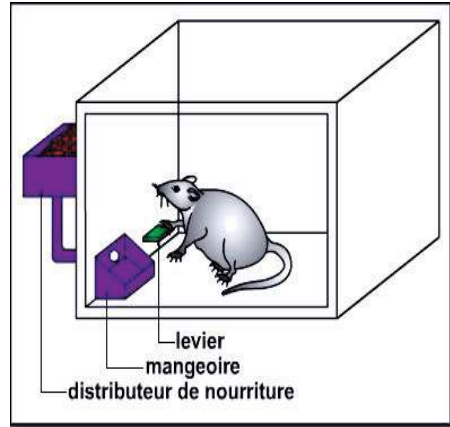
On peut interpréter ce réflexe par l'établissement d'une **nouvelle liaison nerveuse** entre le récepteur sensoriel (l'œil qui voit la pédale) et l'effecteur les muscles de la patte qui appuie sur la pédale au niveau du cortex cérébral.

Un rat affamé est placé dans une cage qui est munie d'un petit réservoir, relié à un mécanisme : un levier déclenchant l'arrivée d'une boulette de nourriture dans le réservoir.

Le rat est dans une situation nouvelle, il explore donc son environnement. Par hasard, il appuie sur le levier et obtient une boulette de nourriture qu'il mange aussitôt.

Il recommence à découvrir sa cage, et réactive le levier et ainsi de suite.

Dans cette situation, un comportement produit au départ par hasard devient au bout d'un certain temps systématique. L'obtention de nourriture constitue le stimulus renforçateur car elle constitue le moyen d'obtenir le renforcement. La répétition de la séquence augmente la fréquence de production de la réponse.



Document 5: Schéma de l'arc réflexe opérant



- 1- Qu'est ce qui consolide l'apprentissage ?
- 2- Pourquoi la réponse de l'animal est dite opérante ?

2. 2. COMPARER CONDITIONNEMENT RÉPONDANT (PAVLOVIEN) ET CONDITIONNEMENT OPÉRANT (SKINNERIEN)

Activité 5 : Distinguer deux types de conditionnement

Points de différences		Points communs
conditionnement répondant (pavlovien)	conditionnement opérant (skinnérien)	conditionnement répondant (pavlovien) et opérant (skinnérien)
Les comportements des animaux ou des êtres humains ne sont pas suivis de conséquences particulières sur l'environnement.		
l'animal subit le milieu, il « répond » à des stimulations issues de l'environnement.		
La réponse est déclenchée par l'expérimentateur qui fournit le stimulus absolu.		
La réponse ne constitue pas une récompense.		



A partir des données des activités 2 et 3, **compléter** le tableau de comparaison des deux réflexes conditionnels ci-dessus ?

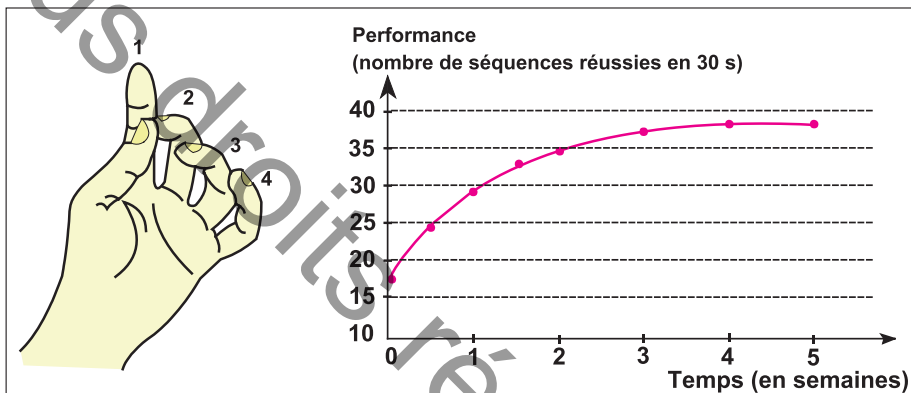
4. L'EFFET DE L'ENTRAÎNEMENT SUR LE CORTEX MOTEUR

Activité 6: Préciser l'effet de l'entraînement sur le cortex moteur :

Des chercheurs ont réalisés l'expérience suivante dont le but est de caractériser l'effet de l'entraînement dans l'exécution d'une tâche motrice.

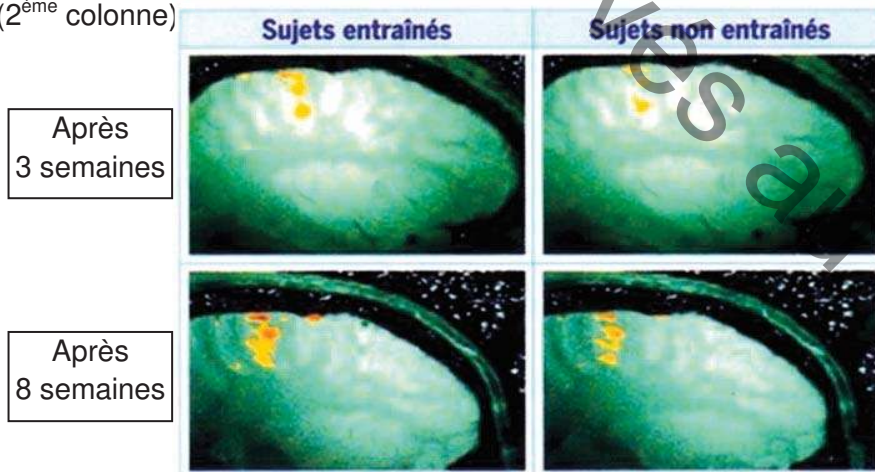
La tâche moins facile qu'il n'y paraît, consiste à taper successivement sur le pouce les quatre autres doigts de la main, dans un ordre bien précis, par exemple la séquence 4, 1, 3, 4 (doigts numérotés de 1 à 4, de l'index à l'auriculaire). L'entraînement consiste à réaliser quotidiennement cette tâche avec précision, le plus rapidement possible, pendant 12 à 20 minutes.

Le graphique (document 6) montre l'évolution de la performance au cours de cinq semaines d'entraînement (nombre de séquences réalisées en 30 secondes moyenne sur 10 sujets)



Document 6 : effet de l'entraînement dans l'exécution d'une tâche motrice

L'exploration par IRM compare l'activité du cortex cérébral associé à l'exécution de cette tâche chez des sujets qui suivent l'entraînement (1^{ère} colonne) avec des sujets non entraînés (2^{ème} colonne)

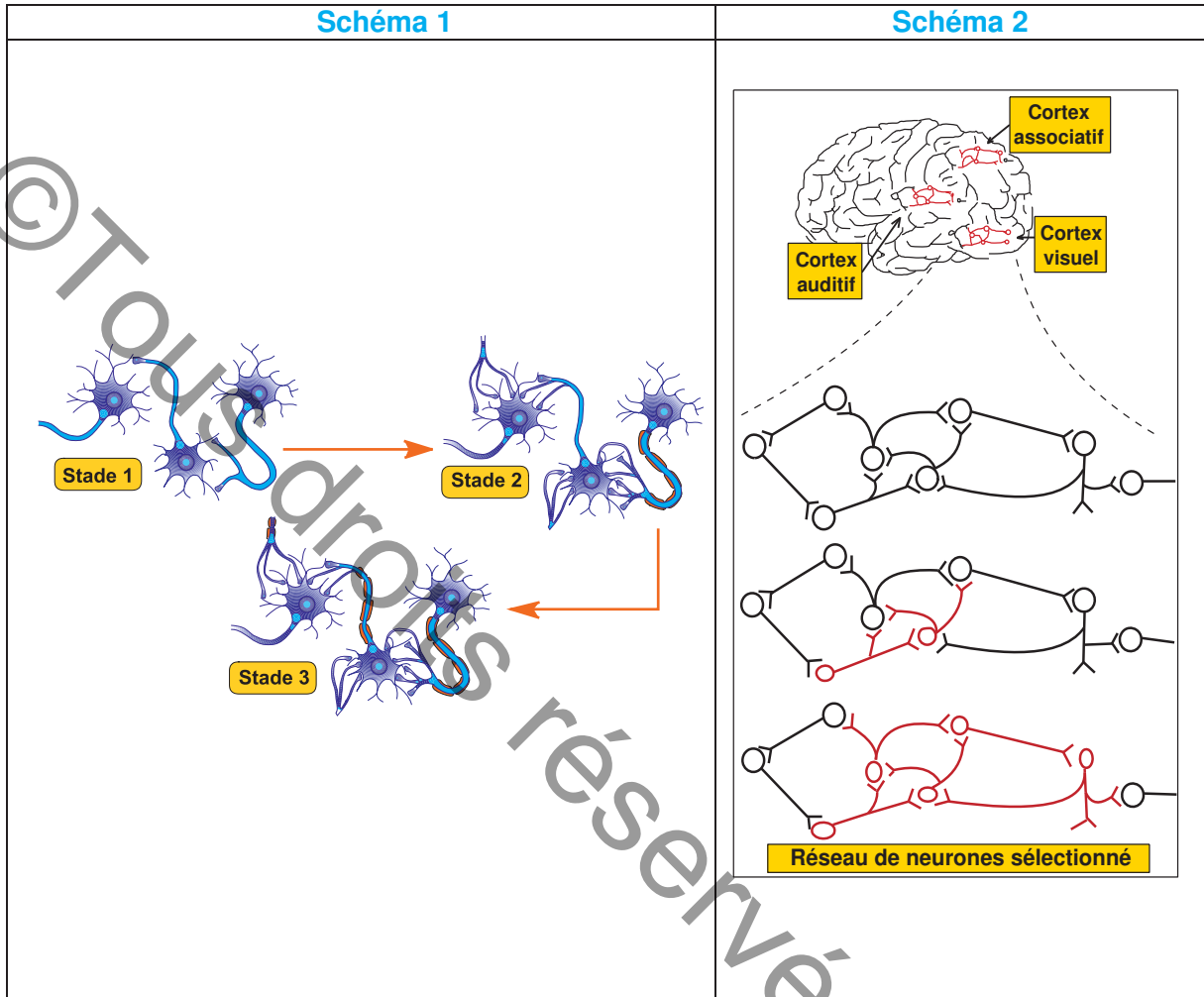


Document 7 : IRM coupes sagittales (l'avant est à droite)



1- De l'analyse du graphique du document 6 et de la comparaison des deux représentations corticales du document 7, dégager l'impact de l'entraînement sur la représentation corticale du cortex moteur associé à la tâche exécutée

Les schémas suivants expriment les changements nerveux suite à l'apprentissage d'un nouveau mot (schéma 1) et à l'apprentissage d'une activité sportive dès le jeune âge (schéma2) :



2- **Expliquer** les modifications nerveuses opérées par l'apprentissage. En **déduire** la notion de plasticité cérébrale.



Bilan des connaissances

1. LE CONDITIONNEMENT CLASSIQUE DE PAVLOV OU CONDITIONNEMENT RÉPONDANT

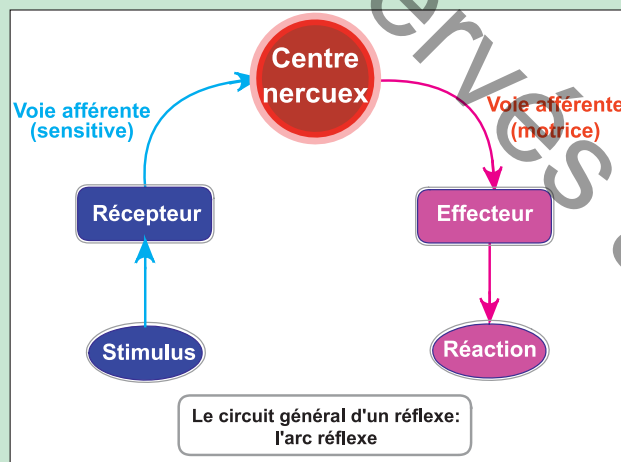
1.1. LE REFLEXE INNE DE SALIVATION

L'introduction d'aliments dans la gueule d'un chien (sur la langue) déclenche une sécrétion de salive. Il s'agit d'une réaction inéluctable qui se produit chez tous les chiens ; **c'est un réflexe inné**.

L'aliment est un stimulus absolu ou inconditionnel. C'est l'excitation adéquate des récepteurs gustatifs situés sur la langue.

Le réflexe présente toujours quatre caractéristiques, il est :

- **inné** car il ne nécessite aucun apprentissage et apparaît spontanément une fois le système nerveux mature ;
- **involontaire** car il se déroule sans intervention consciente du sujet et sans contrôle possible de sa part ;
- **adapté** car il permet à l'organisme de produire une réponse physiologique en rapport avec la stimulation ;
- **prévisible** on s'attend à cette réponse pas à une autre.



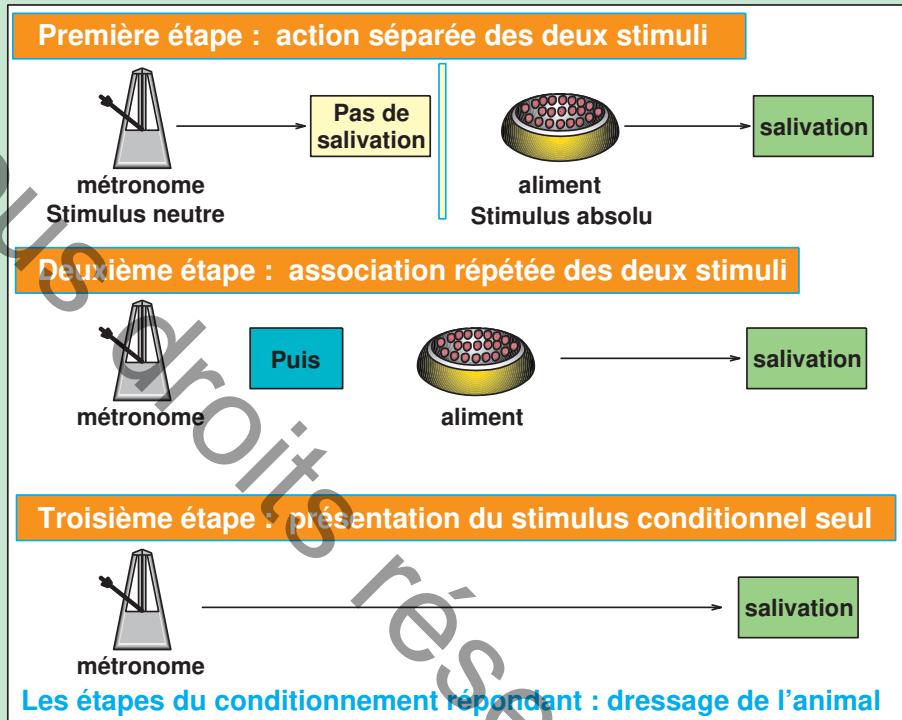
(Activité 1)

La première caractéristique est toutefois absente d'un type particulier de réflexe, dénommé **réflexe conditionnel**, qui nécessite un apprentissage et qui fut découvert en **1902** par le russe **Ivan Petrovitch Pavlov** (1849-1936), prix Nobel de physiologie et de médecine en 1904 pour ses travaux de physiologie cardiovasculaire et digestive. Ayant observé que la présentation d'un repas à un chien suffit pour déclencher une sécrétion salivaire, il associe la présentation du mets à un signal sonore et constate qu'après plusieurs répétitions de cette association, le signal sonore seul provoque la salivation du chien. Le réflexe a donc été appris.

1. 2. ÉTUDE EXPÉRIMENTALE D'UN RÉFLEXE CONDITIONNEL : « LA TOUR DU SILENCE » DE PAVLOV.

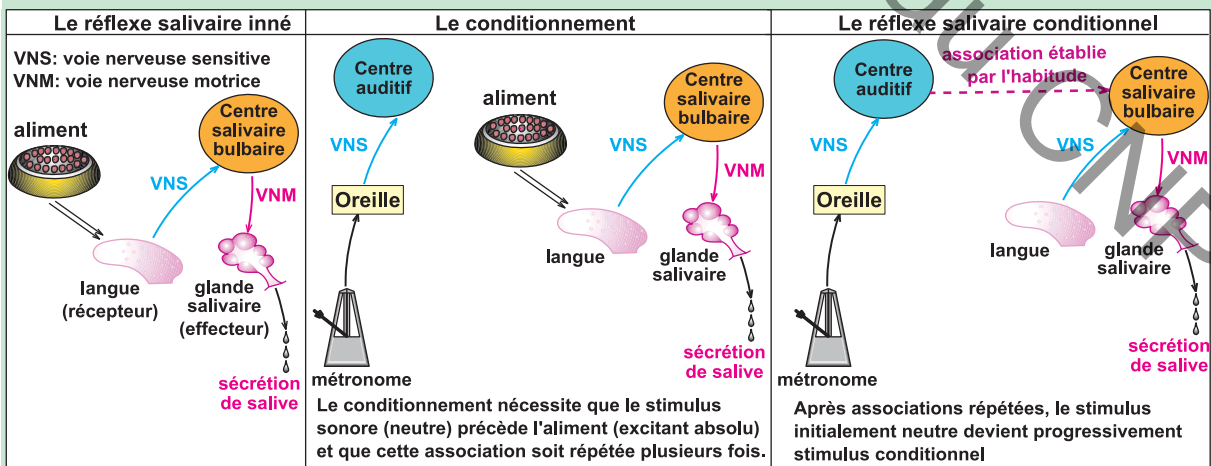
Il y a association d'un stimulus neutre (son) avec un stimulus intéressant (nourriture), ensuite le stimulus neutre suffit pour déclencher la réponse physiologique.

- La nourriture est un stimulus absolu inconditionnel (SI)
- Le son est un stimulus neutre ou stimulus conditionnel (SC).



L'animal répond de manière réflexe au stimulus (conditionnel) choisi par l'expérimentateur d'où le nom de réflexe répondant donné à ce type de réflexe. Ce processus par lequel un stimulus neutre se transforme en **stimulus conditionnel** est appelé le **conditionnement répondant**.

Les différentes étapes de conditionnement répondant sont illustrées dans la figure ci-dessous.



(Activité 2)

On peut retenir quatre principes élémentaires qui régissent l'apprentissage par le conditionnement:

- **L'extinction:** Si on cesse de délivrer le stimulus inconditionnel (nourriture) après le stimulus conditionnel (la cloche), la réponse conditionnelle (salivation si cloche) décroît progressivement pour finir par disparaître.
- **La récupération spontanée:** L'extinction n'est pas totale car si on refait la procédure de conditionnement, on constate que le 2^{ème} apprentissage est beaucoup plus rapide que le 1^{er}. L'extinction est partielle, il reste une trace du 1^{er} apprentissage. Il faut généralement plusieurs séances d'extinction pour véritablement supprimer une réponse conditionnelle.
- **La généralisation:** Pavlov a montré que si on présente, une fois le conditionnement établi, un stimulus similaire au stimulus conditionnel mais légèrement différent sur un plan physique, la réponse conditionnelle bien que plus faible apparaît tout de même. lorsqu'un stimulus neutre est devenu un stimulus conditionnel (ici, la gamelle bleue), les stimuli du même type (par exemple, une assiette bleue) sont susceptibles de déclencher eux aussi un réflexe conditionnel.
- **La loi de la discrimination :** si les stimuli du même type (assiette bleue) ne sont jamais suivit du stimulus inconditionnel, ils finiront par être discriminés, c'est-à-dire différenciés du stimulus conditionnel (dans ce cas, l'assiette bleue finira par être différenciée de la gamelle bleue et ne fera plus saliver le chien).

2. LE CONDITIONNEMENT OPÉRANT DE SKINNER :

2. 1. L'ÉTABLISSEMENT D'UN RÉFLEXE OPERANT :

Le rat qui a actionné le levier a appris à agir. L'animal a opéré sur le milieu en le modifiant à son profit. Après plusieurs répétitions, appuyer sur la pédale devient un geste automatique, le conditionnement s'est établi. En cas de besoin, l'animal appuie sur le levier. Cette action motrice est dite **réponse opérante**.

2. 1. a. CONDITIONS D'ACQUISITION DU RÉFLEXE CONDITIONNEL SKINNÉRIEN

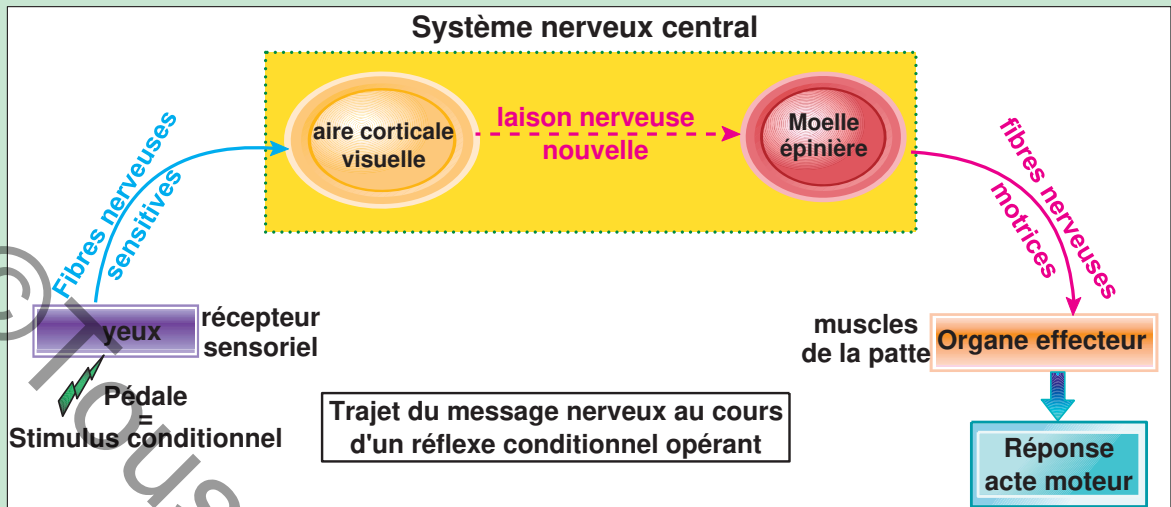
L'établissement du réflexe conditionnel Skinnérien nécessite plusieurs répétitions de l'acte récompensé. Au cours du conditionnement la récompense (nourriture) doit suivre l'acte d'appuyer sur la pédale.

- Le réflexe Skinnérien n'a pas de relation avec un réflexe inné préalable et il n'est pas non plus la réponse à une variation des facteurs de l'environnement.

- Pour maintenir, le réflexe conditionnel Skinnérien, il doit être entretenu par association périodique de la «récompense» (nourriture) et de l'appui sur la pédale : c'est le **renforcement**.

2. 1. b- INTERPRÉTATION DU CONDITIONNEMENT OPÉRANT

Comme dans le cas du réflexe conditionnel répondant, une liaison nerveuse nouvelle est devenue fonctionnelle entre un récepteur sensoriel (l'œil qui voit la pédale) et l'effecteur (les muscles moteurs de la patte qui appuie sur la pédale).



(Activité 4)

2. 2. COMPARER CONDITIONNEMENT REpondANT (PAVLOVIEN) ET CONDITIONNEMENT OPERANT (SKINNERIEN)

conditionnement répondant (pavlovien)	conditionnement opérant (skinnérien)	conditionnement répondant (pavlovien) et opérant (skinnérien)
les comportements des animaux ou des êtres humains ne sont pas suivis de conséquences particulières sur l'environnement.	le comportement des hommes ou des animaux a un effet sur l'environnement.	<ul style="list-style-type: none"> • Comportement acquis, individuels, temporaires. • Apprentissage par création de nouvelle association nerveuse entre organes récepteurs et effecteurs intervenant dans les réponses conditionnelles.
l'animal subit le milieu, il «répond » à des stimulations issues de l'environnement.	l'animal agit sur le milieu, il «opère » une modification de celui-ci.	
La réponse est déclenchée par l'expérimentateur qui fournit le stimulus absolu.	L'action est déclenchée par le sujet lui-même (l'animal).	
La réponse ne constitue pas une récompense.	Elle constitue en elle-même une récompense.	

(Activité 5)

3. L'IMPORTANCE DU CONDITIONNEMENT POUR L'APPRENTISSAGE DES ACTIVITÉS SPORTIVES :

Chez l'homme, l'acquisition du langage parlé et de la langue écrit, le développement des habiletés manuelles, sont des comportements acquis progressivement, tout au long de la vie grâce à l'apprentissage. Ces comportements correspondent à des réflexes conditionnels de type Pavlovien ou de type Skinnérien. Ils ont pour rôle d'adapter l'individu à son milieu.

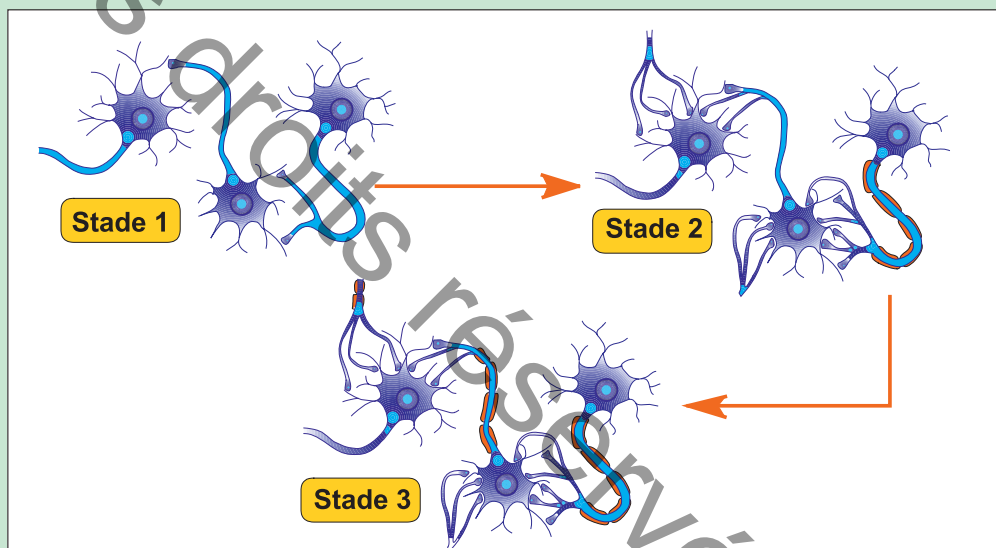
Pour les sportifs, des résultats d'expériences mettent en évidence l'importance de **l'apprentissage visuel** dans le sport. L'observation directe du geste moteur approprié, est en fait la manière la plus efficace **d'apprendre pour l'athlète**, par rapport à la description verbale indirecte de ce qui devraient être les correctes postures, tension musculaire, et synchronisation du mouvement adéquat. L'entraînement précoce (depuis le jeune âge) donne aux sportifs une **sensibilisation neuronale** majeure pour la pratique apprise.

Le système nerveux n'est pas donc un système **figé**. La maturation du cerveau est en fonction de l'âge de l'individu, elle consiste en:

- une **prolifération axonique** et une **myélinisation** des fibres (de la naissance à 1 ans)
- une **sélection** (disparition et renforcement des connexions (1 à 6 ans)
- un accroissement en **matière grise** des zones dites associatives du cortex (6 à 12 ans)
- un développement des **réseaux neuronaux**

Le système nerveux est le siège d'un **remodelage** permanent de ses connexions en fonction de l'apprentissage. **Le dynamisme** du système nerveux se manifeste par :

- La réorganisation au sein des **réseaux nerveux** par la **création** ou **l'élimination** de nouvelles synapses
- La réorganisation de la composition d'un réseau neuronal par la **différenciation** de nouveaux neurones
- La réorganisation d'un **ensemble de réseaux**



Les neurones ont la capacité de modifier leurs connexions synaptiques en fonction des **expériences vécues** par l'organisme et de son **apprentissage** ce qui entraîne une modification des réseaux neuronaux tout au long de l'histoire personnelle, c'est la **plasticité cérébrale**.

Cette plasticité cérébrale est particulièrement active au cours du **développement** mais, dans une moindre mesure, elle se poursuit tout au long de la vie. La sollicitation répétée des mêmes circuits neuronniques permet notamment la mise en **mémoire** nécessaire à la reconnaissance des formes ou d'un mot, **l'apprentissage**, ainsi que la possibilité de **compenser une lésion**. Le cerveau est un système dynamique, en perpétuelle reconfiguration.

(Activité 6)



POUR EN SAVOIR PLUS :

Le cervelet

Chez l'humain, le cervelet joue un rôle dans l'analyse des signaux visuels liés au mouvement. Ces signaux proviennent du déplacement d'objets dans le champ visuel ou encore de la vision du mouvement des segments corporels du corps. Le cervelet interviendrait pour calculer la vitesse du déplacement et pour ajuster en conséquence la commande motrice.

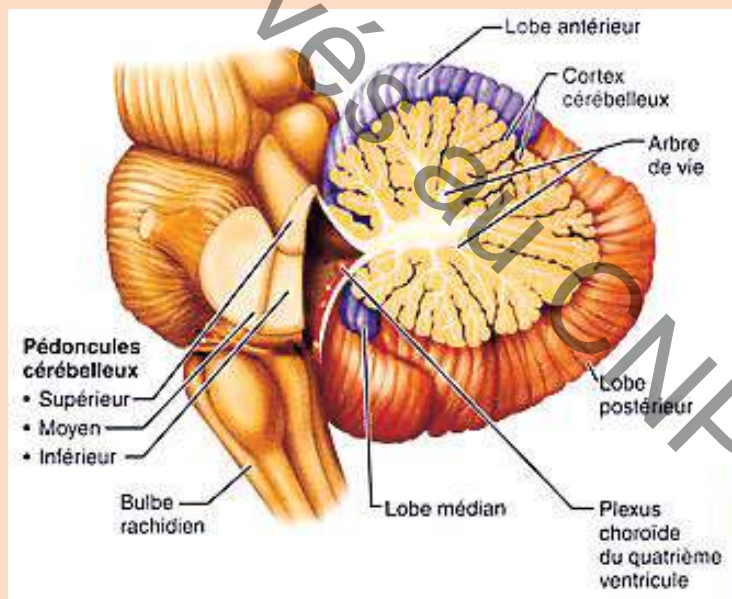
Chez le patient ayant subi une lésion au cervelet, ce calcul erroné compte pour beaucoup dans le mauvais contrôle des mouvements.

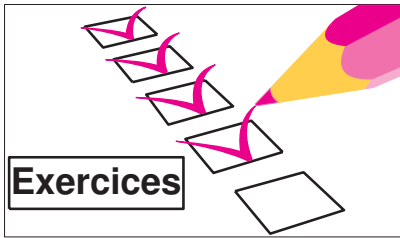
Quant aux fonctions cognitives, des signes d'atteintes ont été mis en évidence dans le domaine du langage, de l'attention, de la mémoire et de l'émotion. Par exemple, chez certains enfants autistes, les retards sur le plan cognitif ont été partiellement imputés au développement insuffisant de certaines parties du cervelet.

Enfin, une autre propriété importante du cervelet est sa capacité d'apprentissage et de mémorisation. Celle-ci repose entre autre sur l'organisation cellulaire particulière du cortex cérébelleux.

Après le cerveau, le cervelet est la deuxième plus grosse partie de l'encéphale. Il fait un peu plus de 10% de l'encéphale. Il sert de site d'intégration de plusieurs modalités d'information sensorielle et ajuste les contractions musculaires pour produire des mouvements parfaitement coordonnés. Par exemple, une balle arrive dans votre champ de vision droit, votre oeil la perçoit, votre tête se retourne, votre bras s'allonge et vous attrapez la balle, et ce, sans jamais perdre l'équilibre parce que votre tronc a pivoté et qu'un transfert de poids s'est opéré. Le tout s'est produit en une fraction de seconde sans même y réfléchir. En coordonnant l'activité motrice, le cervelet est un peu comme un coprocesseur pour le cerveau.

Le cervelet est tellement plissé qu'il ressemble un peu à un chou-fleur. Mais en fait, il ressemble aussi au cortex, juste un peu plus plissé. Il a sa substance grise à la surface et des fibres (substance blanche) et quelques noyaux gris à l'intérieur. Et, comme pour les cortex moteur et sensoriel, les neurones sont arrangés de façon à représenter les différentes parties du corps humain, ils ont une représentation somatotopique, trois homoncules en fait. Par contre, à l'instar du cortex cérébral, le cervelet ne possède pas vraiment de décussations.





A- RESTITUTION DES CONNAISSANCES

Exercice n°1 : QCM

Relever, pour les items suivant, une ou deux réponse(s) correcte(s).

1- Un stimulus absolu (ou inconditionnel) :

- a- est un stimulus neutre.
- b- déclenche un réflexe conditionnel.
- c- peut être associé à un stimulus neutre.
- d- est un stimulus qui déclenche un réflexe inné.

2- Les centres nerveux impliqués dans le réflexe salivaire conditionnel est :

- a- le cervelet.
- b- le cerveau.
- c- le bulbe rachidien.
- d- la moelle épinière.

3- Le retrait de la main au toucher d'un objet chaud :

- a- est un réflexe inné.
- b- a pour but la protection.
- c- demande un apprentissage.
- d- est un réflexe conditionnel.

4- La salivation d'un chien suite à une excitation lumineuse est un réflexe :

- a- inné.
- b- opérant.
- c- répondant.
- d- conditionnel.

5- Le réflexe conditionnel :

- a- est acquis à la suite d'un apprentissage.
- b- persiste même s'il n'est pas entretenu.
- c- résulte de l'association répétée du stimulus absolu suivi d'un stimulus neutre.
- d- résulte de l'association répétée d'un stimulus neutre suivi du stimulus absolu.

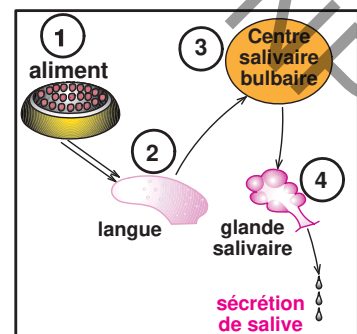
6- L'établissement du réflexe conditionnel Skinnérien:

- a- nécessite un seul acte récompensé.
- b- n'a pas de relation avec un réflexe inné préalable.
- c- nécessite plusieurs répétitions de l'acte récompensé.
- d- est la réponse à une variation des facteurs de

l'environnement.

7- La salivation d'un chien est un réflexe, dans ce cas:

- a- l'élément 1 de la figure ci-contre représente le récepteur sensoriel.
- b- l'élément 1 de la figure ci-contre représente le stimulus absolu.
- c- la relation entre les éléments 1 et 2 se fait par des fibres nerveuses motrices.
- d- la relation entre les éléments 3 et 4 se fait par des fibres nerveuses motrices.



B- MOBILISATION DES CONNAISSANCES

Exercice n° 2 :

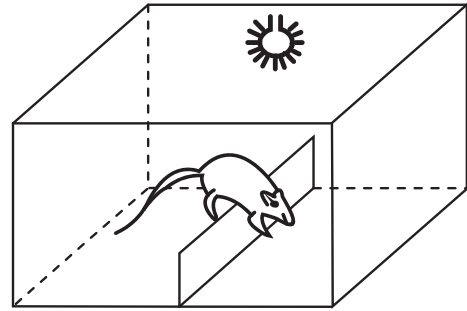
Avec un Rat, on réalise les expériences suivantes :

Expérience 1 : On envoie une décharge électrique sur l'une des pattes du Rat, l'animal saute sur place.

Expérience 2 : On met le Rat dans une cage à deux compartiments (figure ci-contre) délimités par une cloison.

Le plancher de chacun des deux compartiments peut être électrisifié indépendamment de l'autre.

Une lampe peut être allumée de l'extérieur.



On procède alors de la façon suivante :

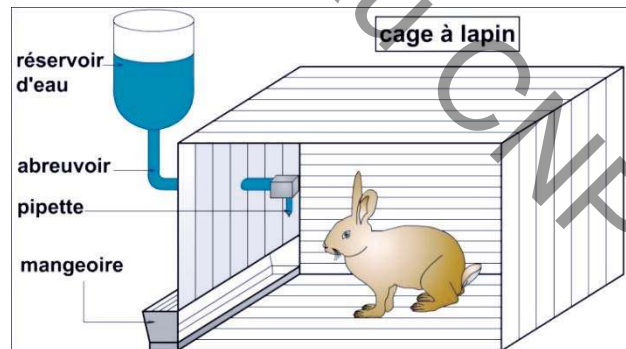
On allume la lampe durant 2 secondes, puis, on électrifie le plancher du compartiment où se trouve le rat, il saute sur place. Après plusieurs essais, il finit par sauter de l'autre côté non électrisifié. On attend alors une minute, puis, on allume de nouveau la lampe durant 2 secondes et on fait passer le courant dans le plancher du compartiment où se trouve le rat, il saute de l'autre côté non électrisifié. Après 5 répétitions, on remarque que le rat saute d'un compartiment à l'autre rien qu'en allumant la lampe.

- 1- **a- Préciser** en le justifiant la nature de la réaction obtenue lors de la 1^{ère} expérience.
b- Indiquer les principales caractéristiques de ce type de réaction.
c- Rendre compte par un schéma légendé le trajet de l'influx nerveux.
- 2- **a-** Quelle est la nature de la réaction obtenue à la fin de la deuxième expérience ?
b- Par un schéma légendé, représenter le trajet de l'influx nerveux de ce résultat.
- 3- Le lendemain, on recommence les expériences; on constate que le rat ne change pas de compartiment lorsqu'on allume la lampe.
a- Préciser et expliquer pourquoi cette réponse différente.
b- Que faut-il faire pour que l'animal se remette à changer de compartiment rien qu'en allumant la lampe ?
- 4- Dans l'expérience 2, on précise que les parois de la cage sont opaques. Pourquoi ?
- 5- **Déduire** enfin les caractères de la réaction obtenue à la fin de la deuxième expérience.

Exercice n° 3 : Un jeune garçon a acheté un lapin chez un agriculteur.

L'agriculteur élevait ses lapins libres dans une parcelle de terrain où l'eau et la nourriture étaient disponibles dans des récipients ; les animaux pouvaient ainsi manger et boire à volonté.

Le jeune garçon met le lapin dans une cage où la nourriture est livrée dans une mangeoire ; l'eau y parvient par un abreuvoir qui se termine par une pipette (document ci-contre).



Avec le temps, le lapin s'habitue progressivement à sa nouvelle demeure et chaque fois qu'il a soif, il lève sa tête et suce la pipette qui lui délivre de l'eau en petites gouttes.

- 1- **Expliquer** comment le lapin s'est habitué à sucer la pipette chaque fois qu'il a soif.
- 2- **Définir** ce comportement et donner ses caractéristiques.

Exercice n° 6 :

Pour montrer comment les singes sont entraînés à discriminer les fréquences du son (hautes, moyennes et basses fréquences...), Recanzone et ses collaborateurs ont réalisé en 1993 l'expérience suivante :

- 5 singes sont entraînés à discriminer de petites différences de fréquence sonore
- 5 autres singes contrôles ne participent pas à l'entraînement.
- Durée de l'entraînement = 60 à 80 jours à raison d'une session par jour
- Micro-électrophysiologie utilisée pour faire la cartographie des aires auditives qui analysent les différents types de fréquence du son

Ils ont obtenu les résultats suivants :

- Les aires corticales auditives dédiées au traitement des fréquences utilisées pour les sons différents, lors de l'entraînement, sont de 2 à 3 fois plus volumineuse chez les singes ayant suivi l'entraînement.

► **Montrer**, en analysant cette expérience et en se référant aux connaissances déjà étudiées, la relation entre l'apprentissage et les aires corticales.

Corrigé exercice n° 2 :

1-a- Lors de la 1^{ère} expérience, la réaction de l'animal est due à l'envoi de la décharge électrique : c'est une **réaction involontaire innée**.

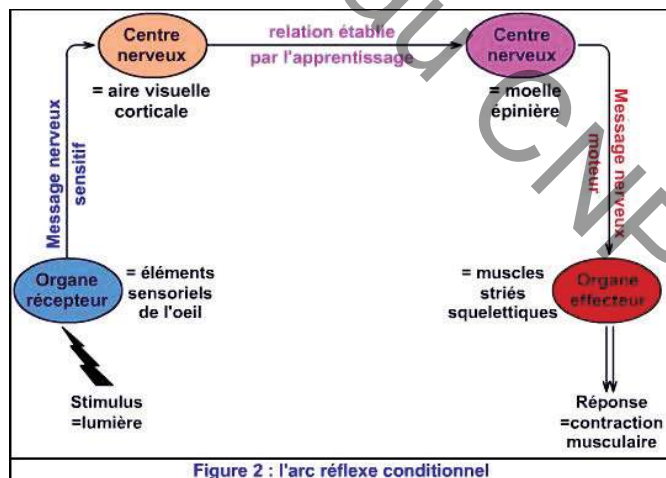
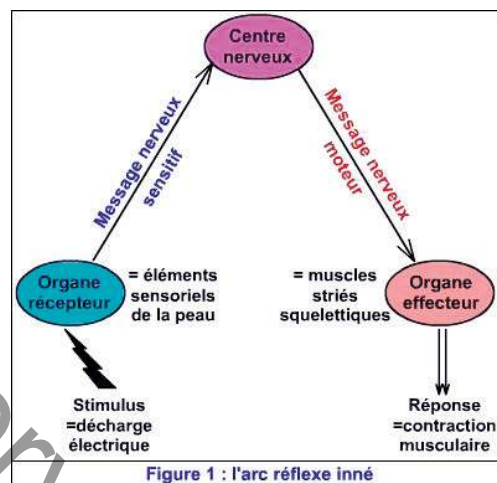
b- Cette réaction est involontaire, innée, automatique, inéluctable, prévisible, spécifique, adaptée, stéréotypée...

c- Le schéma de la figure 1 montre le trajet de l'influx nerveux.

2- a- Lors de la 2^{ème} expérience on habitue l'animal au fait que dès qu'on allume la lampe, il recevra une décharge électrique. A la longue, la lumière, jusqu'à **indifférente** pour l'animal et **n'ayant aucune action** sur les muscles des pattes, devient, par la **répétition** de sa coïncidence avec la décharge électrique, un excitant de ces **muscles** : chaque fois que la lumière jaillie, on observe le saut de l'animal vers l'autre compartiment non électrifié. Il s'agit d'une **activité conditionnée** (la lumière devient un signal pour l'animal).

b- Le schéma figure 2, montre l'arc réflexe conditionnel.

3- a- Le lendemain, l'animal ne saute pas dans l'autre compartiment non électrifié lorsqu'on allume la lampe ; ceci s'explique par le décalage de temps qui sépare la période d'apprentissage et l'expérience. En effet une caractéristique fondamentale des réactions conditionnelles acquises c'est qu'elles sont non permanentes et nécessitent de l'entretien.



b- Ainsi pour réobtenir le même résultat -saut de l'animal dans l'autre compartiment non électrifié rien qu'en allumant la lampe- il faut refaire de nouveau les expériences d'association de l'excitant "lumière" avec l'excitant absolu "la décharge électrique". Ceci revient à dire qu'on doit réaliser un "rappel" pour l'animal ; rappel qui demandera moins de temps que celui exigé par l'étape d'apprentissage.

4- Durant l'étape d'apprentissage, l'animal doit être **à l'abri de perturbations extérieures** ce qui explique l'utilisation d'une cage à parois opaque : l'animal ne sera soumis qu'aux excitants voulus par l'expérimentateur.

5- La réaction conditionnelle est acquise par l'habitude (nécessite une étape d'apprentissage), temporaire (doit être entretenue).

Corrigé exercice n° 3 :

1- Placé pour la première fois dans la cage, le lapin a un comportement d'investigation : il renifle, flaire et tâte tout ce qui s'y trouve. Donc, au **début**, lorsque l'animal trouve la pipette et la suce pour la **première fois**, c'était un acte moteur **accidentel**.

La **recherche de l'eau** constitue pour l'animal un fait tellement important que tous les éléments de la situation dans laquelle il se trouve au moment où il a trouvé de façon **inattendue**, un peu d'eau, sont **mémorisés**. Ainsi il reproduira le comportement qui a été suivi de **récompense**. Cet acte est **volontaire**.

- Si l'acte qu'il refait lui permet de nouveau d'avoir de l'eau, l'animal **mémorise encore mieux** la situation.

- L'eau constitue donc une **récompense** pour l'animal.

- A la longue, l'animal **apprendra** à refaire le même acte lorsqu'il a soif. Ainsi la répétition de l'acte récompensé **consolide** l'apprentissage.

2- A la fin, un **conditionnement s'est établi** : l'animal a appris à **agir**, à **opérer sur le milieu pour le modifier** dans un sens qui lui est **favorable** ; l'acte devient ainsi un **réflexe conditionnel** qualifié d'**opérant**, la réponse finale - c'est à dire l'acte moteur - est appelée **réponse opérante**.

La réaction conditionnelle opérante :

* est acquise par l'habitude (nécessite une étape d'apprentissage).

* est temporaire (nécessite de l'entretien pour la maintenir).

* l'apparition de la réponse est déclenchée par le sujet lui-même. La réaction n'est liée à aucune stimulation extérieure à l'individu : **l'animal agit sur le milieu**.

* c'est une réaction d'abord accidentelle puis volontaire et enfin automatique.

* la réponse constitue en elle-même une récompense.

Corrigé exercice n° 6 :

L'étude de l'organisation des fréquences permet de souligner la formidable malléabilité du cerveau.

Les aires corticales auditives dédiées au traitement des fréquences peuvent être remodelées sous diverses pressions environnementales notamment suite à l'apprentissage, ce phénomène est appelé plasticité cérébrale.



chapitre 4

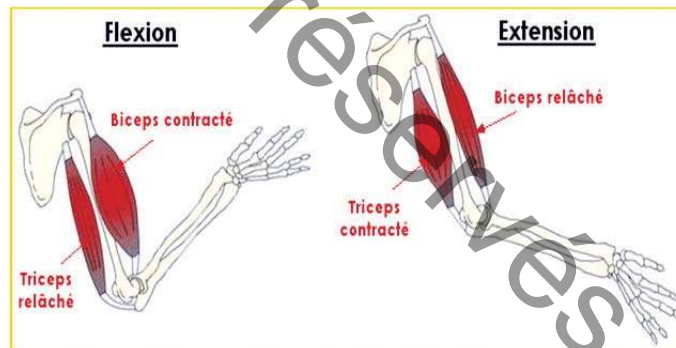
Le muscle squelettique

Problème

Le muscle est un organe charnu essentiellement composé de tissu fibreux et qui a la particularité d'être contractile. On distingue les muscles squelettiques, les muscles lisses ou viscéraux et le muscle cardiaque.

L'élément anatomique du muscle strié est la fibre musculaire, cellule géante (plusieurs cm de long et diamètre variable) plurinucléée, entourée d'une membrane épaisse : le sarcolemme. Dans le cytoplasme (ou sarcoplasme) se trouvent de nombreux myofilaments de myosine (épais) et d'actine (fins).

Observons notre bras lors d'un mouvement. Lorsque nous plions le bras, la partie supérieure se gonfle. C'est le biceps, muscle du bras qui se contracte lors d'un mouvement de flexion et qui se relâche lors d'un mouvement d'extension au cours duquel le triceps situé à l'arrière du bras se contracte. Ces muscles ayant des actions contraires sont dits antagonistes. La contraction des muscles sert de moteur au mouvement.



La production d'une contraction musculaire, qui représente l'aspect fondamental de la motricité humaine, est subordonnée à l'envoi d'impulsions nerveuses motrices par le système nerveux central. On ne peut pas dissocier un muscle du nerf moteur qui le commande.

Chez l'humain, 40 à 60% de la masse totale du corps est constituée de muscles (fibres striées et fibres lisses).

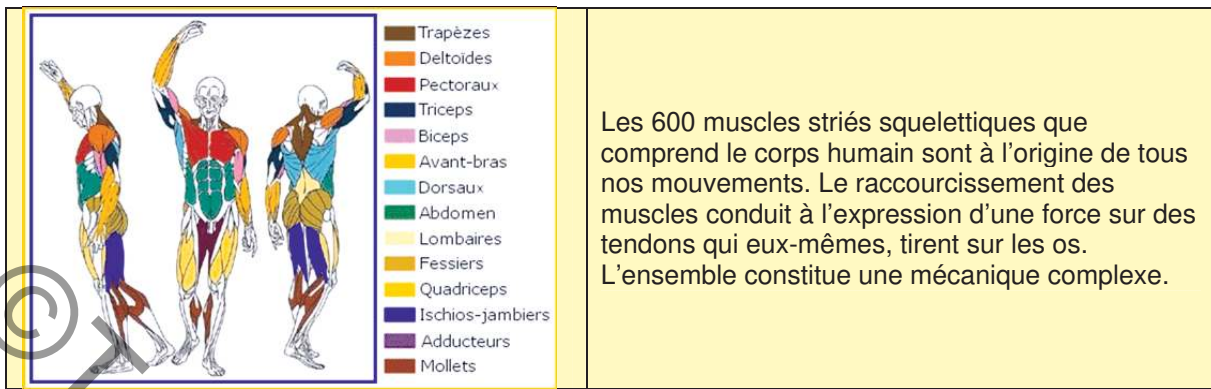


Problème scientifique :

Comment les muscles striés squelettiques assurent-ils une motricité bien adaptée du corps ?

Ce problème mène à s'interroger sur:

- l'histologie du tissu musculaire strié squelettique
- la jonction neuromusculaire
- la transmission neuromusculaire
- le mécanisme de la contraction musculaire
- les manifestations énergétiques de la contraction musculaire
- l'origine de cette énergie



Objectifs visés :

- **Identifier** l'unité fonctionnelle du muscle squelettique.
- **Expliquer** le mécanisme de la transmission du message nerveux de la fibre nerveuse à la fibre musculaire.
- **Expliquer** le mécanisme de la contraction musculaire en **précisant** :
 - l'origine de l'énergie chimique utilisée lors de la contraction.
 - la conversion de l'énergie chimique en énergie mécanique.



Le potentiel d'action (PA), la transmission synaptique, la respiration cellulaire, ATP, mitochondrie, synapse. Filament d'actine, filament de myosine, fibre musculaire,

Vérification – consolidation des pré-requis

I. Pour chacun des items suivants (de 1 à 6), mettre une (X) devant la (ou les) réponse(s) correcte(s).

1- Un muscle squelettique est fixé:		
a-	à une articulation.	
b-	par des tendons.	
c-	par les ligaments.	
d-	à un ou plusieurs os.	
2- Un muscle en activité:		
a-	consomme plus d'O ₂ .	
b-	consomme plus de CO ₂ .	
c-	consomme de l'énergie.	
d-	ne consomme pas de l'énergie.	
3- Une substance de réserve des cellules animales synthétisée à partir du glucose dans le foie et les muscles, c'est :		
a-	l'ATP	
b-	l'amidon.	
c-	le glycogène.	
d-	cholestérol	
4- Une plaque motrice est:		
a-	synapse neuromusculaire	
b-	synapse neuroneuronique	
c-	la jonction entre une fibre nerveuse motrice et une fibre musculaire.	
d-	la jonction entre une fibre nerveuse sensitive est une fibre musculaire.	
5- Au niveau d'une synapse excitatrice, la transmission du message nerveux fait intervenir :		
a-	des neurotransmetteurs.	
b-	des canaux voltage dépendant aux ions Na ⁺	
c-	des canaux voltage dépendant aux ions K ⁺	
d-	des canaux voltage dépendant aux ions Ca ⁺⁺	
6- La cellule musculaire :		
a-	est non contractile.	
b-	est pauvre en protéines.	
c-	est appelée fibre musculaire.	
d-	est formée par des myofibrilles.	

II- Associer chaque définition de la liste A à l'expression correspondante de la liste B :

Liste A
Deux protéines qui interviennent dans la contraction du muscle.
Organite responsable de la respiration cellulaire.
Zone de jonction entre un neurone et un autre neurone ou une autre cellule excitable.
Dégradation du glucose en acide pyruvique.
ensemble de réactions d'oxydoréduction en présence d'oxygène aboutissant à la dégradation du glucose et à la production de dioxyde de carbone et de l'énergie sous forme d'ATP.

Liste B
Respiration
Mitochondrie
Glycolyse
Synapse
Actine et myosine

III- compléter le texte suivant :

Le muscle squelettique est formé de deux parties:

- une partie centrale rouge appelée le du muscle constituée de **fibres musculaires** regroupées en
- Une partie blanche situées aux extrémités du muscle et constituée d'un tissu conjonctif formant les

HISTORIQUE DES NEUROSCIENCES :

Hugh Huxley; (1924-2013), biophysicien anglais, connu pour ses études sur la structure fine du muscle strié et pour son interprétation de ses conclusions dans la révélation du mécanisme de contraction musculaire.

En 1954, il propose une nouvelle théorie pour expliquer le mécanisme de la contraction des muscles : les filaments minces d'actine et les filaments épais de myosine, deux protéines musculaires, se chevauchent partiellement et glissent les uns sur les autres.



1. STRUCTURE ET FONCTIONNEMENT DE LA JONCTION NEUROMUSCULAIRE (PLAQUE MOTRICE) :

Activité 1 : Étudier la structure de la plaque motrice

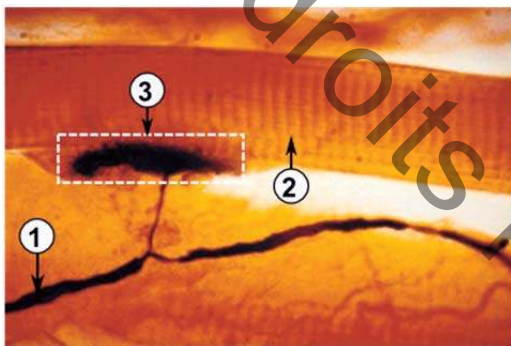
Observations :

► La plaque motrice :

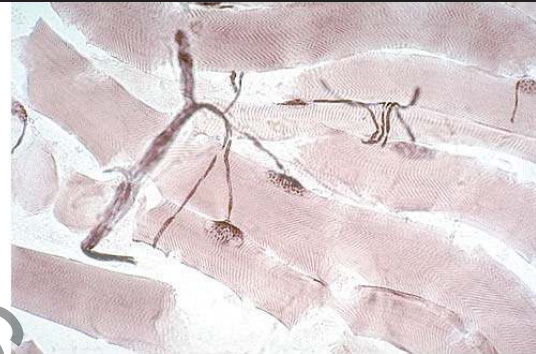
D'un point de vue fonctionnel, la jonction neuromusculaire est l'élément qui permet la transmission de l'influx nerveux à la cellule du muscle strié squelettique. Cette transmission étant possible grâce à la présence de trois éléments ; La terminaison axonique, ultime ramification de fibre nerveuse de gros calibres issus des motoneurones alpha, une fraction de fibre musculaire et la fente synaptique située entre les deux .Chaque fibre musculaire ne reçoit en théorie qu'une seule terminaison nerveuse.

► L'unité motrice :

Elle est définie comme étant l'ensemble du motoneurone alpha, de son axone et des fibres musculaires qu'il innerve. L'unité motrice est le plus petit élément contractile que le système nerveux peut mettre en jeu.



Document 1 : Une plaque motrice



Document 2 : Ramification d'une fibre motrice (unité motrice)

L'observation au microscope électronique d'une plaque motrice (document 3) montre son ultrastructure.



Document 3 : Ultrastructure de la plaque motrice



À partir de ces observations des connaissances de chapitre 2 :

1. **Légender** le document 2.
2. **Dégager** le rôle de la plaque motrice
3. **Proposer** une hypothèse à propos du rôle de l'acétylcholine.

1. 1. FONCTIONNEMENT DE LA PLAQUE MOTRICE :

Activité 2 : Expliquer le fonctionnement de la plaque motrice

Au niveau des synapses, la transmission du message nerveux fait intervenir des substances chimiques, les neurotransmetteurs ou neuromédiateurs.

On réalise les expériences suivantes au niveau d'une synapse neuromusculaire dont la molécule de neurotransmetteur est l'acétylcholine.

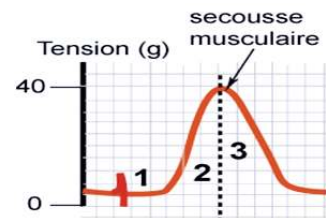
La secousse musculaire représente l'**activité mécanique** du muscle squelettique.

♦ Avant la stimulation, on enregistre une faible tension musculaire qui correspond au **tonus musculaire**.

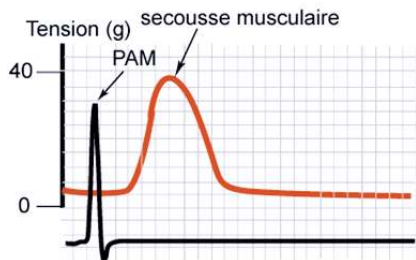
♦ La stimulation efficace, déclenche après un certain temps de latence (1) un tracé appelé une **secousse musculaire** qui présente deux phases :

Une phase de contraction (2): la phase ascendante au cours de laquelle la tension musculaire augmente progressivement.

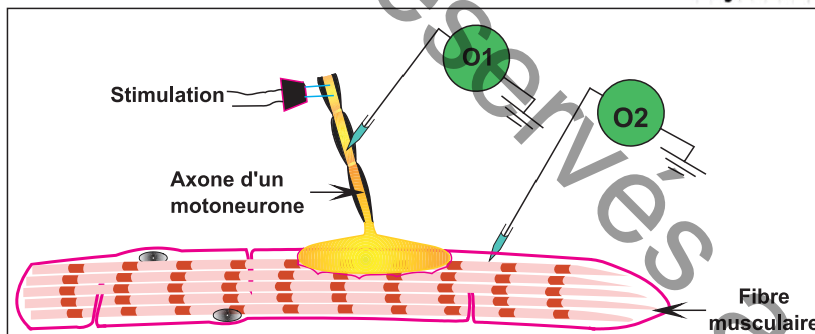
Une phase de relâchement (3): la phase descendante au cours de laquelle la tension musculaire diminue progressivement pour retrouver sa valeur initiale.



On peut enregistrer les activités électriques et mécaniques d'un muscle. Le potentiel d'action musculaire (**PAM**) représente l'activité électrique du muscle.



1^{ère} série d'expériences :



Document 4 : Dispositif expérimental de la 1^{ère} série d'expériences

Expérience	Enregistrement au niveau de l'oscilloscope (O ₁)	Enregistrement au niveau de l'oscilloscope (O ₂)	Etat de la fibre musculaire
1. des stimulations de l'axone moteur.	Potentiels d'action nerveux à une certaine fréquence.	Potentiels d'action musculaires à une certaine fréquence dépendant de la fréquence des potentiels d'action nerveux.	Contraction de la fibre musculaire
2. pas de stimulation de l'axone	Pas de potentiels d'action nerveux.	Pas de potentiel d'action musculaire.	Pas de contraction.

Taches

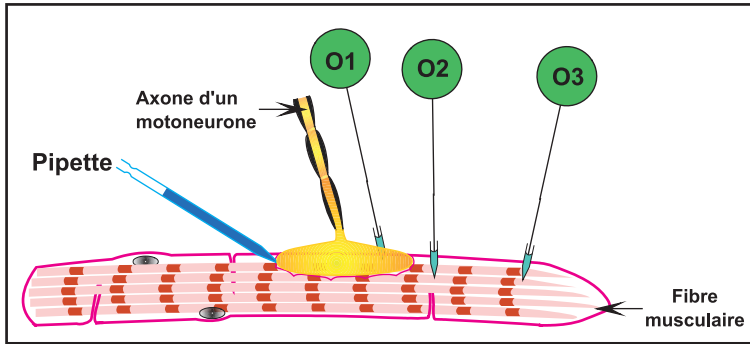


1. Analyser les résultats des expériences 1 et 2 en vue de :

a. Dégager le rôle de la plaque motrice ?

b. Déduire l'effet de la naissance d'un PA musculaire (PAM)

2^{ème} série d'expériences :



Document 5 : Dispositif expérimental de la 2^{ème} série d'expériences

Expérience	Enregistrement au niveau de O ₁	Enregistrement au niveau de O ₂	Enregistrement au niveau de O ₃
<p>3. pas de stimulation de l'axone. Injection d'une microgoutte G₁ d'acétylcholine dans l'espace synaptique.</p>	<p>Un potentiel de plaque motrice</p>	<p>Un potentiel de plaque motrice</p>	<p>Un potentiel de repos.</p>
<p>4. pas de stimulation de l'axone. Injection d'une microgoutte G₂ d'acétylcholine dans l'espace synaptique. (G₂=2xG₁)</p>	<p>Un potentiel d'action musculaire (PAM).</p>	<p>Pas de potentiels d'action musculaire.</p>	<p>Pas de potentiels d'action musculaire.</p>
<p>5. pas de stimulation de l'axone. Injection d'une microgoutte G₂ d'acétylcholine à l'intérieur de la fibre musculaire</p>			
<p>6. pas de stimulation de l'axone. Injection d'une microgoutte G₂ d'acétylcholine dans l'espace synaptique traité à l'ésérine *</p>			

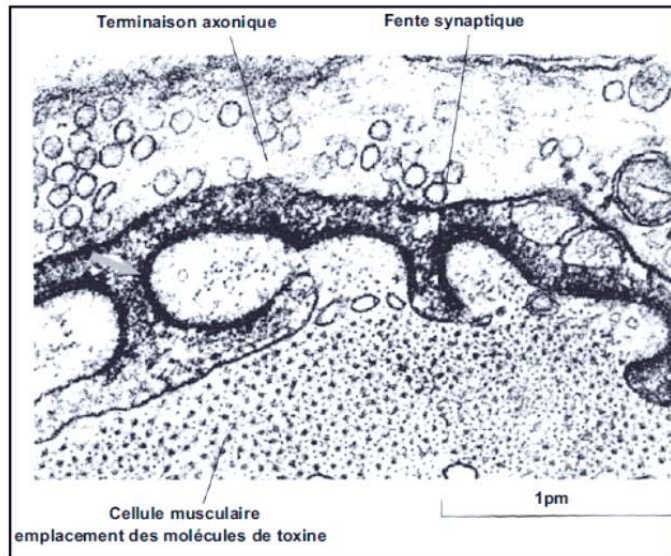
* L'ésérine : produit inhibant l'hydrolyse d'acétylcholine.

Document 6 : Expériences et enregistrements

3^{ème} série d'expériences :

On fait agir sur une synapse neuromusculaire, dont le neurotransmetteur est l'acétylcholine, une toxine (bungarotoxine) ayant une structure proche de l'acétylcholine. Cette toxine se fixe sur la membrane postsynaptique comme le montre le document suivant et paralyse la fibre musculaire.

Le précipité opaque correspond à l'emplacement des molécules de toxine.



Document 7 : Observation au microscope électronique d'une synapse neuromusculaire traitée par la bungarotoxine



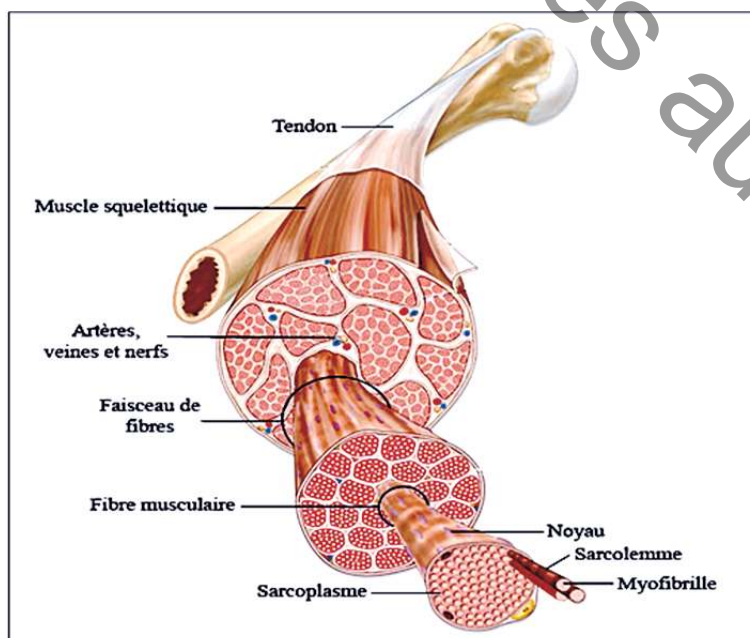
2. **Exploiter** les documents de la 2^{ème} et de la 3^{ème} série d'expériences afin de présenter les étapes du fonctionnement d'une synapse chimique, telle que la synapse neuromusculaire, assurant la transmission des messages d'un motoneurone à une cellule musculaire.

NB. Un schéma bilan est attendu.

1. 2. ULTRASTRUCTURE DE LA FIBRE MUSCULAIRE ET DE LA MYOFIBRILLE:

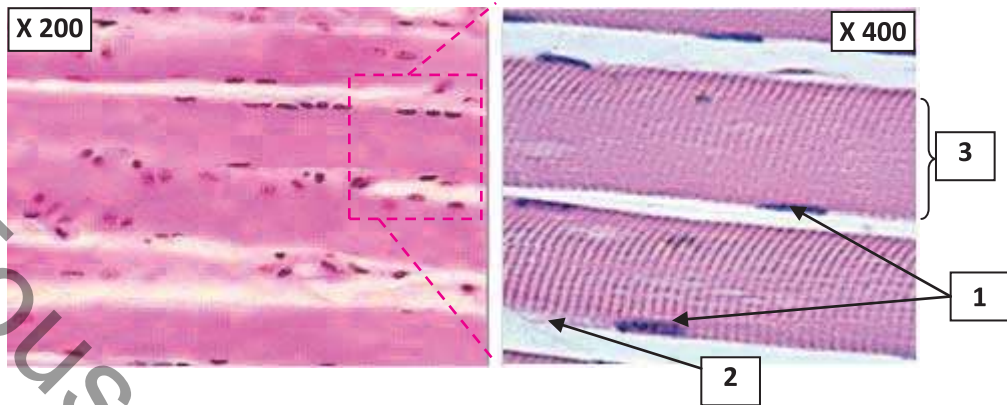
Activité 3 : Étudier l'ultrastructure de la fibre musculaire

Le corps du muscle strié est relié au squelette par les tendons (document 8). Il est formé de faisceaux de fibres musculaire (**une fibre musculaire = une cellule musculaire**). Chaque cellule musculaire striée contient dans son cytoplasme des **myofibrilles**.



Document 8 : La structure et l'ultrastructure d'un muscle squelettique

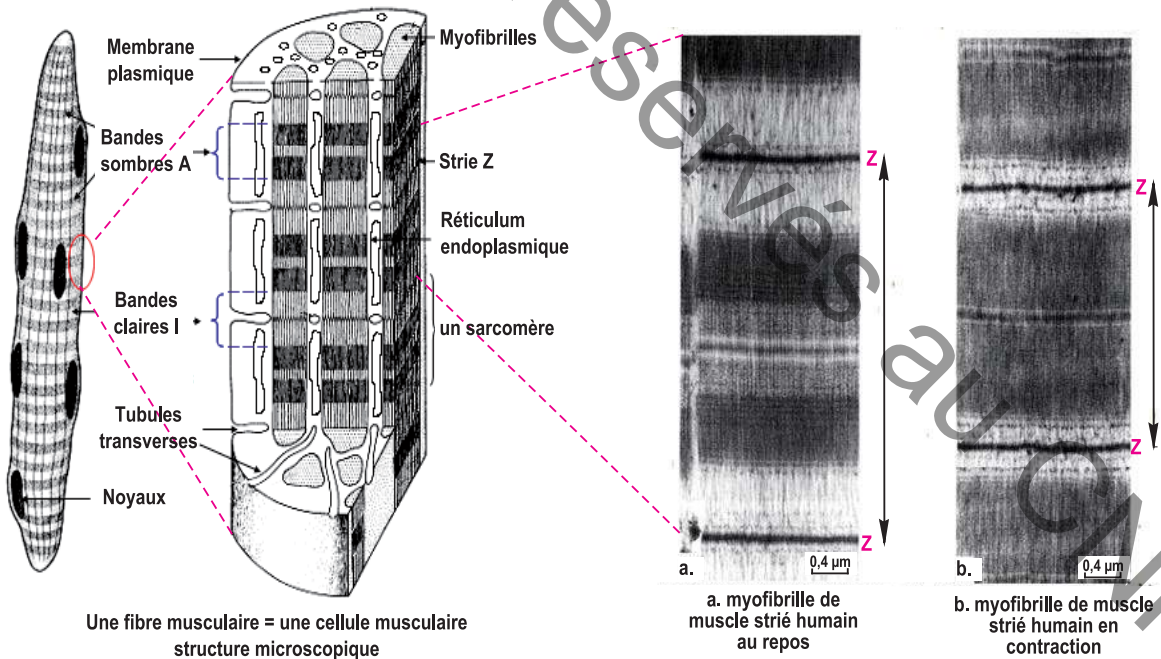
En coupe longitudinale après coloration standard, une striation est observable en microscopie optique qui correspond à l'alternance de bandes sombres et de bandes claires.



1 : Noyaux 2 : Sarcoplasme 3 : myofibre

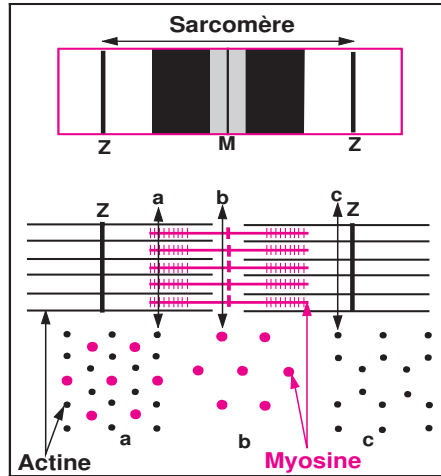
Document 9 : Observation microscopique de fibres musculaires

Le cytoplasme ou sarcoplasme est caractérisé notamment par les myofibrilles ainsi que par l'abondance des mitochondries, la présence d'un réticulum sarcoplasmique lisse organisé de façon spécifique.



Document 10 : ultrastructure d'une fibre musculaire

L'élément répétitif et fonctionnel de base est le sarcomère délimité par deux stries Z.



Document 11 : schéma d'interprétation d'un sarcomère

Taches

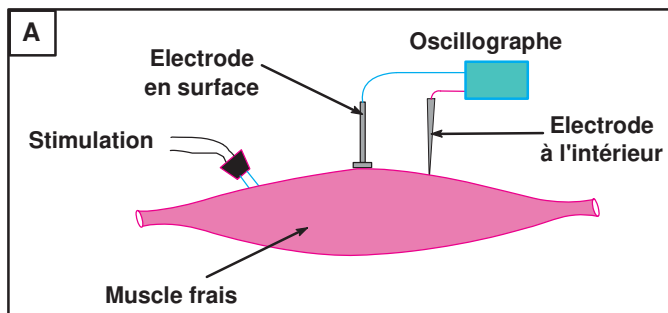
- Exploiter les documents 8, 9, 10 et 11 pour :
- Décrire la structure d'une fibre musculaire.
- Décrire l'ultrastructure d'une myofibrille.
- Faire un schéma d'interprétation d'un sarcomère

2. MÉCANISME DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE:

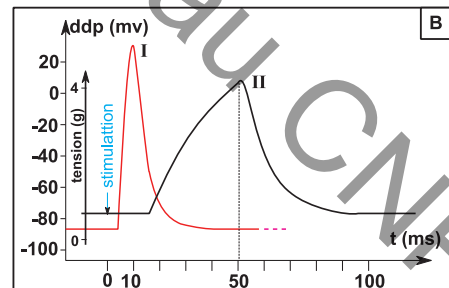
2. 1. L'ORIGINE DE L'ÉNERGIE THERMIQUE (CHALEUR) LIBÉRÉE PAR LE MUSCLE EN ACTIVITÉ :

Activité 4 : Déterminer l'origine de l'énergie thermique (chaleur) libérée par le muscle en activité :

Dans le but d'identifier quelques phénomènes qui accompagnent la contraction musculaire, des expériences sont réalisées. Le document 12 présente le dispositif expérimental (document 12 A) et les résultats de ces expériences document 12 B).



I : Potentiel d'action musculaire



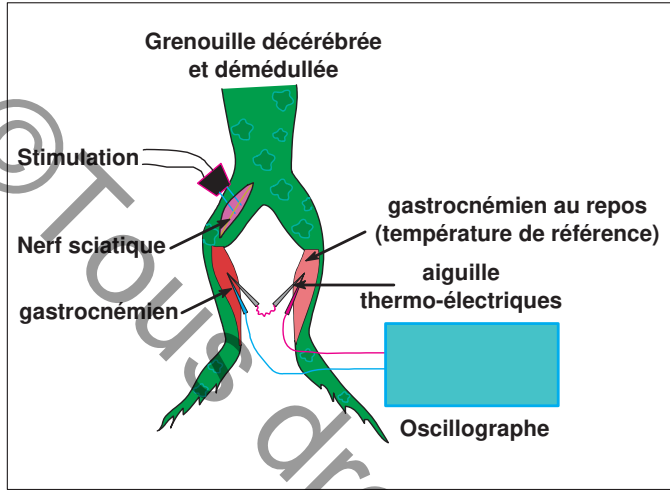
II : Secousse musculaire isolée

Document 12 : Enregistrement d'une secousse musculaire

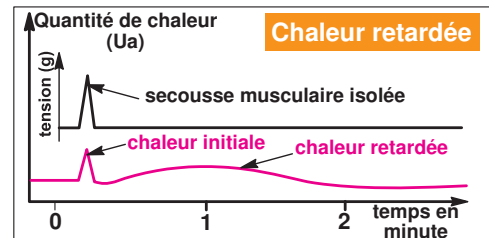
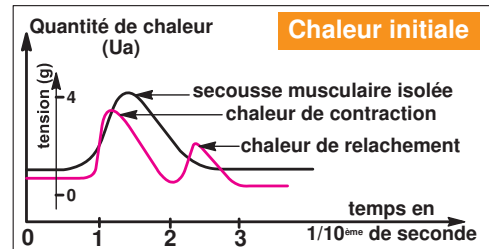
Taches

1. Analyser les tracés I et II du document 12 B, pour expliquer la relation qui existe entre les deux phénomènes enregistrés.

Tout travail musculaire s'accompagne d'un dégagement de chaleur. Des techniques permettent d'enregistrer les variations de température qui accompagnent la contraction musculaire (document 13 C). Les graphes du document 13 D montrent en fonction du temps, les différentes manifestations de l'activité musculaire en réponse à une excitation efficace du nerf sciatique.



C Principe d'enregistrement



D Résultats

Document 13 : Enregistrement de l'énergie thermique au cours et après une secousse musculaire



- Formuler** une hypothèse concernant l'origine de la chaleur libérée par le muscle en deux temps.
- Si on refait l'enregistrement en atmosphère d'azote, c'est-à-dire sans oxygène, la chaleur retardée disparaît. **Déduire** alors les voies métaboliques responsables de libération de la chaleur (initiale et retardée).

On sait que la respiration cellulaire produit par dégradation du glucose dans les mitochondries, de l'énergie sous forme de composé phosphoré riche en énergie : l'adénosine triphosphate ou ATP qui est déjà disponible dans la fibre musculaire.

2. 2. LE MÉCANISME DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

Activité 5 : Expliquer le mécanisme de la contraction musculaire

Expérience 1 :

On cultive in vitro des myofilaments d'actines A et/ou des myofilaments de myosine M dans différents milieux de culture. Les résultats des expériences sont rassemblés dans le tableau du document 3.

(A = actine, M = myosine)

Expériences	Conditions expérimentales	Complexes acto-myosine	Production de chaleur	Evolution de la concentration de l'ATP
a	A+M+ATP	Absentes	Faible	Diminution faible
b	A+M+ATP+Ca ²⁺	présentes	Importante	Diminution importante
c	A+ ATP+ Ca ²⁺	absentes	Nulle	Aucune évolution
d	M+ATP+ Ca ²⁺	absentes	Faible	Diminution faible



- Analyser** dans l'ordre ces observations et expériences.
- Quelles** informations apportent-elles sur le mécanisme de la contraction musculaire ?

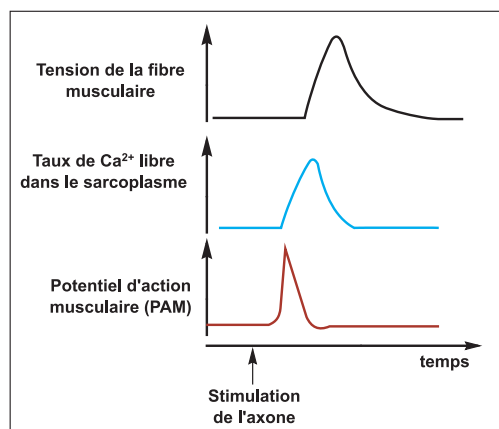
Expérience 2 :

a) Les fibres musculaires qui se contractent et se relâchent très rapidement ont un réticulum endoplasmique très développé ; celles qui se contractent et se relâchent lentement ont un réticulum endoplasmique moins développé.

b) L'injection d'ions calcium dans le hyaloplasme d'une fibre musculaire entraîne la contraction des myofibrilles.

c) On cultive des fibres musculaires dans un milieu contenant du Calcium radioactif. Par autoradiographie on constate que le calcium radioactif est dans le réticulum endoplasmique quand les fibres sont relâchées et dispersé dans le hyaloplasme quand les fibres sont contractées.

d) Le document 14 traduit des observations faites sur une fibre musculaire après une stimulation efficace de l'axone innervant cette fibre.



Document 14

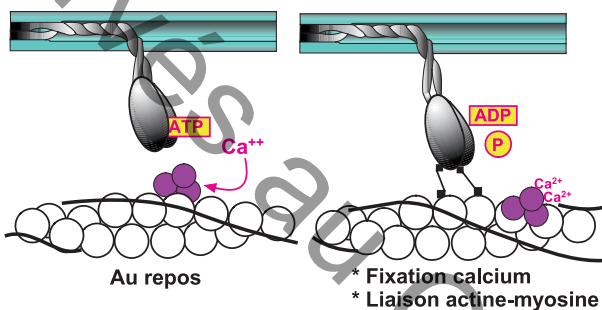


- 3. Analyser les résultats de ces expériences et tirer des conclusions.
- 4. Quelles informations apportent-elles sur le mécanisme de la contraction musculaire ?

Observation 1 :

- Au repos, les filaments d'actine se détachent des filaments de myosine, l'ATP se fixe sur la tête de myosine.

- L'hydrolyse de l'ATP, donnant de l'ADP + P, libère de l'énergie, ce qui entraîne le mouvement des têtes de myosine vers la ligne M (centre du sarcomère) d'où le glissement des filaments d'actine et le raccourcissement du sarcomère.



Observation 2 :

Comparaison de la taille des filaments d'actines, de myosines et de sarcomère.

	Sarcomère relâché	Sarcomère contracté
Myofilament de myosine	1,8 µm	1,8 µm
Myofilament d'actine	1,1 µm	1,1 µm
Sarcomère	2,9 µm	2,2 µm



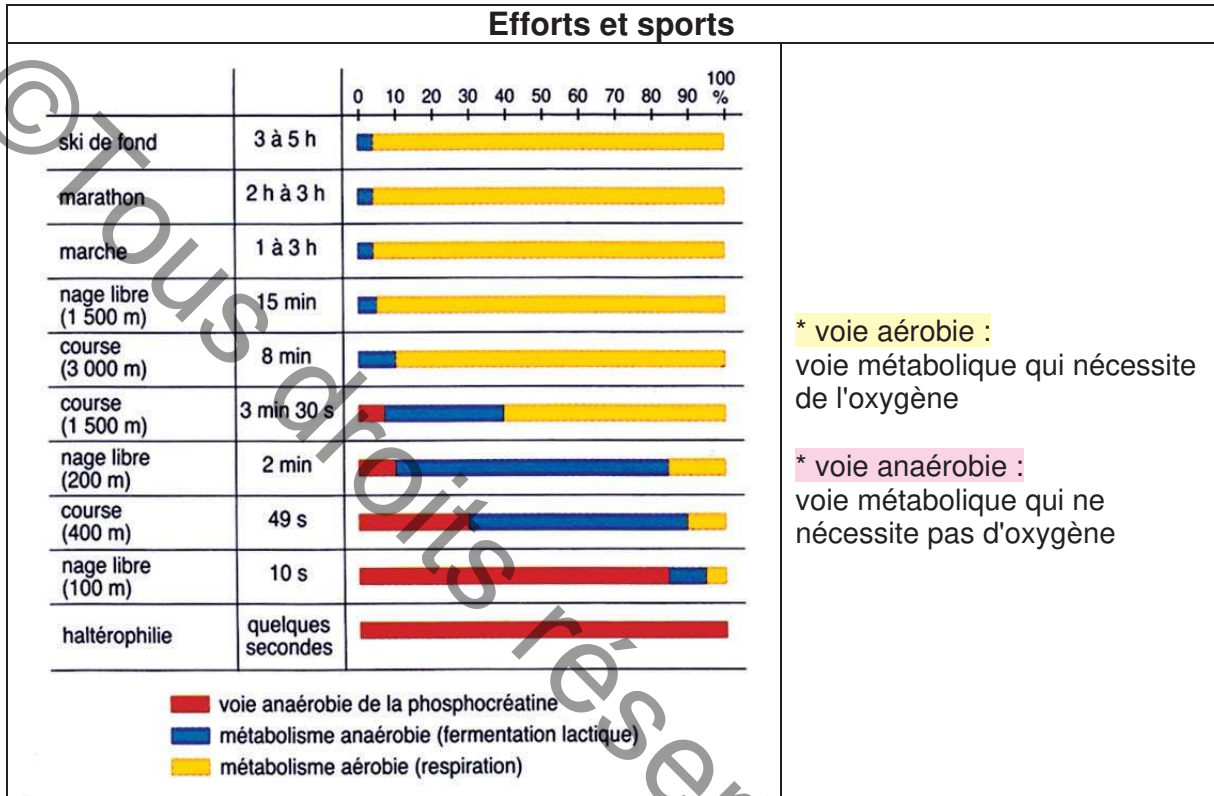
- 5. A partir des résultats des expériences 1 et 2 et des observations précédentes, expliquer comment le potentiel d'action musculaire déclenche la contraction.

3. RÉGÉNÉRATION DE L'ATP :

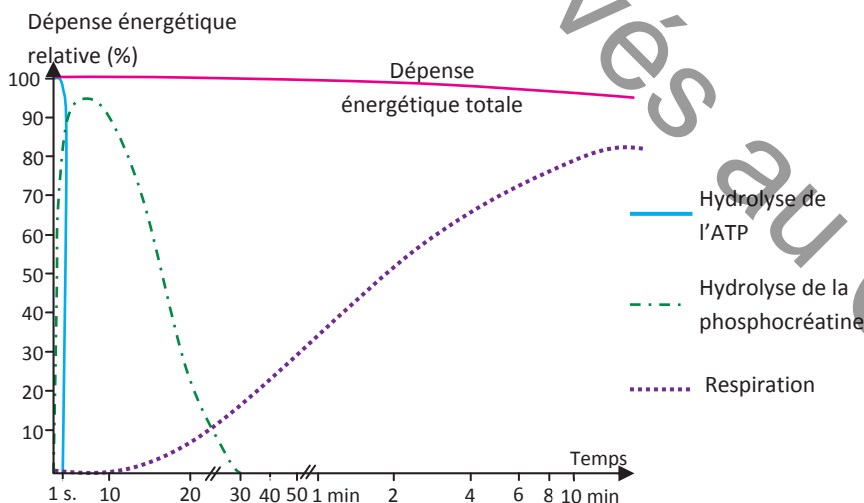
Activité 6 : Préciser les mécanismes de régénération de l'ATP

- Un muscle au travail utilise continuellement de l'ATP. Comme la quantité d'ATP dans la fibre musculaire est limitée, la fibre doit reconstituer ses réserves en ATP.

Par quelles voies se fait la régénération de l'ATP ?



Document 15 : les voies de régénération d'ATP selon l'activité sportive



D'après http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/article.php3?id_article=2278; CHU Poitiers-1994- ; V. Billat-1998-

Document 16 : Modalités de régénération de l'ATP lors d'un effort musculaire



1. En analysant les courbes du document 15, **dégager** les voies métaboliques de la régénération de l'ATP utilisé par le muscle en activité.

4. SYNTHÈSE :

Activité 7 : Établir un bilan

- Au cours d'un exercice musculaire, il y a une production d'énergie électrique (potentiel d'action musculaire), d'énergie mécanique (mouvement) et thermique (chaleur). On constate aussi une élévation du rythme respiratoire (augmentation de la consommation d'oxygène et du rejet du CO_2 par les muscles) et du rythme cardiaque (augmentation du débit sanguin dans les muscles).

Tâches



En exploitant toutes les données précédentes et les réponses aux questions de l'activité 4, **établir** un schéma de synthèse intégrant les phénomènes électriques, chimiques, mécaniques et thermiques qui interviennent lors de la contraction musculaire.

Tous droits réservés au CNP



Bilan des connaissances

1. GÉNÉRALITÉS :

1.1. DÉFINITION : le terme de tissu musculaire recouvre l'ensemble des cellules douées de propriétés contractiles et regroupées au sein de structures organisées ; les muscles. Il existe 3 types de tissus et de cellules musculaires :

- le **tissu musculaire squelettique** qui permet les mouvements sous contrôle du système nerveux dit cérébro-spinal
- le **tissu musculaire lisse** qui permet les mouvements non volontaires sous contrôle du système nerveux dit autonome ou végétatif
- le **tissu musculaire myocardique** qui permet la contraction non volontaire du muscle strié cardiaque sous contrôle du système nerveux autonome.

1.2. MYOCYTE OU MYOFIBRE : Quel que soit leur tissu d'appartenance, les myocytes, c'est-à-dire les cellules musculaires encore appelées fibres musculaires, possèdent les caractéristiques suivantes :

- **LE CYTOPLASME** des myocytes contient deux types de protéines filamentaires contractiles : l'**actine** et la **myosine**.
- **LA MEMBRANE PLASMIQUE** contient de nombreux récepteurs et transporteurs, notamment des transporteurs du glucose.
- **UNE MEMBRANE BASALE** recouvre les myocytes.
- **PLUSIEURS NOYAUX :** la myocyte est une cellule polynucléaire.

2. STRUCTURE ET FONCTIONNEMENT DE LA PLAQUE MOTRICE :

2.1. STRUCTURE DE LA PLAQUE MOTRICE :

2.1.a. INNERVATION MOTRICE :

Chaque cellule musculaire est innervée par une fibre nerveuse motrice issue d'un **motoneurone alpha**. Le corps cellulaire de chaque motoneurone alpha est localisé dans la corne antérieure de la moelle épinière et envoie un axone dont **chacune des terminaisons** fait synapse au niveau d'une jonction neuromusculaire, encore appelée **plaque motrice**. Chaque motoneurone commande ainsi plusieurs fibres musculaires à travers l'arborisation axonale terminale. L'ensemble des fibres musculaires sous contrôle d'un motoneurone constitue une **unité motrice**.

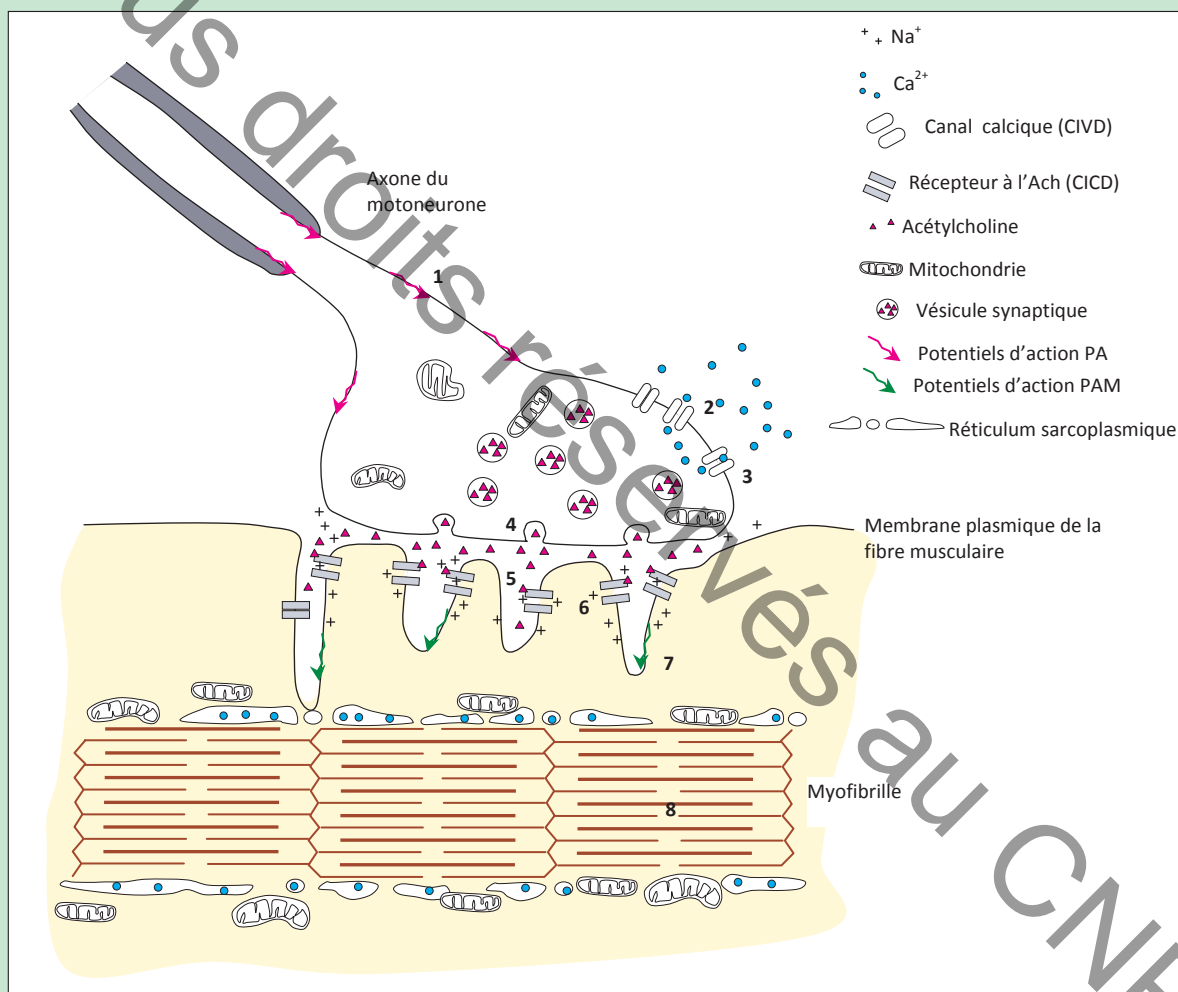
2.1. b. VÉSICULES DE NEUROTRANSMETTEURS :

Le neurotransmetteur des jonctions neuromusculaires est l'**acétylcholine** et les récepteurs de l'acétylcholine sont localisés sur la membrane plasmique des fibres musculaires.

2.2. TRANSMISSION SYNAPTIQUE :

Lors de l'arrivée d'un message nerveux de nature électrique au niveau du neurone présynaptique, la transmission de l'information est assurée par les molécules de neurotransmetteurs qui sont déversées par **exocytose** dans l'espace synaptique. L'association des molécules de neurotransmetteurs et des récepteurs spécifiques de la membrane de la fibre musculaire permet, si la quantité de neurotransmetteurs est suffisante, l'apparition d'un **potentiel d'action musculaire (PAM)** au niveau de la cellule musculaire. L'inactivation rapide grâce à une enzyme du neurotransmetteur ; l'**acétylcholine estérase** ; dans l'espace synaptique interrompt la transmission par hydrolyse de l'acétylcholine. La choline est ainsi recapturée par la terminaison présynaptique et peut servir à la synthèse de nouvelles molécules d'acétylcholine.

Les molécules d'acétylcholine, constituent par conséquent, un **message chimique** assurant la transmission du message nerveux d'un neurone à une cellule musculaire.



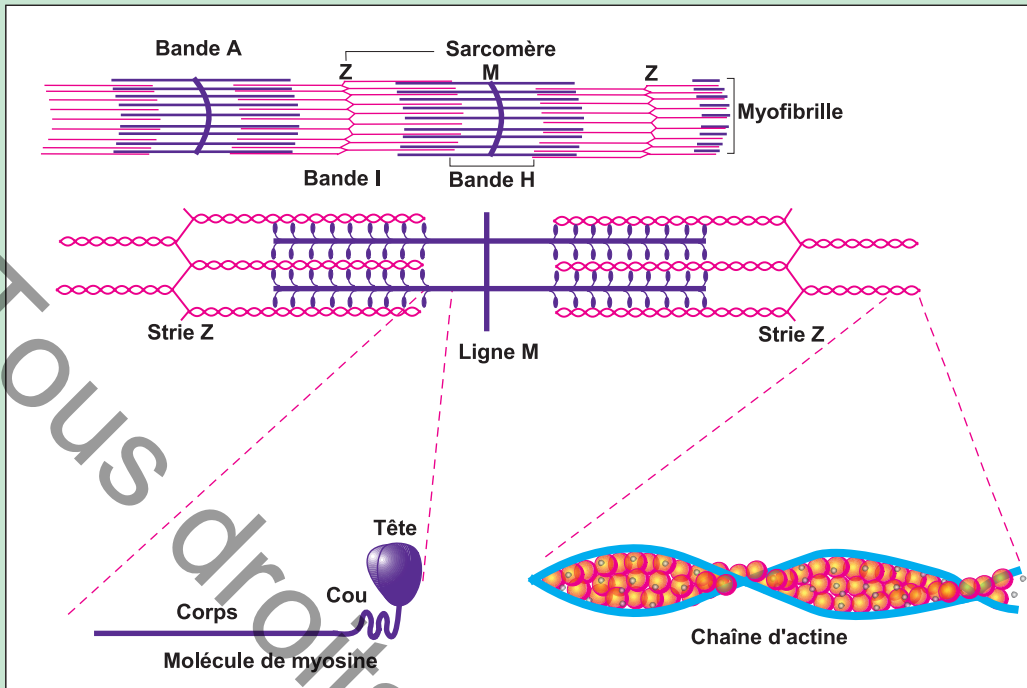
(Activité 1 et 2)

3. ULTRASTRUCTURE D'UNE MYOFIBRILLE:

En coupe longitudinale après coloration standard, l'observation microscopique montre une alternance de bandes sombres et de bandes claires.

La **bande sombre** est nommée **disque A** car elle est **anisotrope** en microscopie à contraste de phase c'est-à-dire d'aspect non homogène. La **bande claire** est nommée **bande I** car elle est **isotrope** c'est-à-dire homogène. Chaque bande claire est

traversée d'une ligne transversale qu'on nomme **strie Z**. L'élément répétitif délimité par deux stries Z est le **sarcomère**.



Le sarcomère contient deux types de filaments protéiques : l'un épais, la **myosine**, et l'autre fin, l'**actine**. La bande A contient à la fois des filaments épais et des filaments fins. La bande claire ne contient que des filaments fins. La ligne M, située au centre de la bande A, correspond à l'endroit où s'attachent les filaments de myosine.

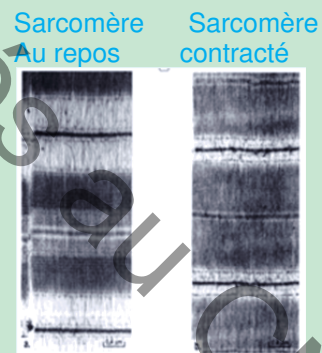
(Activité 3)

4. MÉCANISME DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE:

4. 1. MÉCANIQUE DE LA CONTRACTION

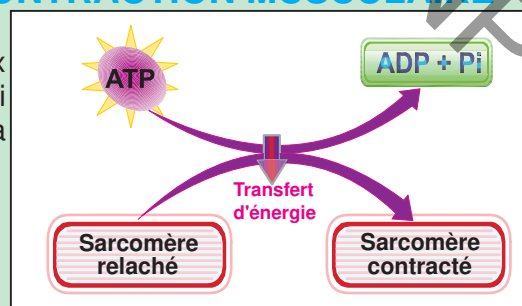
La comparaison entre un sarcomère contracté et un sarcomère au repos, montre que la contraction se traduit par un raccourcissement des sarcomères, une réduction de la longueur des bandes claires et une constance des bandes sombres. Ceci prouve qu'il y a, au cours de la contraction, un glissement des myofilaments d'actine par rapport aux myofilaments de myosine.

Donc le **sarcomère** est l'**unité contractile du muscle**, donc le **sarcomère** est l'**unité fonctionnelle du muscle**.



4. 2. RÔLE DE L'ATP DURANT LA CONTRACTION MUSCULAIRE

L'hydrolyse de l'ATP fournit l'énergie nécessaire aux glissements de protéines les unes sur les autres qui constituent le mécanisme moléculaire à la base de la contraction musculaire.



Hydrolyse de l'ATP :

L'hydrolyse de l'ATP est catalysée par la myosine, selon la réaction:



Une partie de l'énergie de cette réaction est transformée en énergie mécanique sous forme de contraction, l'autre partie est dissipée sous forme de **chaleur initiale**.

(Activité 4)

4. 3. LA RÉGÉNÉRATION DE L'ATP :

Après utilisation, l'ATP présent dans les cellules, peut être régénéré selon deux voies :

4. 3. a. LES VOIES RAPIDES DE RÉGÉNÉRATION DE L'ATP :

▶ Par transfert d'un groupement phosphate d'une molécule d'ADP sur une autre en présence d'une enzyme la myokinase :



▶ Par la dégradation de la phosphocréatine PC (ou créatine phosphate) présente dans le muscle et permettant le fonctionnement musculaire pendant quelques secondes (épuisement très rapide de cette "réserve" disponible immédiatement)



PC= phosphocréatine

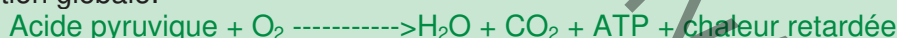
C = créatine

4. 3. b. LES VOIES DE RÉGÉNÉRATION LENTE DE L'ATP :

La dégradation du glucose ou glycolyse fournit de l'ATP et de l'acide pyruvique.



▶ En présence d'une **quantité suffisante de dioxygène**, l'acide pyruvique subit **les oxydations respiratoires** dans les mitochondries. Cette dégradation complète du glucose, assurée par la respiration, produit une quantité importante d'ATP avec libération de CO₂, d'eau et de chaleur (chaleur retardée) : c'est la respiration cellulaire qui se déroule selon la réaction globale:



▶ **En déficit de dioxygène**, l'ATP provenant de la respiration devient insuffisant et il est complété par l'ATP provenant **de la fermentation lactique** (l'acide pyruvique est réduit en acide lactique).



L'accumulation de l'acide lactique gêne la contraction. On dit que le muscle se fatigue.

4. 3. c. CONCLUSION :

Voies	Avantages	Inconvénients
Voie de la phosphocréatine	ATP instantanément disponible permet un effort immédiat	Stock très faible, intervention limitée aux premières dizaines de seconde d'un effort physique
Fermentation lactique	ATP produit rapidement et ne nécessite pas d'O ₂	Rendement faible (consommation très importante des réserves de glycogène), production d'acide lactique à l'origine d'une fatigue musculaire.
Respiration	Rendement élevé, production importante et durable d'ATP, pas de production d'acide lactique	Nécessite un temps d'adaptation des systèmes cardiaques et respiratoires Production d'ATP limitée par le volume d'O ₂ maximal.

(Activité 5 et 6)

4. 4. LA CONVERSION DE L'ÉNERGIE CHIMIQUE EN ÉNERGIE MÉCANIQUE :

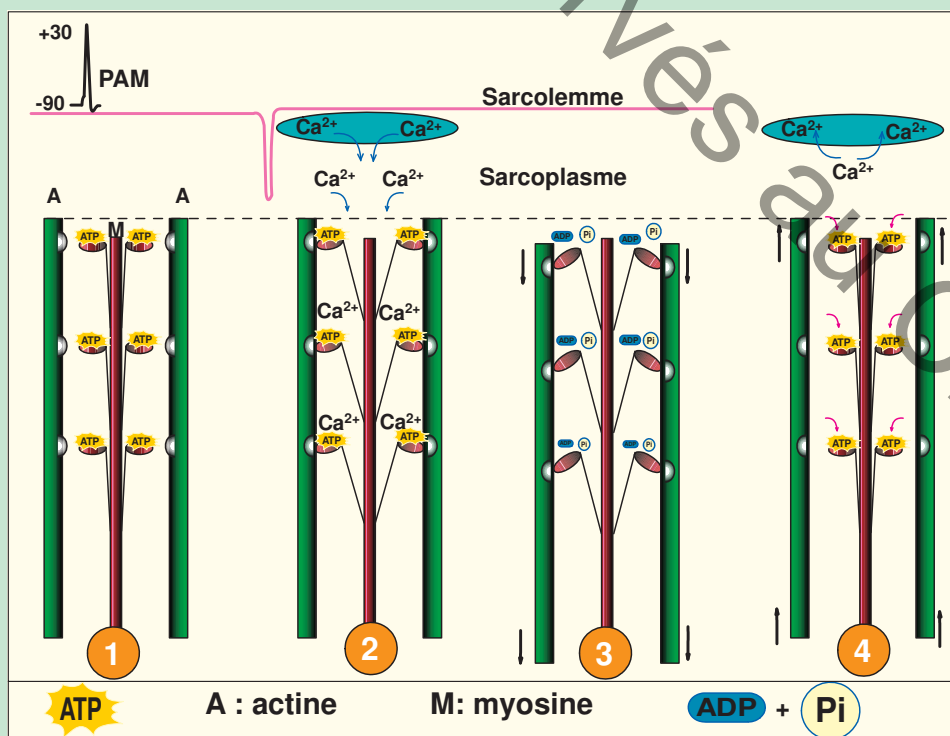
4. 4. a. MOUVEMENT RELATIF DES FILAMENTS D'ACTINE ET DE MYOSINE

La contraction musculaire correspond à un raccourcissement des sarcomères dû au glissement relatif des filaments d'actine et de myosine : les deux disques striés délimitant un sarcomère se rapprochent l'un de l'autre. Ce phénomène se produisant simultanément pour tous les sarcomères de la cellule, il en résulte un raccourcissement global de la cellule musculaire selon l'axe longitudinal.

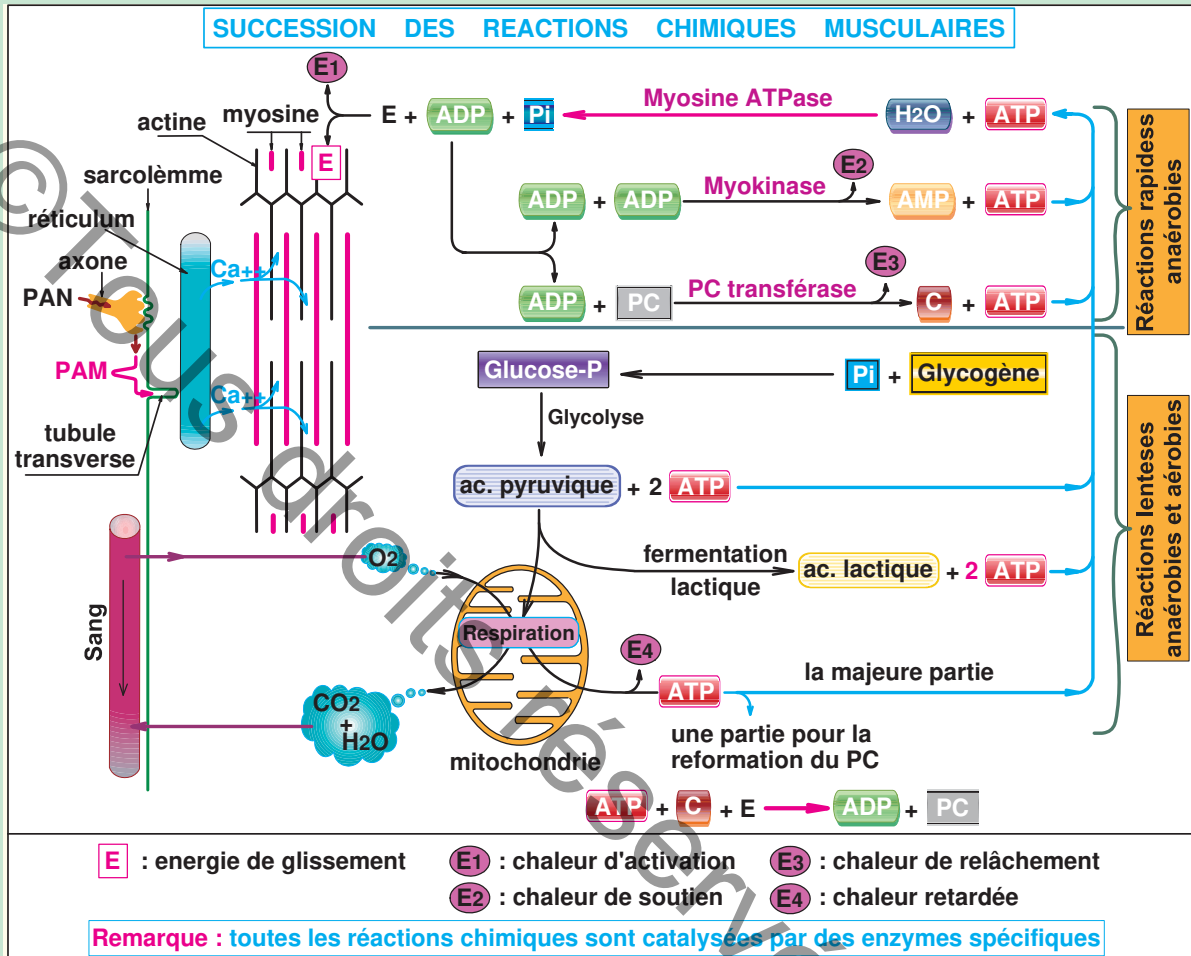
4. 4. b. LE CYCLE ATPasique DE L'ACTOMYOSINE

- 1- Au repos, la myosine est couplée d'ATP. Les sites de fixation de la myosine sur l'actine sont masqués.
- 2- La transmission d'un PA donne naissance au niveau de la fibre musculaire un PA musculaire qui se propage le long du sarcolemme et des replis. Le potentiel d'action musculaire s'enfonce dans la partie corticale du sarcoplasme grâce aux tubules transverses. La dépolarisation de la membrane du réticulum sarcoplasmique déclenche la libération d'ions Ca^{2+} dans le sarcoplasme. Ces ions permettent la fixation du complexe ATP-myosine sur l'actine. Cette fixation active la propriété ATPasique de la myosine.
- 3- L'hydrolyse de l'ATP se produit et une partie de l'énergie libérée provoque le pivotement des têtes des molécules de myosine ce qui entraîne le glissement des filaments d'actine.
- 4- La liaison d'une molécule d'ATP sur la tête de myosine entraîne la dissociation de la liaison actine-myosine. Suite à la repolarisation, le Ca^{2+} est de nouveau accumulé dans le réticulum par transport actif et le muscle revient à son état initial. Ce retour est un phénomène passif (relâchement).

L'augmentation de la concentration en calcium intracellulaire ne dure que quelques millisecondes. On estime que le temps nécessaire pour ramener le taux de calcium intracellulaire à sa valeur de repos est de l'ordre de 30 ms



5. SYNTHÈSE :

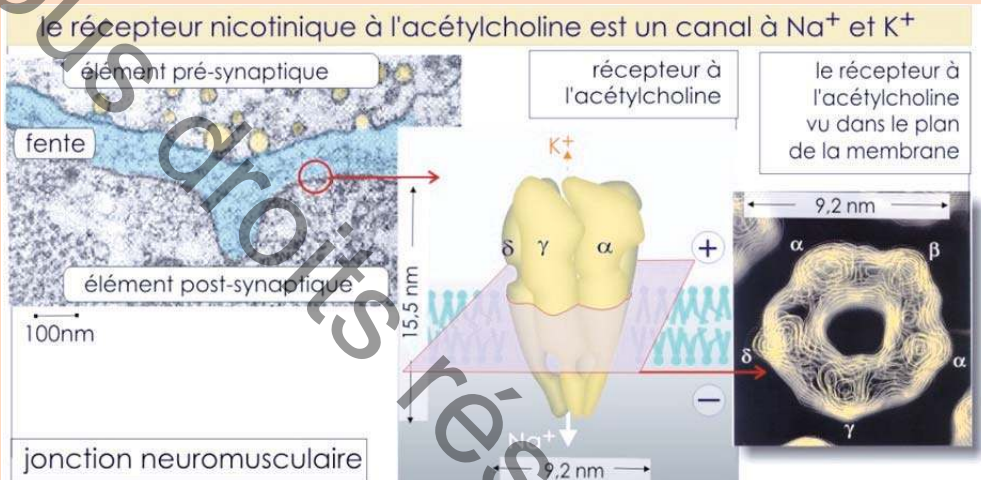


Activité 7



POUR EN SAVOIR PLUS :

- La grandeur d'une unité motrice est variable, elle est fonction de la qualité du mouvement provoqué : Quelques fibres musculaires pour des mouvements précis (muscles oculomoteurs 5 à 10 fibres par unité motrice) Plusieurs centaines de fibres pour des mouvements peu précis mais puissants (quadriceps 1600 à 2000 fibres par unité motrice...).
- Les récepteurs de l'acétylcholine (neurotransmetteur) se trouvent dans la membrane postsynaptique de neurones (dans le système nerveux central et dans les ganglions végétatifs) ou de cellules musculaires (muscles striés au niveau de la jonction neuromusculaire): ce sont des canaux qui laissent passer Na^+ et K^+ . En absence d'acétylcholine ces canaux sont fermés (état de repos).



Le canal est un pentamère, constitué de deux sous-unités α et de trois sous-unités α , β . Chaque sous-unité est une protéine membranaire qui traverse la membrane quatre fois par une hélice α . L'ensemble forme un pore.

- l'acétylcholine se fixe sur la partie extra-cellulaire des deux sous unités alpha.
- la densité des récepteurs d'acétylcholine est de 10 000 R-ACh / μm^2 .

Le cycle de Krebs

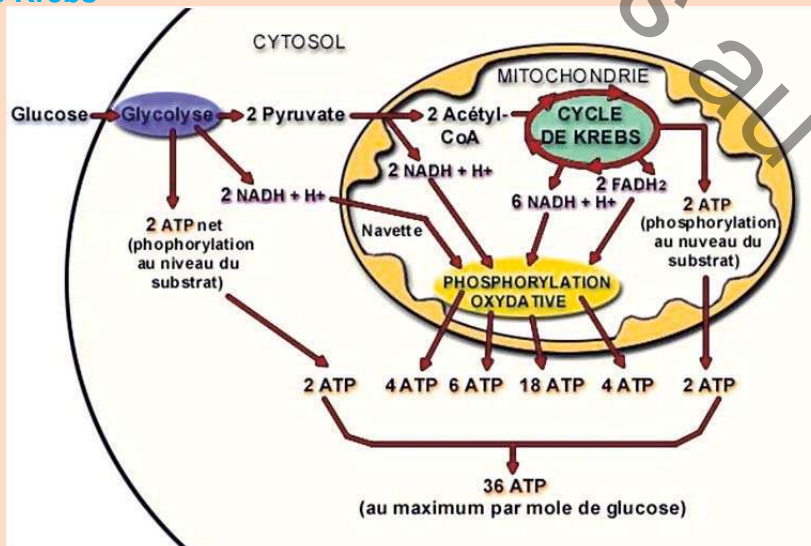


Schéma bilan du métabolisme de la respiration cellulaire

En savoir plus sur <http://lepourmondelaplanete.e-monsite.com/pages/nuances/page-3.html#5KoDkbpzGmiRAPTC.99>

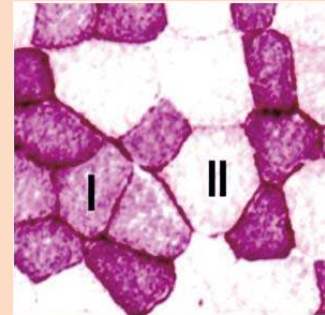


POUR EN SAVOIR PLUS :

Les différents types de fibres musculaires

Les muscles sont des organes hétérogènes qui possèdent de grandes capacités d'adaptation. Ils sont formés de fibres musculaires de plusieurs types que l'on classe en fonction de deux caractéristiques principales : leur **vitesse maximale de contraction**, c'est-à-dire la vitesse à laquelle les têtes de myosine se détachent de l'actine, et leur **métabolisme préférentiel** utilisé pour resynthétiser les molécules d'ATP.

Chez l'homme, la classification la plus simple et la plus utilisée est celle proposée par Engel (1962) qui se base sur la coloration de l'ATPase myofibrillaire. En raison de la valeur basique de leur pH, les fibres de type I apparaissent claires, alors que les fibres de type II apparaissent foncée du fait de leur pH acide.



1) Les fibres lentes ou fibres rouges ou de type I

Ces cellules sont rouges car elles sont gorgées de sang. En effet, seul le sang est capable d'amener un maximum d'oxygène à ces fibres qui en ont grandement besoin. Elles sont fines et interviennent dans des exercices longs comme lorsque vous faites un jogging ou quand vous vous promenez en vélo.

Elles sont très fournies en mitochondries qui sont les usines de fabrication d'énergie par le biais de l'oxygène. Peu de nerfs les entourent car elles n'ont pas besoin de se contracter rapidement. Par contre, elles ont une forte capacité de résistance à l'effort.

→ Ces fibres sont de faible puissance mais de forte endurance. Elles sont adaptées aux efforts aérobies et sollicitent le système cardio-vasculaire.

2) Les fibres rapides ou fibres blanches ou de type II

Elles ont un grand diamètre de section et une faible densité capillaire (couleur blanche pour les plus rapides ou rose). Elles ont des capacités de contractions rapides et interviennent dans des mouvements brusques comme lorsque vous faites un saut ou quand vous soulevez une charge. Elles sont riches en réserves énergétiques : le glycogène. L'innervation (quantité de nerfs) de ces fibres est très importante. Elles ont une résistance faible à l'effort et ne sont pas capables de se contracter longtemps.

→ Ces fibres sont de forte puissance mais de faible endurance. Elles sont adaptées aux efforts anaérobies.

3) Effets de l'entraînement

Pour chaque muscle, il existe des proportions différentes des deux types de fibres. L'entraînement consiste essentiellement à développer les fibres dans les justes proportions.

Selon le besoin de vitesse, d'endurance ou de force, l'adaptation à l'effort modifie la quantité et la qualité des fibres (la qualité est généralement plus importante que la quantité). L'entraînement peut modifier cette répartition de manière à avoir plus de fibres lentes ou plus de fibres rapides.

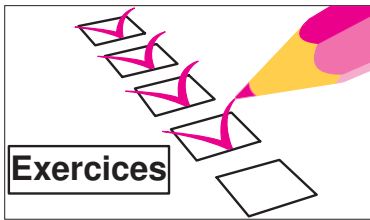
Ainsi, si vous vous entraînez pour un marathon, une partie de vos fibres rapides vont se transformer en fibres lentes pour permettre un effort long.

A l'inverse, si vous faites un entraînement de sprinter ou d'haltérophile, une partie des fibres lentes va devenir rapide pour permettre d'aller plus vite et d'être plus fort.

Quelqu'un qui ne fait pas de sport aura tendance à avoir plus de fibres rapides. Vous avez probablement remarqué que lorsque vous commencez une période d'entraînement vous êtes vite fatigué !

Par exemple, pour certains muscles de la jambe, la répartition est de :

- 80% de fibres "rapides" pour 20% de fibres "lentes" chez un coureur de 100 m
- 20% de fibres "rapides" pour 80% de fibres "lentes" chez un coureur de marathon.
- 48% de fibres "rapides" pour 52% de fibres "lentes" chez un adulte sédentaire.



A- RESTITUTION DES CONNAISSANCES

Exercice n° 1 : QCM

Relever, pour les items suivants, une ou deux réponse(s) correcte(s).

1) La fibre musculaire striée :

- a- est pauvre en myofibrilles.
- b- est riches en myofibrilles.
- c- présente un seul noyau.
- d- présente plusieurs noyaux.

2) L'unité fonctionnelle d'un muscle squelettique est :

- a- la myofibrille.
- b- la fibre musculaire.
- c- le sarcomère.
- d- l'ensemble d'un disque clair et d'un disque sombre.

3) Le neurotransmetteur libéré au niveau d'une plaque motrice est :

- a- l'adrénaline.
- b- l'acétylcholine.
- c- la noradrénaline.
- d- l'angiotensine.

4) L'acide lactique produit dans la fibre musculaire :

- a- provient d'une réaction aérobie.
- b- est le signe d'un travail modéré.
- c- témoigne d'une insuffisance de dioxygène.
- d- témoigne d'une grande consommation de glucose.

5) Une unité motrice peut contenir plusieurs :

- a- fibres musculaires.
- b- motoneurones.
- c- plaques motrices.
- d- fibres nerveuses.

6) Dans le cas du muscle squelettique, le potentiel de plaque motrice :

- a- est graduable.
- b- fait intervenir des canaux voltage dépendants.
- c- est une dépolarisation de la membrane post synaptique.
- d- peut être crée par différentes natures de neurotransmetteurs.

7) La chaleur initiale est libérée :

- a- pendant la phase de latence.
- b- après la phase de relâchement du muscle
- c- pendant la phase de contraction du muscle.
- d- pendant la phase de relâchement du muscle.

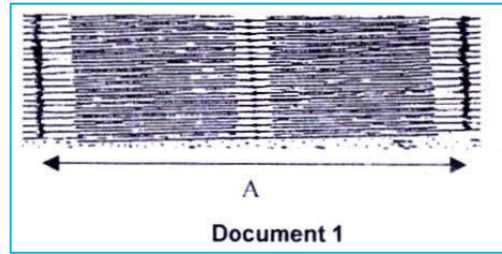
8) La chaleur retardée :

- a- est plus élevé que la chaleur initiale.
- b- est moins élevé que la chaleur initiale.
- c- nécessite une consommation de dioxygène.
- d- provient de la régénération rapide de l'ATP.

B- MOBILISATION DES CONNAISSANCES

Exercice n° 2 :

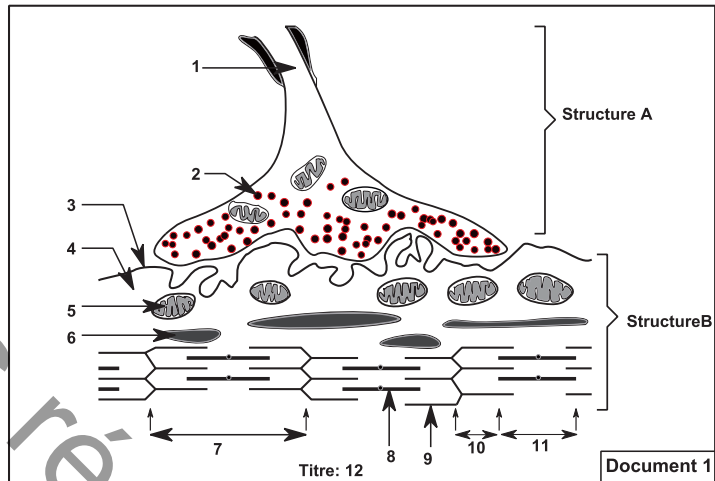
Le document 1 représente l'électronographie de l'unité fonctionnelle (A) du muscle squelettique en état de contraction.



1. Nommer cette unité fonctionnelle du muscle.
2. Faire un schéma d'interprétation de l'unité A.
3. Comparer l'unité A à l'état de repos, par rapport à son état de contraction.
4. Exploiter le document 1 et vos connaissances pour expliquer les phénomènes énergétiques et mécaniques qui se produisent au cours de la contraction musculaire. Illustrer votre réponse par des schémas.

Exercice n° 3 :

Le document 2 représente une vue partielle schématique de deux structures en contact et intervenant dans la contraction musculaire.



1. Identifier ces deux structures et annoter ce document.
2. La naissance d'une dépolarisation au niveau de la membrane n°3 provoque l'augmentation de la concentration des ions Ca^{2+} dans la zone n°4 ce qui conduit à la contraction de l'élément n°7
 - exposer schéma à l'appui, l'effet des ions Ca^{2+} sur la contraction et la relaxation de l'élément n°7.
3. En absence de dioxygène, l'activation de l'élément 5 est bloquée, ce qui empêche la contraction **prolongée** de l'élément 7.
 - Expliquer l'importance du dioxygène et de l'élément 5 dans l'activité de l'élément 7.

Exercice n° 4 :

On s'intéresse à l'étude de quelques aspects de l'activité musculaire. Pour cela, on réalise les séries d'expériences suivantes :

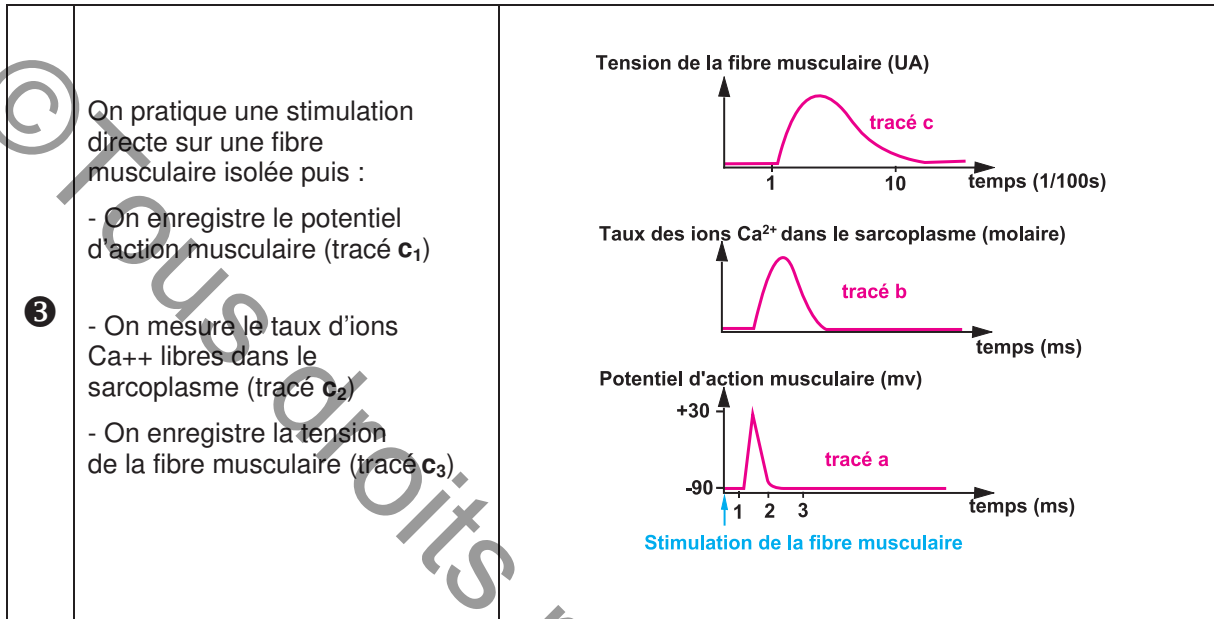
1^{ère} série d'expériences

Expériences		Résultats
1	on cultive des fibres musculaires dans un milieu contenant des ions Ca^{++} radioactifs. Par autoradiographie, on poursuit la radioactivité dans le sarcoplasme et dans le réticulum endoplasmique.	- présence de radioactivité dans le réticulum endoplasmique quand le sarcomère est au repos. - présence de radioactivité dans le sarcoplasme quand le sarcomère est contracté.
2	a) Myofilaments d'actine + myofilaments de myosine + ions Ca^{++}	Pas d'interaction entre les deux types de myofilaments.
	b) Myofilaments d'actine + myofilaments de myosine + ions Ca^{++} + ATP.	- Interaction entre les deux types de myofilaments. - Diminution de la teneur en ATP

- 1) Analyser les résultats des expériences 1 et 2 afin de déduire deux conditions nécessaires pour qu'il y a contraction de sarcomère.

2^{ème} série d'expérience :

- On pratique une stimulation directe sur une fibre musculaire isolée puis :
- On enregistre le potentiel d'action musculaire (tracé **c₁**)
 - On mesure le taux d'ions Ca^{2+} libres dans le sarcoplasme (tracé **c₂**)
 - On enregistre la tension de la fibre musculaire (tracé **c₃**)



- 2) A partir de l'exploitation des résultats de l'expérience 3 et de vos connaissances, préciser la succession des événements qui se déroulent dans la fibre musculaire suite à sa stimulation.
- 3) En exploitant les données précédentes et vos connaissances, expliquer le mécanisme d'interaction entre les myofilaments d'actine et de myosine aboutissant au passage du sarcomère de l'état de repos et à l'état contracté.

3^{ème} série d'expériences :

Trois expériences A, B et C sont réalisées, sur des muscles de grenouille. A chaque expérience, le muscle est soumis à des stimulations électriques intenses, à une fréquence élevée, ce qui provoque sa contraction.

La durée des excitations est la même d'une expérience à l'autre.

A= muscle n'ayant subi aucun traitement.

B= muscle traité par une substance bloquant la glycolyse.

C= muscle traité de façon à bloquer l'utilisation de la glycolyse et de la phosphocréatine.

Constituants musculaires		Avant la contraction	Exp. A	Exp. B	Exp. C
			Après la contraction		
g/kg de muscle frais	Glycogène	1,08	0,8	1,08	1,08
	Acide lactique	1	1,3	1	1
mmole/kg	ATP	4 à 6	4 à 6	4 à 6	0
	Phosphocréatine	15 à 17	15 à 17	3 à 4	15 17

- 4) En analysant les données de ce tableau, dégager les voies métaboliques de la régénération de l'ATP utilisé par le muscle en activité.

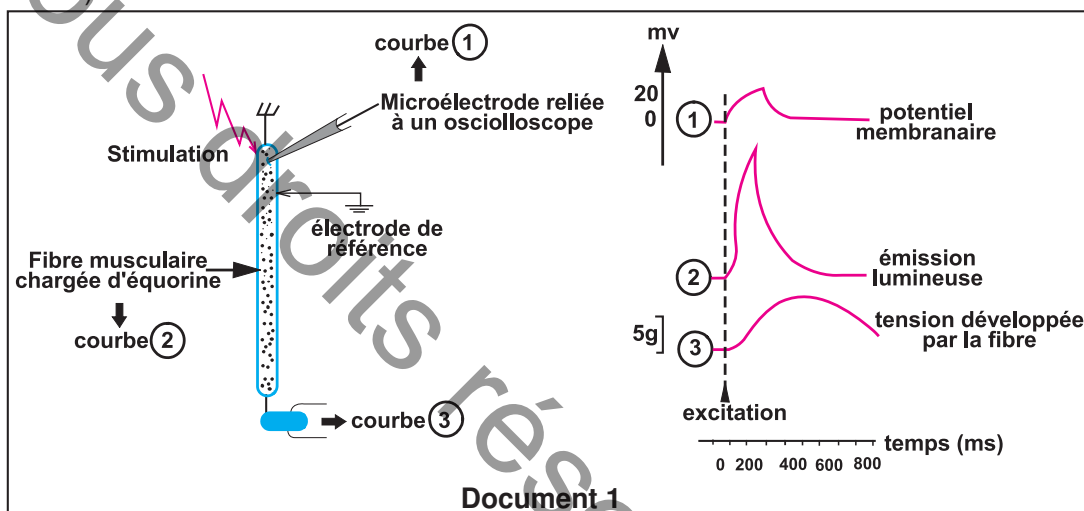
Exercice n° 5:

On se propose d'étudier le rôle des ions Ca^{2+} dans la contraction musculaire. Pour cela, on réalise les expériences suivantes :

Première expérience

L'équorine est une protéine (extraite de certaines Méduses) qui devient luminescente quand elle a fixé deux ions Ca^{2+} par molécule : l'émission de lumière est donc proportionnelle à la concentration des ions Ca^{2+} du milieu.

Après avoir injecté de l'équorine dans le sarcoplasme d'une fibre musculaire géante de balane (un crustacé), on étudie l'effet d'une excitation électrique grâce à un dispositif expérimental approprié qui permet d'enregistrer simultanément le potentiel de membrane, l'émission lumineuse et la tension mécanique développée par la fibre musculaire (document 1).



Expliquer la relation qui existe entre les tracés 1, 2 et 3 du document 1.

Deuxième expérience

Après avoir injecté au préalable du ^{45}Ca (radioactif) dans les fibres musculaires, on fixe ces fibres en phase de relâchement et en phase de contraction. On constate, par autoradiographie, que la radioactivité est située essentiellement dans les cavités du réticulum endoplasmique (concentration environ mille fois supérieure à celle du cytoplasme) lors de la phase de relâchement, et massivement dans tout le sarcoplasme lors de la phase de contraction.

- 1) Analyser les résultats de la 2^{ème} expérience en vue de préciser la localisation des ions Ca^{2+} dans la fibre musculaire.
- 3) Prévoir l'allure des trois courbes du document si on stimule une fibre musculaire décalcifiée avec une stimulation identique à celle de la première expérience.



chapitre 5

La régulation de la pression artérielle

Problème

Lors d'un effort physique, notre organisme est capable de s'adapter en modifiant les paramètres respiratoires et cardiaques. Ces derniers sont donc régulés pour notamment permettre d'optimiser le débit sanguin au niveau des organes sollicités par le travail musculaire. À la fin de cet effort, la fréquence et le débit cardiaque diminuent progressivement pour revenir à des valeurs de repos.

D'après une étude menée sur la population tunisienne en 2005, l'hypertension artérielle est présente dans la population avec une prévalence de 43.45% alors qu'elle était de 38.4% en 1997. Si les gens ne modifient pas leur **mode de vie**, la situation va s'aggraver encore et on estime qu'en 2025, la prévalence sautera à 60 %.



Problème scientifique :

Comment s'effectue la régulation de la pression artérielle ?

Ce problème mène à se demander sur :

- la notion de pression artérielle et les paramètres qui conditionnent sa variation.
- les mécanismes régulateurs de la pression artérielle.
- les moyens de préservation de l'intégrité du système cardiovasculaire.

Objectifs

Objectifs visés :

- **Définir** la pression artérielle et **indiquer** les paramètres dont dépend cette variable.
- **Identifier** l'innervation cardio-vasculaire.
- **Expliquer** les mécanismes de la régulation de la pression artérielle.
- **Adopter** les règles d'hygiène en vue de **préserver** le système cardiovasculaire



Le potentiel d'action (PA), la transmission synaptique, enzyme, synapse,

Vérification – consolidation des pré-requis

I - Pour chacun des items suivants, mettre une (X) devant la (ou les) réponse(s) correcte(s).

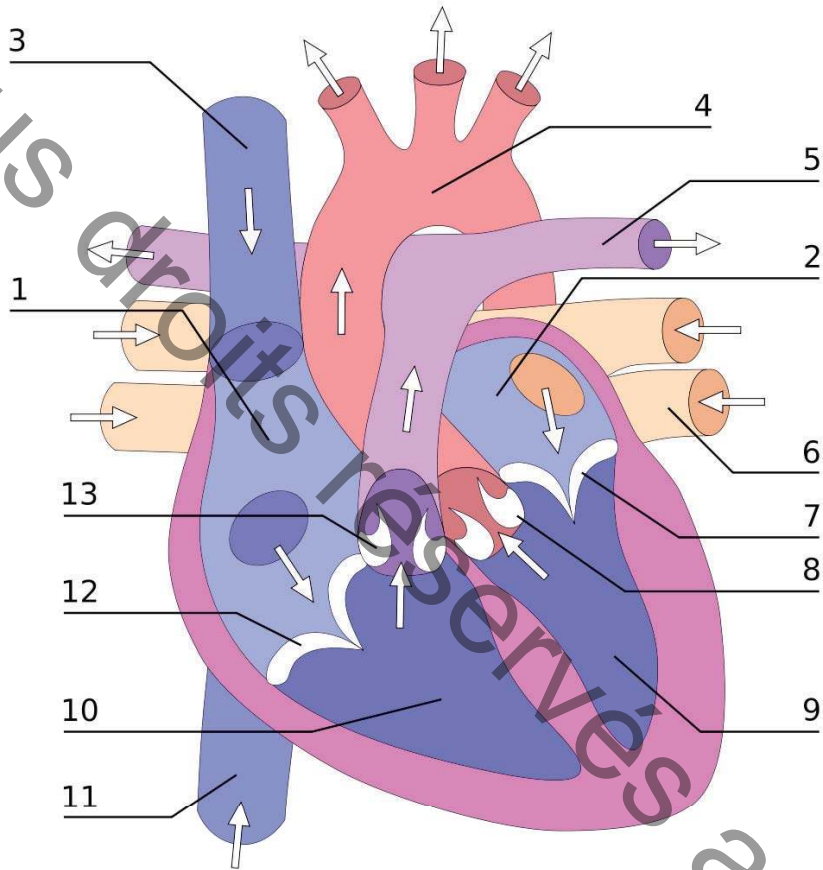
1- La grande circulation est celle qui s'établit entre :		
a-	les veines et les artères du corps humain.	
b-	l'artère aorte et les deux artères pulmonaires.	
c-	les vaisseaux sanguins reliant les organes au cœur.	
d-	les vaisseaux sanguins reliant le cœur aux poumons.	
2- L'arythmie cardiaque :		
a-	est une diminution de bradycardie.	
b-	est une élévation du rythme cardiaque	
c-	peut engendrer un accident vasculaire cérébral.	
d-	est une perturbation de la fréquence des battements cardiaque.	
3- L'hypertension artérielle :		
a-	provoque des vertiges	
b-	provoque des complications rénales.	
c-	est une baisse de la pression sanguine dans les vaisseaux.	
d-	est une élévation de la pression sanguine dans les vaisseaux.	
4- La pression artérielle systolique (PaS) est:		
a-	de 9 cm Hg pour un adulte normal.	
b-	de 12 cm Hg pour un adulte normal.	
c-	la pression dans les artères pendant le relâchement du ventricule.	
d-	la pression dans les artères au moment de la contraction du ventricule.	
5 - Une artère :		
a-	ramène le sang des organes au cœur.	
b-	transporte le sang du cœur aux organes.	
c-	assure la liaison entre veinules et capillaires.	
d-	est caractérisé par des parois épaisses et élastiques.	
6- Le message nerveux sensitif :		
a-	est codé en modulation d'amplitude.	
b-	est transporté par une fibre motrice.	
c-	est codé en modulation de fréquence.	
d-	prend naissance au niveau d'un récepteur sensoriel.	
6- Une hormone :		
a-	est transportée par le sang.	
b-	est sécrétée par une cellule exocrine.	
c-	est sécrétée par une cellule endocrine.	
d-	agit sur toutes les cellules de l'organisme.	

II. Le cœur est en fait un muscle (muscle cardiaque) qui a à peu près la taille du poing d'un adulte. Il est situé entre les deux poumons, derrière le sternum.

Légender le document a ci-dessous en utilisant les termes suivants :

Oreillette droite - Aorte - Veine pulmonaire - Ventricule droit - Valvule auriculo-ventriculaire
 Valvule artérielle - Oreillette gauche - Veine cave supérieure - Artère pulmonaire - Veine
 pulmonaire - Valvule auriculo-ventriculaire - Valvule artérielle - Ventricule gauche - Veine
 cave inférieure - Valvule auriculo-ventriculaire.

Pré-requis



Titre :

L'histoire de la mesure de la pression artérielle :

Parmi ceux qui ont écrit une page dans l'histoire de la Pression artérielle, on peut citer, William Harvey, qui fit de nombreuses découvertes au sujet de la pression artérielle. On lui attribue en outre la découverte de ce circuit fermé passant par de multiples organes tout en revenant continuellement au cœur.

L'expérience du garrot :

La compression du bras par un garrot peu serré en A fait ressortir les veines de l'avant-bras entraînant le gonflement des valvules B, C et D au niveau de l'avant-bras, comme exprimé sur la figure 1 :



Figure 1

La pression du doigt sur la veine dilatée en H, force le sang à évacuer la veine entre le point où l'on appuie (H) et la valvule (C), suivante située en direction du cœur :



Figure 2

Grâce à ceci on pourra ainsi observer le flux du sang dans les veines du bras au fur et à mesure que l'on desserre le garrot. Ce qui manque à la théorie de Harvey pour que celle-ci soit complète, c'est d'expliquer la circulation du sang dans son ensemble, c'est en vérité la notion de capillaires, les plus fins et plus petits vaisseaux sanguins, invisibles à l'œil nu. Mais à cette époque nous en sommes justes au tout début de la microscopie. Il n'y a donc pas encore la capacité de le déterminer, et c'est pourtant bien, les capillaires qui sont responsables des échanges avec les tissus. « Quel est l'intérêt pour le sang qui tourne en rond de passer par les poumons ? Et d'où provient la chaleur du sang ? ». Ce bouleversement théorique oblige à une reconstruction de tout un système physiologique. Dans l'artère crurale (situé au niveau de la cuisse) 8 cm en dessous du pli de l'aîne, le sang monta dans ce tube jusqu'à atteindre une hauteur de 9 pieds, et 6 pouces, soit une hauteur d'environ 2.9 mètres,

Etienne Hales fut par la suite des expériences de la même sorte sur d'autres animaux, pour exemple, le mouton, où le sang monta à une hauteur de 6pieds et 5 pouces soit 1.9m. Il en conclut que ces chiffres indique la « force du sang », mesuré pour la première fois, c'était donc en 1733.

La première expérience sur la pression artérielle, ça commencé dans la campagne anglaise au début du XVIIIe siècle sur des animaux vivants.

Etienne Hales fit une incision longitudinale sur l'artère d'une jument vivante d'environ 14 ans, couchée au sol et attachée de façon à ce qu'elle ne soit, ni effrayée, ni agitée, son cœur battant à environ 36 fois par minute, elle n'était ni maigre, ni robuste (Figure 3). On y introduisit un tube de cuivre recourbé suivit d'un tube de verre d'une hauteur d'environ 3m pour une largeur d'approximativement de 1.2 cm.



Figure 3 : La première expérience sur la pression artérielle

A) REGULATION NERVEUSE DE LA PRESSION ARTERIELLE

Observation :

Lors d'un effort physique, la fréquence cardiaque et le volume d'éjection systolique augmentent. À la fin de cet effort, la fréquence cardiaque diminue progressivement pour revenir à une valeur de repos.

Problème : Comment la fréquence cardiaque est-elle contrôlée ?

1. MESURE DE LA PRESSION ARTERIELLE

Activité 1 : Mesurer la tension artérielle

1.1. Utilisation d'un tensiomètre

La mesure de la tension artérielle est une étape incontournable dans toute consultation médicale.

Au cabinet médical, lorsque le médecin prend la tension, ce n'est pas une valeur qu'il indique à son patient mais deux!



Document 1

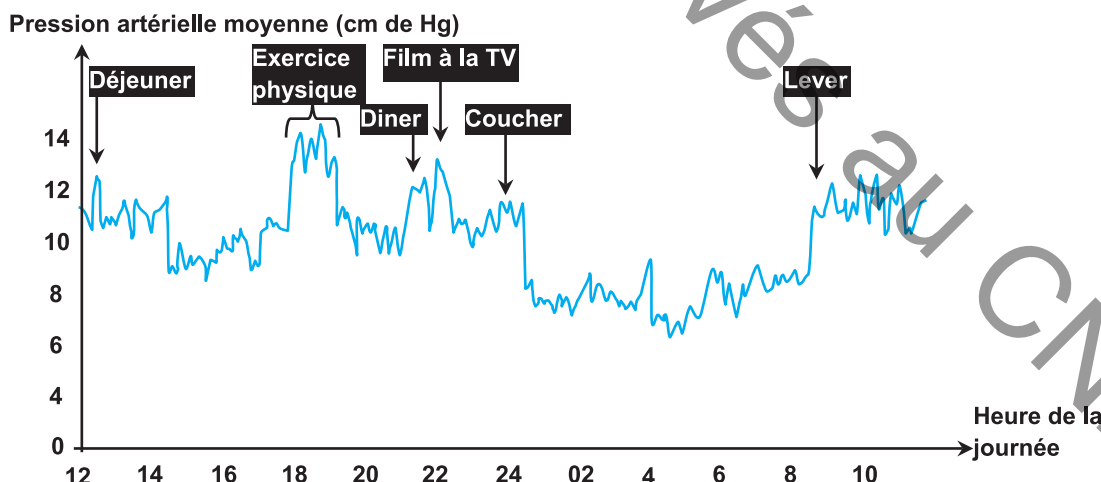


- 1- Expliquer le principe de fonctionnement du tensiomètre
- 2- Donner la signification des deux chiffres annoncés par le médecin

1.2. La pression artérielle est un paramètre régulé

Activité 2 : Mettre en évidence la présence de mécanismes régulateurs de la pression artérielle.

On suit l'évolution de la pression artérielle chez une personne âgée de 35 ans au cours d'une journée. Le document 2 représente les résultats obtenus.



Document 2 : l'évolution de la pression artérielle chez une personne âgée de 35 ans au cours d'une journée.



- 1. Commenter le graphique du document et conclure.
- 2. Reproduire et compléter le tableau ci-dessous.

Causes	causes hypertensives	Causes hypotensives

La pression artérielle subit de nombreuses variations liées à notre activité. Cependant, ces variations sont de courte durée et de faible amplitude et, au final, la pression artérielle oscille entre deux valeurs ; une valeur minimale (8 cm Hg) et une valeur maximale (12 cm Hg).

Cette constance relative de la valeur de la pression artérielle résulte d'un système de contrôle en permanence actif : on dit que la pression artérielle est une constante biologique. Ce système de contrôle ou de régulation permet, dès qu'une cause modifie la pression artérielle, de ramener très rapidement celle-ci à son niveau de référence.

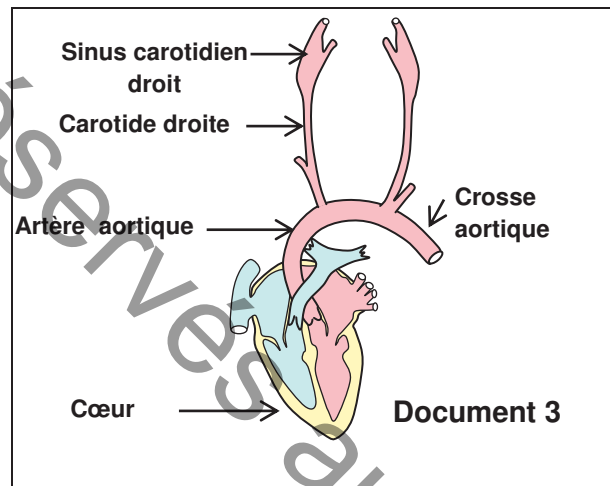


3. Proposer des hypothèses à propos des mécanismes régulateurs de la pression artérielle.

2. LA DETECTION DES VARIATIONS DE PRESSION ARTERIELLE ET LA REPONSE DE L'ORGANISME A CES VARIATIONS

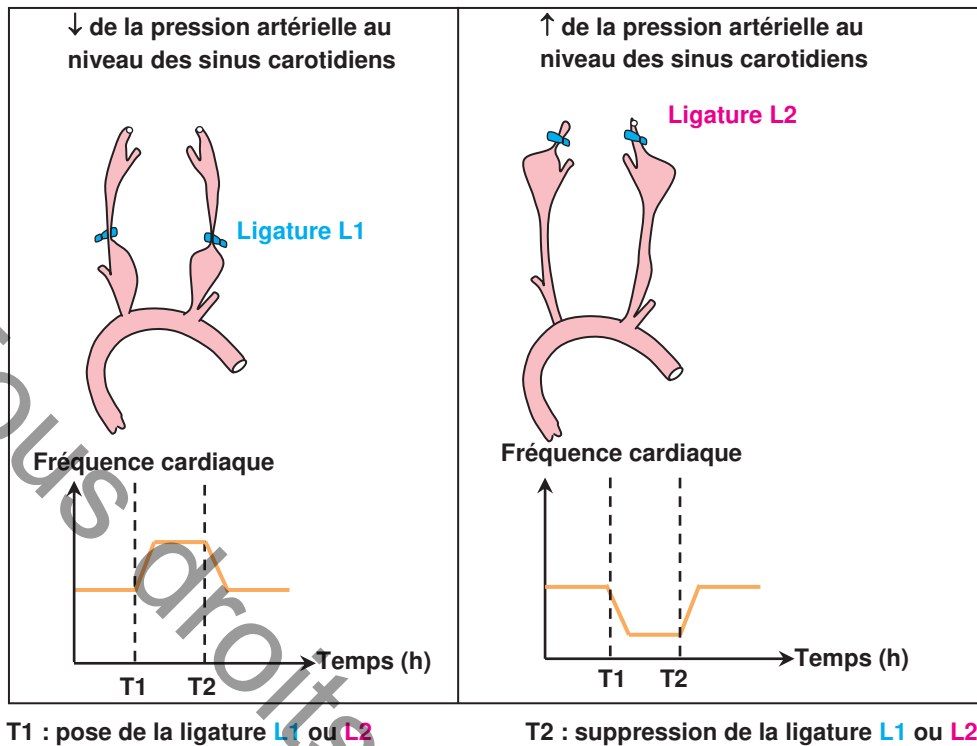
Activité 3 : Expliquer la régulation nerveuse de la pression artérielle

Les carotides sont des ramifications de l'artère aorte qui conduisent le sang vers la tête en passant par le cou. Elles prennent naissance dans la crosse aortique c'est à dire là où l'aorte forme un arc peu après la sortie du cœur et ont chacune (une à gauche et une à droite) un renflement nommé sinus carotidien (voir document 3)



En 1924 Héring, un médecin autrichien, a réalisé des expériences qui lui ont permis de mettre en évidence des capteurs capables de détecter les variations de la pression artérielle au niveau des sinus carotidiens.

« Sur un animal, je pinçais l'artère en amont ou en aval du sinus afin de bloquer l'arrivée du sang dans celui-ci, ce qui provoqua une modification du rythme cardiaque ainsi qu'une variation de la pression générale » comme le montre le document 4



Document 4 : les expériences de Héring



1. Analyser les résultats des expériences de Héring afin de :

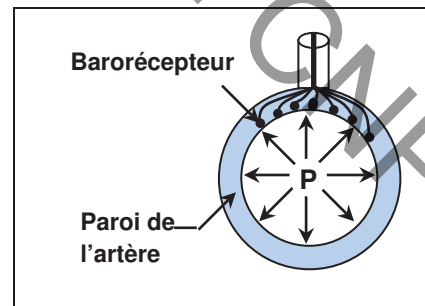
- a. **Déduire** la présence de récepteurs sensible à la variation de la pression dans les sinus carotidiens.
- b. **Montrer** que la modification de la fréquence cardiaque déclenchée dans chaque cas est une réponse adaptée à la cause qui l'a déclenchée.

Les barorécepteurs carotidiens ne sont pas les seuls, il y en a également dans la crosse aortique : ce sont les barorécepteurs aortiques



- 2. **Proposer** une expérience qui permettrait de mettre en évidence l'existence de barorécepteurs aortiques dans la crosse aortique.
- 3. **Montrer** que la localisation des barorécepteurs est stratégique.

Les barorécepteurs sont situés dans la paroi de l'aorte et des sinus carotidiens. Ils ne réagissent pas à la pression elle-même, mais à la distension de la paroi provoquée par la pression du sang éjecté du ventricule gauche à chaque systole.



- 4. **Formuler** des hypothèses sur l'enchaînement des événements qui se passent entre la détection d'une variation de la pression artérielle par les barorécepteurs et la modification de la fréquence cardiaque

3. LA TRANSMISSION DE L'INFORMATION DES BARORECEPTEURS AU CŒUR

3.1. Le rôle des barorécepteurs :

Activité 4 : Déterminer le rôle des barorécepteurs

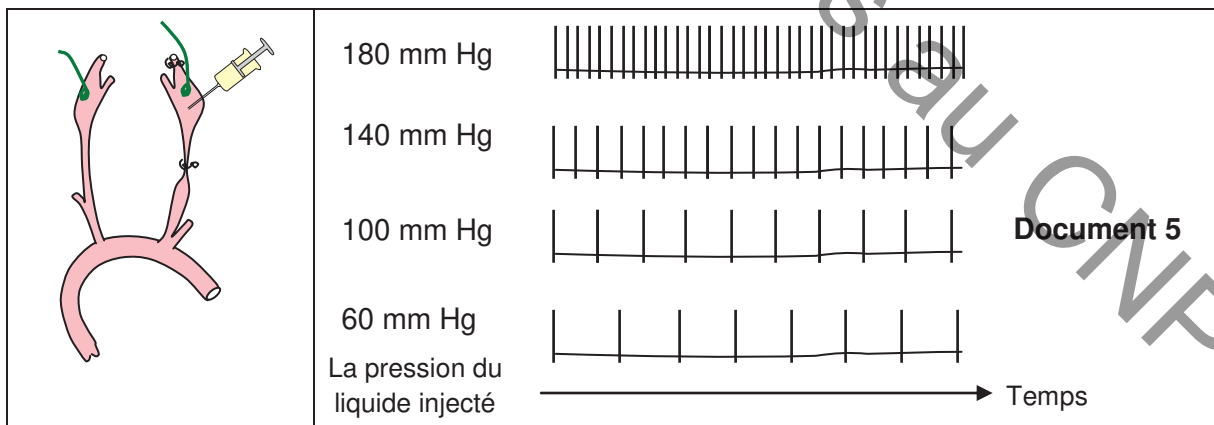
Expériences historiques		Résultats
1	En 1866, Carl Ludwig et Elias Cyon réalisent une expérience sur un lapin par stimulation du nerf situé dans la région du cou (nerf aortique ou nerf de Cyon) et constatent que cette stimulation provoque :	- diminution de la fréquence cardiaque - baisse de la pression artérielle
2	En 1923, Heinrich Hering sectionne le nerf connecté au sinus carotidien (nerf carotidien ou nerf de Hering) droit d'un chien anesthésié. Il constate que :	-le pincement de la carotide droite ne provoque aucune variation de la pression artérielle - le pincement de la carotide gauche provoque une augmentation de la fréquence cardiaque et de la pression artérielle



- Analyser** les résultats des expériences afin de déduire l'effet des nerfs de Cyon et de Hering sur l'activité cardiaque et sur la pression artérielle.
- Montrer** que la modification de la fréquence cardiaque dans chaque cas est une réponse adaptée à la cause qui l'a déclenchée.

Le document 5 représente l'enregistrement des potentiels d'action recueillis sur une fibre du nerf de Hering en fonction de la pression artérielle régnant dans le sinus carotidien gauche que l'on a isolé et que l'on perfuse au moyen d'un système permettant de faire varier la pression du liquide de perfusion.

Des potentiels analogues sont recueillis dans le cas d'une fibre du nerf de Cyon.



- De l'analyse** des enregistrements consignés dans le document 5 **dégager** le rôle physiologique des nerfs de Hering et des nerfs de Cyon

3.2. NATURE DES NERFS DE HERING ET DE CYON

Activité 5 : Déterminer la nature des nerfs de Héring et de Cyon

Pour identifier la nature des nerfs de Héring et de Cyon, on réalise les expériences suivantes :

Expérience 1 : La section des nerfs de Cyon et de Héring entraîne une accélération du rythme cardiaque.

Expérience 2 : L'excitation de leurs bouts périphériques est sans effet sur le rythme cardiaque.

Expérience 3 : L'excitation de leurs bouts centraux entraîne un ralentissement du rythme cardiaque.

Expérience 4 : on pratique une lésion sélective d'une zone du bulbe rachidien et on porte une excitation de leurs bouts centraux. Le rythme cardiaque ne subit aucun changement.

Taches



1. **Analyser** les résultats des expériences en vue de déduire la nature des nerfs de Héring et de Cyon.
2. **Formuler** des hypothèses sur la destination des messages nerveux véhiculés par ces nerfs.

3.3. LA MODIFICATION DE LA FREQUENCE CARDIAQUE PAR LE SYSTEME NERVEUX VEGETATIF

Activité 6 : Déterminer l'action du système nerveux végétatif sur la fréquence cardiaque

L'innervation cardiaque :

Deux types de nerfs, prennent naissance dans le bulbe rachidien (au niveau de zones nommées centres nerveux cardiaques) et innervent le cœur par paires: ce sont les nerfs cardiaques.

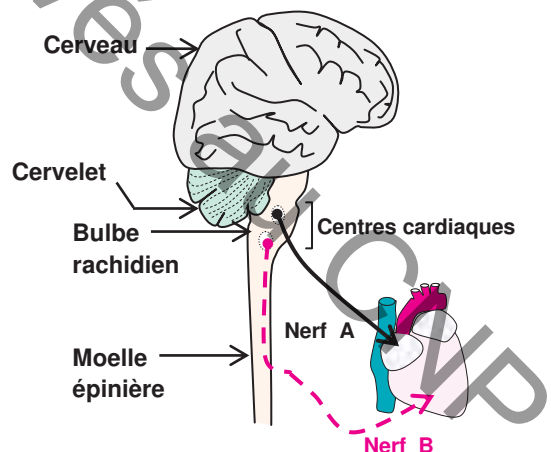
- les nerfs sympathiques ou orthosympathiques ; nerfs rachidiens reliés à la moelle épinière.
- les nerfs parasympathiques (nommés aussi nerfs pneumogastriques ou nerfs vagues ou nerfs X) ; nerfs crâniens partant du bulbe rachidien.

Taches



1. A partir des informations du texte précédent, **identifier** sur le Document 6, les deux nerfs A et B.

Les nerfs sympathiques et parasympathiques conduisent des messages nerveux des centres bulbaires cardiaques, jusqu'au cœur.



Document 6 : Les nerfs sympathiques et nerfs parasympathiques

Taches



2. **Concevoir** des expériences pour déterminer l'effet de ces messages nerveux sur le cœur.

Observation et 1^{ère} série d'expériences :

Conditions expérimentales	Fréquence cardiaque mesurée (bats / min)
Innervation normale	76
nerfs parasympathiques sectionnés	108
Section de l'orthosympathique seul	48



3. Analyser les résultats obtenus afin de déterminer l'action des types de nerfs sur l'activité cardiaque.

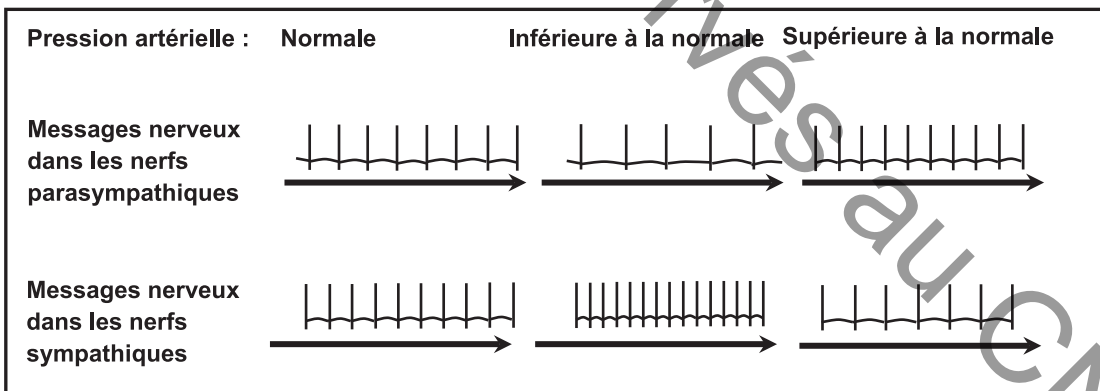
2^{ème} série d'expériences

Conditions expérimentales	Fréquence cardiaque mesurée (bat / min)	
On sectionne tous les nerfs cardiaques puis on stimule	les bouts centraux des nerfs parasympathiques	92
	les bouts périphériques des nerfs parasympathiques	48
	les bouts centraux des nerfs sympathiques	92
	les bouts périphériques des nerfs sympathiques	132



4. Analyser les résultats obtenus afin de préciser la nature des nerfs cardiaques

Pour comprendre comment ces deux types de nerfs interviennent pour rétablir la pression artérielle à la normale, on détecte les messages nerveux dans les nerfs cardiaques parasympathiques et sympathiques en fonction de la pression artérielle.



5. De l'analyse comparée des résultats obtenus et de ce qui précède, déduire les variations de l'activité cardiaque dans le cas d'une pression anormale et leurs conséquences.

6. Montrer que la modification de la fréquence cardiaque permet de corriger toute hausse ou baisse de la pression artérielle.

4. LE SYSTEME REGULATEUR DE LA PRESSION ARTERIELLE ET SON FONCTIONNEMENT

Activité 7 : Expliquer les mécanismes de la régulation nerveuse de la pression artérielle

Tout acte involontaire en réponse à un stimulus comme le réflexe myotatique met en jeu un arc réflexe.

Taches



- 1. Représenter** le schéma de l'arc réflexe dans la régulation nerveuse de la pression artérielle en **précisant** les structures impliquées.
- 2. Formuler** des hypothèses sur le fonctionnement de cet arc réflexe.

Pour vérifier ces hypothèses, on exploite des résultats d'observations.

Observations :

- 1) Une personne ayant subi une grave hémorragie devient pâle (peau blanche et froide) et son cœur bat vite.
- 2)

	Pendant le jour (activité)	Pendant la nuit (sommeil)
Valeurs de la pression artérielle	135/85 mm Hg	120/70 mm Hg

Le tableau ci-après décrit l'état des certains éléments et paramètres intervenant dans la régulation de la pression artérielle :

Pression artérielle		Normale	Elevée (Hypertension)	Basse (Hypotension)
Niveau de stimulation des barorécepteurs		Normale		
Fréquence de PA	Nerfs de Héring et de Cyon	Normale		
	Nerfs cardiaques sympathiques	Normale		
	Nerfs cardiaques parasympathiques	Normale		
Fréquence cardiaque		Normale		

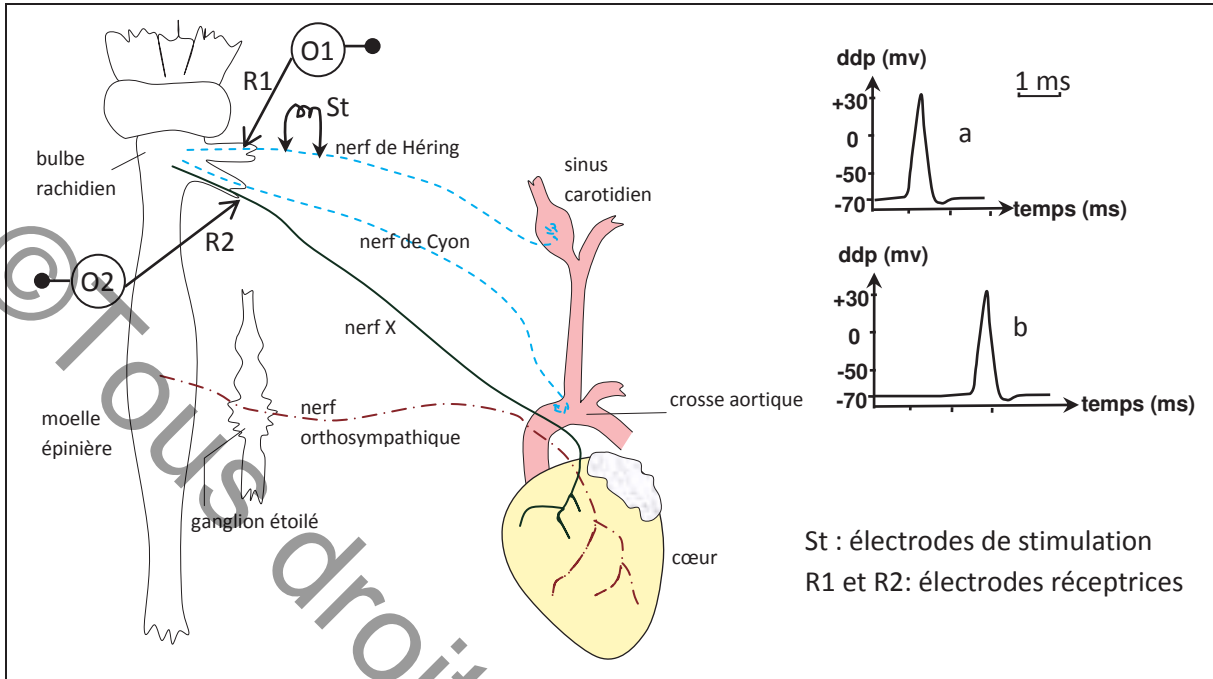
Taches



- 3. Compléter** le tableau ci-dessus en indiquant si c'est faible ou si c'est élevé(e).

Pour déterminer le nombre de synapses intervenant dans ce réflexe, on réalise sur un chat anesthésié le montage expérimental représenté par le document 7 (le délai moyen de franchissement d'une zone synaptique est de 0.5 ms)

On stimule en **St** une fibre issue du nerf de Héring et on recueille l'activité électrique de cette fibre en R1 et celle d'une fibre du nerf X en R2. On obtient successivement les réponses a et b.



Document 7 : montage expérimental et enregistrement



4. Déterminer graphiquement le décalage de temps entre les deux réponses a et b. Sachant que la distance entre R1 et R2 est de 5,5 mm et que la vitesse de propagation d'un potentiel sur les fibres étudiées est de l'ordre de 11 m.s⁻¹ :
5. Calculer le délai qui devrait séparer les deux réponses a et b.
6. Comparer les deux délais obtenus.
7. Montrer que le réflexe de la pression artérielle étudié implique un **circuit nerveux polysynaptique**

Activité 8 : Préciser le mode d'action des nerfs cardiaques

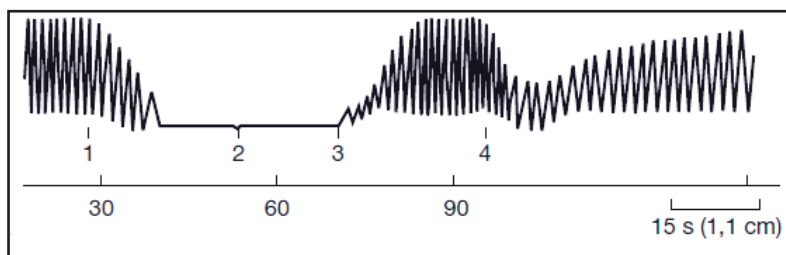
1^{ère} série d'expériences :

On a dénervé le cœur d'un chien en lui conservant seulement la connexion nerveuse du nerf X. On perfuse ce cœur avec du liquide physiologique tiédi à 38 °C et on enregistre sa fréquence cardiaque dans différentes conditions expérimentales (documents 8 et 9).

Expériences	Durées (en s)	Conditions expérimentales
1	0 à 30 s	Perfusion du liquide physiologique, nerf X non stimulé
2	31 à 60 s	Perfusion du liquide physiologique, stimulation du nerf X
3	61 à 90 s	Arrêt de la stimulation du nerf X et prélèvement du liquide de perfusion à la sortie du cœur
4	91 à 110 s 110 à 120 s	Lavage du cœur puis perfusion d'un liquide physiologique « neuf », nerf X non stimulé Perfusion du liquide prélevé lors de l'expérience 3, pas de stimulation du nerf X

L'analyse du liquide prélevé révèle la présence d'une substance appelée **acétylcholine**.

Document 8 : conditions expérimentales



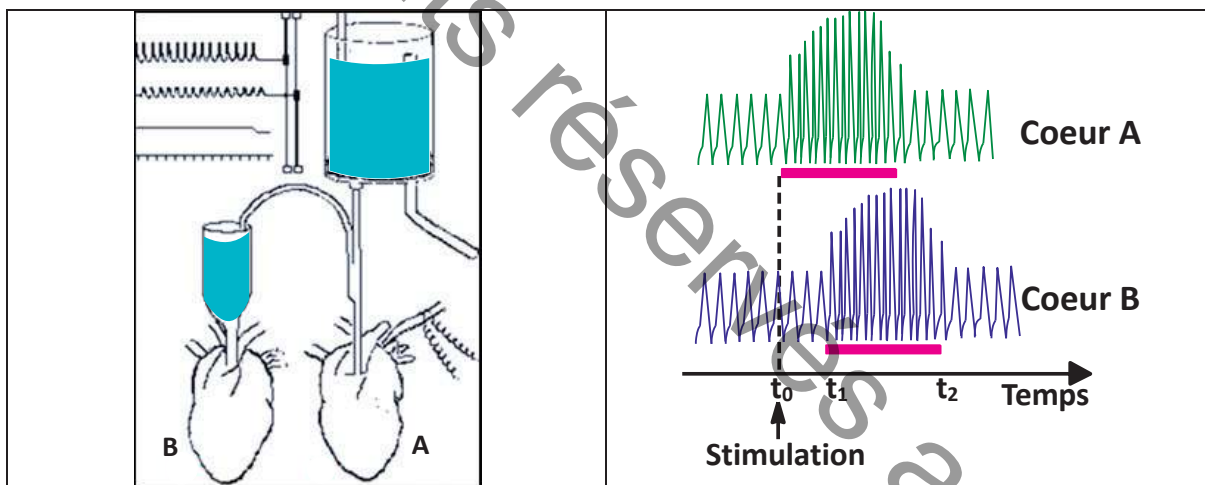
Document 9 : enregistrement obtenu



1. **Indiquer** comment le nerf X agit-il sur le cœur ?
2. **Préciser** à quelle catégorie de substances appartient l'acétylcholine ?

2^{ème} série d'expériences :

- Loewi stimule les nerfs pneumogastriques après l'injection d'une drogue appelée l'atropine qui bloque le système parasympathique. Il observe l'accélération du cœur A, puis après un certain temps de latence l'accélération du cœur B.



N.B : L'analyse du liquide de perfusion montre l'existence d'une substance, la **noradrénaline**, qui n'était pas présente au début de l'expérience.

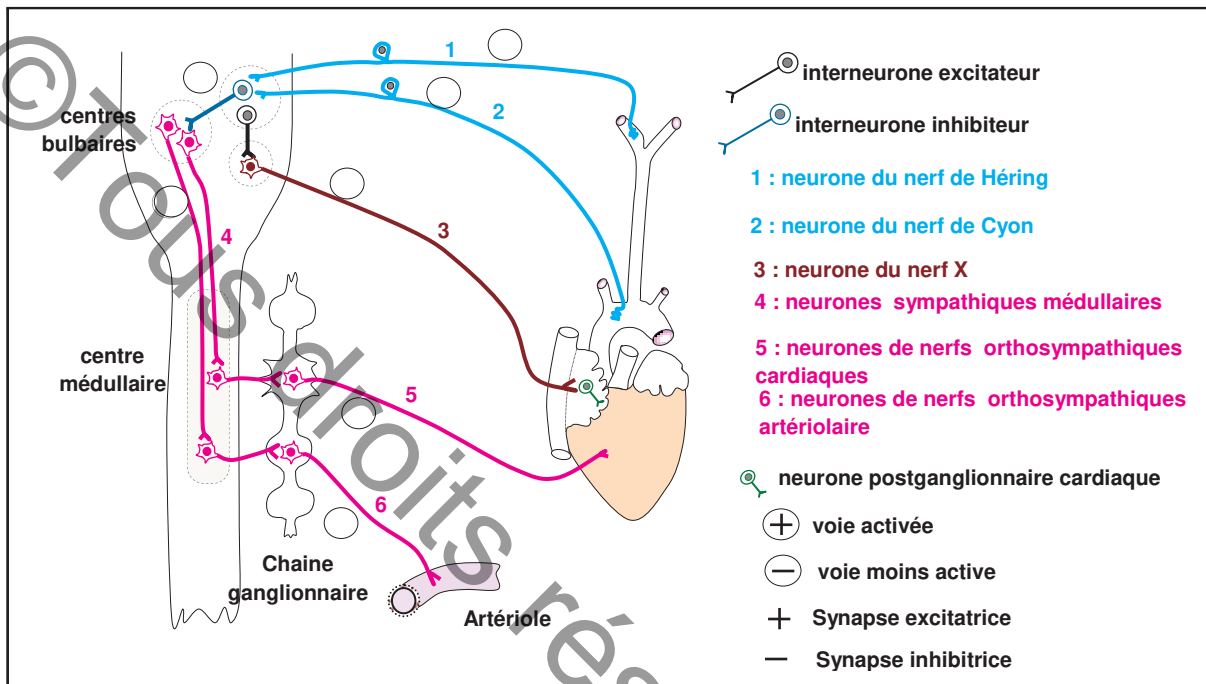
Document 10 : expérience de Loewi



3. **Reconnaitre** le médiateur chimique par lequel agit les fibres du nerf sympathique cardiaque.



Synthèse :
 En intégrant toutes les informations précédentes, **expliquer**, par deux schémas fonctionnels, la régulation de la pression artérielle :
 - en cas d'hypertension
 - en cas d'hypotension.



Document 11 : schéma de l'innervation cardiaque

B) REGULATION HORMONALE DE LA PRESSION ARTERIELLE

1. Régulation par l'adrénaline :

Activité 9 : Déterminer le rôle de l'adrénaline dans la régulation de la pression artérielle

La fréquence cardiaque de deux patients **Mr A** et **Mr B** est déterminée au repos et après un exercice physique. Il y a un an, **Mr B** a subi une transplantation cardiaque. Les résultats sont indiqués dans le tableau ci-contre :

Fréquence cardiaque	Mr A	Mr B
Au repos	68	90
À l'effort faible	120	95
À l'effort intense	150	110



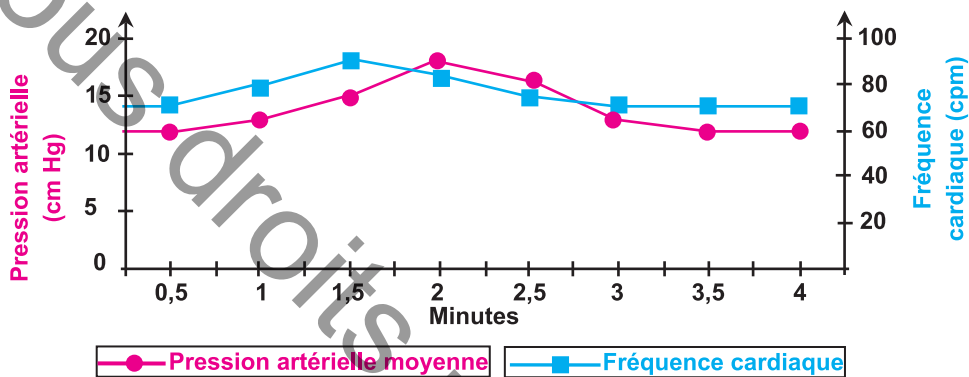
1. **Comparer** les fréquences cardiaques des deux patients.
2. **Proposer** une explication possible des différences constatées.

Les prises de sang des deux patients réalisées immédiatement après l'exercice physique montrent une augmentation de la concentration du sang en **adrénaline** par rapport au repos.



3. Formuler une hypothèse pour **expliquer** la légère augmentation de la fréquence cardiaque de **Mr. B**

Le document 12 montre l'action d'une hormone secrétée par la médullosurrénale (glandes situées au dessus des reins), l'adrénaline, sur la fréquence cardiaque et la pression artérielle moyenne. L'adrénaline est injectée à $t = 0,5$ minute.



Document 12 : action de l'adrénaline, sur la fréquence cardiaque et la pression artérielle moyenne



4. Analyser le document 12 en vue de **déduire** l'action de l'adrénaline :

- sur la fréquence cardiaque
- sur la pression artérielle

2. REGULATION PAR LE SYSTEME RENINE-ANGIOTENSINE :

Activité 10 : Déterminer le rôle de l'angiotensine dans la régulation de la pression artérielle.

Observation médicale :

On a constaté que la diminution du taux sanguin de Na^+ déclenche la sécrétion par le rein d'une enzyme appelée **rénine**.

Expériences :

- L'injection de la rénine à un sujet sain entraîne l'apparition dans le sang d'une hormone, **l'angiotensine**.
- L'injection de l'angiotensine à un sujet normal entraîne une accélération du rythme cardiaque, une vasoconstriction et par conséquent une hausse de la pression artérielle.



1. Exploiter ces données afin de :

- **Préciser** l'origine de la rénine ainsi que son effet physiologique
- **Déduire** l'action de l'angiotensine sur la fréquence cardiaque et sur la pression artérielle.

C) REGULATION DE LA PRESSION ARTERIELLE PAR LES REINS :

Activité 11 : Déterminer le rôle des reins dans la régulation de la pression artérielle.

Expérience 1 : Chez des animaux sur lesquels on a réalisé une ablation totale des glandes surrénales, on a constaté une baisse de la volémie et par conséquent une baisse de la pression artérielle.



1. **Formuler** une hypothèse permettant d'expliquer ces résultats.

Expérience 2 : L'injection d'extraits surrénaux à un chien surrénalectomisé entraîne la disparition des troubles évoqués précédemment chez le chien surrénalectomisé.



2. **Déterminer** le mode d'action des glandes surrénales sur les reins

Expérience 3 : on effectue des analyses de plasma sanguin et d'urine chez un chien anesthésié qu'on les compare avec des analyses chez un chien normal (témoin). Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

Concentrations des ions en g/L	Plasma		Urine	
	Chien témoin	Chien surrénalectomisé	Chien témoin	Chien surrénalectomisé
Na ⁺	3,3	3,1	4	6



3. **Analyser** les résultats de cette expérience afin de **dégager** la fonction des glandes surrénales

Expérience 4 : On mesure le taux d'**aldostérone** sécrété par la corticosurrénale d'un sujet dont on fait varier les taux sanguins de K⁺ et de Na⁺. Les résultats obtenus figurent dans les tableaux A et B suivants :

Tableau A

Taux de Na ⁺ en UA	7,8	7	6,5	5	1
Sécrétion d'aldostérone	120	130	140	150	155



4. **Tracer** la courbe de variations de la sécrétion en fonction du taux de Na⁺.
5. **Analyser** la courbe en vue de déduire la cause de la sécrétion d'aldostérone.

Expérience 5 : On a constaté d'autre part que la diminution du taux sanguin de Na^+ déclenche la sécrétion de la rénine.

- L'injection de l'angiotensine à un sujet normal entraîne une hausse du taux d'aldostérone.
- On sait par ailleurs qu'une réabsorption de Na^+ s'accompagne d'une rétention d'eau par le rein.



- 6. Identifier** l'enchaînement des événements qui conduisent à la libération d'aldostérone.
- 7. Préciser** alors, le rôle de l'aldostérone dans la régulation de la pression artérielle.

Observation clinique : Chez les grands brûlés, on note une perte de plasma. Lorsque cette perte atteint 8 % du volume plasmatique total, on constate l'augmentation de la concentration sanguine d'une hormone, la **vasopressine**, libérée par l'hypophyse postérieure.

Des mesures permettent d'obtenir les résultats consignés dans le tableau suivant :

Taux sanguin de vasopressine	Volume d'urine émise en 24 h (en L)
Faible	23.3
Elevé	0.5

Expérience 6: L'injection intraveineuse de la vasopressine, rendue radioactive, montre que la radioactivité est décelée au niveau des canaux collecteurs des néphrons.



- 8. Exploiter** ces données pour **identifier** l'origine, la structure cible et l'effet physiologique de la vasopressine.
- 9. Préciser** alors le rôle de la vasopressine dans la régulation de la pression artérielle.
- A partir de ce qui précède, **résumer** dans un schéma fonctionnel, la régulation neuro-hormonale de la pression artérielle.

D) LES MALADIES CARDIOVASCULAIRES :

Activité 12 : Prévenir les maladies cardiovasculaires

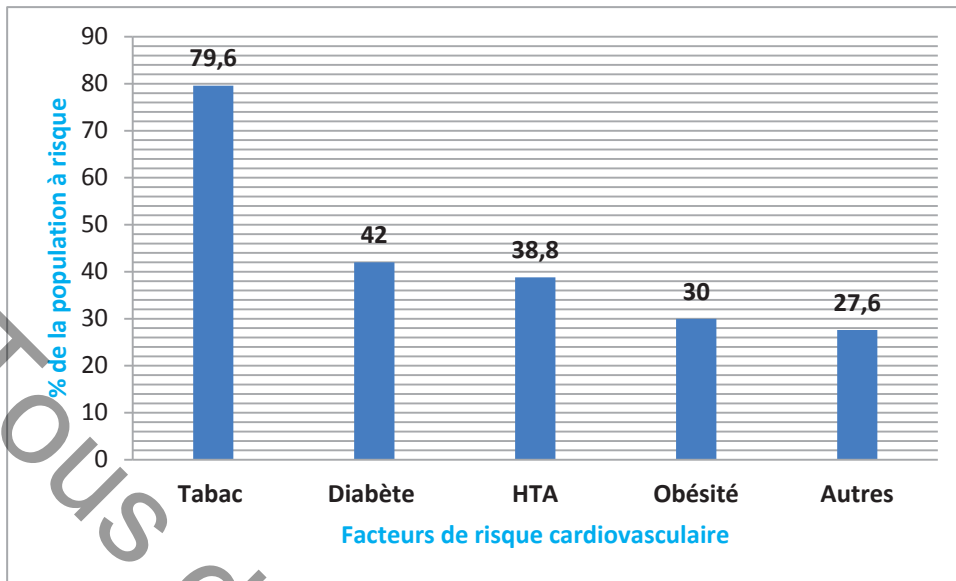
Les maladies cardiovasculaires sont liées à un dérèglement du fonctionnement cardiaque et au rétrécissement des artères. Elles peuvent prendre des formes diverses: infarctus du myocarde, angine de poitrine, artérite, ...) et sont responsables de la moitié des décès dans les pays industrialisés.

Victime d'un arrêt cardiaque le footballeur camerounais Marc-Vivien Foé, décédé à 28 ans, en demi-finale de la Coupe des confédérations, en 2003 à Lyon.



Carl-Erik Torp, joueur danois de 27 ans, s'est effondré pendant un match de son équipe. Fort heureusement, il été sauvé à temps.





HA : Hypertension Artérielle

Fréquence des facteurs de risque cardio-vasculaire

Journal de la société tunisienne des Sciences Médicales et du conseil national de l'ordre des médecins de Tunisie



1. **Exploiter** ces données pour **citer** les facteurs de risque des maladies cardiovasculaires.
2. **Proposer**-alors des règles d'hygiène pour les prévenir.



Bilan des connaissances

LA RÉGULATION DE LA PRESSION ARTÉRIELLE

1- DÉFINITION DE LA PRESSION ARTÉRIELLE :

La pression (ou tension) artérielle, correspond à la pression exercée par le sang sur la paroi interne des artères, elle dépend de la force de pompage exercée par le cœur, de la force de résistance exercée par la paroi des artères et du volume (ou débit) sanguin. La pression artérielle oscille entre deux valeurs:

- Une valeur maximale ou pression systolique (≈ 12 cm Hg) qui correspond à la pression artérielle pendant la contraction (systole) ventriculaire
- Une valeur minimale ou pression diastolique (≈ 8 cm Hg) qui correspond à la pression artérielle pendant le relâchement (diastole) cardiaque.
- Au cours de la journée, ces deux valeurs peuvent varier dans un intervalle étroit (valeur de référence). Dès qu'elles s'éloignent de cette valeur de référence un système de régulation permet de corriger ces valeurs.

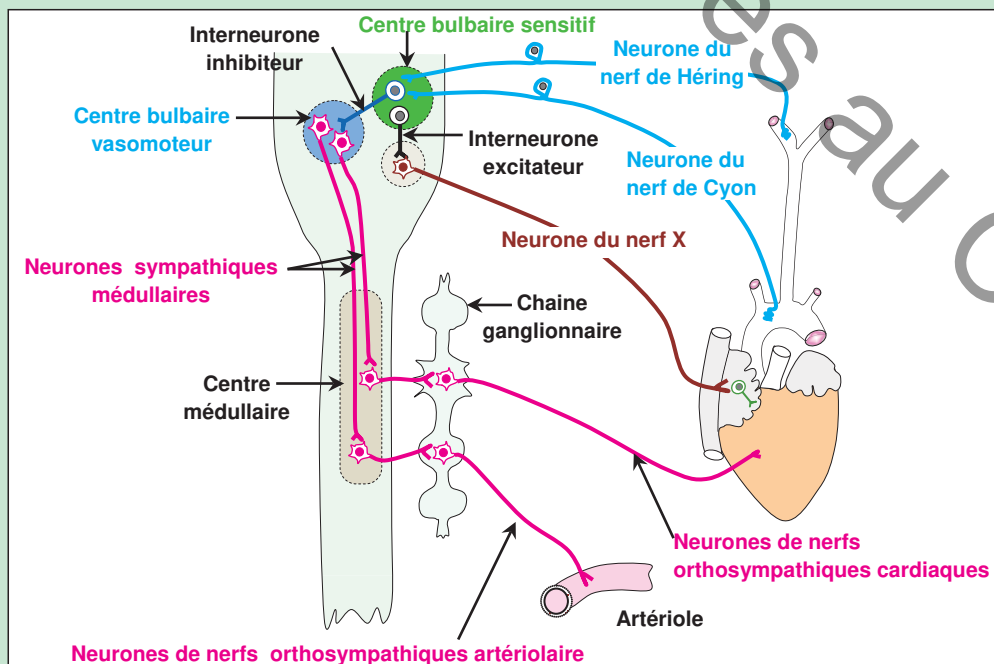
Activité 1

2- LA RÉGULATION NERVEUSE DE LA PRESSION ARTÉRIELLE :

Le système nerveux autonome ou végétatif

Alors que le système nerveux cérébrospinal innerve exclusivement les muscles squelettiques qui sont contrôlés volontairement, le système nerveux autonome contrôle le fonctionnement des organes de nutrition (appareils digestif, respiratoire, circulatoire et excréteur) et de reproduction... Il dérive du système nerveux central et se présente sous forme de 2 chaînes ganglionnaires parallèles à la moelle épinière. Il est subdivisé en sympathique (orthosympathique) et parasympathique qui ont des actions antagonistes au niveau des effecteurs (muscles lisses, muscle cardiaque et glandes).

2- 1. L'INNERVATION DU CŒUR ET DES VAISSEAUX :



activité 4

2- 2. ACTION DU SYSTEME NERVEUX SUR LE CŒUR :

L'activité cardiaque est un phénomène automatique et autonome, grâce à des cellules « pacemaker ». Toutefois, leurs caractéristiques peuvent varier sous l'influence du système nerveux végétatif: il s'agit des systèmes nerveux **sympathique** et **parasympathique**.

► Les nerfs parasympathiques (appelés nerfs pneumogastriques ou nerfs X ou nerf vagues), partant du bulbe rachidien; ils diminuent la force des contractions et le rythme du cœur; ils ont donc un rôle hypotenseur. Cette action se fait par l'intermédiaire d'une substance chimique: **l'acétylcholine**, libérée au niveau des terminaisons nerveuses du nerf X.

► Les nerfs sympathiques cardiaques, partant du ganglion étoilé proche de moelle épinière, augmentant la force des contractions et le rythme du cœur. Les nerfs sympathiques artériolaires, innervant les artéριοles, provoquent la vasoconstriction de ces vaisseaux; Ces nerfs ont donc un rôle hypertenseur. Cette action se fait par l'intermédiaire d'une substance chimique: **la noradrénaline**, par les terminaisons nerveuses des fibres orthosympathiques.

L'action des neurotransmetteurs est transitoire, car aussitôt libérés, ils sont inactivés par des enzymes de dégradation spécifiques.

Le contrôle de la pression artérielle s'effectue par un mécanisme de type réflexe, ce réflexe comprend :

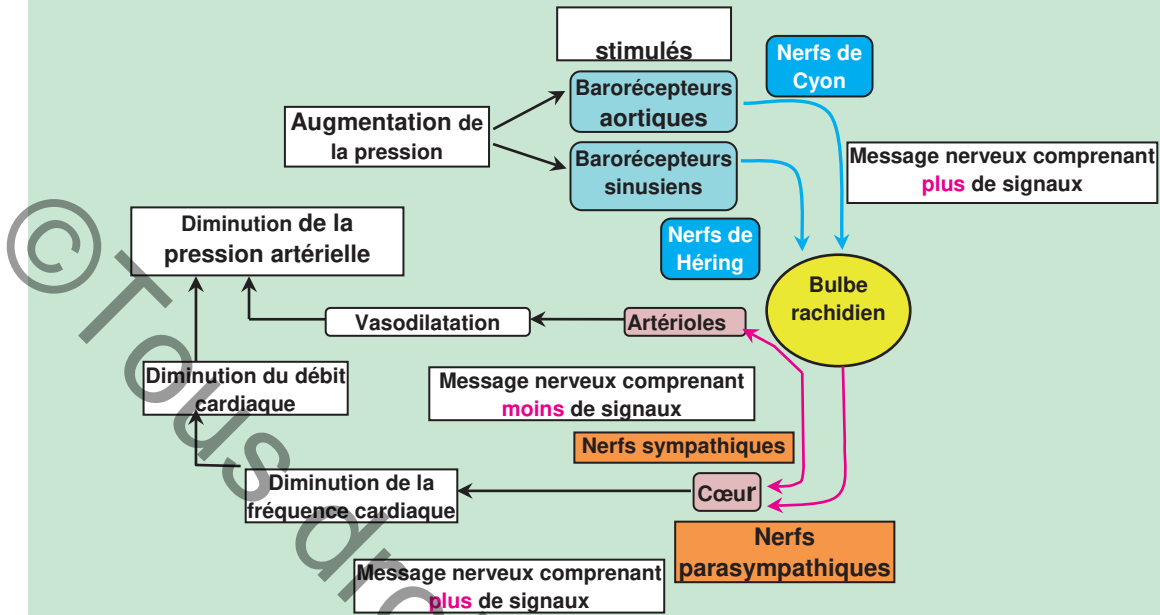
	Nom	Rôle
Des récepteurs	barorécepteurs situés au niveau de la crosse aortique et des deux sinus carotidiens.	détectent toute variation instantanée de la pression artérielle et émettent des signaux nerveux sensitifs. Ce sont des sites transducteurs.
Des voies afférentes ou sensitives	deux nerfs de Cyon et deux nerfs de Héring	conduisent les messages émis par les barorécepteurs vers le centre nerveux bulbaire cardiaque.
Des centres nerveux	Ils sont localisés dans le bulbe rachidien et dans la moelle épinière.	Qui intègrent les informations en provenance des barorécepteurs
Des voies efférentes ou motrices	Elles sont de deux types : Des fibres parasympathiques	- Qui exercent un effet modérateur et diminuent le rythme cardiaque
	- Des fibres orthosympathiques	- Action accélératrice du rythme cardiaque et une action vasomotrice sur les vaisseaux.

2- 2. a- LE RÉFLEXE RÉGULATEUR DE L'HYPERTENSION :

L'augmentation de la pression artérielle au niveau de la crosse aortique et aux niveaux des sinus carotidiens entraîne :

- Une augmentation de la stimulation des barorécepteurs d'où l'augmentation de l'activité électrique des nerfs afférents: Les nerfs de Héring et de Cyon, ce qui provoque une augmentation de l'inhibition exercée sur le centre vasomoteur et une augmentation de la stimulation exercée sur le noyau moteur du nerf X.
- Le système parasympathique cardiomodérateur, est activé et le système sympathique est inhibé: L'activité électrique du nerf X augmente et les activités électriques des nerfs sympathiques diminuent.
- On obtient un ralentissement du rythme cardiaque et une vasodilatation qui corrigent l'hypertension et rétablissent la pression artérielle normale.

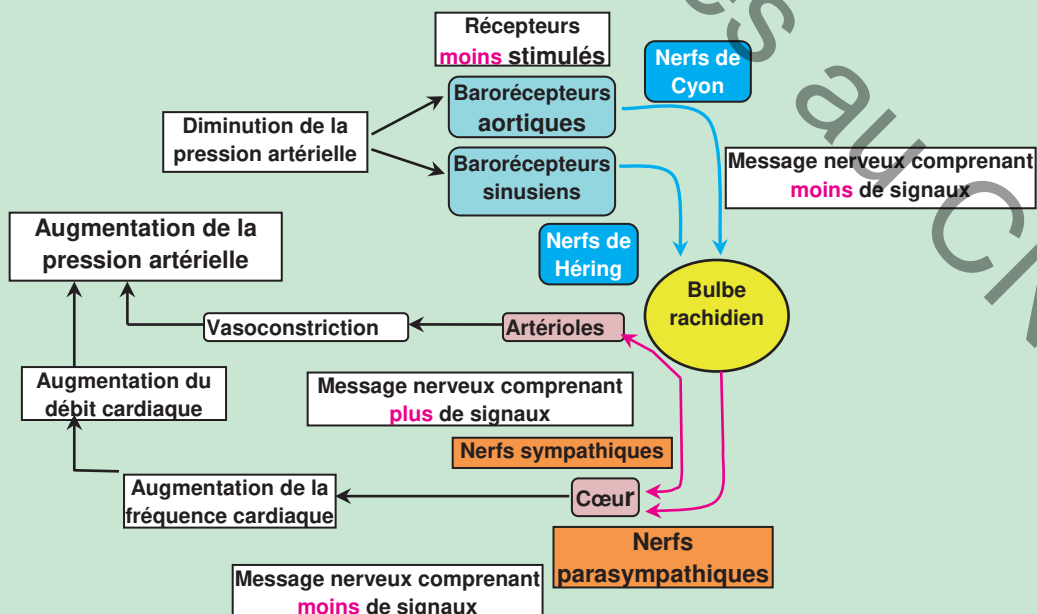
Réflexe correcteur de l'hypertension



2- 2. b- LE RÉFLEXE RÉGULATEUR DE L'HYPOTENSION :

Dans le cas d'une baisse de la pression artérielle, dans le sinus carotidien et de la crosse aortique, suite à une hémorragie par exemple, la fréquence des potentiels d'action parcourant les nerfs dépresseurs devient très faible. L'inhibition du centre vasomoteur par le centre cardiomoderateur est levée. Il envoie alors, par les fibres orthosympathiques un message stimulateur au cœur qui accélère son rythme et provoque également la vasoconstriction. Il stimule aussi la médullosurrénale par l'intermédiaire du nerf splanchnique. Cette glande libère une hormone, l'adrénaline qui provoque la vasoconstriction et l'accélération du rythme cardiaque. Ces deux effets, vasoconstriction et accélération du rythme cardiaque, corrigent l'hypotension initiale et ramènent la pression artérielle à sa valeur normale.

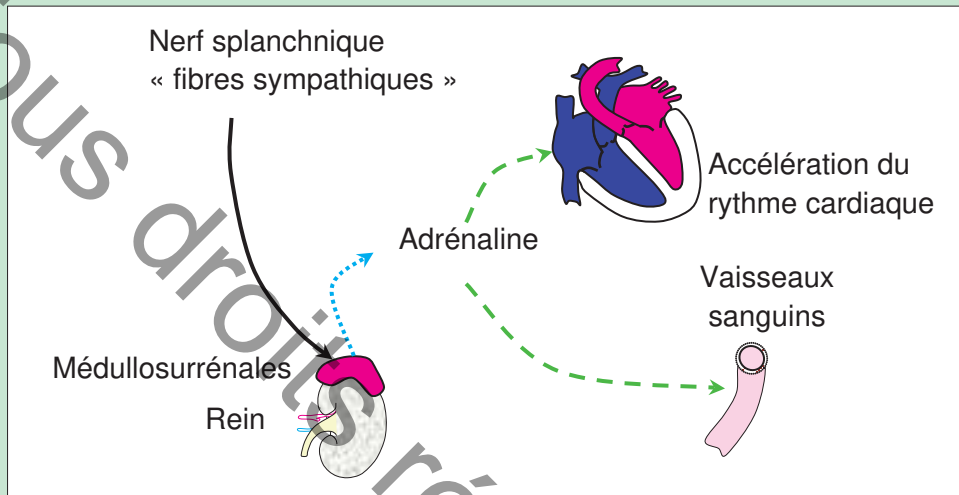
Réflexe correcteur de l'hypotension



3- LA RÉGULATION HORMONALE DE LA PRESSION ARTÉRIELLE

La pression artérielle est sous le contrôle de plusieurs hormones, qui agissent suivant les cas sur la volémie ou l'appareil circulatoire (rythme cardiaque et vasomotricité).

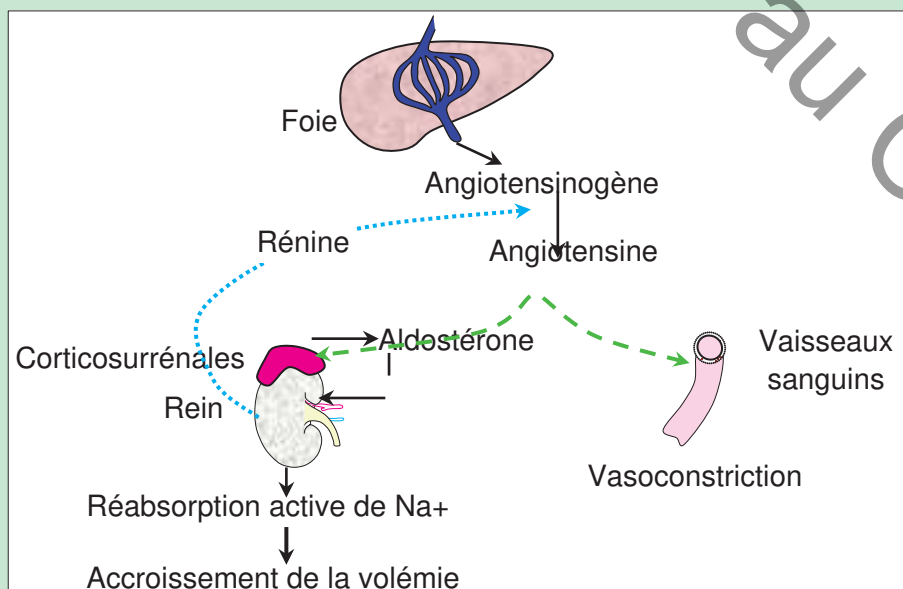
Dans des conditions physiologiques particulières (stress, colère, émotion, etc.), il y a une décharge d'**adrénaline** par les médullosurrénales. Cette hormone, véhiculée par le sang, entraîne une accélération du rythme cardiaque et généralement une vasoconstriction des artérioles, d'où une augmentation de la pression artérielle. Ceci constitue une régulation hormonale à **moyen terme**.



D'autres systèmes hormonaux interviennent à long terme :

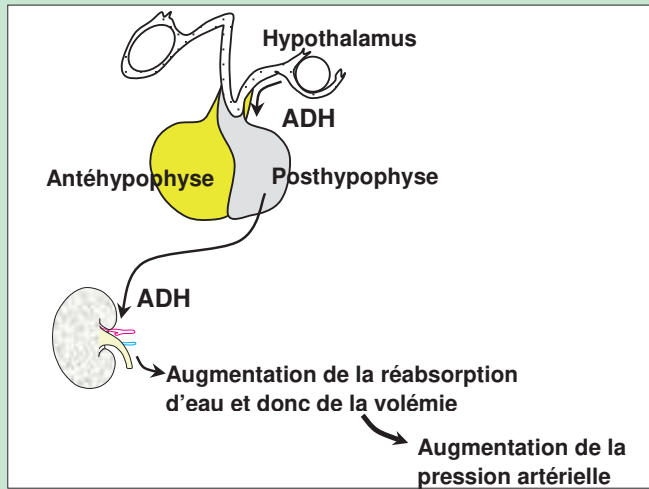
- Le foie produit un polypeptide appelé angiotensinogène ; cette molécule est inactive et subit une maturation par l'action de la rénine (enzyme sécrétée par les reins) qui la transforme en **angiotensine** (active). Cette hormone ayant pour effet de provoquer la vasoconstriction des artérioles et stimule la sécrétion d'aldostérone par les corticosurrénales.

L'**aldostérone** agit au niveau des reins; elle augmente la réabsorption du sodium et, par voie de conséquence, elle entraîne un accroissement de la volémie, donc une élévation de la pression artérielle.



L'hormone antidiurétique (ADH) :

L'hypothalamus possède des neurones sécréteurs produisant des neurohormones. L'une d'elles, appelée vasopressine ou hormone antidiurétique, diminue l'élimination d'eau par les reins. Elle contribue à augmenter la volémie, et donc la pression artérielle.



Activités 6 et 7

Conclusion :

La régulation de la pression artérielle: un exemple d'intégration neurohormonale

Les divers mécanismes de régulation ne sont pas totalement indépendants les uns des autres. Ils interviennent le plus souvent ensemble dans une réponse intégrée.

Cependant, la régulation à court terme qui assure un contrôle immédiat des variations de pression, met en jeu le système nerveux.

Le système humoral, qui prend ensuite le relais, n'entre en jeu que si la variation de pression se maintient pendant un certain temps; c'est un système de régulation à moyen et à long terme. On notera le rôle clé joué par certains centres nerveux, et en particulier par l'hypothalamus, dans l'intégration des divers messages provenant non seulement de l'appareil circulatoire lui-même mais, aussi de l'environnement extérieur à l'organisme.

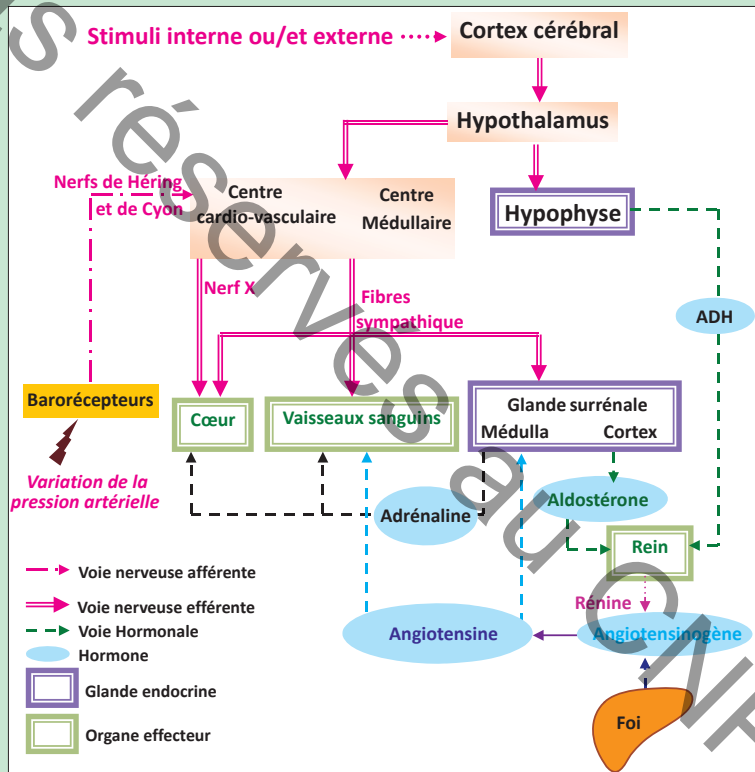


Schéma de synthèse résumant la régulation neurohormonale de la pression artérielle

Activité 8

4. LES MALADIES CARDIOVASCULAIRES :

4. 1. QUELQUES MALADIES CARDIOVASCULAIRES :

Chaque année, en France, environ 1 000 à 1 500 personnes meurent soudainement au cours d'un entraînement sportif, ou dans l'heure qui suit. La victime s'évanouit et le décès peut survenir dans les trois minutes lorsqu'il n'y a pas de réanimation. La mort subite du sportif concerne des hommes dans 93 % des cas. Les causes de ce phénomène sont diverses.

Affections cardiaques		Caractéristiques	Causes
Les cardiopathies ischémiques	L'angine de poitrine	Douleurs aiguës à la poitrine.	Rétrécissement de la lumière des coronaires.
	L'infarctus du myocarde	Douleurs thoraciques prolongées	Occlusion coronarienne aiguë due à l'évolution d'une plaque athérosclérose.

Affections vasculaires	Caractéristiques	Causes
L'athérosclérose : atteintes de l'aorte abdominale, des artères coronaires, des artères des membres inférieurs (artérites) et des artères carotides.	Accumulation de graisses amorphes, de cellules dégénérées et de débris de tissus formant des plaques (athérome) dans les parois internes des artères.	<ul style="list-style-type: none"> - Traumatisme de la paroi artérielle, - Substances mutagènes contenues dans le tabac, - Graisses saturées d'origine animale.

4. 2. PRÉVENIR LES ACCIDENTS CARDIOVASCULAIRES :

Des mesures de précaution peuvent être prises avant et pendant la pratique d'un sport.

- Lutter contre l'excès de cholestérol
- Éviter la pratique lorsque l'air est trop pollué, lorsqu'il y a trop de vent, qu'il fait trop chaud, trop froid, trop humide ou trop sec ;
- les variations importantes de rythme comme un début ou une fin d'effort trop brutal ;
- le stress de la compétition ;
- l'effort soutenu trop intense ;
- l'ingestion de stimulants ;
- un repas copieux avant l'entraînement ;
- la pratique du sport lorsque on est fatigué, fébrile ou malade ;
- le sport en altitude sans acclimatation préalable ;
- la perte trop importante de sels minéraux ou de réserves de sucres lors d'efforts prolongés.

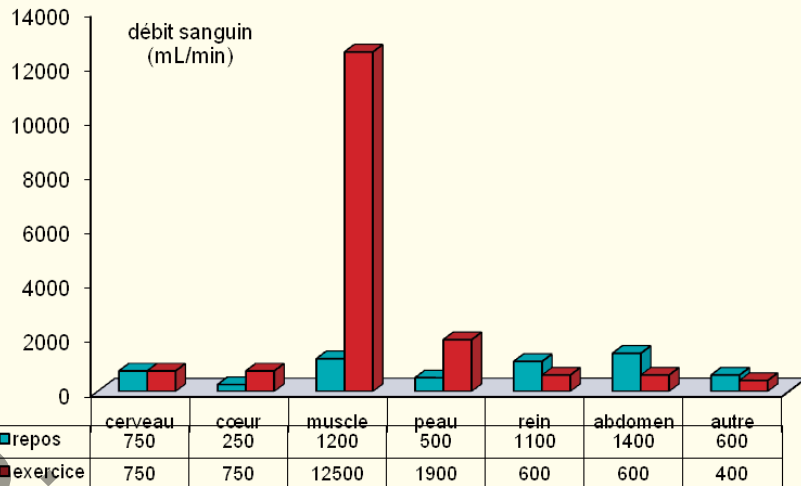
Activité 9



POUR EN SAVOIR PLUS :

Débit sanguin :

Distribution du débit sanguin aux organes et tissus au repos et au cours d'un exercice intense - en millilitres par minute - d'après Chapman et Mitchell - Physiologie Humaine de Vander - Mc Graw Hill éditions-1977



Effets de l'entraînement

Effets sur la taille et le volume du cœur

Etude sur les animaux et par des clichés radiographiques :

Après l'entraînement, il y aura une hypertrophie du muscle cardiaque :

sujet entraînés : 800 cm³

athlètes : 900 cm³

Effets sur la vascularisation

L'augmentation de la vascularisation la plus importante est au niveau du cœur.

Effets sur la fréquence cardiaque

Les sujets présentant une grande endurance ont une fréquence cardiaque plus basse

sportifs : 45 à 50 battements / minute

skieur de fond : 28 battements / minute

Explications : facteurs constitutionnels, effets de l'entraînement.

Facteur constitutionnel bas permet la réduction de la dépense d'énergie du muscle cardiaque et sa consommation d'O₂.

Ce facteur constitutionnel bas permet tout de même un débit cardiaque normal car il y a un accompagnement d'une augmentation de la puissance des systoles.

Avec l'entraînement on pense qu'il s'agirait d'une augmentation de l'activité du parasympathique et d'une inhibition de l'activité de l'orthosympathique.

Dès que cesse l'entraînement, ces effets disparaissent assez rapidement.

Débit cardiaque : élévation avant le repos au lit et diminution après la période de repos peu d'influence de l'entraînement.

Volume systolique : après une période de repos il y a une baisse de ce volume.

Après l'entraînement on constate une augmentation de ce volume. (Les sujets sont capables d'aller plus loin en puissance d'exercice.)

Fréquence cardiaque : après l'entraînement baisse des facteurs constitutionnels

Effets sur la pression artérielle :

Pas de modification des valeurs de la pression artérielle au repos avec l'entraînement.