

# 1<sup>ère</sup> PARTIE : RELATION DE L'ORGANISME AVEC LE MILIEU EXTERIEUR

Si l'on détruit le système nerveux d'une grenouille, elle devient flasque et ne réagit à aucune excitation externe. On en déduit que le système nerveux assure les relations de l'organisme avec son milieu.

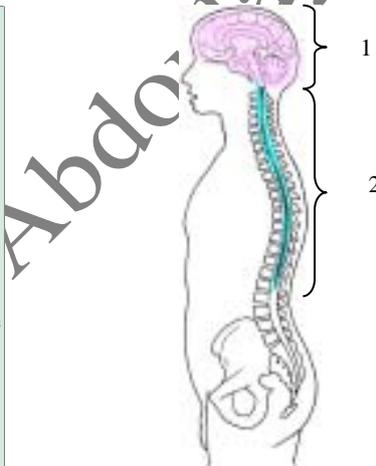
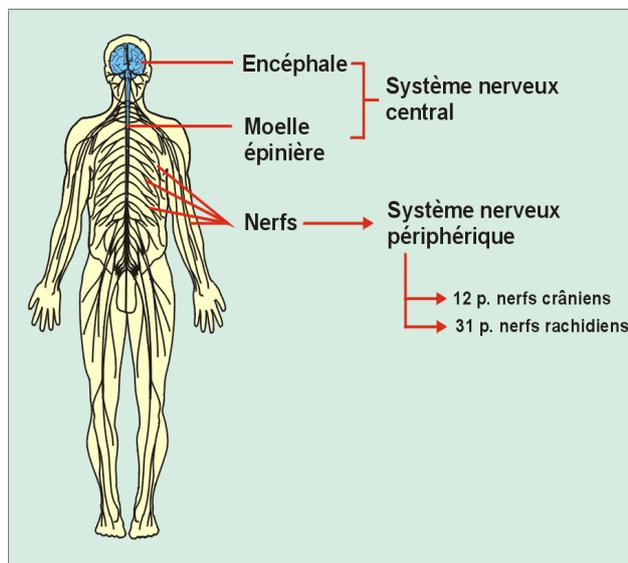
## THEME 1 : ORGANISATION DU SYSTEME NERVEUX DES MAMMIFERES

Le système nerveux des mammifères comporte le système nerveux cérébro-spinal qui contrôle la vie de relation et le système nerveux neuro-végétatif qui assure la fonction de nutrition et de reproduction. Le système nerveux cérébro-spinal comprend deux parties :

- Le système nerveux central (SNC) ou névraxe constitué de l'encéphale et de la moelle épinière.
- Le système nerveux périphérique formé par l'ensemble des nerfs et des ganglions.

On distingue deux types de nerfs suivant le centre nerveux relié :

- ☞ les nerfs reliés à l'encéphale appelés nerfs crâniens (12 paires chez l'homme) ;
- ☞ les nerfs reliés à la moelle épinière appelés nerfs rachidiens (31 paires chez l'homme)



Document 1 :

## Leçon 1 : ORGANISATION DE L'ENCEPHALE DES MAMMIFERES

### INTRODUCTION

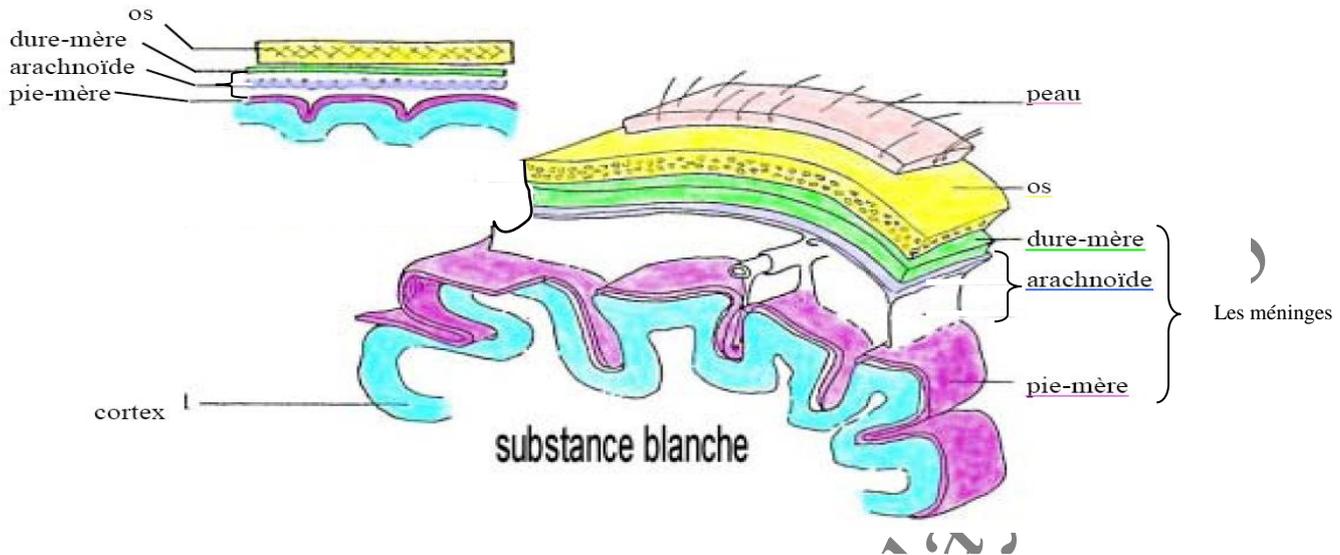
L'encéphale est situé dans la boîte crânienne. Il est constitué de trois parties : le cerveau, le cervelet et le bulbe rachidien.

### I. Organisation externe

L'encéphale est protégé par :

- La boîte crânienne osseuse ;
- Trois membranes, les **méninges**, qui sont :
  - ✓ La **dure-mère** : collée à la paroi osseuse. Elle est épaisse, fibreuse et résistante. Elle joue un rôle protecteur.
  - ✓ La **pie-mère** : collée contre l'encéphale. Elle est très fine, riche en vaisseaux sanguins. Elle joue un rôle nourricier.

- ✓ L'**arachnoïde** : située entre les deux. Elle a la structure d'une toile d'araignée d'où son nom. Elle contient dans ses cavités du liquide céphalo-rachidien permettant d'amortir les chocs mécaniques dangereux pour le tissu nerveux.



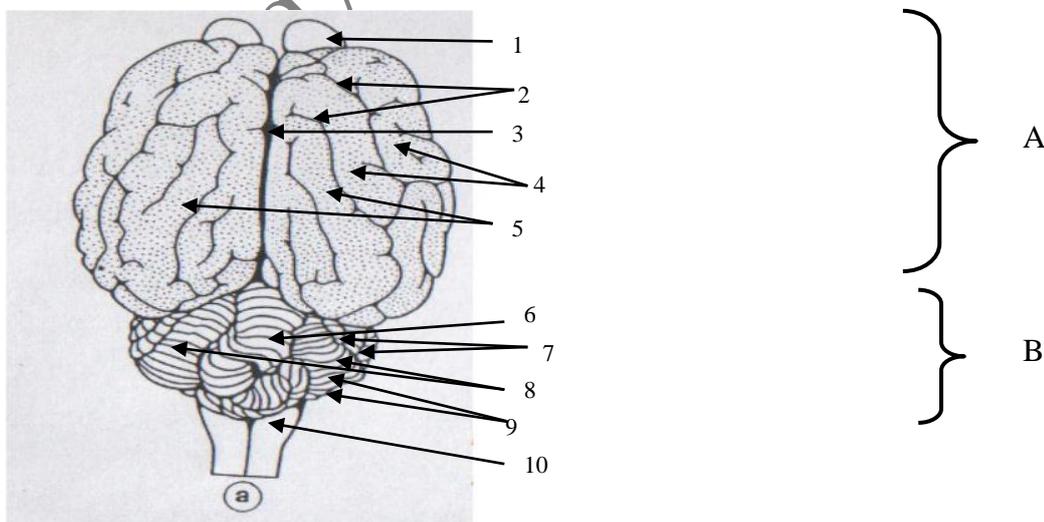
### La protection de l'encéphale

#### I-1. Face dorsale ou supérieure

D'avant en arrière on distingue : le cerveau, le cervelet et le bulbe rachidien.

- ☞ **Le cerveau** : C'est la région de l'encéphale la plus développée. Il est constitué de deux **hémisphères cérébraux** séparés par un sillon inter-hémisphérique. Chaque hémisphère est parcouru de nombreux sillons délimitant des circonvolutions cérébrales. Deux sillons très visible sont notés : le **sillon de Rolando** séparant le lobe frontal et pariétal ; la **scissure de Sylvius** qui délimite le lobe temporal.
- ☞ **Le cervelet** : Il est situé en arrière des 2 hémisphères cérébraux qui le recouvrent partiellement. Il est constitué de trois lobes :
  - Le **vermis** qui a la forme d'un tas de vers, d'où son nom ;
  - Les 2 **hémisphères cérébelleux** situés de part et d'autre du vermis et présentant des **circonvolutions cérébelleuses**.
- ☞ **Le bulbe rachidien** : qui est un prolongement dilaté de la moelle épinière. Il est partiellement recouvert par le cervelet.

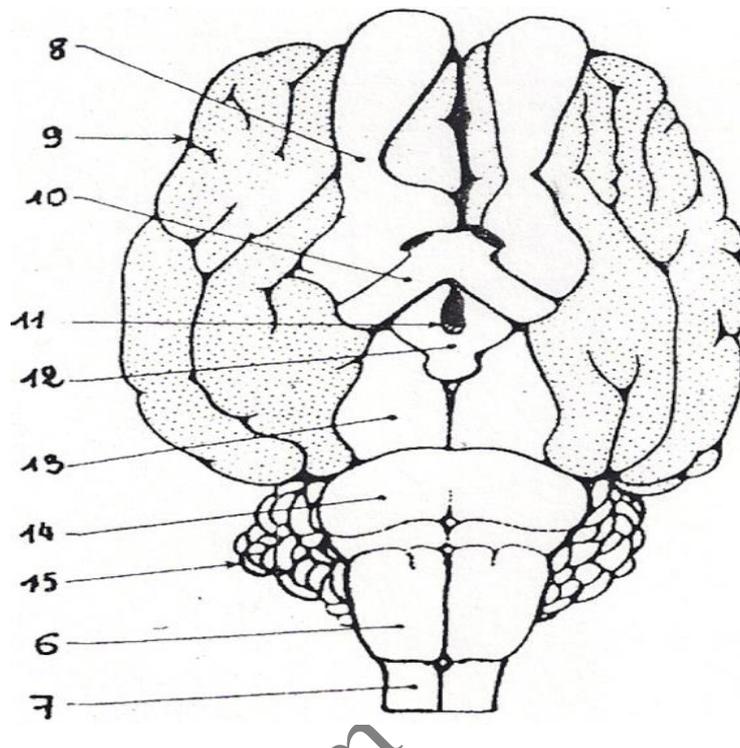
**Remarque** : En écartant légèrement les hémisphères cérébraux on observe en avant du cervelet les **tubercules quadrijumeaux** ou **lobes optiques** puis un renflement impair, l'**épiphyse**.



#### Document 2 :

## I-2. Face ventrale ou inférieure

D'arrière en avant on observe le **tronc cérébral** formé par (le **bulbe rachidien**, la **protubérance annulaire** ou **pont de Varole** et les **pédoncules cérébraux**), l'**hypothalamus** dont le centre montre la trace laissée par la section de l'**hypophyse**, les **nerfs optiques** formant un **chiasma** (rencontre), les hémisphères cérébraux contenant chacun un **lobe olfactif**.



Document 3 :

## II. Organisation interne

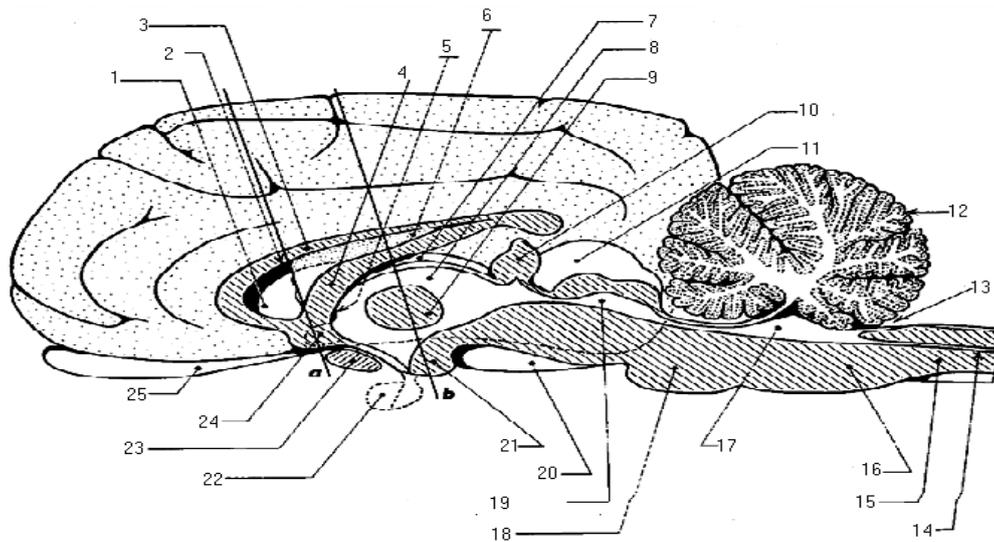
### II-1. Coupe longitudinale ou sagittale

En écartant les hémisphères cérébraux par le sillon inter-hémisphérique on observe le 1<sup>er</sup> pont qui les relie, c'est le **corps calleux**, constitué d'une substance blanche. L'incision de ce pont permet d'observer à la base un 2<sup>ème</sup> pont constitué de substance blanche, c'est le **trigone**. Ces deux ponts sont reliés par une **cloison transparente**. De part et d'autre de cette cloison et dans chaque hémisphère on observe une cavité, ce sont les **ventricules latéraux 1 et 2** dont la base constitue le **corps strié**.

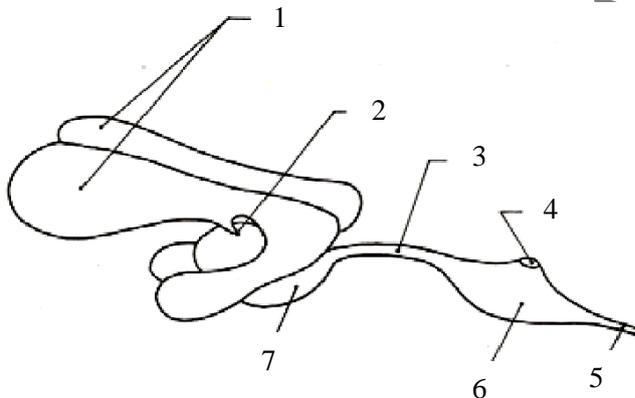
En coupant le **trigone** on rencontre le 3<sup>ème</sup> ventricule. Ce dernier est traversé de part et d'autre par la **commissure grise** qui relie les deux noyaux du **thalamus** ou **couches optiques**.

Les ventricules latéraux sont reliés au 3<sup>ème</sup> ventricule par le **trou de Monro**. Vers l'arrière le 3<sup>ème</sup> ventricule communique avec le 4<sup>ème</sup> ventricule par l'**aqueduc de Sylvius**. Le 4<sup>ème</sup> ventricule se prolonge dans le **bulbe rachidien** par le **canal de l'épendyme** jusque dans la moelle épinière et communique avec les **espaces arachnoïdiens** par le **trou de Magendie**.

La section du cervelet permet de se rendre compte de la présence d'une substance blanche interne qui dessine une sorte d'arborisation, « **l'arbre de vie** ». La périphérie du cervelet est essentiellement faite de substance grise, l'**écorce cérébelleuse**.



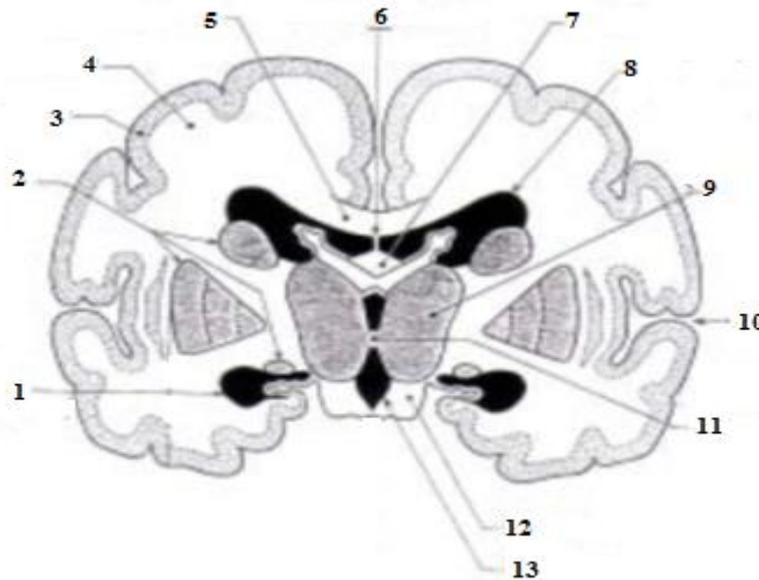
Document 4 :



Document 5 :

## II-2. Coupé transversale (passant par le diencéphale)

Elle permet de constater une dualité dans l'organisation du cerveau. En surface on a une couche de *substance grise* de 1 à 4 mm, formant le *cortex cérébral*, alors qu'en profondeur se trouve la *substance blanche*. Cependant, dans la *substance blanche* il y a des enclaves de *substance grise* comme les *couches optiques* et le *corps strié*. On note également la présence de cavités remplies de *liquide céphalo-rachidien*.



Document 6:

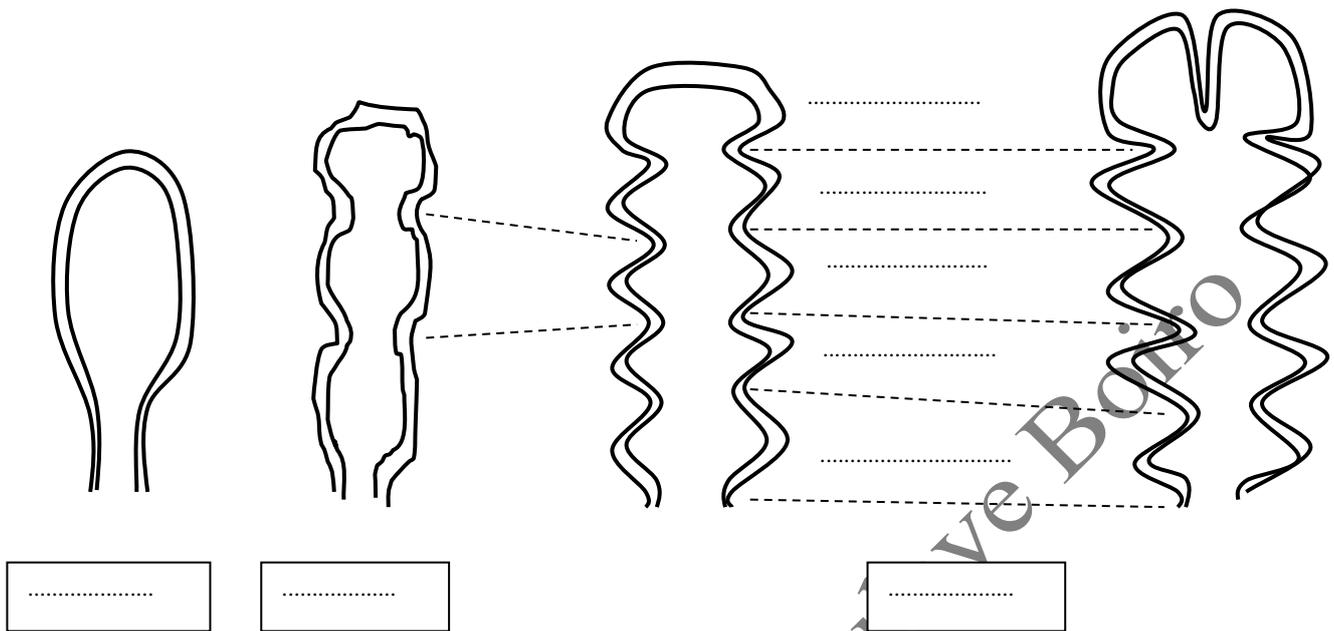
### III. Plan d'organisation de l'encéphale de mammifères

L'encéphale des mammifères est formé d'une succession de 5 parties présentant des formes diverses du côté dorsal et ventral.

Vésicules	Face dorsale	Cavité	Face ventrale
<i>Télocéphale ou cerveau antérieur</i>			
<i>Diencephale ou cerveau intermédiaire</i>			
<i>Mésencéphale ou cerveau moyen</i>			
<i>Métencéphale cerveau postérieur</i>			
<i>Myélocéphale ou arrière cerveau</i>			

### IV. Développement embryologique de l'encéphale

Lors de sa formation l'encéphale passe par différents stades. Pendant la vie embryonnaire, il passe d'une vésicule, le tube neural à 3 puis 5 vésicules. La vésicule antérieure, le télencéphale, se dédouble latéralement pour donner les hémisphères cérébraux.

**Document 7 :****CONCLUSION**

Les encéphales de mammifères se forment selon un même plan d'organisation. Ce plan suggère à ces animaux des liens de parenté originelle. Les complications de structure observées dans sa morphologie quand on passe des classes inférieures aux classes supérieures, sont dans leur ensemble liées à l'acquisition d'un comportement parfaitement adapté aux conditions ambiantes.

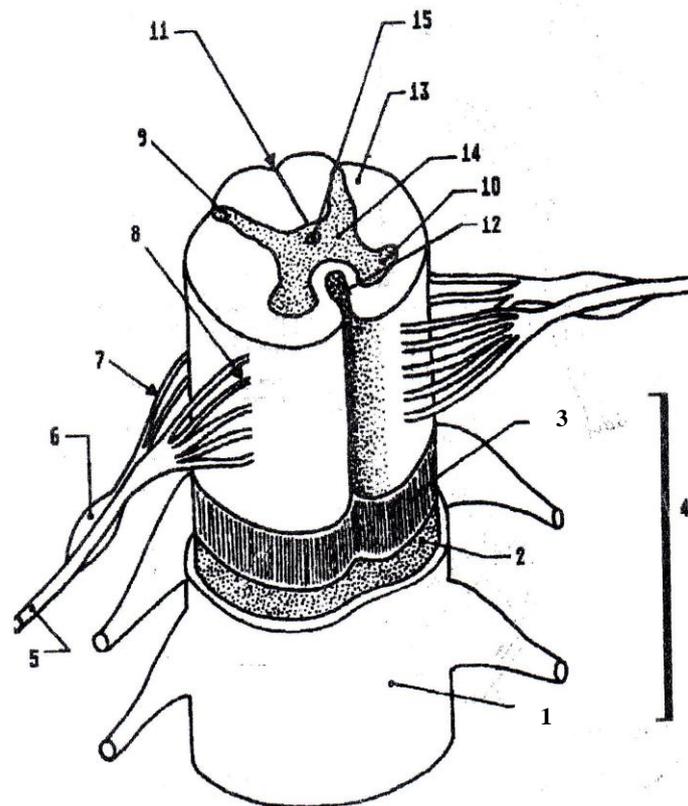
## Leçon 2 : ORGANISATION DE LA MOELLE EPINIÈRE

### INTRODUCTION

La moelle épinière est le prolongement de l'encéphale. Elle a l'aspect d'un cordon blanchâtre d'environ 45 cm chez l'homme et est située dans le canal rachidien de la colonne vertébrale.

#### I. Morphologie externe

La moelle épinière a l'aspect blanchâtre et est protégée par la colonne vertébrale et les méninges. Elle présente sur toute sa longueur un sillon antérieur ou ventral (12) et un sillon postérieur ou dorsal plus étroit (11). Elle est rattachée latéralement à des racines antérieures (8) et postérieures (7). La racine postérieure porte un renflement, le ganglion spinal (6). Ces deux racines se regroupent pour former le nerf rachidien (5).

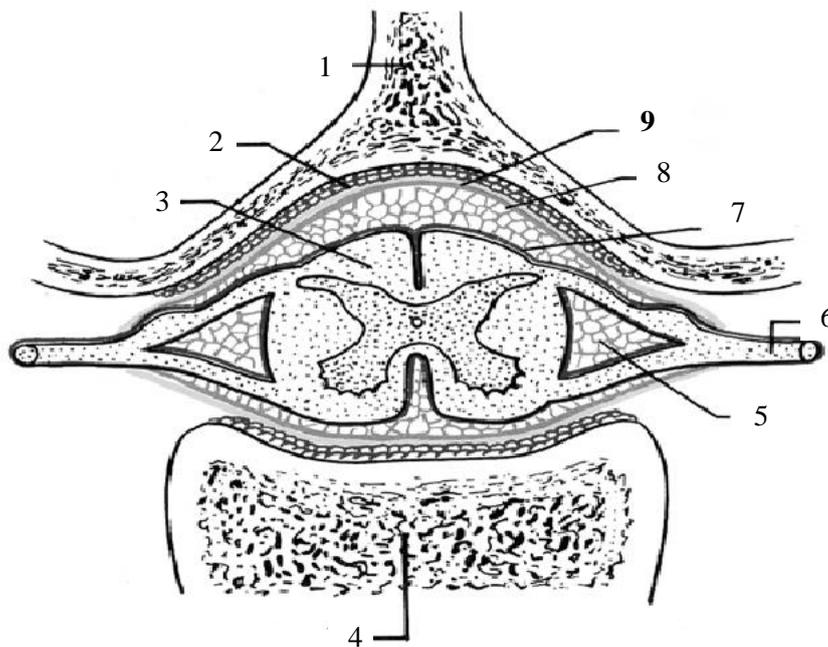


Document 1 :

#### II. Morphologie interne

Une coupe transversale de la moelle épinière montre au centre une substance grise (14) en forme de X et à la périphérie une substance blanche nacré (13), contraire à l'encéphale. Donc on a une inversion de structure par rapport à l'encéphale. La substance grise a au centre un canal, le canal de l'épendyme (15). Elle présente deux types de cornes : une corne antérieure (10) large et une corne postérieure (9) étroite.

Les méninges (4) qui protègent la moelle épinière, sont constituées de l'extérieur vers l'intérieur de la dure-mère (1), de l'arachnoïde (2) et de la pie-mère (3)



Document 2:

**Remarque :**

L'organisation des centres nerveux peut être vue sur les plans **anatomique** et **physiologique**.

Sur le plan anatomique on a le **système nerveux central** (encéphale et moelle épinière) et le **système nerveux périphérique** (nerfs et ganglions). Ces nerfs sont :

- Les **nerfs crâniens** rattachés à l'encéphale (au nombre de **12 paires** chez l'homme : les **nerfs X** ou **pneumogastriques**);
- Les **nerfs rachidiens** rattachés à la moelle épinière (au nombre de **31 paires** chez l'homme).

Sur le plan physiologique on distingue :

- Le **système nerveux de la vie de relation** (système nerveux central, les nerfs crâniens et rachidiens) ;
- Le **système nerveux végétatif** ou **neurovégétatif** (fonctions de nutrition et de reproduction) comprenant des **centres du système nerveux central** auxquels se rattachent les **nerfs sympathiques** et **parasympathiques**.

**CONCLUSION**

La moelle épinière des mammifères se forme selon un même plan d'organisation, mais peut avoir des dimensions variables en fonction de l'espèce, l'âge et le sexe de l'individu

## THEME 2 : LE TISSU NERVEUX ET SES PROPRIETES

### Leçon 3 : ORGANISATION DU TISSU NERVEUX

#### INTRODUCTION

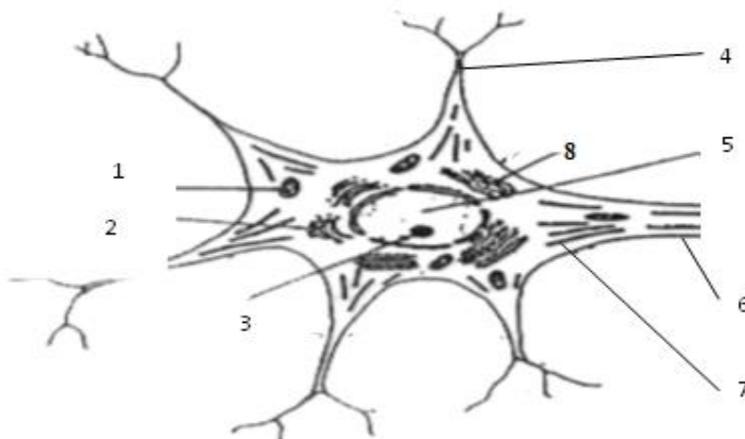
On appelle tissus nerveux l'ensemble des cellules nerveuses et leurs annexes qui forment les centres nerveux et les nerfs.

#### I. Etude d'un centre nerveux : la moelle épinière

##### I-1. Observation microscopique de la substance grise

L'observation microscopique de la substance grise de la moelle épinière montre des éléments polyédriques ou étoilés présentant un noyau et un nucléole, les *corps cellulaires* ou *soma* ou *péricaryon*. Ils ont à leurs angles des prolongements courts ramifiés à leurs extrémités et de diamètre irrégulier, les *dendrites* et un prolongement plus long à diamètre constant, l'*axone* ou *cylindraxe*. Dans le cytoplasme de ces cellules on note des *corps de Nissl* et des *neurofibrilles* en plus des autres organites cellulaires comme les mitochondries. L'observation au microscope électronique des *corps de Nissl* a permis de savoir qu'il correspond à l'*ergastoplasme*, alors que les *neurofibrilles* sont des microtubules.

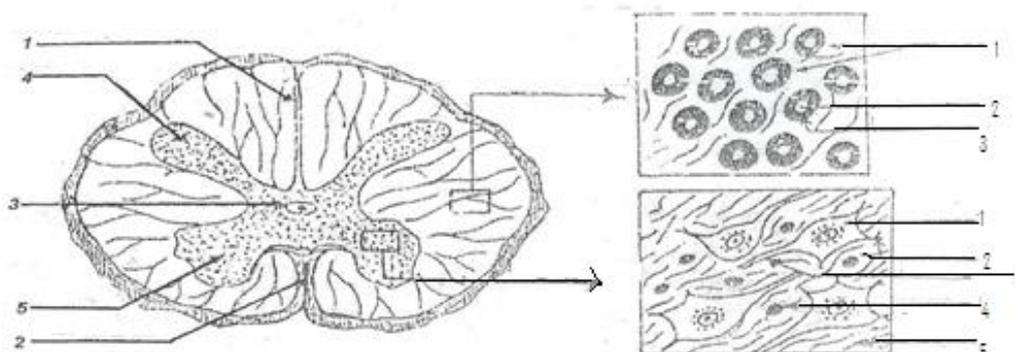
L'observation microscopique montre également la présence de beaucoup de fibres et de nombreux noyaux appartenant aux *cellules gliales* (*cellules de la névroglie*). Ces cellules ont un rôle de soutien et de nutrition des cellules nerveuses.



Document 1 :

##### I-2. Observation microscopique de la substance blanche

La partie blanche de la moelle épinière est fibreuse. Chacune de ces fibres est enveloppée d'une couche blanche nacréée, la *myéline*. On y trouve également des cellules gliales et des myofibrilles.

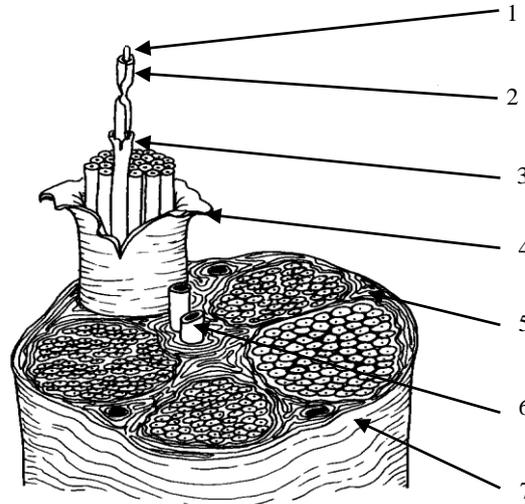


Document 2 :

## II. Etude microscopique du nerf

### II-1. Coupe longitudinale

Sur une patte de grenouille, on prélève un fragment de nerf sciatique, puis à l'aide d'une aiguille on dilacère et constate qu'il est constitué de plusieurs fibres parallèles, les *fibres nerveuses*.

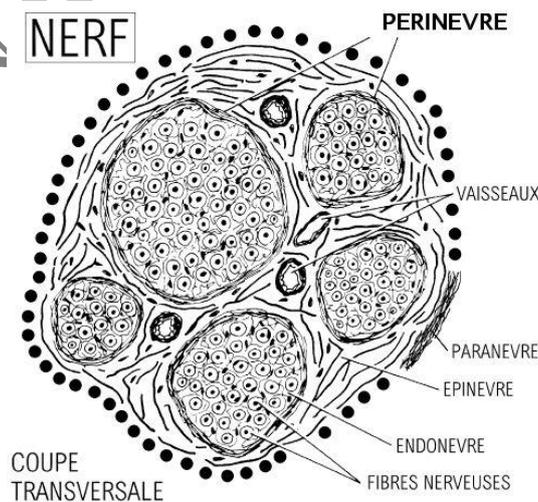


Document 3 :

### II-2. Coupe transversale

Une coupe transversale de nerf rachidien montre de l'extérieur vers l'intérieur :

- Le *paranèvre*, qui est une enveloppe protectrice.
- L'*épinèvre*, qui envoie des prolongements vers l'intérieur.
- Une gaine entourant un lot de fibres nerveuses, le *périnèvre*.
- Une gaine située entre les fibres nerveuses, l'*endonèvre*.
- Des *vaisseaux sanguins* noyés dans un tissu conjonctif.
- Des *fibres nerveuses*.



Coupe transversale du nerf

### III. Notion de neurone

#### III-1. Observation clinique

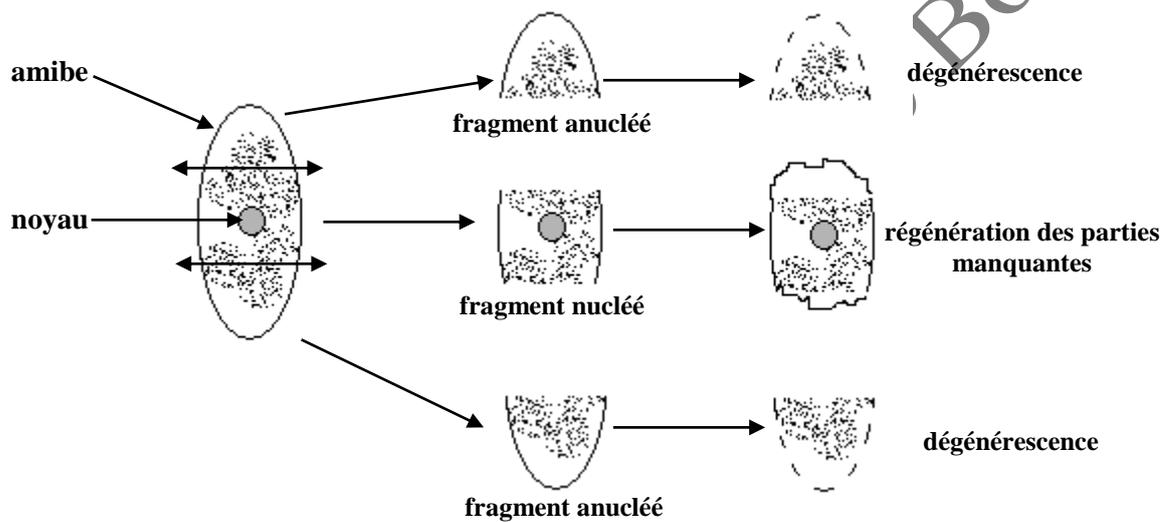
L'observation de la substance grise de la moelle épinière d'un patient atteint de la poliomyélite révèle une destruction des corps cellulaires de la corne antérieure médullaire. Ce qui entraîne une paralysie du fonctionnement des membres correspondant.

**Hypothèse :** .....

#### III-2. Expérience de Mérotomie

Lorsque l'on coupe une amibe en trois parties différentes :

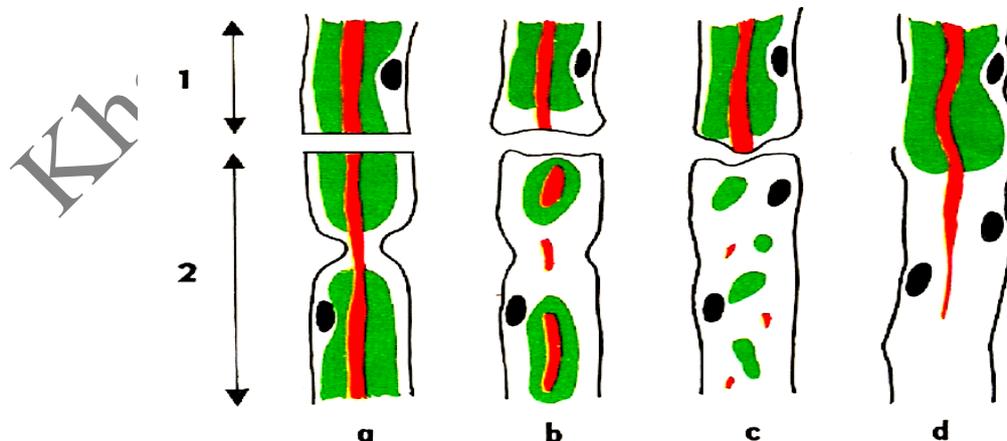
- ✓ La partie nucléée survie et reconstitue intégralement l'amibe ;
- ✓ Les parties anucléées dégèrent et disparaissent.



#### Expérience de mérotonie

#### III-3. Expérience de dégénérescence Wallérienne

Après section d'un nerf rachidien, on constate, en quelques jours, que la partie séparée de la moelle épinière (partie périphérique) de chaque axone se désorganise et la myéline qui l'entoure dégénère. Ce phénomène, découvert par Waller en 1851, a reçu le nom de dégénérescence wallérienne. Par contre, les axones des fibres de la partie reliée à la moelle épinière (partie centrale) restent intacts et régénèrent les parties manquantes.



*Étapes de la dégénérescence (b et c) et de la régénération (c et d) d'une fibre nerveuse (a) après section. 1. Partie reliée au corps cellulaire. 2. Partie séparée du corps cellulaire.*

#### Dégénérescence Wallérienne

**Conclusion :**

.....

.....

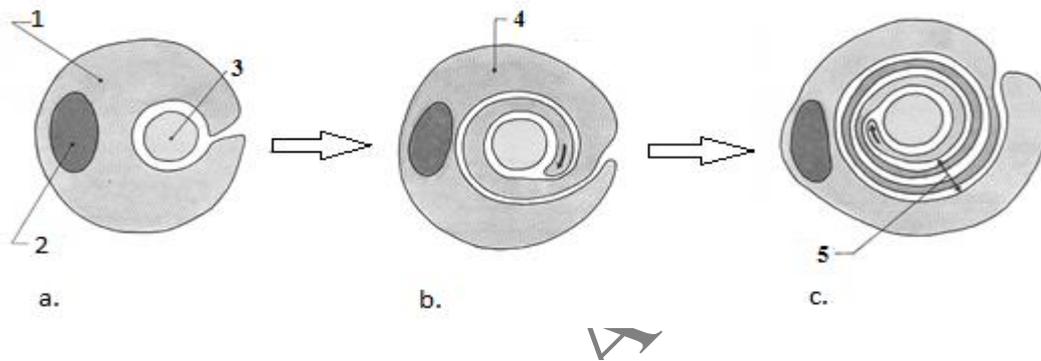
.....

.....

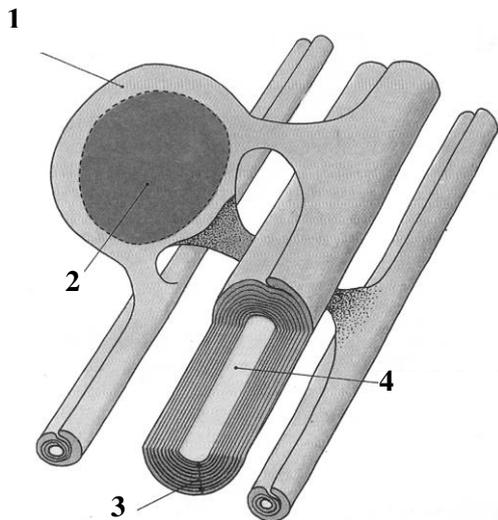
**III-4. Formation de la myéline (myélinisation)**

Dans la substance blanche, la gaine de myéline se forme à partir des cellules gliales, par contre dans le nerf elle se forme à partir des cellules de schwann. En effet, ces cellules étendent un prolongement cytoplasmique qu'elles enroulent plusieurs fois autour de l'axone, c'est la **myélinisation** qui se poursuit chez l'enfant jusqu'à 4 ans. La gaine de myéline est de nature phospholipidique et colorée en blanc nacré.

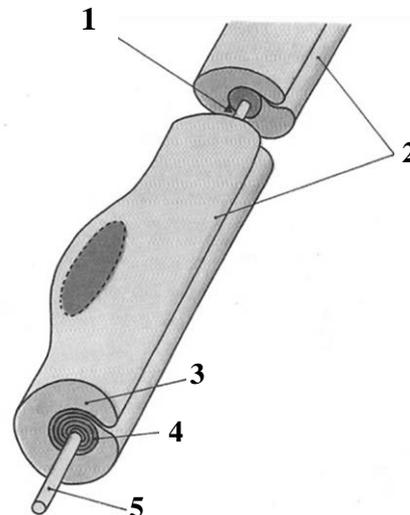
**Remarque :** Certains nerfs sont faits de fibres nerveuses sans gaine de myéline ; ces fibres dont l'axone n'est entouré que par une gaine de schwann sans enroulement sont dites **fibres amyéliniques**



**Document 4 :**



**Document 5 :**



**Document 6 :**

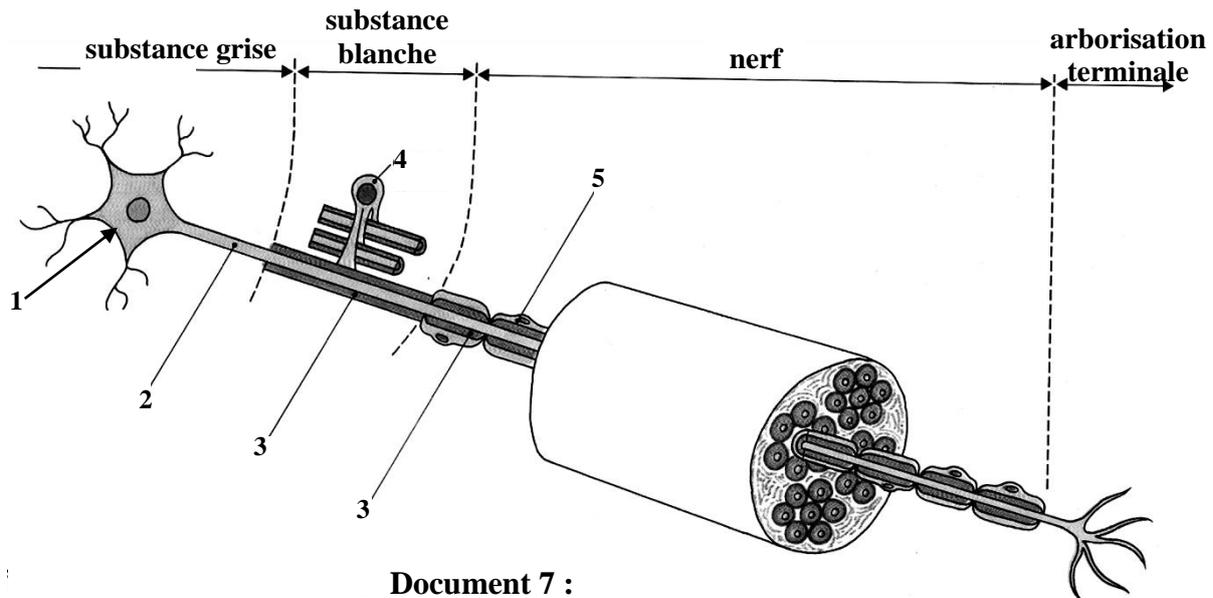
**III-5. Structure du neurone**

Les cellules nerveuses localisées dans la substance grise et les cylindraxes des fibres nerveuses caractéristiques de la substance blanche et des nerfs ne sont pas donc indépendants mais en continuité.

**Définition :**

.....

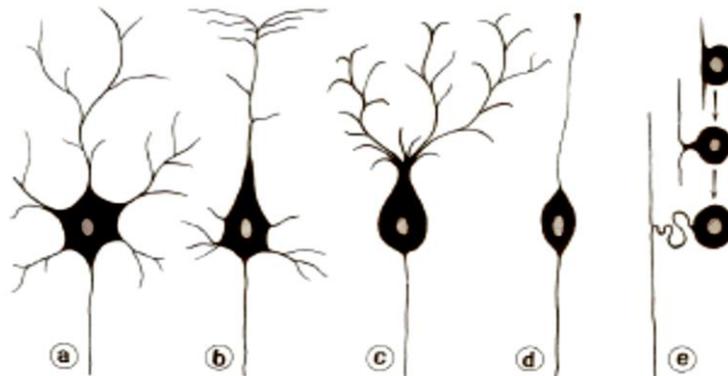
.....



Document 7 :

### III-5. Différentes formes de neurone

Selon leur localisation dans le tissu nerveux, le neurone présente une forme variable. Ainsi on distingue :



- a. ....  
 b. ....  
 c. ....  
 d. ....  
 e. ....

### III-6. Caractéristique du neurone

Le neurone est une cellule hautement différenciée qui a perdu la faculté de se diviser. Le nombre de neurone est déterminé avant la naissance et toute destruction par traumatisme, action microbienne, dégénérescence spontanée est définitive et irrémédiable. Le neurone est très sensible au manque d'oxygène. Une anoxie de 3 minutes entraîne des lésions irréversibles (c'est pourquoi il faut réanimer les personnes lors d'un accident). Il est aussi sensible aux manques de nutriments (acides aminés, glucose, acides gras et vitamines) et aux drogues (alcool, nicotine, excitants et calmants) qui modifient son fonctionnement. Il est également sensible aux variations du pH.

#### CONCLUSION

Le système nerveux ou appareil nerveux comporte des centres et des nerfs. Les centres sont formés par de substance grise et blanche qui correspondent en réalité aux différentes parties du neurone : corps cellulaires (substances grise) et fibres myélinisées (substance blanche). Entre les neurones se trouvent les cellules de la névroglie (les cellules gliales) et les vaisseaux sanguins. L'ensemble cellules nerveuses et cellules de la névroglie constitue le tissu nerveux.

## Leçon 4 : LES PROPRIETES DU TISSU NERVEUX

### I. EXCITABILITE

C'est la capacité que possède un organe en particulier un nerf à entrer en activité sous l'influence d'un excitant.

#### I-1. Mise en évidence

Procédons à la destruction des centres nerveux d'une grenouille. Isolons le nerf sciatique rattaché à la patte et sectionnons le en deux parties. Pinçons la partie du nerf liée à la patte.

#### Résultat :

On observe un battement de la patte.

#### Conclusion :

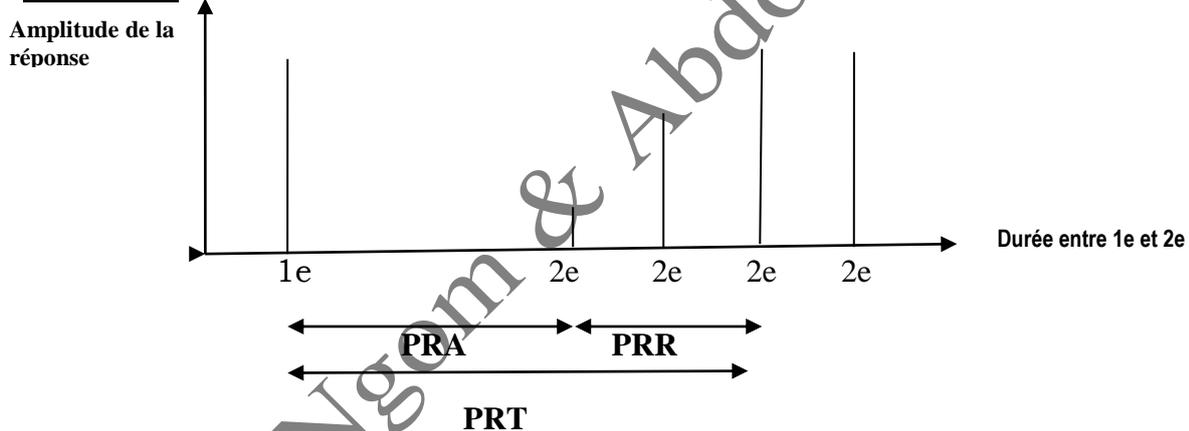
.....  
 .....

#### a- Notion de période réfractaire

##### -Cas de la fibre nerveuse

Si l'on soumet la fibre nerveuse à 2 stimulations efficaces et très rapprochées, la deuxième souvent ne donne pas de réponse. Donc après chaque réponse la fibre reste momentanément inexcitable. Cet intervalle de temps pendant lequel la fibre reste inexcitable est appelé période réfractaire.

##### -Cas du nerf



1e et 2e : 1<sup>ère</sup> et 2<sup>e</sup> excitations

PRT : période réfractaire totale

PRA : période réfractaire absolue

PRR : période réfractaire relative

Si on porte 2 excitations de même intensité séparées par un temps suffisant sur le nerf, on obtient 2 réponses identiques. Cependant si on réduit progressivement l'intervalle de temps qui sépare les 2 excitations, l'amplitude de la deuxième réponse diminue progressivement : c'est la période réfractaire relative.

Si l'intervalle de temps devient très court la deuxième réponse disparaît : c'est la période réfractaire absolue.

#### Remarque :

Dans certains cas deux stimulations successives infraliminaire donnent Une réponse. Tout se passe comme si les excitations ajoutent leurs effets pour faciliter la réponse. Il y a alors sommation des 2 excitations, c'est la sommation temporelle.

## I-2. Différents types d'excitants

Les excitants sont nombreux et sont de natures diverses. Il y a des excitants :

- ✓ Mécaniques : pincement ou choc.
- ✓ Thermiques : froid, chaleur.
- ✓ Chimiques : acides et bases dilués.
- ✓ Electriques et électronique.

Cependant, les excitants électriques sont les plus utilisés car ne lèsent pas le nerf et sont contrôlables.

## I-3. Conditions d'excitabilité : Expérience de Lapique

A partir de l'ensemble nerf-muscle, Lapique a cherché la durée minimale d'application du courant électrique sur le nerf pour obtenir une réaction ; inversement, il a cherché la tension minimale qu'il faut pour une durée bien déterminée de l'excitation. Cette expérience a permis d'obtenir les résultats du document suivant :

T (ms)	0,10	0,15	0,21	0,45	0,65	1,05	1,5	2,15	3	4	4,5
U (mV)	120	112	94	65,5	55	47	40	37	35	35	35

Tracer la courbe de variation de la tension en fonction de la durée d'application de l'excitant. Analyser la courbe puis déterminer graphiquement la plus petite intensité d'excitation permettant une réponse et la durée correspondant à la valeur de cette intensité

**Exploitation :**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**NB**: Comparer l'excitabilité de différents nerfs (ou fibres nerveuses) consiste à comparer leurs rhéobases ou leurs chronaxies respectives. En effet, plus la rhéobase est faible (donc chronaxie faible), plus le nerf est excitable.

## II. Conductibilité

C'est la possibilité que possède le nerf de conduire une excitation du nerf vers le muscle.

### II-1. Mise en évidence

Le pincement du nerf de la patte de grenouille a entraîné une réaction de la patte. Donc le nerf a conduit l'excitation à travers un *influx nerveux* jusqu'à la patte, il est un *conducteur*.

### II-2. Condition de conductibilité

Pour que le nerf puisse conduire l'influx nerveux, il doit :

- ✓ Etre sain : pas écrasé, ni coupé ;
- ✓ Avoir de l'oxygène ;
- ✓ Ne pas être anesthésié (éther) ;
- ✓ Ne pas être refroidi à des températures très basses.

## III. Phénomènes électriques en rapport avec l'influx nerveux

La conduction de l'influx nerveux le long du nerf peut être appréciée à l'aide d'un oscilloscope cathodique.

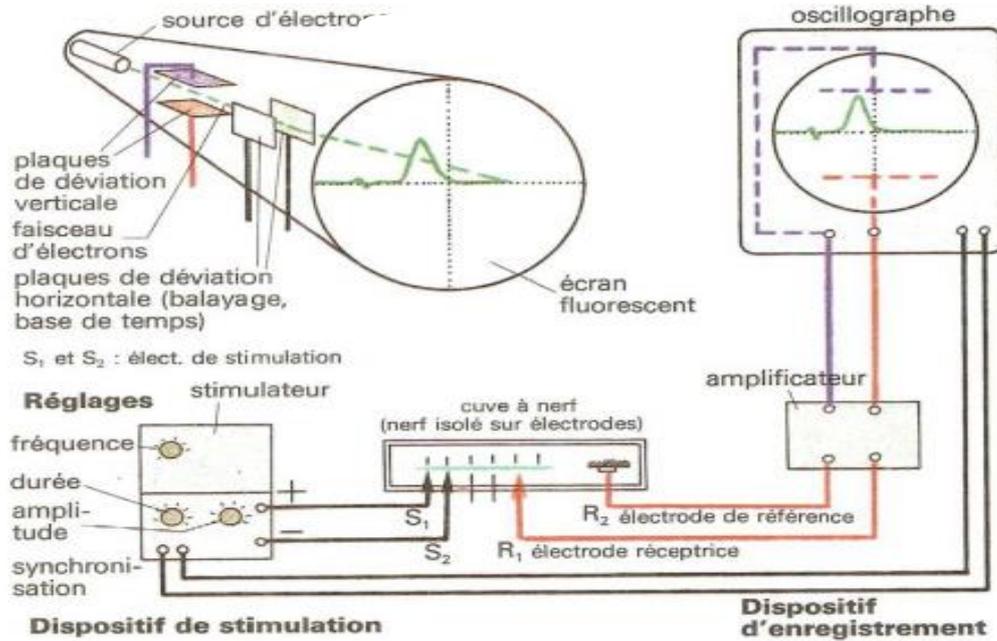
### III-1. Principe de fonctionnement de l'oscilloscope cathodique

Ce principe est basé sur l'émission d'un faisceau ou spot d'électron par une source à équidistance entre deux plaques horizontales et sa visualisation sur l'écran fluorescent. Ces plaques sont reliées chacune à une électrode réceptrice permettant de détecter les variations électriques.

La plaque inférieure est reliée à l'électrode réceptrice  $R_1$ , alors que la plaque supérieure est reliée à l'électrode de référence  $R_2$ . La déviation du spot par les plaques est due à la modification de charge électrique de la fibre nerveuse.

L'oscilloscope est relié à un *stimulateur* permettant de contrôler l'amplitude  $A_s$  (intensité du courant), la durée  $t_s$  et la fréquence  $F_s$  de stimulation. Le stimulateur est relié à la fibre nerveuse par des *électrodes stimulatrices*  $S_1$  et  $S_2$ .

L'oscilloscope est également relié à un *amplificateur* qui est à son tour relié à la fibre par des *électrodes réceptrice*  $R_1$  et de référence  $R_2$ .



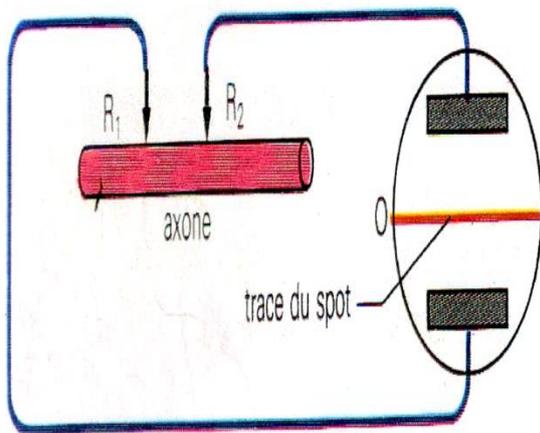
**III-2. Mise en évidence des phénomènes électriques**

**III-2-1. Enregistrement de phénomènes électriques**

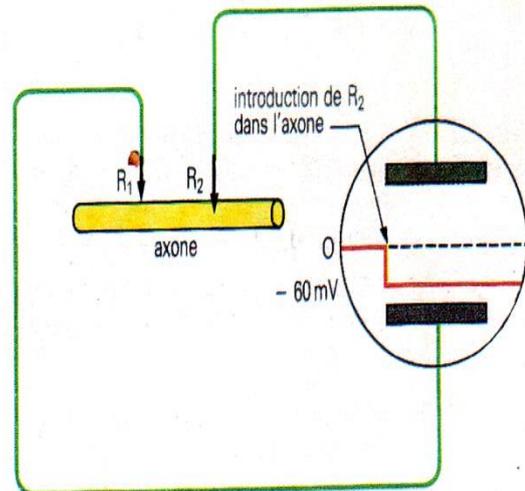
**III-2-2. Potentiel de repos**

**Expériences :**

Expérience a :



Expérience b :



Analyser puis tirer une conclusion pour chacune de ces expériences.

**Expérience a :**

.....

.....

.....

.....

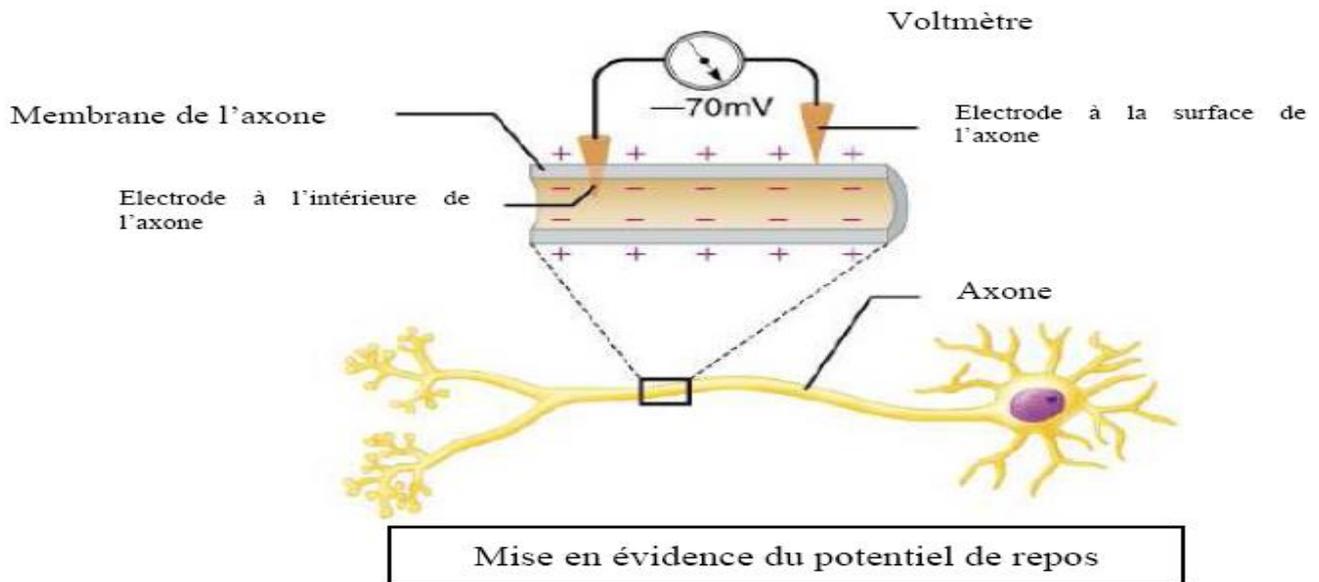
**Expérience b :**

.....

.....

.....

.....

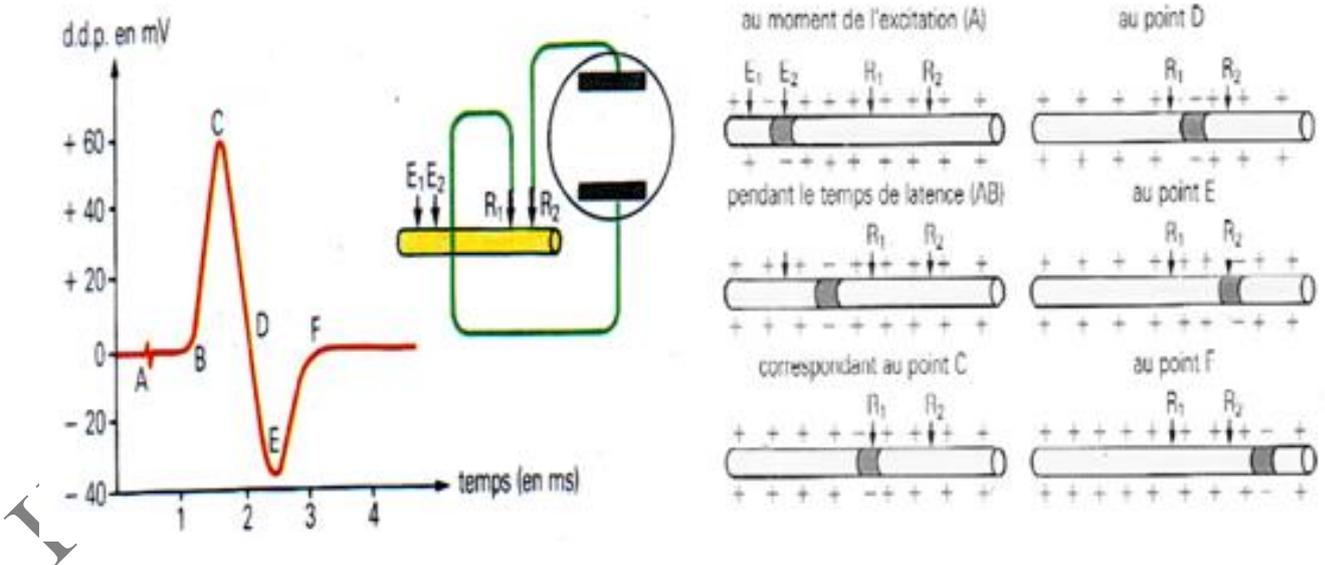


Le voltmètre et le galvanomètre permettent de détecter la ddp, mais l'oscilloscope donne de meilleures informations car permet de visualiser sur l'écran fluorescent les potentiels de repos et d'action.

### III-2-3. Potentiel d'action

#### III-2-3-1. Potentiel diphasique

Sur un dispositif d'enregistrement contenant une fibre de grenouille, envoyons une excitation supraliminaire, on voit une double déviation du spot qui décrit une courbe à double déviations inverses, c'est le **potentiel d'action**. Il est précédé d'un enregistrement appelé **artéfact**, synchrone de la stimulation et du passage du courant dans la fibre.

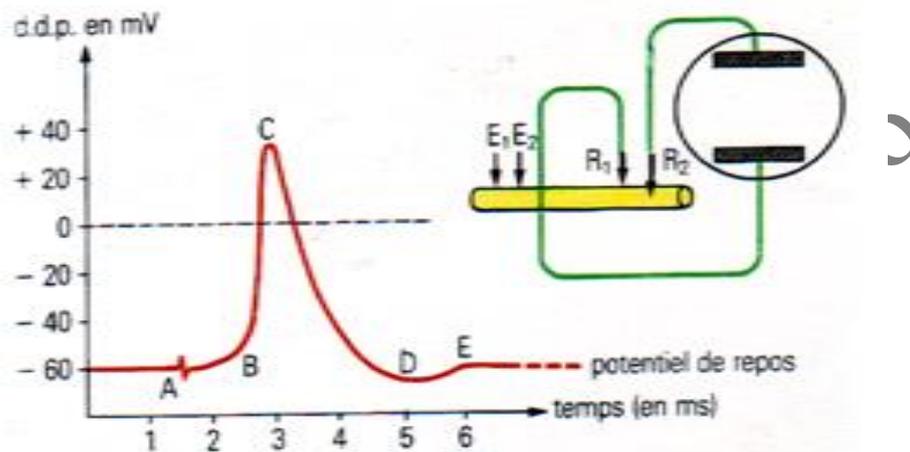


#### ➤ Analyse des phénomènes électriques du potentiel diphasique

- A : .....
- AB : .....
- BC : .....
- CD : .....
- DE : .....
- EF : .....
- Au-delà de F : .....

### III-2-3-2. Potentiel monophasique

Lorsque l'électrode  $R_1$  est sur le nerf et l'électrode  $R_2$  à l'intérieur du nerf ou à un potentiel fixe (électrode de référence), on enregistre une courbe à un seul sommet, le *potentiel monophasique*. Il en est de même lorsque  $R_2$  est fonctionnelle mais placée sur une zone non fonctionnelle du nerf (nerf écrasé, anesthésié etc.)

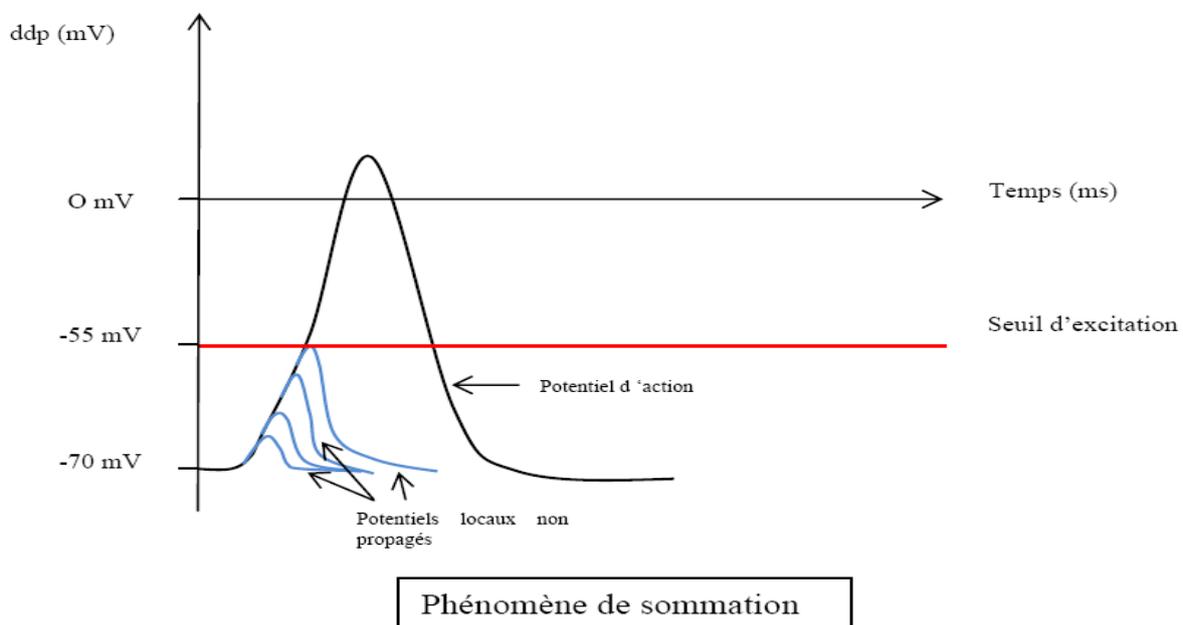


#### ➤ Analyse des phénomènes électriques du potentiel monophasique

- A : .....
- AB : .....
- BC : .....
- CD : .....
- DE : .....

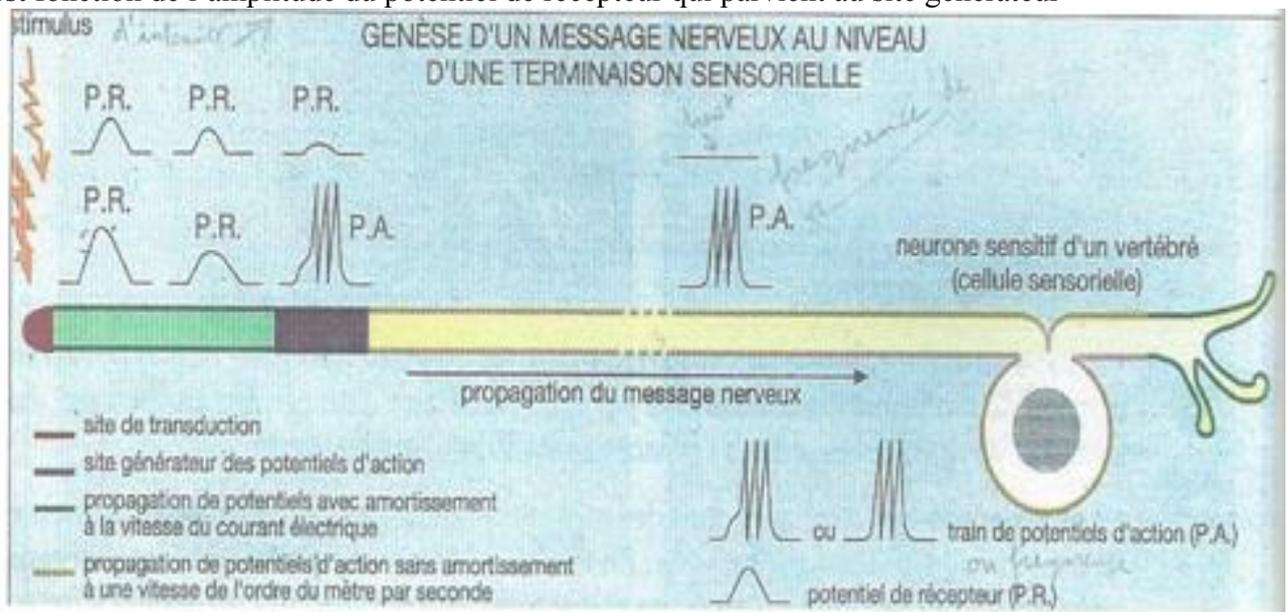
### III-2-3-3. Phénomène de sommation

Lorsqu'on excite une fibre avec une stimulation infraliminaire, on n'obtient pas de potentiel d'action, mais il se produit une réponse locale (potentiel local) qui ne se propage pas et modifie l'état d'excitabilité de la fibre pendant un temps bref. Cependant, la succession de stimuli infraliminaires à intervalle de temps court, provoque un potentiel d'action, car les potentiels locaux s'additionnent pour atteindre le seuil d'excitation (qui est d'environ de  $-55 \text{ mV}$ ), c'est le *phénomène de sommation*.



### III-2-3-4. Genèse d'un potentiel d'action au niveau d'un récepteur sensoriel

Au niveau d'une cellule sensorielle, le stimulus spécifique provoque une modification du potentiel de membrane : c'est **le potentiel de récepteur**. L'amplitude de ce potentiel est proportionnelle à l'intensité du stimulus ; il y a codage de l'information en modulation d'amplitude de la ddp transmembranaire : c'est la **transduction**. Lorsque le potentiel de récepteur atteint le seuil critique de la membrane, un potentiel d'action apparaît au niveau du **site générateur**. Le potentiel de récepteur se propage **avec amortissement sur une courte distance** (entre le site transducteur et le site générateur). La fréquence des potentiels d'action est fonction de l'amplitude du potentiel de récepteur qui parvient au site générateur



### III-2-4. Interprétation ionique du potentiel de repos et d'action

#### III-2-4-1. Le potentiel de repos : (origine et maintient)

##### ➤ Activité :

Des études pratiques sur des fibres nerveuses « géantes » de *Calmar* montrent la répartition ionique de part et d'autre de la membrane de l'axone. Analyser ce tableau et tirer une conclusion

Ions	Concentrations intracellulaires (mmol/L)	Concentrations extracellulaires (mmol/L)
$K^+$	400	20
$Na^+$	50	440

Analyse :

.....  
 .....  
 .....

Conclusion :

.....  
 .....

##### ➤ Analyse d'expériences :

**Expérience 1 :** Des fibres de Calmar sont placées dans de l'eau de mer contenant des ions  $K^+$  radioactifs et on constate peu après que l'axoplasme devient radioactif.

Par contre si l'on injecte des  $Na^+$  radioactifs dans l'axoplasme, on constate par la suite que la radioactivité diminue progressivement à l'intérieur et augmente à l'extérieur.

**Expérience 2 :** Lorsqu'on bloque la synthèse d'ATP par le cyanure ou par le DNP, les changements de radioactivité observés dans l'expérience 1 ne s'opèrent plus et la ddp transmembranaire au repos disparaît.

### Exploitation :

**Expérience 1 :** .....

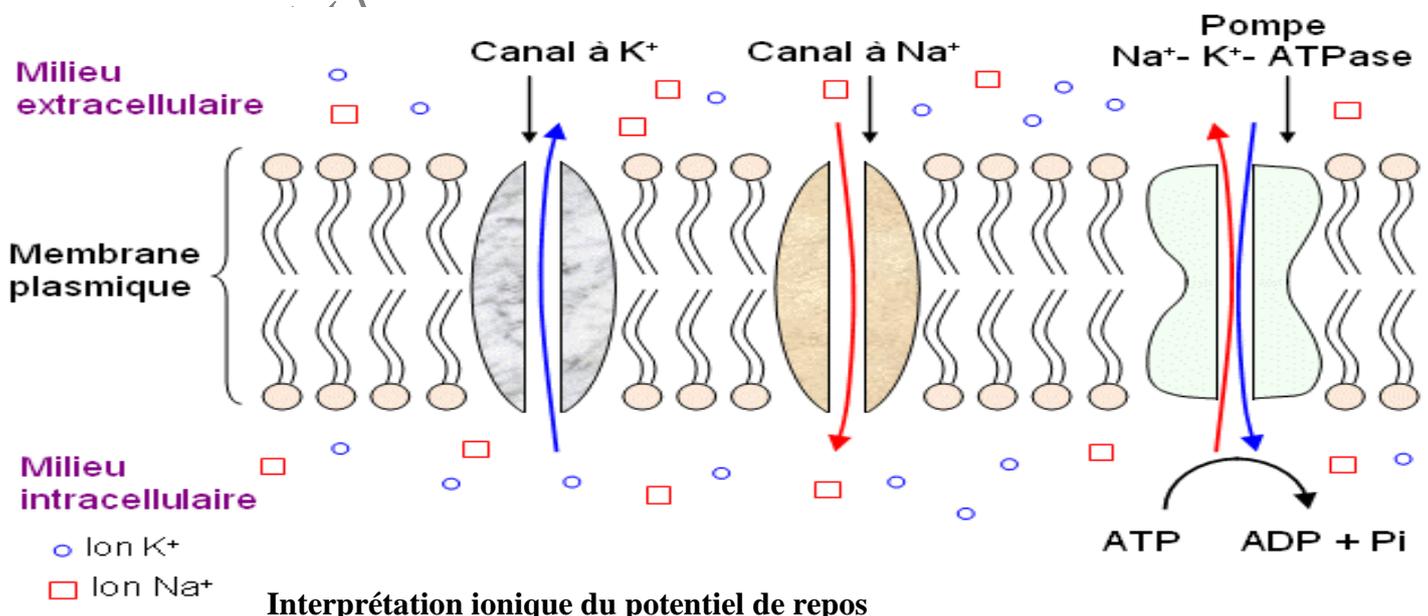
**Expérience 2 :** .....

### SYNTHÈSE:

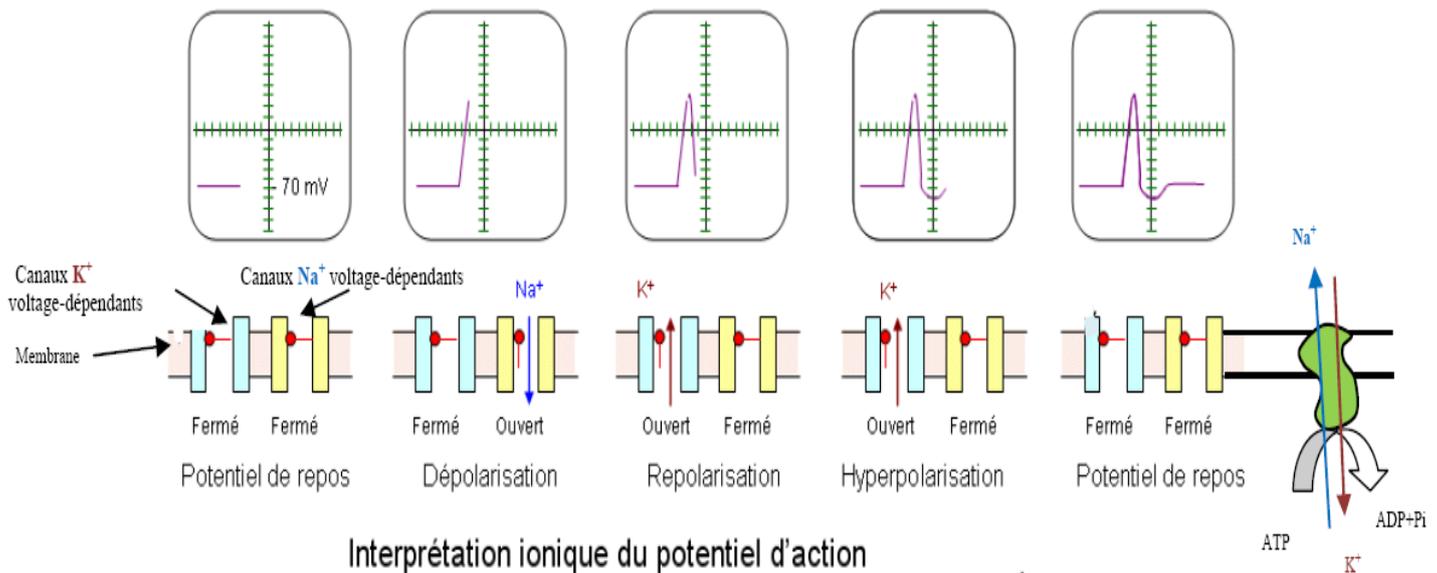
**Origine du potentiel de repos :** .....

**Maintien du potentiel de repos :** .....

**NB :** Ce potentiel de repos n'est pas particulier à la cellule nerveuse mais s'observe chez toutes les cellules vivantes : on parle de **potentiel de membrane**







Interprétation ionique du potentiel d'action

Remarque : Tout blocage de la synthèse de ATP entraîne un arrêt de la pompe à  $Na^+/K^+$ .

III-3. Potentiel d'action d'une fibre nerveuse ou d'un nerf

-Cas d'une fibre nerveuse isolée

Analyse et interprétation:

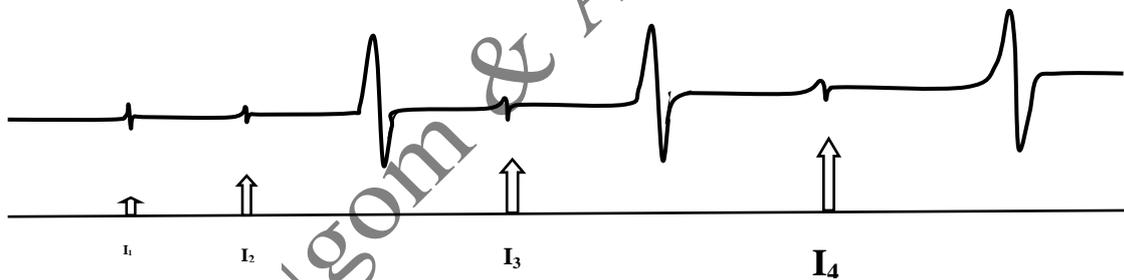
.....

.....

.....

.....

.....



Potentiel d'action d'une fibre nerveuse soumise à des excitations d'intensités croissantes

-Cas d'un nerf :

Analyse et interprétation:

.....

.....

.....

.....

.....

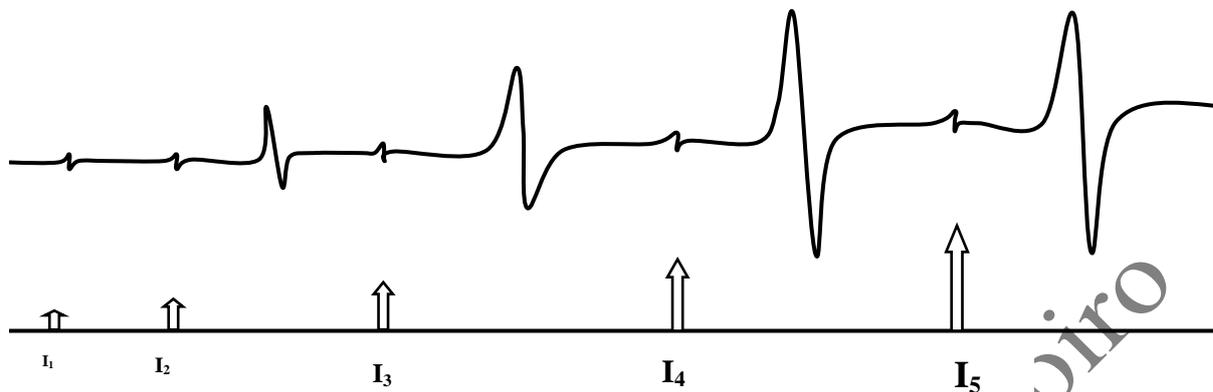
.....

.....

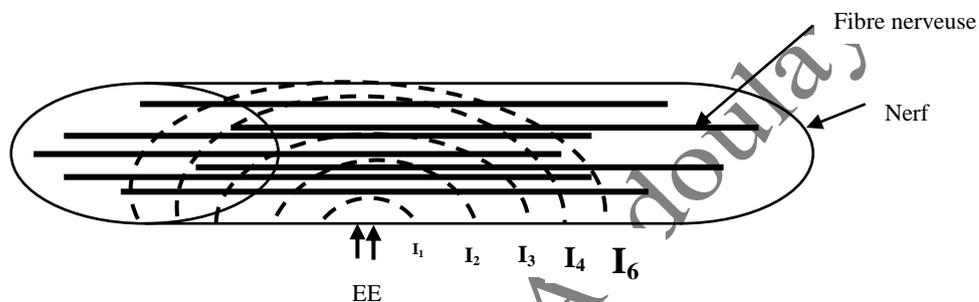
.....

.....

.....



Potentiel d'action d'une fibre nerveuse soumise à des excitations d'intensités croissantes



Interprétation de la réaction du nerf à des stimulations d'intensités croissantes

## VI. Conduction de l'influx nerveux

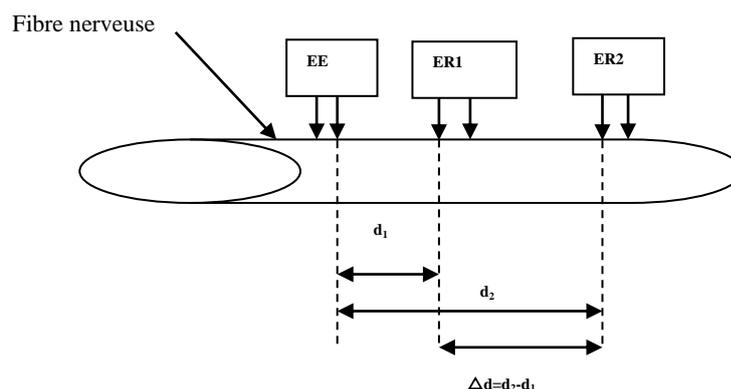
### VI-1. Vitesse de conduction

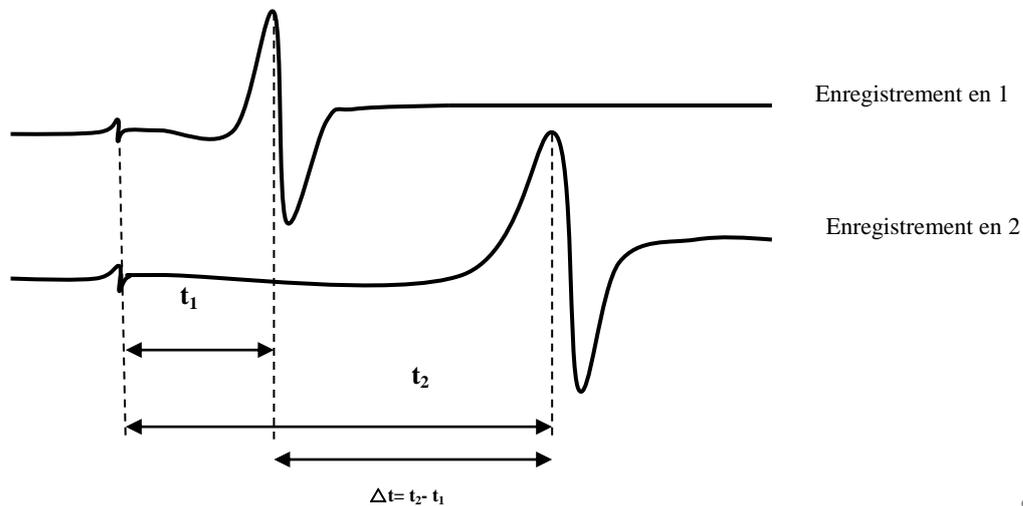
Le calcul de la vitesse de conduction se fait en plaçant d'abord les électrodes réceptrices à une distance  $d_1$  des électrodes excitatrices, puis on enregistre le potentiel d'action. Ensuite, les électrodes réceptrices sont déplacées à une distance  $d_2$  (supérieure ou inférieure à  $d_1$ ), puis un 2<sup>nd</sup> potentiel d'action est enregistré.

La superposition des deux potentiels d'action de tel sorte que les artéfacts coïncident, permet de déterminer le temps parcouru par l'influx nerveux pour parcourir la distance  $\Delta d = d_2 - d_1$ .

La *vitesse de conduction* (m/s) se calcule à partir de la formule :

$$V = \frac{\Delta d}{\Delta t}$$





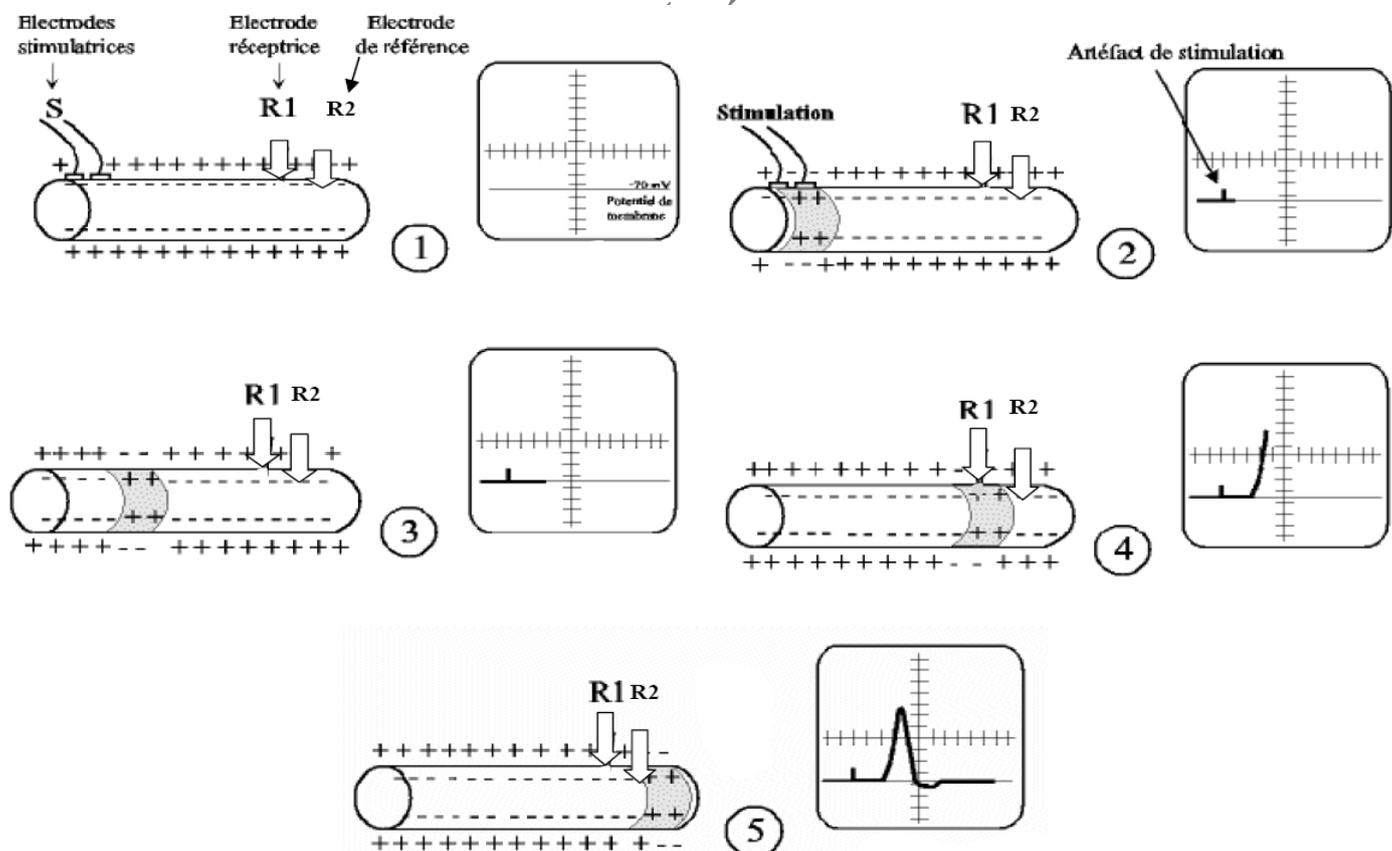
Principe de calcul de la vitesse de l'influx nerveux

## VI-2. Différents types de conduction

### VI-2-1. Dans une fibre amyélinisée

L'excitation de la fibre nerveuse en un point entraîne un changement de charge, l'extérieur devient négatif et l'intérieur positif. Ce changement de charge se propage le long de la fibre nerveuse de proche en proche, c'est la *théorie des courants locaux*. Après son passage la fibre retrouve sa polarité normale.

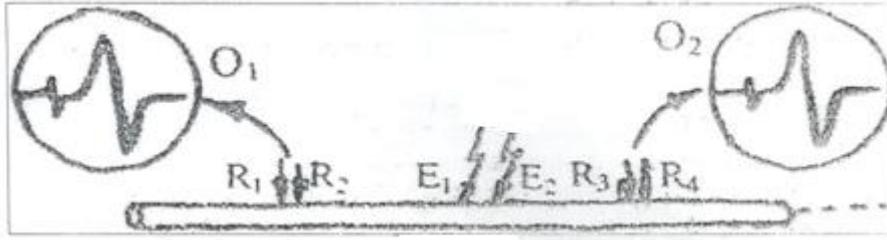
Lors de son déplacement le long de la fibre, le changement de charge arrive au niveau de l'électrode réceptrice R1 (rattachée à la plaque horizontale du bas) qui devient négatif et repousse le faisceau d'électrons vers le haut, c'est la *dépolarisation*. L'électrode étant redevenue positive, le faisceau d'électrons est attiré vers le bas, c'est la *repolarisation*.



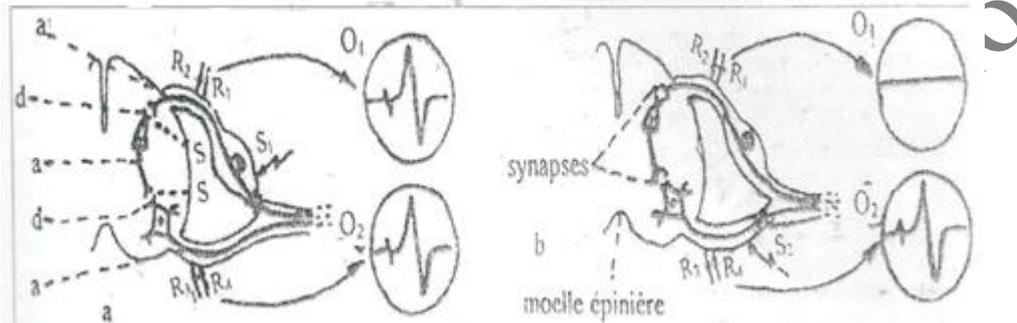
Théorie des courants locaux



### VI-3. Sens de conduction de l'influx nerveux



- Sur une portion de fibre ou de nerf (hors de l'organisme), l'influx nerveux se propage dans un seul sens



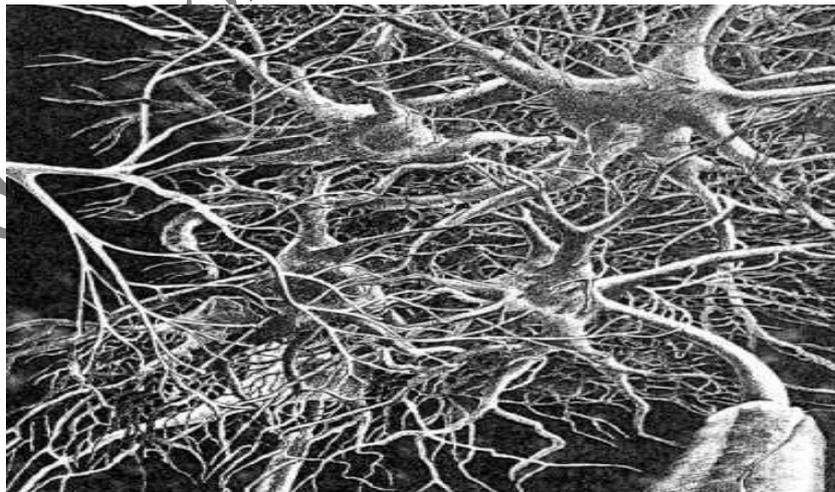
- Dans l'organisme vivant où il y a des connections entre les fibres, l'influx se transmet dans un seul sens (sens unique), soit d'un récepteur vers un centre nerveux (sens centripète), soit d'un centre nerveux vers un effecteur périphérique (sens centrifuge).

Cette propagation laisse supposer que le sens de l'influx nerveux est imposé par les relais entre les fibres nerveuses portant le nom de **synapses**

### V. Notion de synapse

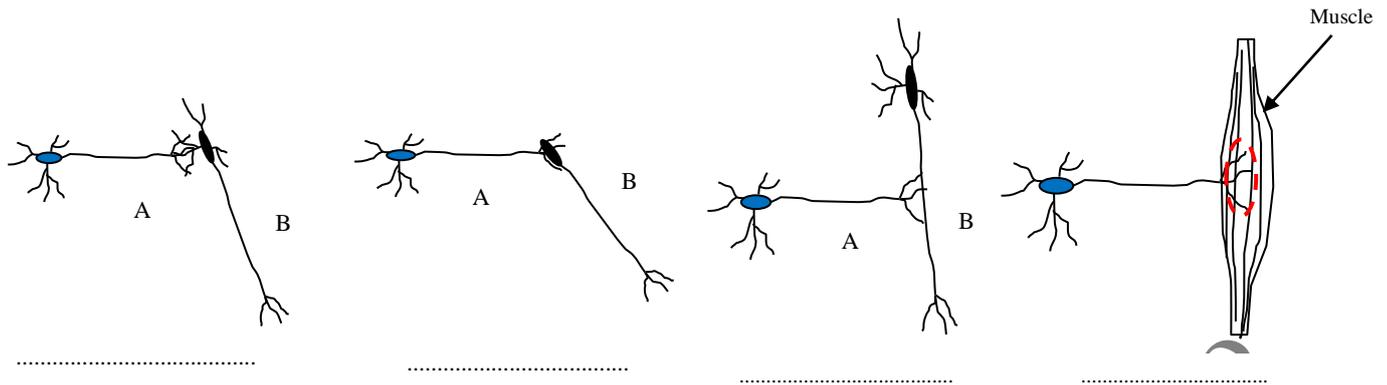
#### V-1. Observation de jonctions neuroniques

L'observation de cette coupe montre que les neurones sont reliés les uns aux autres. En fait ces neurones ne sont pas en continuité entre eux, mais sont en contact à travers leur terminaison nerveuse, leur soma ou leurs dendrites. Cette jonction entre deux neurone est appelée **synapse**.

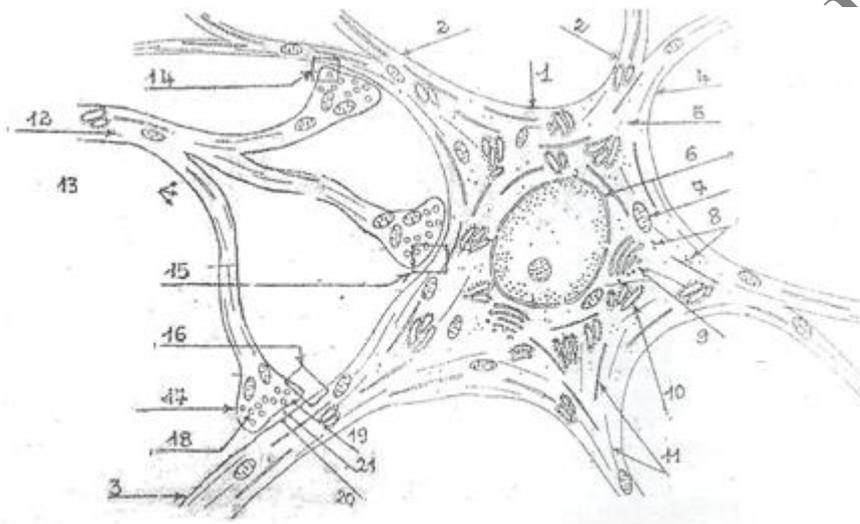


En fonction des parties en contact au niveau de la synapse on distingue :

- ✓ Les synapses **axo-dendritiques** : entre axone d'un neurone **A** avec les dendrites d'un neurone **B** ;
- ✓ Les synapses **axo-somatiques** : entre axone d'un neurone **A** avec le soma d'un neurone **B** ;
- ✓ Les synapses **axo-axoniques** : entre axone d'un neurone **A** avec l'axone d'un neurone **B** ;
- ✓ La **plaque motrice** qui est une synapse entre l'axone d'un neurone et d'un muscle.



Le neurone A est le *neurone présynaptique* et le neurone B est le *neurone postsynaptique*.



Au niveau de la synapse on a le *bouton synaptique* du neurone *présynaptique* contenant des *vésicules synaptiques* et la *fente synaptique* qui est un espace mince de 10 à 50 nm.

## V-2. Transmission synaptique

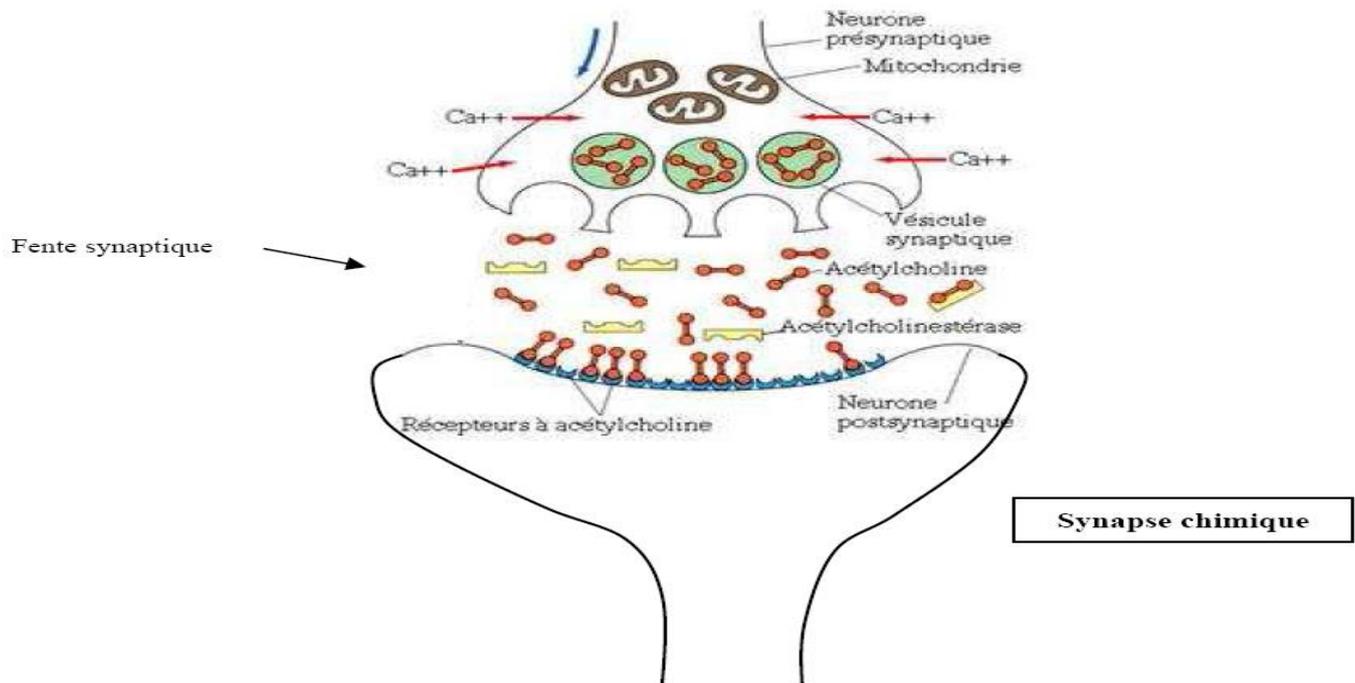
Lorsque l'influx nerveux arrive au niveau du bouton synaptique du neurone présynaptique, il se produit une forte entrée d'ions  $\text{Ca}^{2+}$  dans le neurone présynaptique entraînant une ouverture par exocytose d'un grand nombre de vésicules du neurone présynaptique qui libèrent ainsi l'*acétylcholine* (*neurotransmetteur*) dans la fente synaptique. L'*acétylcholine* agit directement sur les récepteurs de la membrane postsynaptique, qui sont les canaux à  $\text{Na}^+$  *chimiodépendants*, qui laissent entrer de façon massive les  $\text{Na}^+$ . Ce qui provoque une dépolarisation de la membrane donnant lieu à la propagation de l'influx nerveux. L'*acétylcholine* est ainsi appelé *neurotransmetteur médiateur chimique*.

Après la dépolarisation, l'*acétylcholinestérase* inactive l'*acétylcholine* en le dissociant et la *choline* issue de cette dissociation est reprise par le bouton présynaptique pour régénérer à nouveau de l'*acétylcholine*.

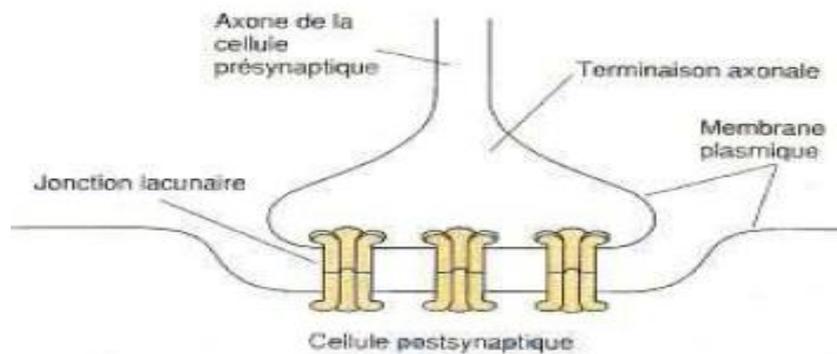
Ce phénomène requiert un temps qui provoque un retard dans la propagation de l'influx nerveux, ce temps est le *délai synaptique*.

La transmission de l'influx nerveux nécessite de l'énergie, cause pour laquelle il y a la présence de *mitochondries* dans le bouton synaptique.

**Remarque :** La présence de vésicules uniquement dans le bouton synaptique imprime à l'influx nerveux une direction unique dans les conditions physiologiques, c'est la *polarité physiologique de la synapse*. Donc la propagation de l'influx nerveux est *univoque* : bouton terminal vers corps cellulaire.

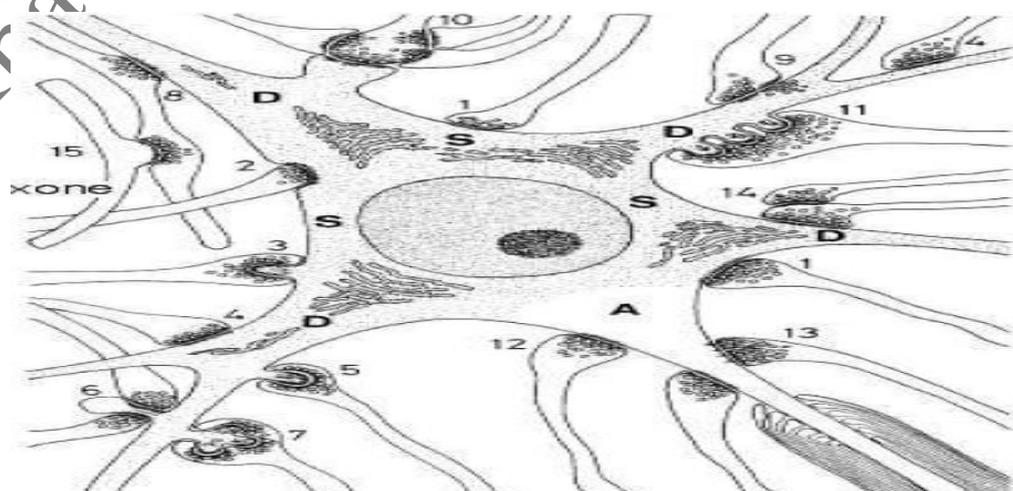


**Remarque :** Il existe des synapses à transmission électrique directe, à travers des *jonctions lacunaires*, et qui sont beaucoup plus rapides que celles à transmission chimique (mouvements des ailes de mouche, de moustiques etc.)



### Synapse à transmission électrique

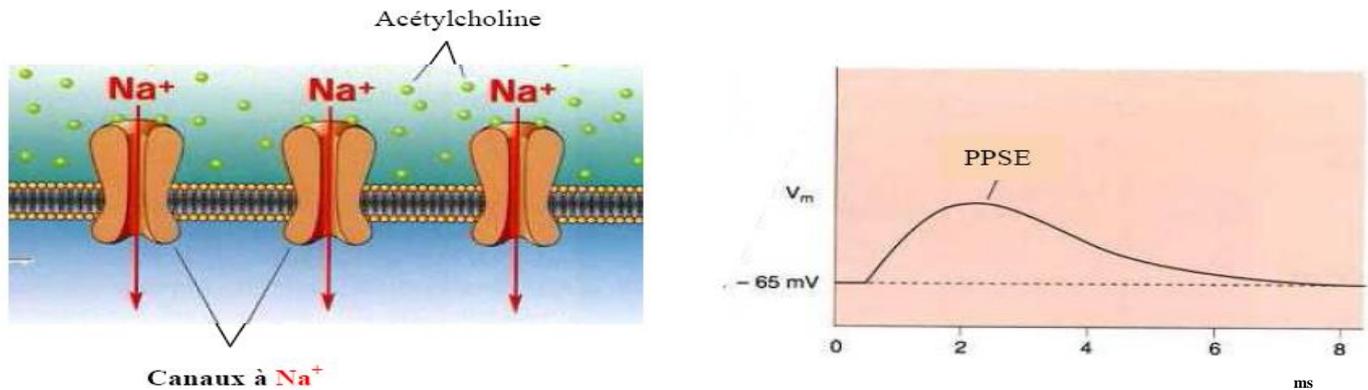
Au niveau des centres nerveux les neurones sont reliés entre eux par des multitudes de synapses, mais toutes les synapses n'ont pas les mêmes effets. On distingue des synapses excitatrices et des synapses inhibitrices.



Un neurone et ses synapses

### ➤ Les synapses excitatrices

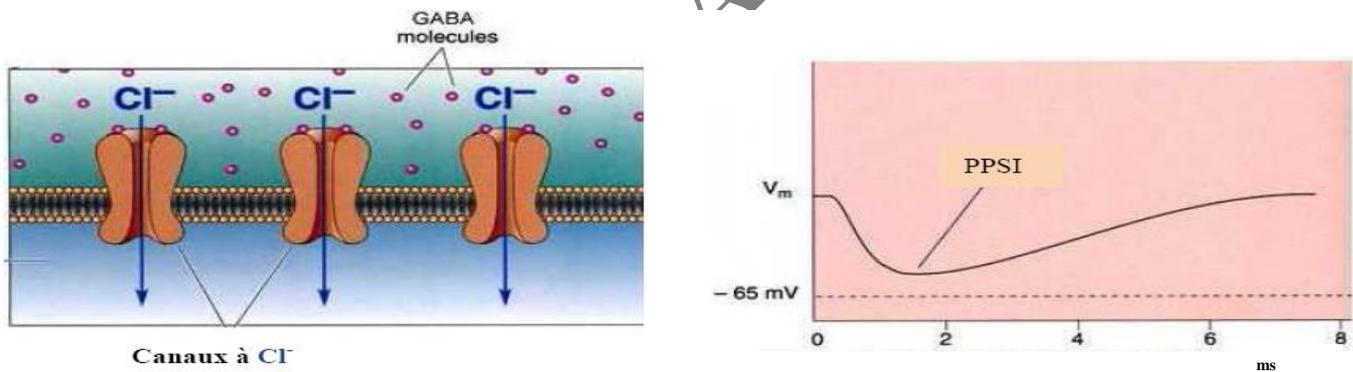
Le neurotransmetteur (*acétylcholine, noradrénaline, dopamine, sérotonine*) entraîne l'ouverture des canaux à  $\text{Na}^+$  et provoque une dépolarisation de la membrane du neurone postsynaptique. Lorsque la quantité de neurotransmetteur libérée est suffisante et permet d'atteindre le seuil d'intensité, il se forme au niveau de l'oscilloscope un *potentiel postsynaptique excitateur (PPSE)* qui produit un potentiel d'action le long de la fibre postsynaptique.



Effet des synapses excitatrices

### ➤ Les synapses inhibitrices

Le neurotransmetteur (ex : **GABA**) entraîne l'ouverture de canaux à  $\text{Cl}^-$  provoquant leur entrée dans la membrane du neurone postsynaptique. Ce qui provoque une *hyperpolarisation* de la membrane du neurone postsynaptique, correspondant à un *potentiel postsynaptique inhibiteur (PPSI)* qui ne provoque pas la naissance d'un potentiel d'action.

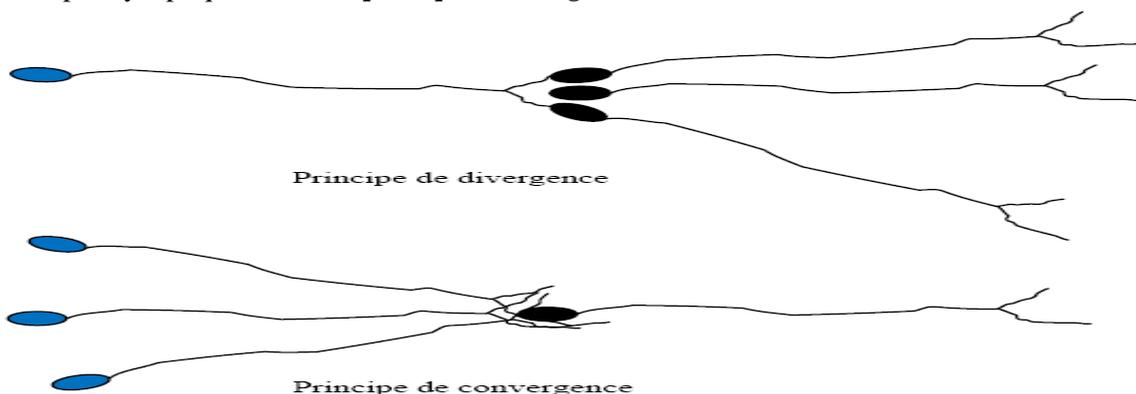


Effet des synapses inhibitrices

### V-3. Rôles intégrateur des synapses

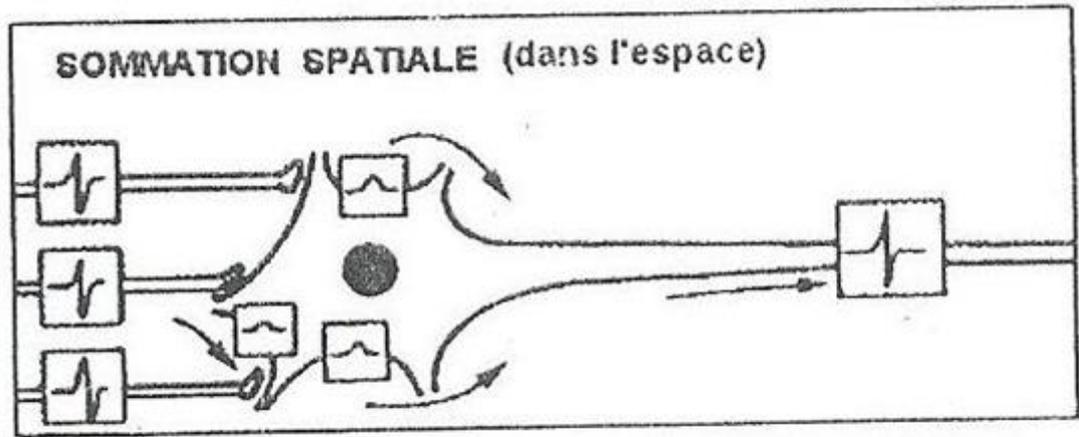
On peut avoir deux principes fondamentaux :

- ✓ Quand l'activité d'un neurone postsynaptique est influencée par celle de plusieurs neurones présynaptiques : c'est le *principe de convergence*.
- ✓ Quand l'activité d'un neurone présynaptique influence celle de plusieurs neurones postsynaptiques : c'est le *principe de divergence*.



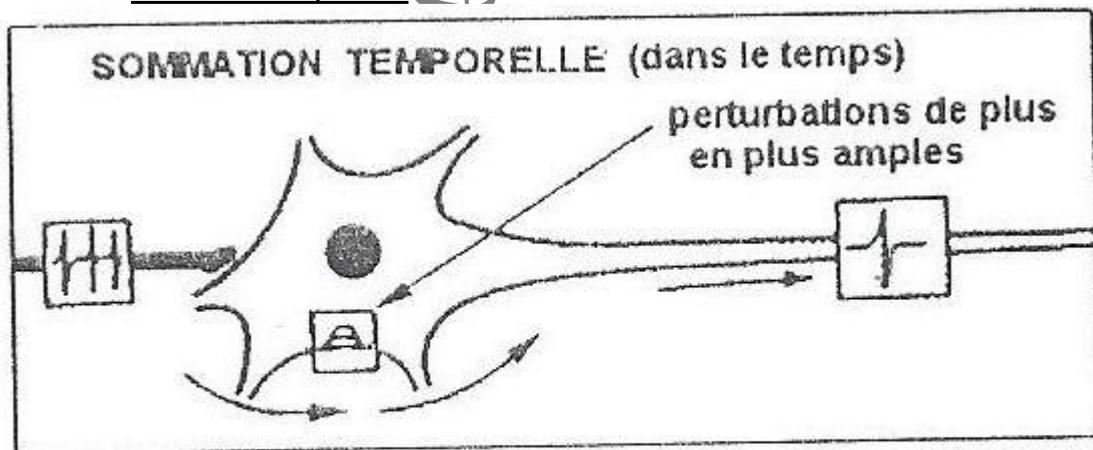
Les neurones postsynaptiques jouent un *rôle intégrateur* des messages nerveux afférents. Il se produit dans leur corps cellulaire un *potentiel postsynaptique global* qui est la somme algébrique des dépolarisations (PPSE) et des hyperpolarisations (PPSI) des synapses excitatrices et inhibitrices, c'est la *sommation*.

- ❖ Lorsque des potentiels simultanés additionnent leur effet donnant naissance à un potentiel postsynaptique, on parle de sommation spatiale. Ce type de sommation s'effectue dans les convergences anatomiques.



**sommation spatiale: somme de plusieurs PPS nés en même temps dans plusieurs synapses (excitatrices ou inhibitrices)**

- ❖ Dans le cas où les potentiels présynaptiques additionnent leurs effets répétitifs au niveau du même bouton synaptique conduisant à un potentiel postsynaptique, on parle de sommation temporelle.



**sommation temporelle: somme de plusieurs PPS successifs rapprochés nés au niveau d'un seul bouton présynaptique**

#### V-4. Facteurs influençant la transmission

La transmission synaptique peut être modifiée à différents niveaux par plusieurs facteurs :

- ✓ Au niveau de la synthèse des neurotransmetteurs (certaines drogues)
- ✓ Au niveau de la libération des neurotransmetteurs (les amphétamines augmentent leur libération).

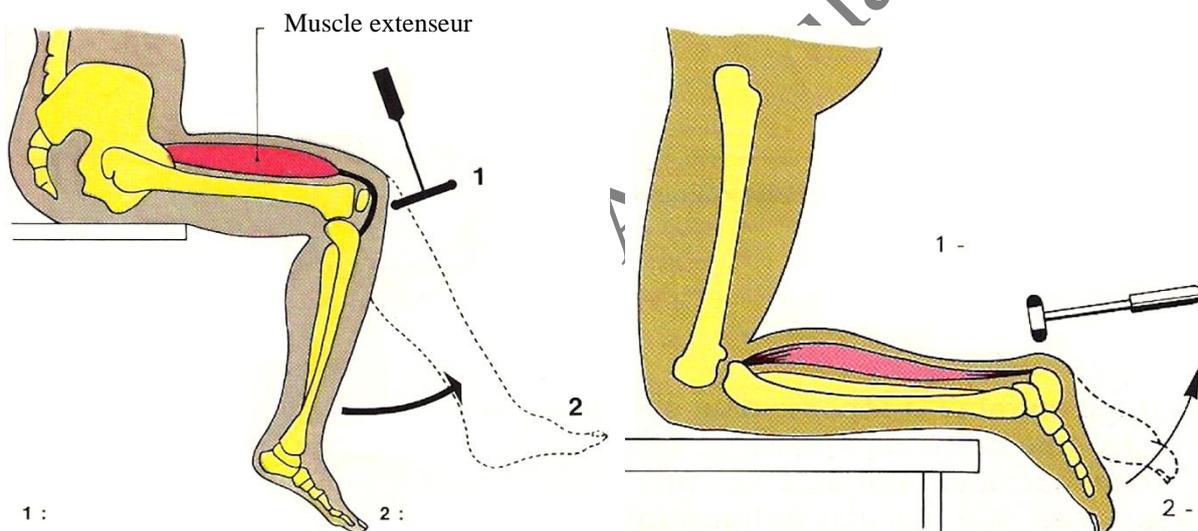
## THEME 3 : RÔLE DU SYSTEME NERVEUX DANS LE COMPORTEMENT MOTEUR D'UN ANIMAL

### Leçon 5 : RÔLE DU SYSTEME NERVEUX DANS LE COMPORTEMENT MOTEUR D'UN ANIMAL

#### I. NOTION DE REFLEXE

##### 1) Quelques exemples de réflexes

- ☞ Si par inadvertance, un sujet touche un objet brûlant, immédiatement sans que la volonté intervienne, il retire très vite sa main. Cet acte de retrait est un comportement simple : .....
- ☞ Le chatouillement de la plante du pied entraîne involontairement la flexion des orteils : c'est .....
- ☞ Un coup sec appliqué en dessous du genou d'un sujet assis sur le bord d'une table, les jambes pendantes, entraîne l'extension de la jambe : c'est ..... (doc. 1)



1 :

2 :

1 -

2 -

**Document 1 :** ..... **Document 2 :** .....

- ☞ La percussion légère du tendon d'Achille d'un sujet assis sur le bord d'une table, les jambes pendantes, entraîne l'extension du pied : c'est .....(doc. 2)
- ☞ Dans un endroit obscur, on observe une dilatation des pupilles et lorsque cet endroit est éclairé, on constate un rétrécissement automatique des pupilles : on parle de .....
- ☞ Lorsqu'on pose un aliment sur la langue d'un animal, on observe une sécrétion de salive par la glande salivaire : c'est .....
- ☞ Chez une grenouille spinale, l'excitation d'une patte entraîne sa flexion involontaire : c'est .....

##### 2) Conclusion : notion de réflexe inné

.....

.....

.....

.....

.....

## II. ETUDE D'UN REFLEXE INNE (PRIMAIRE, ABSOLU OU SIMPLE)

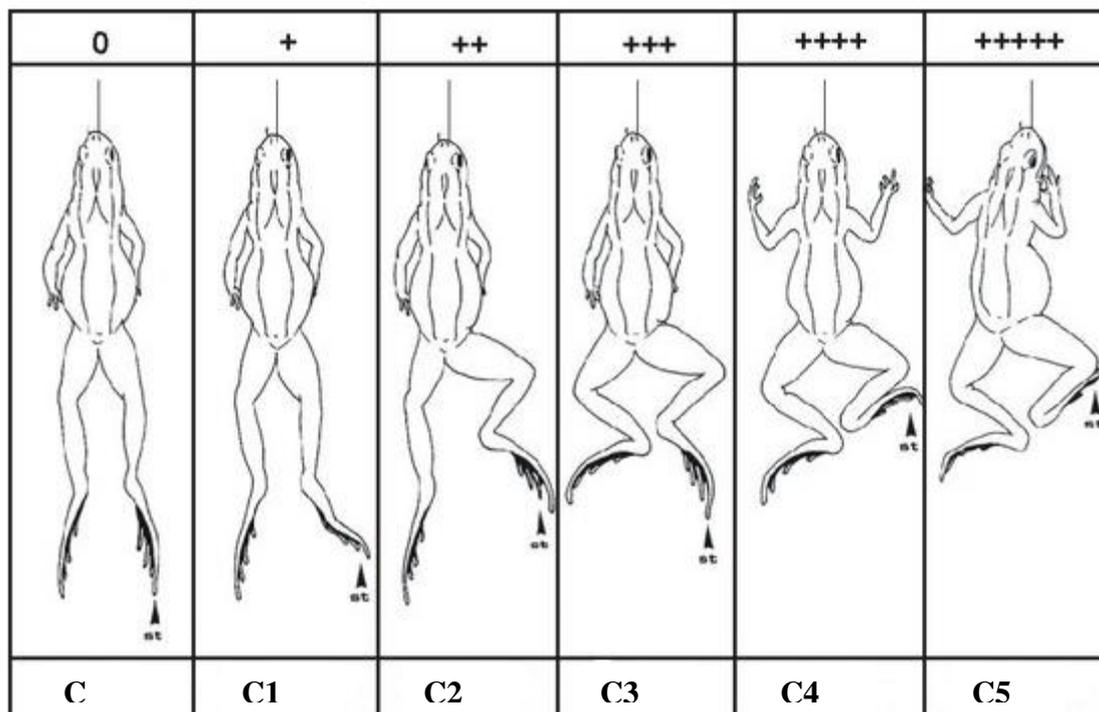
### II-1. Mise en évidence du réflexe inné chez la grenouille

#### II-1-1. Conditions expérimentales

L'encéphale d'une grenouille est détruit, mais la moelle épinière est laissée intacte, c'est une grenouille spinale ou médullaire. Elle est suspendue à une potence où elle reste inerte mais réagit à des excitations suffisantes (mécanique, thermique, électrique ou chimique).

#### II-1-2. Réponses à des excitations d'intensités croissantes

Trempons l'extrémité de la patte postérieure gauche de la grenouille spinale dans une solution d'acide acétique diluée de concentrations croissantes.

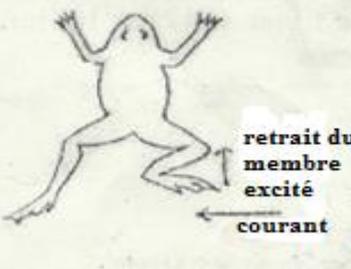
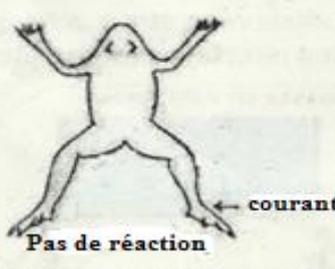
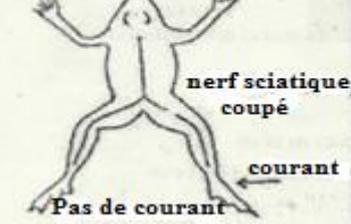


#### ➤ Exploitation du document :

Stimulations	C	C1	Stimulations supraliminaires			
	Stimulation infraliminaire	Stimulation liminaire	C2	C3	C4	C5
Réponses observées						
Types de réflexes						

#### ➤ Conclusion :..... ..... .....

**II-1-3. Organes indispensables à l'accomplissement d'un réflexe**

<p>Témoin : action du courant sur la patte droite Réflexe simple</p>	<p>1. la patte droite a été traitée par un anesthésiant( éther)</p>	<p>2. on détruit la moelle épinière de la grenouille dcérébrée</p>
		
<p>On sectionne le nerf sciatique qui est le nerf de la patte</p>		
<p>3. On excite la patte</p>	<p>4. On excite le bout périphérique</p>	<p>5. On excite le bout central</p>
		

**a/ Expérience 1 :**

L'anesthésie de l'extrémité de la patte à exciter provoque la disparition du réflexe de flexion même si l'on excite cette patte avec une stimulation normalement supraliminaire.

.....

.....

**b/Expérience 2 :**

La destruction de la moelle épinière chez une grenouille spinale, provoque la disparition du réflexe de flexion : .....

.....

**c/ Expérience 3 :**

La section du nerf sciatique provoque la disparition du réflexe même avec une excitation

.....

**d/ Expérience 4 :**

L'excitation du bout central du nerf sectionné provoque une flexion : .....

.....

**e/ Expérience 5 :**

L'excitation du bout périphérique du nerf sectionné entraîne la flexion de la patte : .....

.....

.....

**f/ Expérience 6 :**

Lorsqu'on isole les muscles de la patte en sectionnant les tendons qui les relient aux os, il n'y aura plus de mouvement de cette patte : .....

**SYNTHESE :**

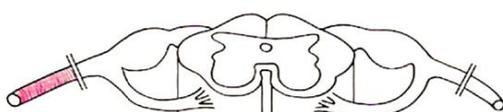
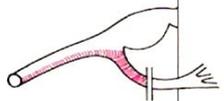
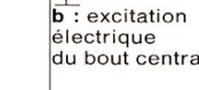
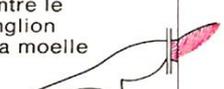
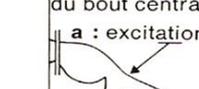
La réalisation d'un réflexe fait intervenir cinq structures indispensables:

- Un *récepteur sensoriel* suffisamment excité (stimulation supraliminaire);
- Un *conducteur centripète* qui propage les influx sensitifs jusqu'au centre nerveux ;
- Un *centre nerveux* qui intègre ou traite les messages afférents ;
- Un *conducteur centrifuge* qui propage les influx efférents vers les organes effecteurs ;
- Un ou des *organes effecteurs* dont la réponse permet d'observer l'acte réflexe.
- NB : La réaction comportementale observée est un *acte réflexe* ; le trajet suivi par les influx nerveux depuis le récepteur jusqu'aux effecteurs est appelé *arc réflexe*.

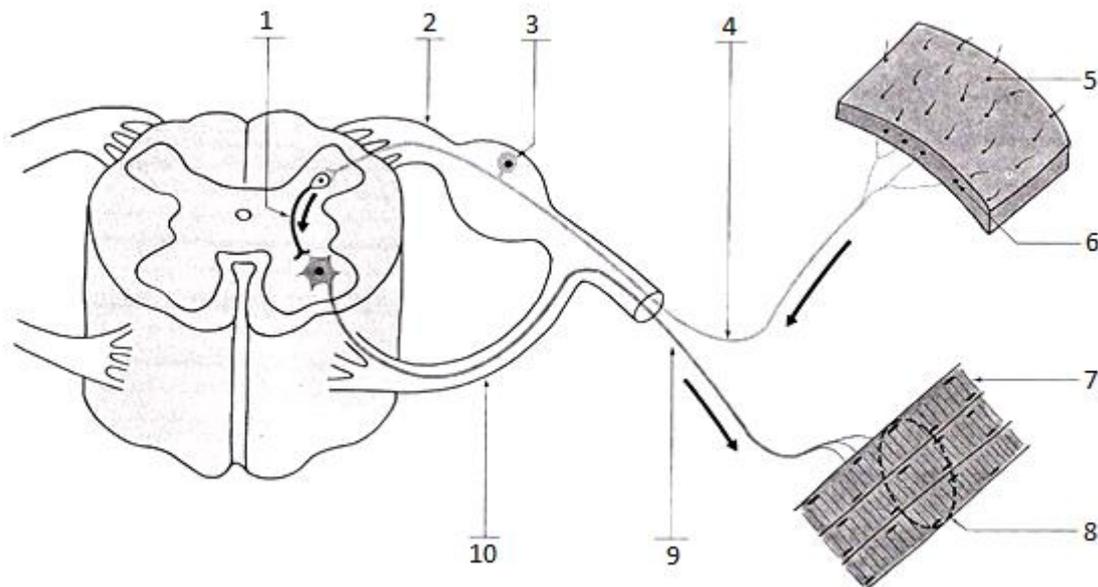
**II-1-4. Structures histologiques impliquées**

**Rappel :** Chaque nerf rachidien relie à la moelle épinière en se ramifiant en deux racines : une racine postérieure munie d'un ganglion spinal et une racine antérieure qui en est dépourvue.

**II-1-4-1. Expériences de dégénérescence de Wallérienne et de Bell et Magendie**

Conclusions	Expériences de section dégénérescence wallérienne (zones en rouge) Bell et Magendie (section et excitation.)	Observations	Conclusions
	1 – Section d'un nerf rachidien 		
	2 – Section d'une racine ventrale 	a : excitation électrique du bout périphérique  b : excitation électrique du bout central 	
	3 – Section d'une racine dorsale • En avant d'un ganglion  • entre le ganglion et la moelle 	b : excitation électrique du bout central  a : excitation électrique du bout périphérique 	

d'un neurone appelé **neurone d'association** ou **neurone intermédiaire** ou **interneurone** entre le neurone sensitif et le motoneurone.



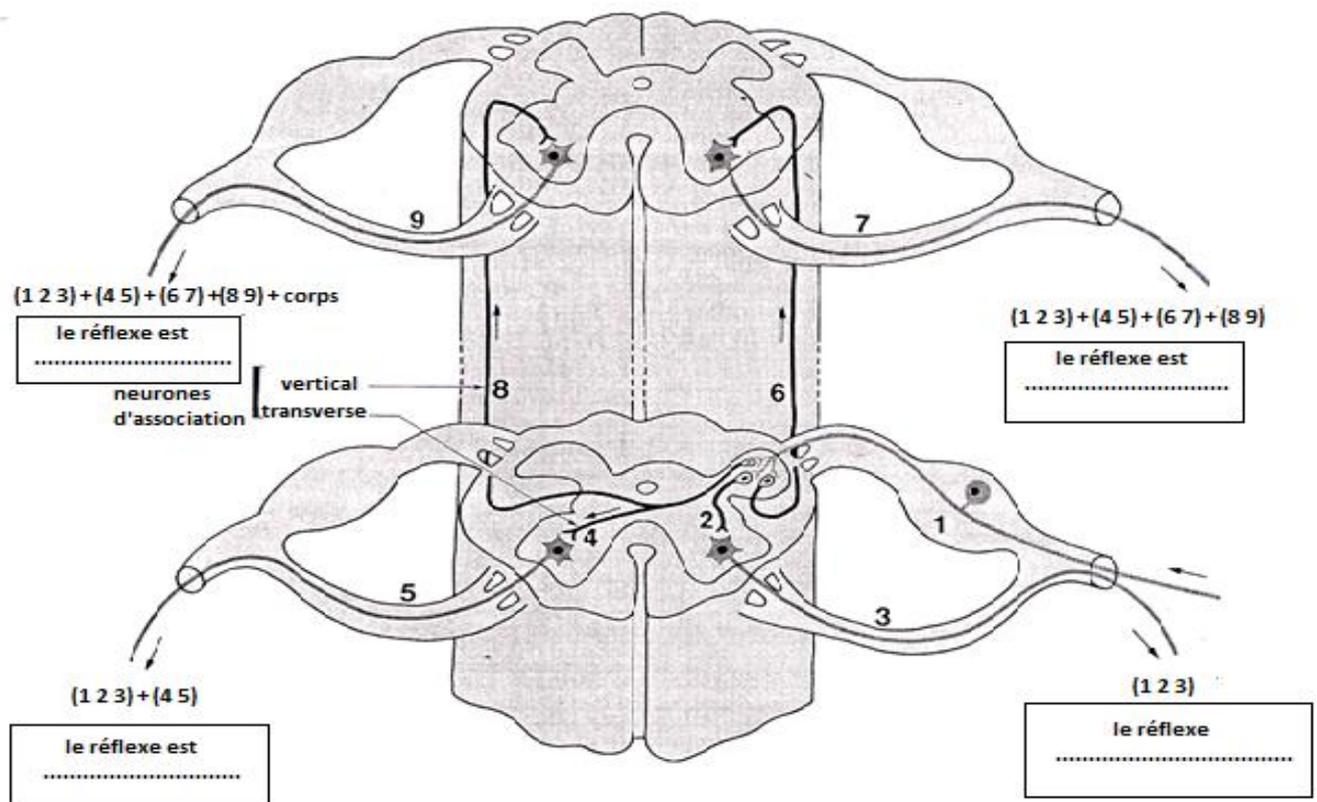
Document 3:

### II-1-4-3. Cas du réflexe symétrique bilatéral

La flexion de la patte opposée est due à l'existence de **neurones d'association transversaux horizontaux** qui transmettent l'influx nerveux du neurone sensitif au motoneurone de cette patte.

### II-1-4-4. Cas des réflexes irradié et généralisé

Le passage de l'influx nerveux à tous les membres et muscles du corps, suppose l'existence de **neurones d'association verticaux** en plus des **neurones d'association transversaux horizontaux** transmettant l'influx aux motoneurons situés à des étages différents de la moelle épinière.



## II-2. Caractères des réflexes innés ou simples

Un réflexe a plusieurs caractéristiques :

- Il est inné c'est-à-dire acquis dès la naissance ;
- Il est involontaire ;
- Il est identique chez tous les êtres vivant de la même espèce (stéréotypés, spécifiques) ;
- Il se produit obligatoirement (inévitables, prévisibles) ;
- Il est adapté à un but précis, la protection.

## II-3. Classification des réflexes

### II-3-1. Classification suivant le centre nerveux

Suivant le centre nerveux on distingue :

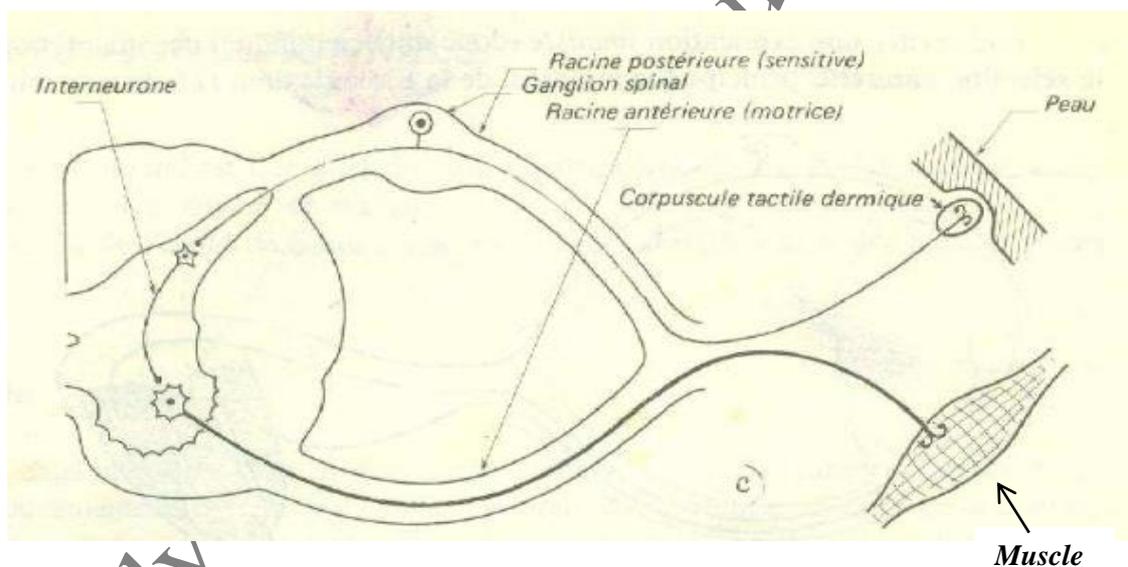
- Les réflexes encéphaliques dont le centre nerveux est l'encéphale : les réflexes bulbaire (salivation, respiration), les réflexes thalamiques (accommodation), les réflexes liés au cervelet (équilibre).
- Les réflexes médullaires dont le centre nerveux est la moelle épinière : les réflexes de flexion.

### II-3-2. Classification suivant la position du récepteur

Selon la position du récepteur on distingue : les réflexes extéroceptifs et intéroceptifs.

#### II-3-2-1. Les réflexes extéroceptifs

Les récepteurs sont situés à l'extérieur du corps (à la périphérie) et mettent ainsi l'organisme en relation avec son environnement. Ces récepteurs sont : tactiles, visuels, auditifs, olfactifs ou gustatifs. Ces réflexes protègent l'organisme des dangers de son milieu. Leur arc réflexe contient un neurone d'association.



Arc réflexe extéroceptif

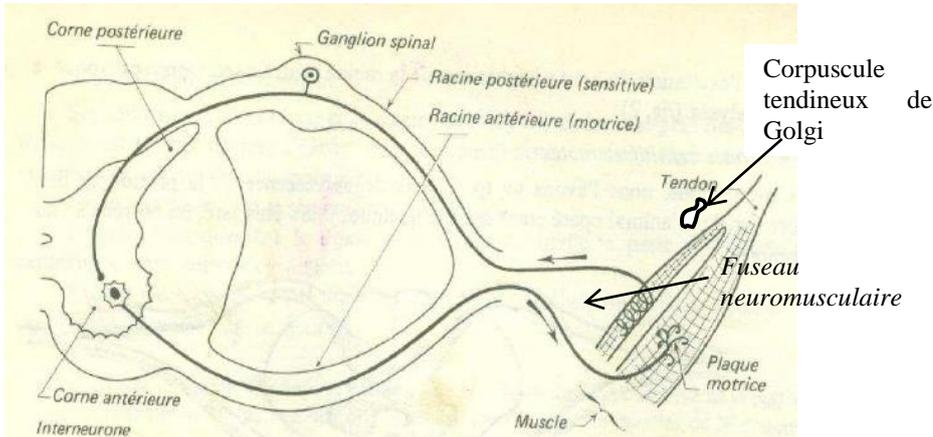
#### II-3-2-2. Les réflexes intéroceptifs

Les récepteurs sont situés à l'intérieur de l'organisme et renseignent sur l'état des organes internes. On distingue : les réflexes proprioceptifs et les réflexes viscéroceptifs.

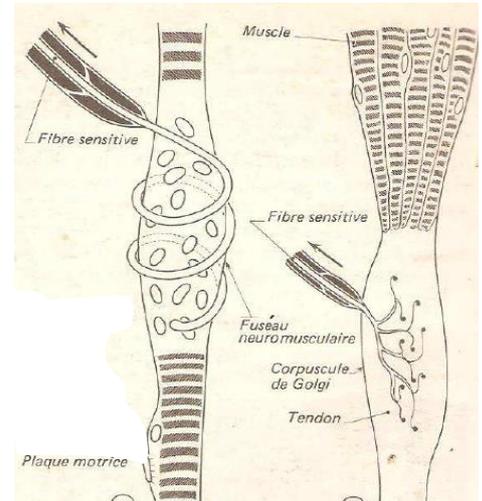
##### ➤ Les réflexes proprioceptifs

Ce sont des réflexes dont les récepteurs sont situés dans l'organe effecteur. C'est le cas des **réflexes myotatiques** (réflexes rotulien et achilléen) dont les récepteurs sont constitués par les **fuseaux neuromusculaires** (situés dans le muscle) et les **corpuscules tendineux de Golgi** (situés dans les tendons). Ces récepteurs sont sensibles à l'étirement du muscle ou des tendons d'où leur nom de **mécanorécepteurs**. En effet, l'étirement de ces récepteurs pendant l'allongement du muscle entraîne la naissance d'influx nerveux provoquant la contraction du muscle et son raccourcissement. Ainsi un muscle étiré tend à revenir à sa position initiale. Ces réflexes assurent l'équilibration et la coordination des mouvements.

L'arc réflexe des réflexes myotatiques ne possède pas de neurone d'association, ce sont des **réflexes monosynaptiques**. La réaction obtenue est plus rapide que dans un **réflexe extéroceptif**.



Arc réflexe myotatique



Fuseau neuromusculaire et corpuscule tendineux de Golgi

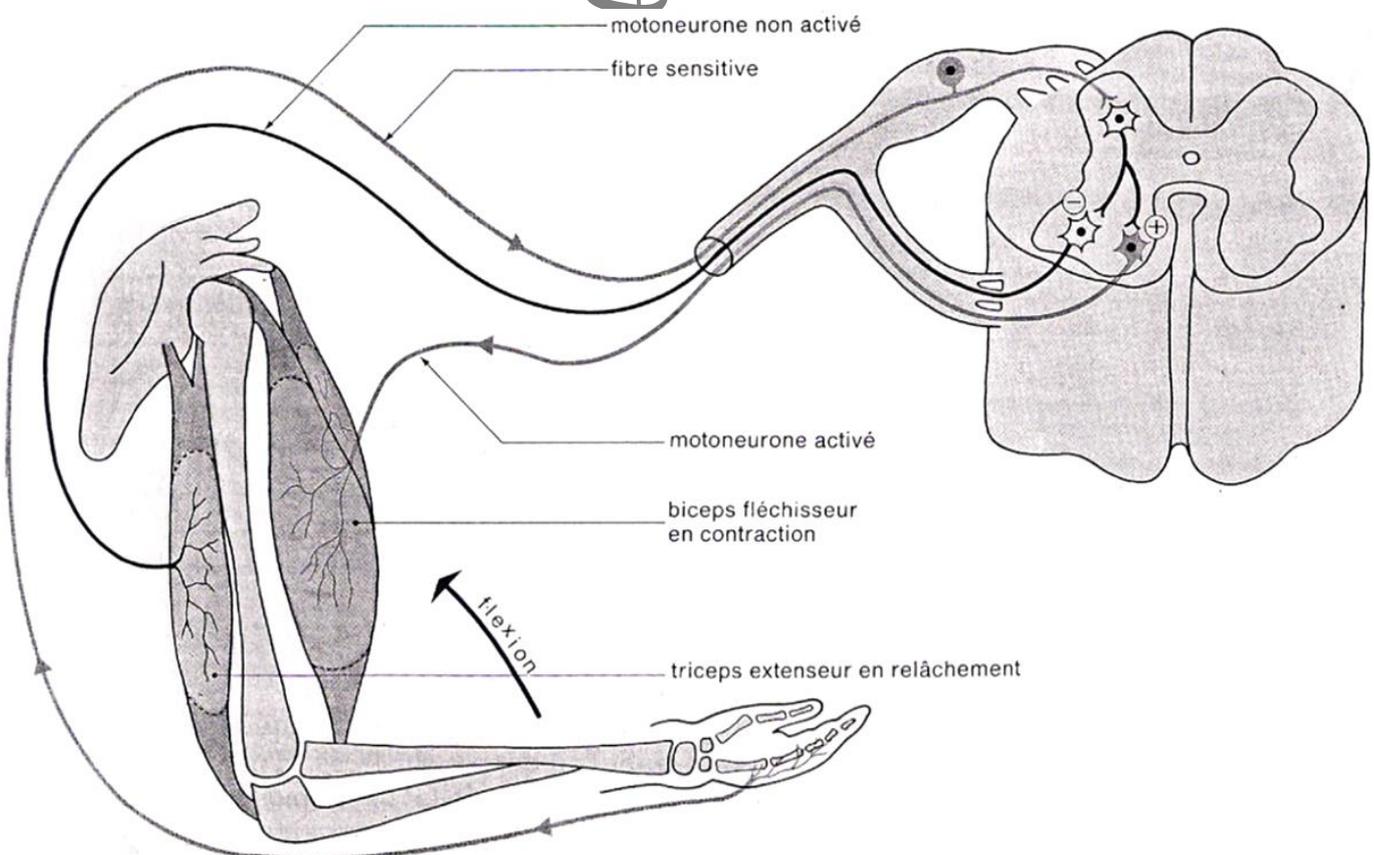
### ➤ Les réflexes viscéroceptifs

Les récepteurs sont situés dans les parois des viscères (vessie, tube digestif, vaisseaux sanguins, cœur...) et captent toute variation du milieu intérieur. Ces réflexes assurent la régulation du fonctionnement des organes internes.

### II-3-2-3. Quelques exemples de réflexes de coordination

#### ➤ Réponse des muscles antagonistes

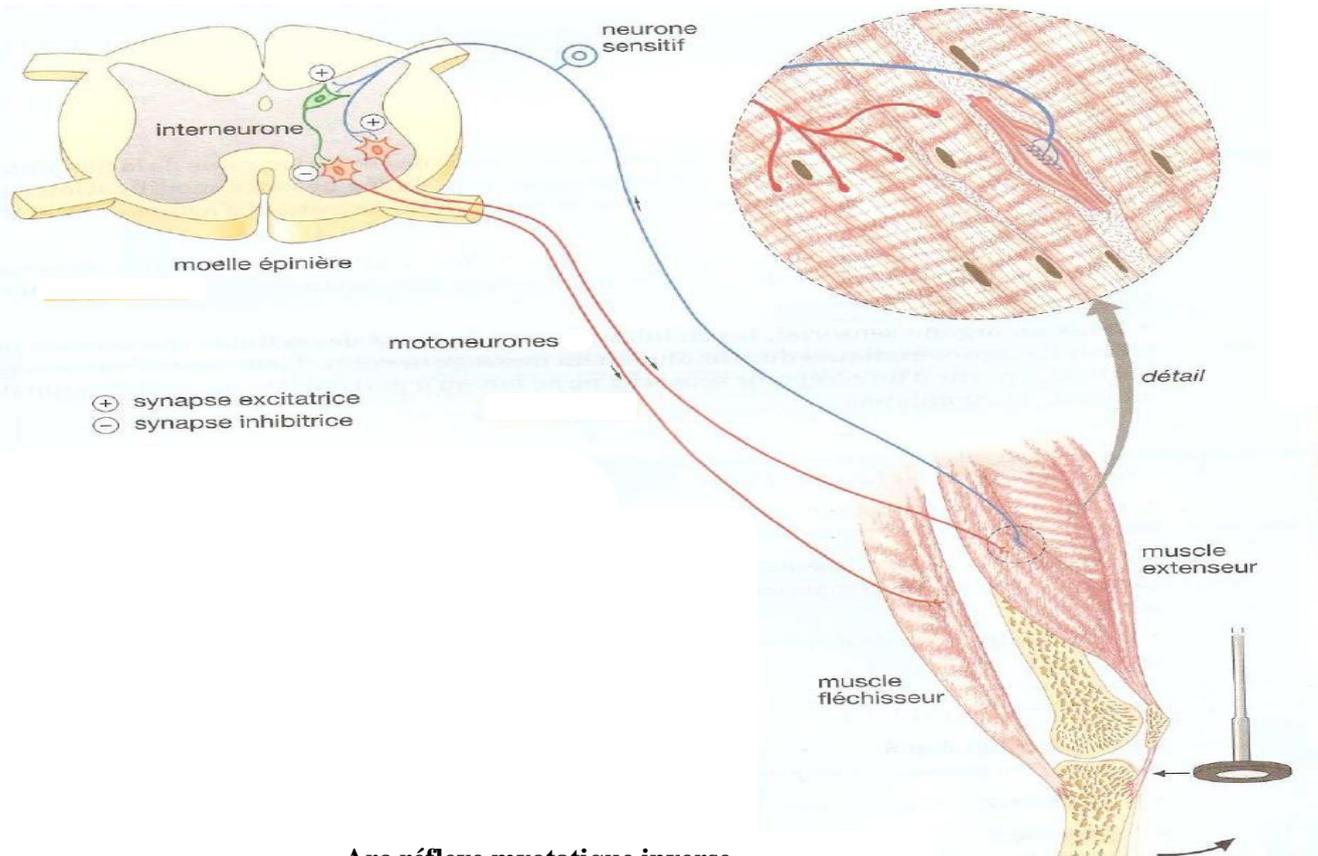
La contraction d'un muscle (exemple du biceps) s'accompagne obligatoirement d'un relâchement du muscle antagoniste (le triceps). En effet, l'excitation de la main entraîne la naissance d'un influx nerveux qui emprunte les fibres sensibles, au niveau de la moelle épinière l'arrivée de l'influx nerveux excite le motoneurone innervant le biceps, alors que les neurones d'association inhibent les motoneurones du muscle antagoniste. On parle de **réflexe d'innervation réciproque des deux muscles antagonistes**.



Innervation réciproque de muscles antagonistes

### ➤ Contrôle de la tension : réflexe myotatique inverse

L'étirement d'un muscle lors d'un choc au niveau de la rotule entraîne l'excitation des mécanorécepteurs. Ces derniers envoient un influx nerveux vers les motoneurones. Au niveau de la substance grise le motoneurone innervant le muscle extenseur est excité, alors que le motoneurone fléchisseur est inhibé grâce à la présence d'un interneurone. Ce qui entraîne une contraction du muscle extenseur et une décontraction du muscle fléchisseur qui lui est antagoniste

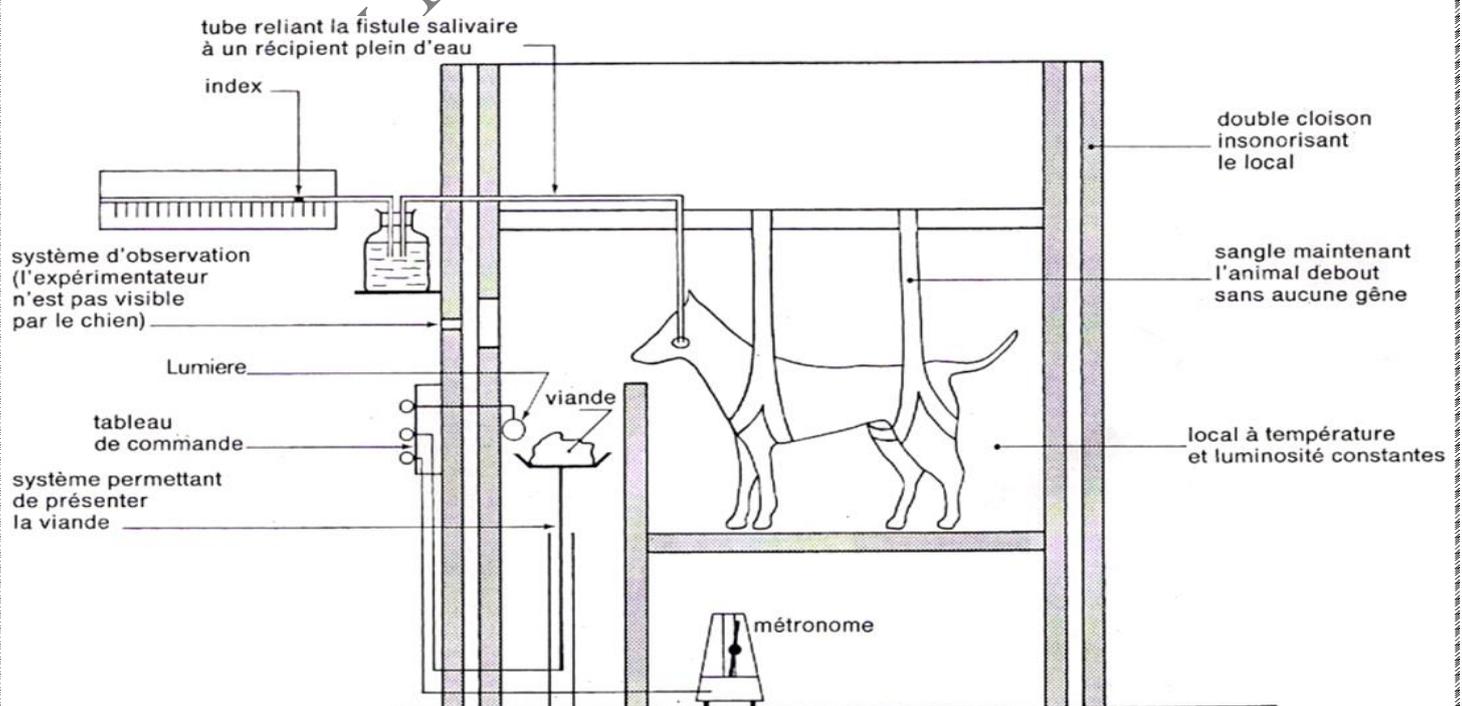


Arc réflexe myotatique inverse

## III. ETUDE DE REFLEXE CONDITIONNEL

### III-1. Réflexe conditionnel repondant ou pavlovien

#### III-1-1. Conditions expérimentales : (Travaux de Pavlov)



« 1. Nous donnons à manger à un chien ; la salive se met à couler au bout d'une à deux seconde. C'est le résultat de l'action mécanique et chimique de la nourriture sur la muqueuse buccale : c'est un réflexe.

2. Si l'absorption de nourriture par l'animal coïncide avec l'action d'un agent qui n'avait auparavant aucun rapport avec l'alimentation ; cet agent devient excitant d'un réflexe alimentaire au même titre que la nourriture. C'est ce qui s'est justement produit avec le chien que vous avez vu. A plusieurs reprises, nous avons fait entendre à un chien les battements du métronome et nous lui donnons immédiatement à manger ; c'est-à-dire que nous déclenchons le réflexe alimentaire inné. Après plusieurs répétitions, le métronome seul provoquait la salivation et les mouvements correspondants (l'animal se lèche les babines...).

3. Chez un autre chien, une forte sonnerie électrique mise en action 5 à 10 secondes après le début de l'alimentation ne devient pas un réflexe conditionnel du réflexe alimentaire malgré les 374 répétitions, tandis qu'un objet tournoyant devant les yeux du chien avant l'alimentation, devenait déjà un excitant conditionnel du réflexe au bout de 5 répétitions. Cette même sonnerie électrique employée avant l'alimentation devient un excitant conditionnel après seulement après seulement quelques présentations.

4. Si le chien est privé de ses hémisphères cérébraux, vous ne recevez jamais la moindre quantité de salive par l'entreprise de ces excitants-là ; voilà pourquoi un chien privé de ses hémisphères cérébraux peut mourir de faim au milieu des aliments. Il se met à manger que lorsque la nourriture entre en contact avec sa bouche. Si l'animal est plus ou moins somnolent, la formation du réflexe conditionnel traîne en longueur, devient laborieux et même tout à fait impossible.

4. Si au moment où nous essayons de former me réflexe conditionnel, une partie de l'équipement de la table d'expérience où se trouve le chien exerce sur lui une action destructrice quelconque (écrasement, pincement...), celui-ci ne se forme pas quel que soit le nombre de répétitions réalisées entre notre excitant et l'excitant conditionnel »

#### Questions :

- Quel type de réflexe est mis en évidence par Pavlov dans le paragraphe 1? Précisez l'excitant et l'effecteur.
- Décrivez le processus par lequel Pavlov est arrivé à instaurer le nouveau réflexe relaté dans le paragraphe 2
- Comparez les deux réactions, leurs excitants et leurs conditions d'installation.
- Quelle précaution fondamentale doit-on prendre pour établir le réflexe conditionnel d'après les paragraphes 3, 4 et 5.

#### Réponses :

- .....  
.....  
.....
- .....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....
- .....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

.....

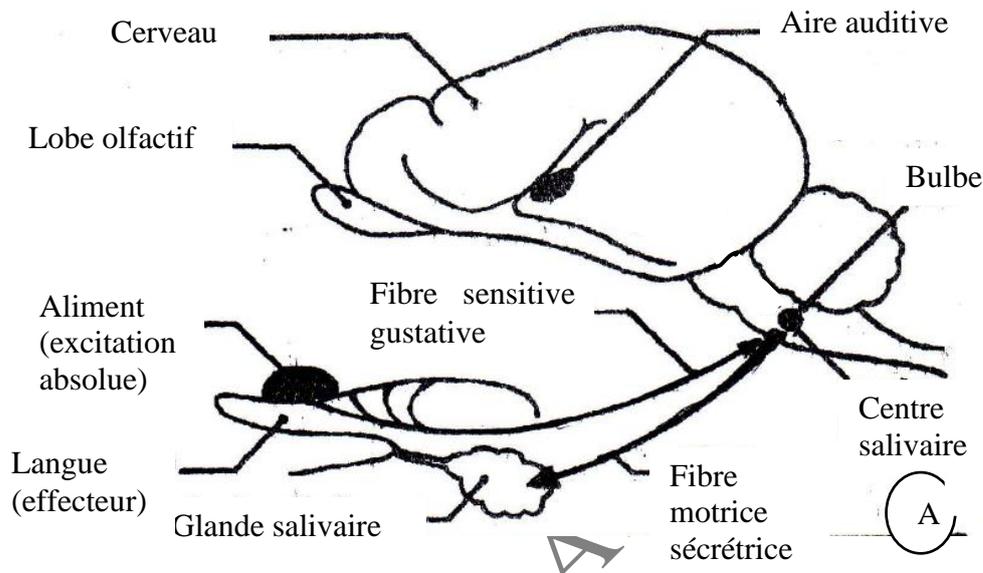
.....

.....

.....

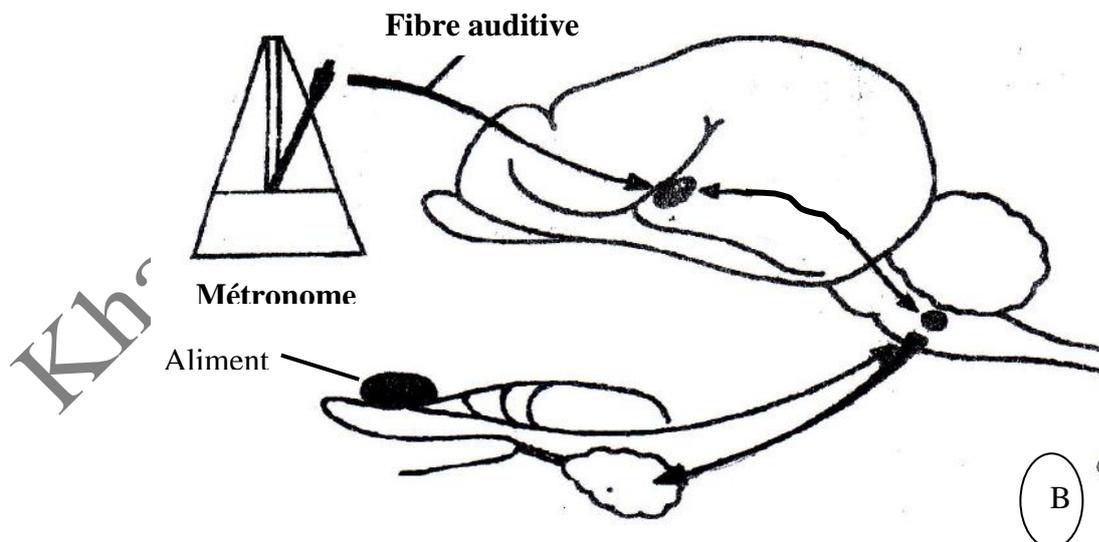
.....

La stimulation de la langue par les aliments entraîne une excitation du centre salivaire qui stimule, à travers les fibres sécrétrices, les glandes salivaires qui se mettent à saliver, c'est le **réflexe inné de salivation**.



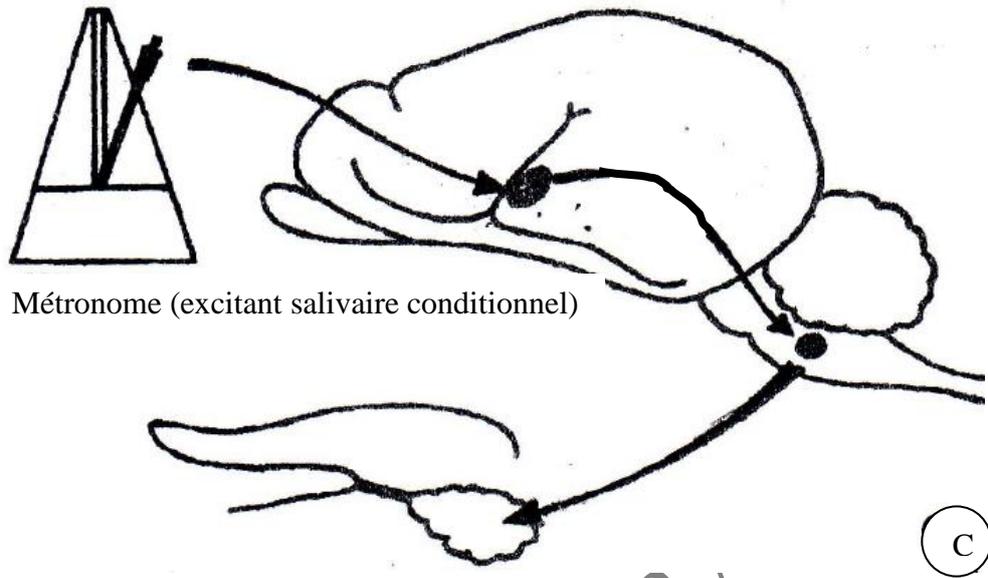
### Réflexe inné de salivation

Des liaisons se créent entre les centres auditif et salivaire lors de l'association du métronome (stimulus neutre) et de l'aliment (stimulus absolu).



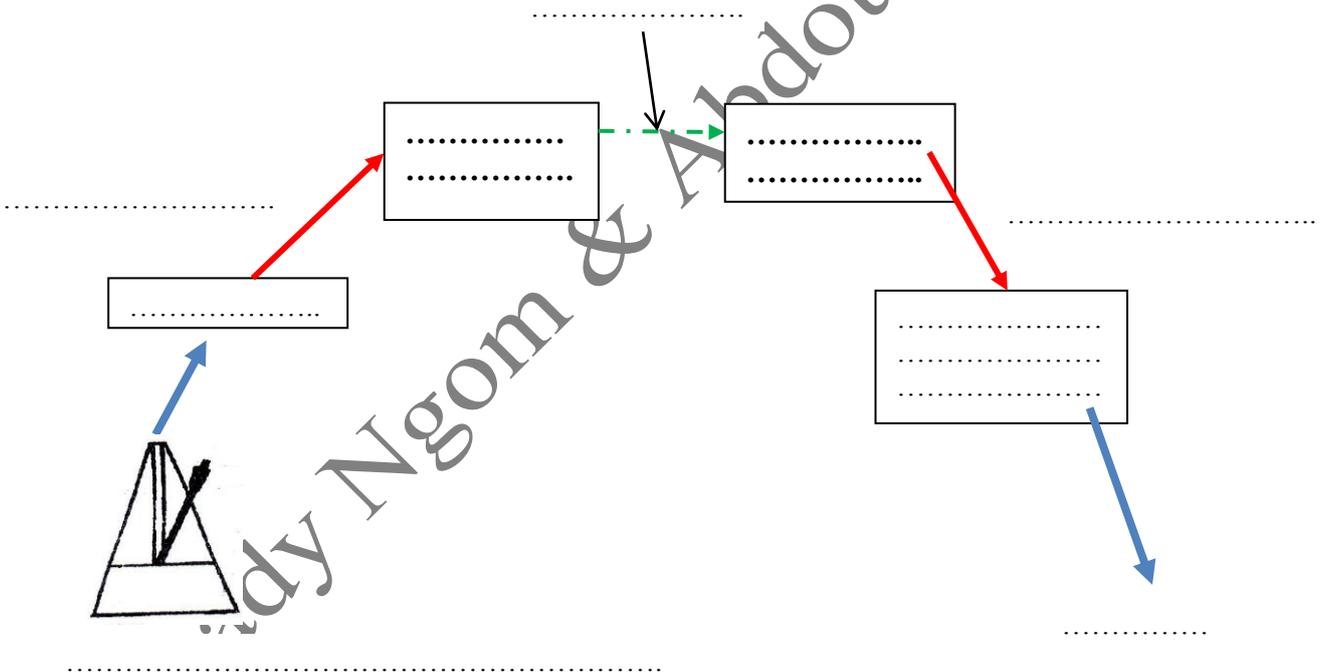
### Formation de liaison entre les centres auditif et salivaire

Le métronome seul provoque la salivation. En effet, de nouvelles liaisons se sont créées entre le centre auditif et le centre salivaire rendant le stimulus auditif efficace. Pavlov parle alors de **réflexe salivaire conditionnel**.



Métronomie (excitant salivaire conditionnel)

Stimulus conditionnel seul



Document 4 :

**Remarque :** Dans ce type de réflexe, l'animal est mis dans un conditionnement où il répond à des stimuli par des réflexes (stimuli choisis par l'expérimentateur) : ce conditionnement est dit répondant et le réflexe ainsi acquis est dit Pavlovien.

### III-3. Les réflexes opérants ou skinnériens

#### III-3-1. Expérience de conditionnement

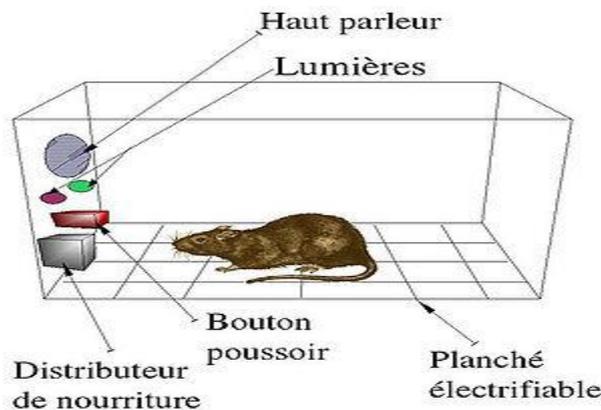
Skinner met un rat dans une cage riche en objets divers, dont un levier et un distributeur de nourriture qui donne de la nourriture au rat à chaque fois qu'il appuie sur un levier.

L'animal en explorant la cage appuie accidentellement sur le levier et obtient en guise de récompense de la nourriture. Le geste est accidentel la première fois, mais très vite, l'action est renouvelée et se

reproduit avec une fréquence de plus en plus grande grâce à l'effet de «**récompense**» (renforcement) que constitue la nourriture obtenue, on dit que le renforcement est positif.

Le comportement opérant peut expliquer un grand nombre de conduites acquises au contact de l'environnement et le dressage des animaux.

Une liaison nerveuse nouvelle est formée entre l'œil qui voit le levier (le récepteur sensoriel) et les muscles moteurs de la patte qui appuie sur la pédale (l'effecteur).



**Remarque :** Dans d'autres circonstances, le sujet peut déclencher une punition, il apprend à éviter cette situation. On dit que le renforcement est négatif.

### III-3-2. Comparaison entre le réflexe de Skinner et de Pavlov

Le conditionnement opérant diffère du conditionnement classique pavlovien sur des points essentiels :

- Dans le **conditionnement pavlovien** le sujet subit le milieu, il ne le modifie pas, il s'y adapte. Il répond au stimulus conditionnel fourni par l'expérimentateur. De même, c'est l'expérimentateur qui fournit l'excitant absolu pendant le conditionnement.
- Dans le **conditionnement opérant**, c'est le sujet lui-même qui agit sur le milieu accidentellement d'abord, puis de façon automatique ou volontaire. C'est le sujet qui déclenche l'apparition de la récompense.

### III-4. Les caractères du réflexe conditionnel

Les réflexes conditionnels présentent plusieurs caractéristiques :

- Ils sont acquis, dépendent de l'expérience personnelle d'un individu ;
- Ils sont temporaires et non immuables, en effet, non entretenus, ils disparaissent ;
- Ils sont obtenus par l'association de 'importe quelles excitants, l'essentiel est que l'excitant conditionnel soit précisé et qu'il précède qu'il précède toujours l'excitant absolu (en effet, le stimulus conditionnel doit être bien déterminé, car des stimuli divers peuvent déclencher ce réflexe, ainsi la vue ou l'odeur d'un aliment peut devenir un excitant conditionnel) ;
- Ils exigent l'intervention du cerveau au niveau duquel s'établissent les nouvelles liaisons.

### III-5. Importance du réflexe conditionnel

Le réflexe conditionnel est très important dans la vie d'un être vivant, en effet il intervient lors de :

- L'habituation (accoutumance) qui est la première manifestation qui apparaît chez le nourrisson.
- L'apprentissage associatif qui est le résultat de plusieurs conditionnements.
- Le dressage des animaux pour le spectacle (lions, singes...), pour la recherche de drogues, de bombes (chiens des policiers). L'animal apprend par l'entraînement à bien réagir à des signaux.
- Chez l'homme l'apprentissage permet :
  - l'acquisition d'automatismes (conduite de voiture, équilibre sur le vélo...);
  - la mise en place de moyens de communication entre individus (parole, écriture, lecture...);
  - l'élaboration de signaux intervenant dans les rapports sociaux, l'éducation (saluer...);
  - l'adaptation individuelle.

### III-6. Comparaison entre les réflexes innés et conditionnels

Réflexes	Innés	Conditionnels ou acquis
Ressemblances		
Différences		

#### Conclusion :

Les réflexes sont nombreux et sont innés ou conditionnels. Ils présentent des caractéristiques qui leur sont propres et jouent un rôle important dans la survie de l'être vivant et ont des centres nerveux divers.

### IV- L'ACTIVITE VOLONTAIRE OU SPONTANEE

#### A- NOTION D'ACTIVITE VOLONTAIRE

L'homme peut volontairement décider d'accomplir certains gestes, mais aussi de les interrompre s'il le désire. Ces gestes constituent des activités motrices volontaires. Contrairement à l'activité réflexe, l'activité volontaire est une réaction

- Spontanée non provoquée par une stimulation
- Volontaire intervention de la conscience
- Individuelle non spécifique
- Imprévisible

#### A-1. ROLE DU CORTEX CEREBRAL DANS L'ACTIVITE MOTRICE VOLONTAIRE OBSERVATIONS CLINIQUES

Par malformation congénitale, certains enfants anencéphales (nés sans cerveau) ont pu être étudiés car ayant survécu jusqu'à l'âge de cinq ans. Ces enfants ne manifestent aucune motricité volontaire (spontanée) et se comportent comme de vrais automates.

Hypothèse : .....

#### EXPERIENCES D'ABLATION DU CERVEAU

##### a) Ablation totale

Quelques animaux peuvent survivre à l'ablation totale du cerveau ( pigeon, chat singe) mais ne manifestent aucune activité volontaire après l'opération (ils restent immobiles, ne cherchent plus à se nourrir ni à se reproduire). Cependant, ils ne perdent pas la motricité car ils effectuent des mouvements réflexes.

Conclusion : .....

##### b) Ablation partielle

L'ablation d'un hémisphère cérébral chez l'homme au cours de l'extraction d'une tumeur cancéreuse provoque la perte de la motricité volontaire de toute la moitié du corps opposée à cet hémisphère (hémiplégie).

Chez l'animal, l'ablation d'un territoire du cerveau situé en avant du sillon de Rolando (scissure de Rolando) d'un hémisphère cérébral provoque une paralysie musculaire de la partie du corps opposée à cet hémisphère. Si cette ablation porte uniquement sur une petite surface de ce territoire, cela se traduit par la diminution de la partie corporelle paralysée.

Conclusion : .....

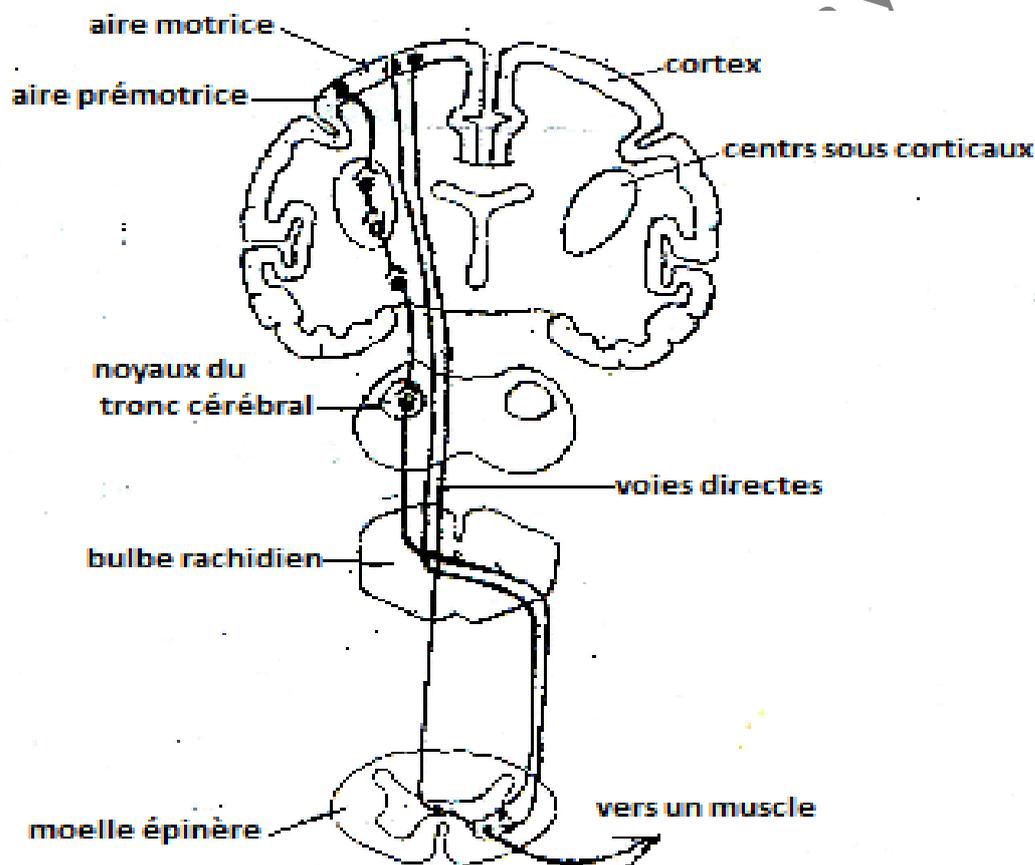
## A-2. TRAJET DES INFLUX DANS L'ACTIVITE VOLONTAIRE

### 1) Les voies motrices

Elles partent du cortex cérébral, passent par le tronc cérébral, arrivent dans la corne antérieure de la moelle épinière où elles font synapses avec les fibres motrices débouchant sur les muscles du côté opposé à l'hémisphère cérébral concerné.

Il existe deux types de voies pour la motricité volontaire

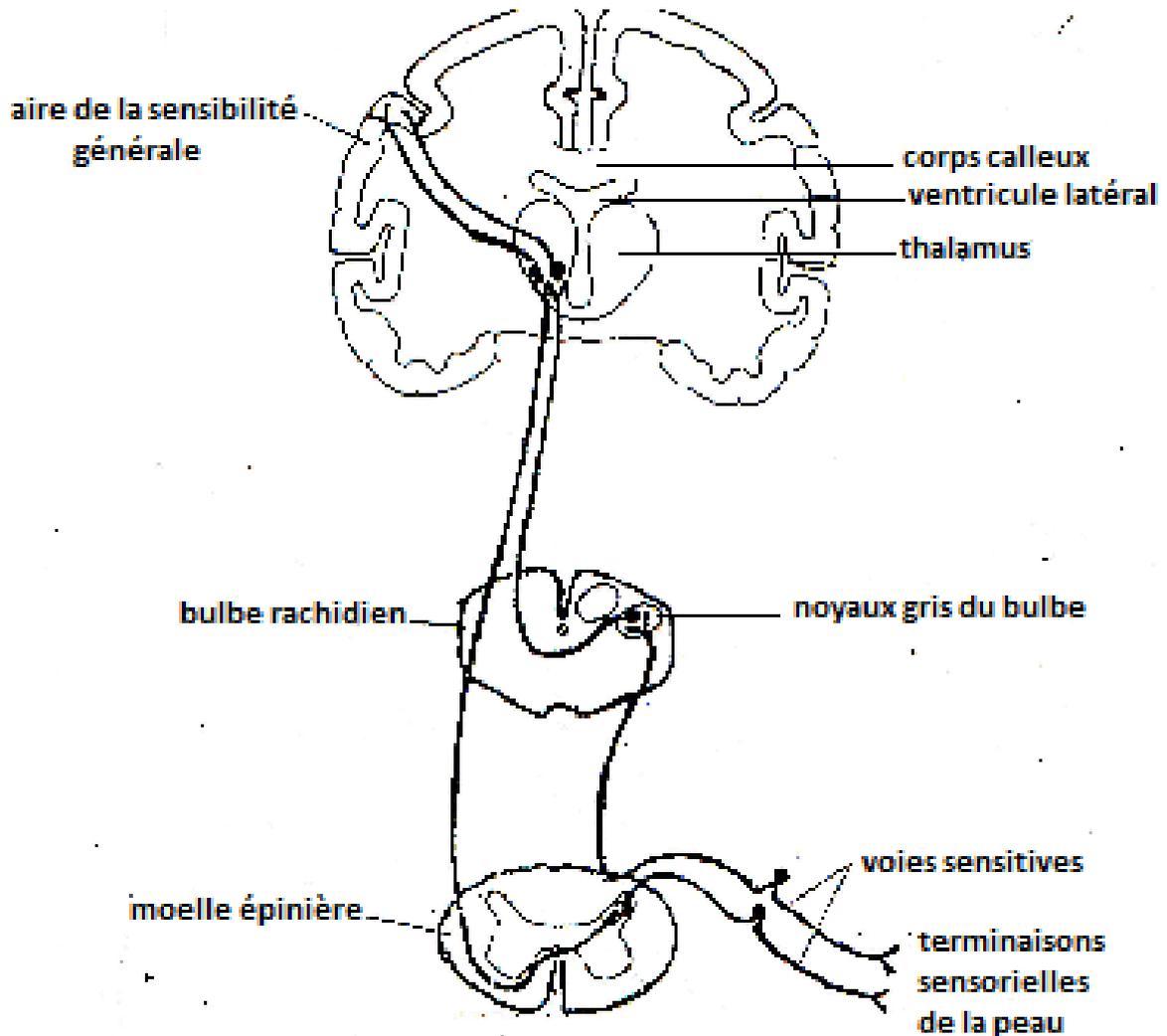
- ★ **Les voies directes ou voies pyramidales** : elles sont monosynaptiques, donc les plus rapides et permettent l'exécution des mouvements fins et précis. Exemple : mouvements du globe oculaire.
- ★ **Les voies indirectes ou voies extrapyramidales** : elles sont polysynaptiques et présentent donc des relais synaptiques dans les centres sous-corticaux et dans les noyaux gris du tronc cérébral.



**NB** : la plupart des fibres motrices franchissent le plan symétrique au niveau du tronc cérébral.

### 2) Les voies sensorielles :

Les messages nerveux naissent au niveau des récepteurs périphériques et sont transmis à l'aire sensorielle de l'hémisphère cérébral opposé par des fibres sensibles (voies ascendantes de la sensibilité consciente).



La réception des messages sensoriels constitue la sensation mais leur exploitation correspond à la perception

### A-3. EXPLOITATION DE L'ACTIVITE CEREBRALE

La méthode la plus utilisée est l'électroencéphalographie. C'est l'enregistrement de l'activité bioélectrique du cerveau. Les tracés obtenus constituent un électroencéphalogramme (EEG) et est formé d'oscillations appelées ondes cérébrales. Ces ondes sont variables selon l'état physiologique de l'individu :

☞ **Les ondes  $\alpha$**  : elles caractérisent le repos mental, les yeux fermés ; elles sont régulières, de grandes amplitudes mais de fréquences faible.

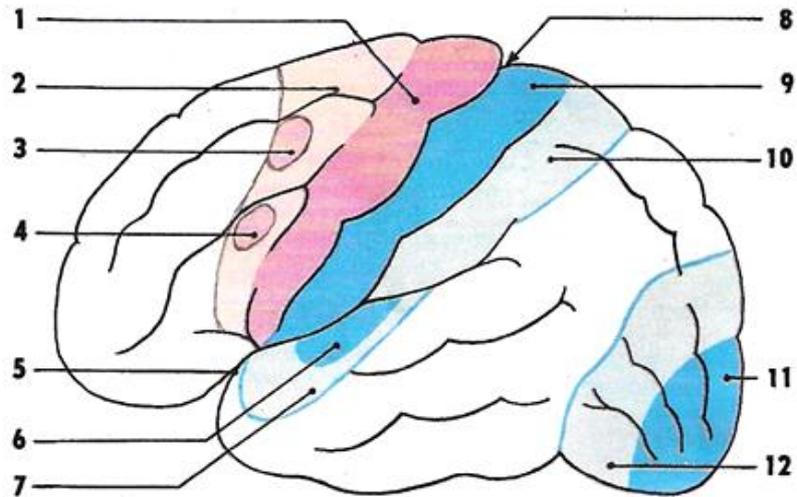
☞ **Les ondes  $\beta$**  : elles sont caractéristiques de l'état d'éveil attentif ; elles sont de faible amplitude mais de fréquence élevée.

**NB**: il y a d'autres moyens d'exploitation de l'activité cérébrale : la scintigraphie ; la tomодensitométrie (scanner),...

## B. LOCALISATION DES ZONES RESPONSABLES DE LA MOTRICITE VOLONTAIRE

- Localisations cérébrales motrices (en rouge) et sensibles (en bleu) dans l'hémisphère gauche.

1. Aire motrice. 2. Aire psychomotrice. 3. Centre des mouvements de l'écriture. 4. Centre du langage parlé. 5. Scissure de Sylvius. 6. Aire auditive. 7. Aire psycho-auditive. 8. Sillon de Rolando. 9. Aire de la sensibilité générale. 10. Aire psychosensitive. 11. Aire visuelle. 12. Aire psycho-visuelle.



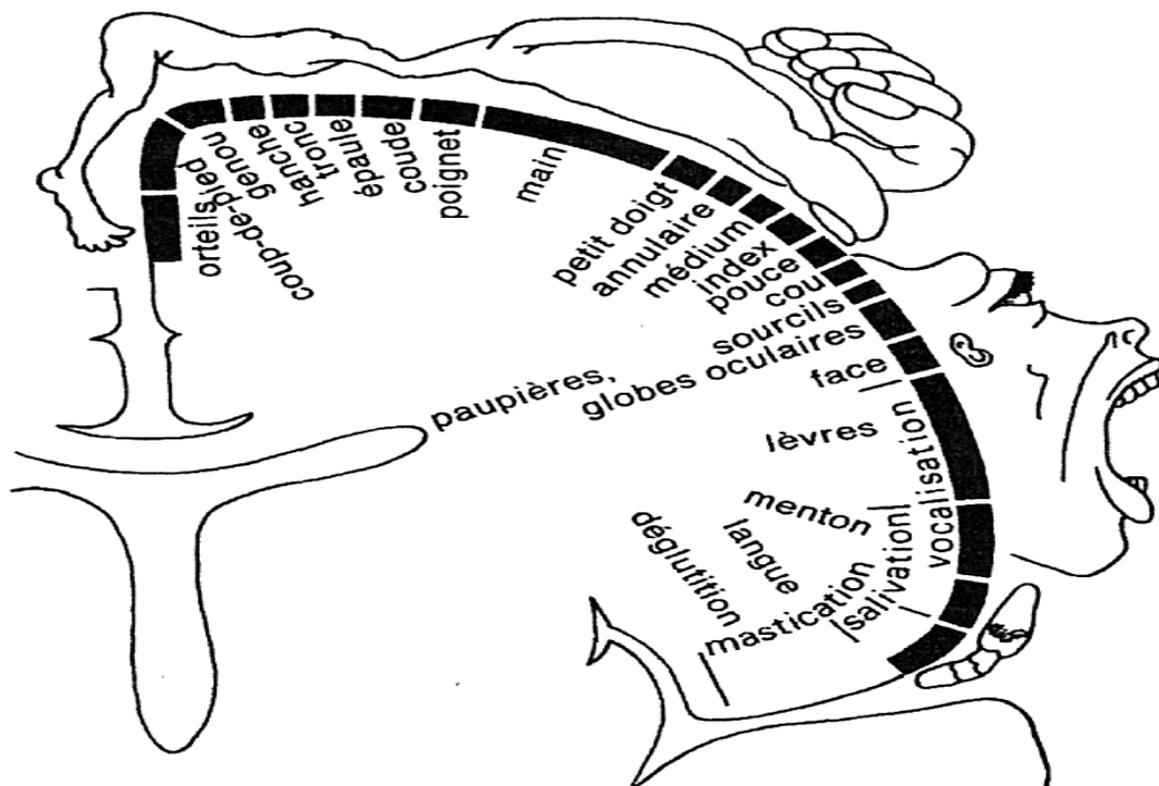
### 1. Aire motrice et aire sensitive

#### a) Aire motrice

Il découle des expériences précédentes que certaines zones du cortex sont indispensables à l'accomplissement de mouvements volontaires : ce sont les aires motrices. Grâce aux techniques d'investigation, l'aire motrice est subdivisée en aire de projection motrice et en aire psychomotrice.

#### ↳ Aire de projection motrice

Il y a une aire de projection motrice dans chaque hémisphère. Chez l'homme, elle se situe en avant du sillon de Rolando, dans la circonvolution frontale descendante. La destruction de l'aire gauche entraîne la paralysie complète de la moitié droite du corps : c'est l'hémiplégie. Les différentes parties du corps y sont représentées par des territoires bien précis, dont la surface est proportionnelle au nombre et à la finesse des mouvements que ces parties du corps peuvent effectuer.



**Remarque :** L'homoncule moteur désigne l'organisation de la commande motrice des muscles du corps humain à la surface du cerveau.

↪ **Aire psychomotrice**

Elle est située en avant de chaque aire de projection motrice. Elle n'intervient pas directement dans la motricité car son ablation n'entraîne que la perturbation de la coordination des mouvements.

**b) Aire sensitive**

L'aire sensitive est divisée en aire primaire et associative (ou secondaire).

↪ **Aire sensitive primaire**

L'aire sensitive primaire, dont l'aire de projection correspond à la circonvolution pariétale ascendante, reçoit les influx des organes de sens et les retransmet à l'aire secondaire correspondante qui en fait une analyse plus fine.

↪ **Aire sensitive secondaire**

Elle se trouve en arrière de l'aire sensitive primaire. C'est le centre d'intégration des sensations, mais aussi le centre de mémoire des perceptions.

**Conclusion**

Les mouvements effectués quotidiennement par les animaux sont précédés, soit d'une excitation (activité réflexe), soit d'une intention (activité volontaire). Celle-ci se distingue essentiellement de l'activité réflexe par le fait qu'elle n'est absolument pas prévisible. Toutefois, comme dans les réflexes conditionnels, le cortex cérébral intervient dans l'activité volontaire.

## THEME 4 : L'ACTIVITE DU MUSCLE SQUELETTIQUE

### Leçon 6 : L'ACTIVITE DU MUSCLE STRIE SQUELETTIQUE

#### INTRODUCTION

Chez l'homme, les muscles occupent entre 45 et 50% de la masse corporelle totale. Il existe trois types de muscles :

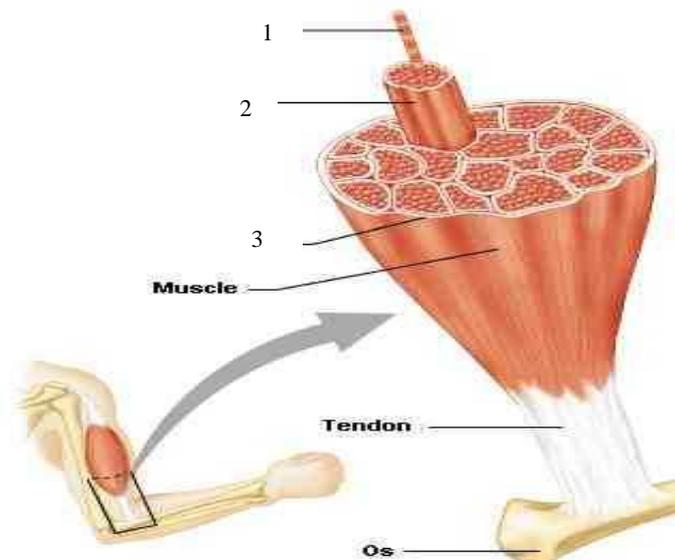
- les muscles squelettiques striés rattachés aux os, permettant les mouvements et qui sont sous le contrôle du système nerveux central.
- les muscles lisses et le muscle cardiaque qui sont sous le contrôle du système nerveux végétatif (orthosympathique ou parasympathique).

Leur mode fonctionnement est le même et consiste à transformer l'effet d'une stimulation en une contraction, c'est à dire transformer une énergie chimique en une énergie mécanique.

#### I- STRUCTURE DES MUSCLES SQUELETTIQUES

##### I-1. Structure macroscopique du muscle

A l'œil nu le muscle présente un ventre terminé par des tendons. En coupe transversale on voit un tissu conjonctif entourant des lots de fibres musculaires ou cellules musculaires, des vaisseaux sanguins et des nerfs.



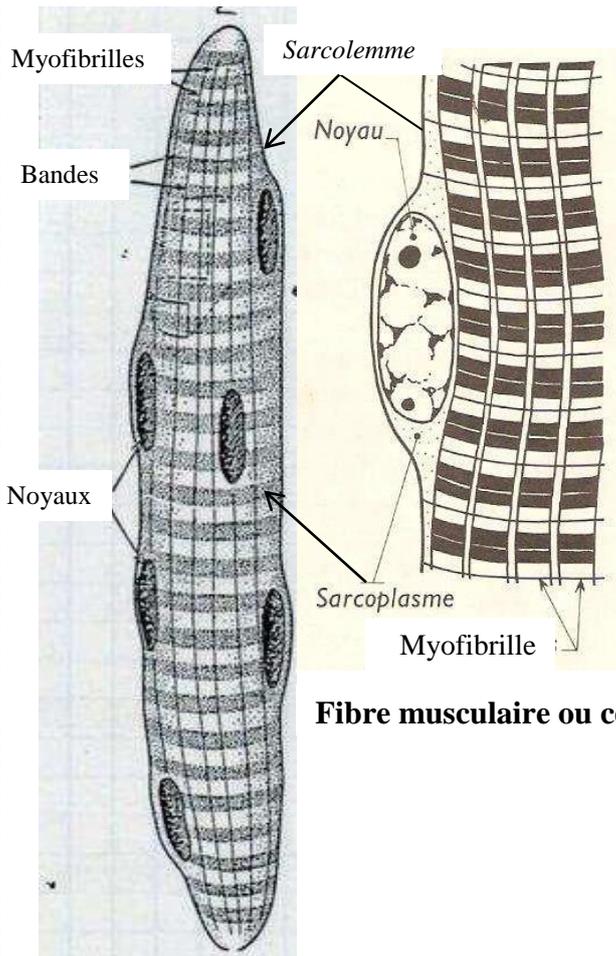
Document 1 :

##### I-2. Structure microscopique

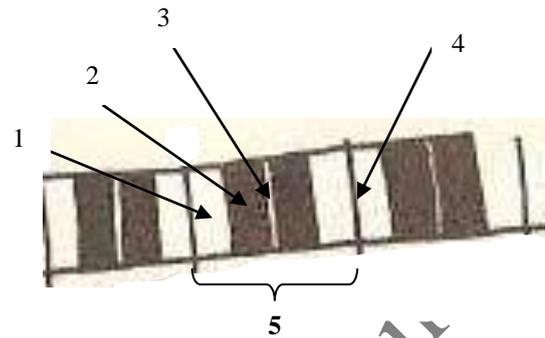
###### I-2-1. Observation au microscope optique

Au microscope optique la fibre musculaire est une cellule géante (4 à 5 cm de long) plurinucléée (syncytium) limitée par une membrane plasmique appelée, le **sarcolemme**, qui délimite un cytoplasme appelé **sarcoplasme**. Le sarcoplasme est parcouru par de fins filaments appelés **myofibrilles** constituées d'une alternance régulière de bandes claires et sombres situées au même niveau d'une myofibrille à l'autre.

Les bandes claires appelées **bande I** (bande isotrope) présentent à leur milieu un trait fin, la **strie Z**. Les bandes sombres ou **bandes A** (bandes anisotropes) contiennent au milieu une bande claire, la **bande H**. Deux **striés Z** successives d'une myofibrille délimitent une unité appelée **sarcomère**, formée d'une bande sombre encadrée de deux demi-bandes claires.



Fibre musculaire ou cellule musculaire



Document 2 :

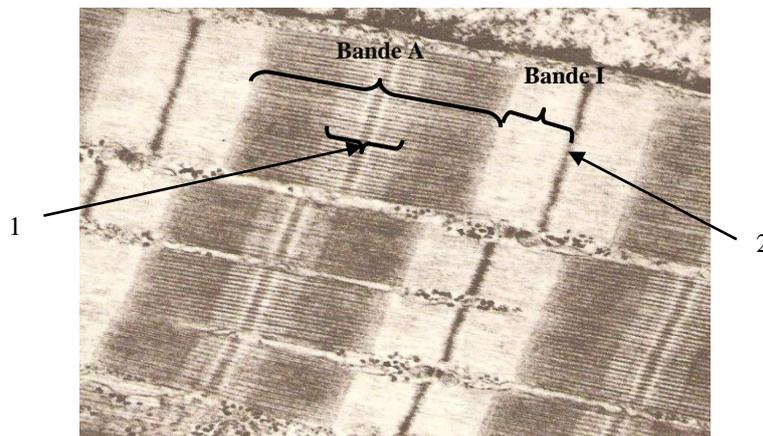
### I-2-2. Observation au microscope électronique

Au microscope électronique chaque myofibrille apparaît formée de deux types de filaments de nature protéiques :

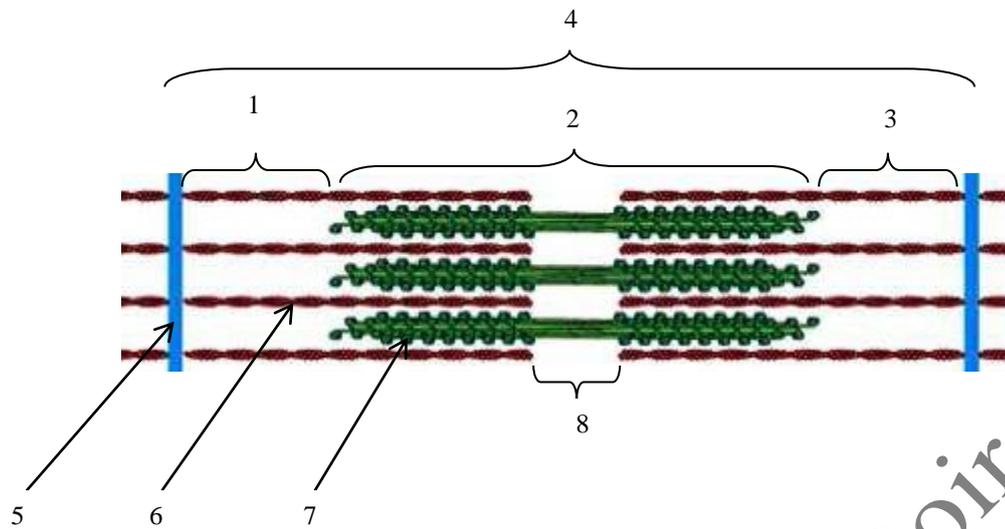
- Des filaments fins de  $50 \text{ \AA}$  de diamètre constitués d'**actine**.
- Des filaments épais de  $160 \text{ \AA}$  de diamètre constitués de **myosine**.

Les **bandes claires** sont constituées uniquement de filaments d'actine qui se fixent à la **strie Z**, les **bandes sombres** sont constituées de filaments d'actine et de myosine et les **bandes H** n'ont que des filaments de myosine.

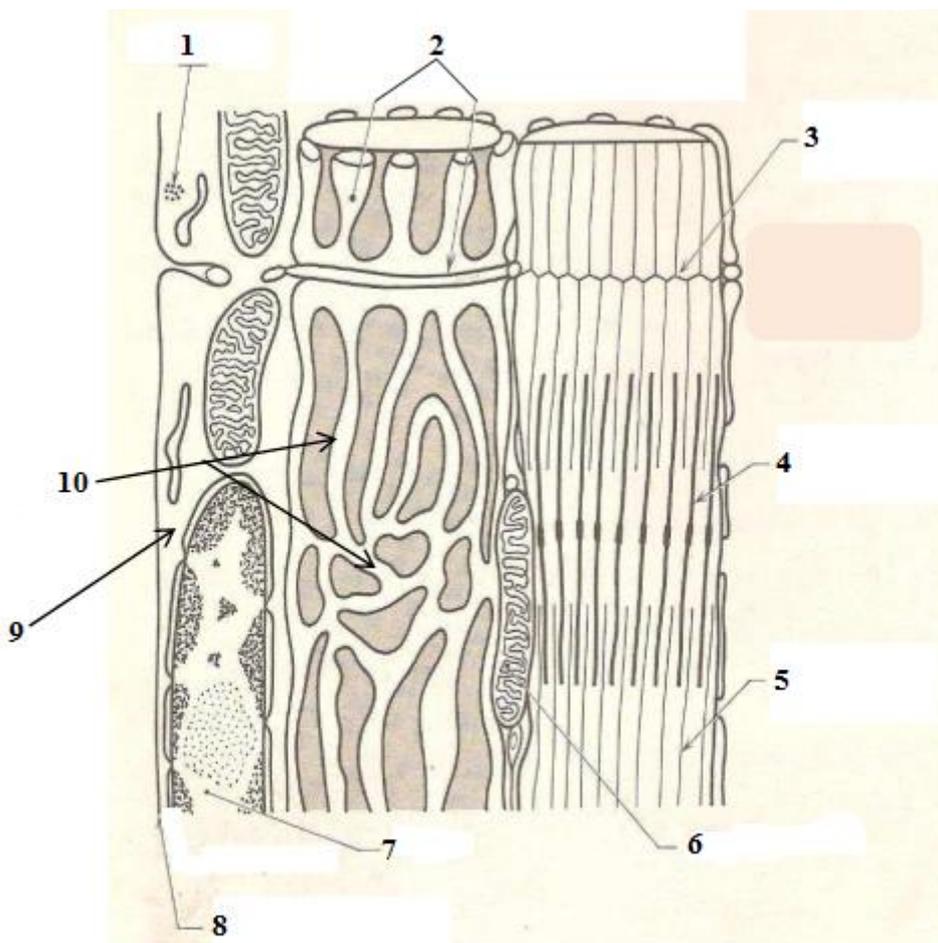
En plus de ses éléments caractéristiques, la fibre musculaire contient un réticulum sarcoplasmique très abondant accumulant des ions  $\text{Ca}^{2+}$ , de nombreuses mitochondries, du glycogène et toutes les caractéristiques de la cellule animale.



Document 3 :



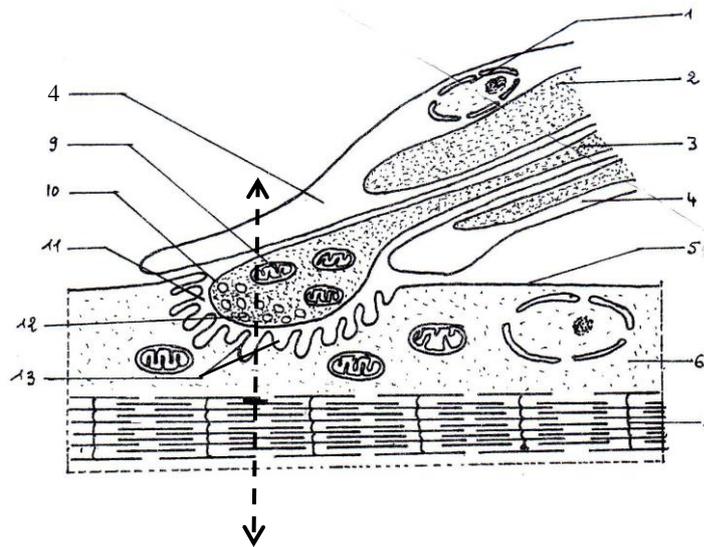
Document 4 :



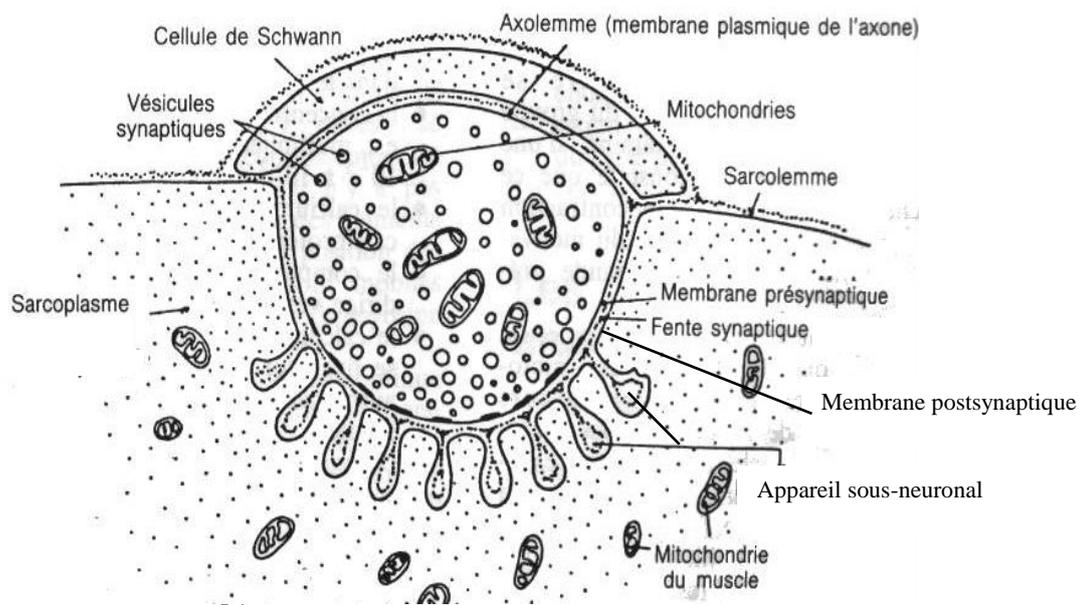
Document 5 :

### I-3. Notion d'unité motrice

Une fibre nerveuse (neurone) innerve plusieurs fibres musculaires. On appelle **unité motrice** l'ensemble neurone et les fibres musculaires qu'il innerve. La jonction entre une fibre nerveuse et une fibre musculaire est appelée **jonction neuromusculaire** ou **plaque motrice**. Au microscope électronique le contact entre la fibre nerveuse et la fibre musculaire présente de nombreux replis constituant l'**appareil sous-neuronal**.



Document 6 :



Coupe transversale de la plaque motrice

#### I-4. Commande nerveuse

L'arrivée de l'influx nerveux conduit par le nerf au niveau de la plaque motrice entraîne une libération d'**acétylcholine** qui traverse la fente synaptique pour se fixer sur des récepteurs spécifiques du **sarcolemme**. Il se produit une forte entrée de  $\text{Na}^+$  provoquant une dépolarisation, point de départ d'un potentiel d'action, le potentiel d'action musculaire (PAM) qui se propage le long des fibres musculaires innervées, entraînant leur contraction.

Le nombre de fibres musculaires qui se contracte dépend du nombre de neurones qui transporte l'influx nerveux. L'augmentation progressive de l'amplitude de la secousse musculaire est due à un recrutement progressif des unités motrices. La contraction maximale correspond à un recrutement de toutes les unités motrices.

Comme la fibre nerveuse, la fibre musculaire répond à la **loi du tout ou rien**, alors que le muscle répond au **phénomène de recrutement**.

## II- DIVERS PHENOMENES LIES A L'ACTIVITE MUSCULAIRE

Plusieurs phénomènes interviennent lors de l'activité musculaire, ce sont les phénomènes mécanique, électrique, thermique et chimique.

### II-1. Phénomènes mécaniques

#### II-1-1. Etude expérimentale de la contraction

##### II-1-1-1. Matériel

Le matériel est constitué du matériel biologique, du dispositif d'excitation et du dispositif d'enregistrement.

##### ✓ Matériel biologique (grenouille)

L'animal à utiliser lors de l'expérience doit subir :

- Une destruction de l'encéphale (décérébré) et de la moelle épinière (démédullée) ;
- Une dissection du muscle au niveau du tendon rattaché au pied. Le nerf sciatique de la cuisse est placé sur des électrodes stimulatrices.

##### ✓ Dispositif excitateur

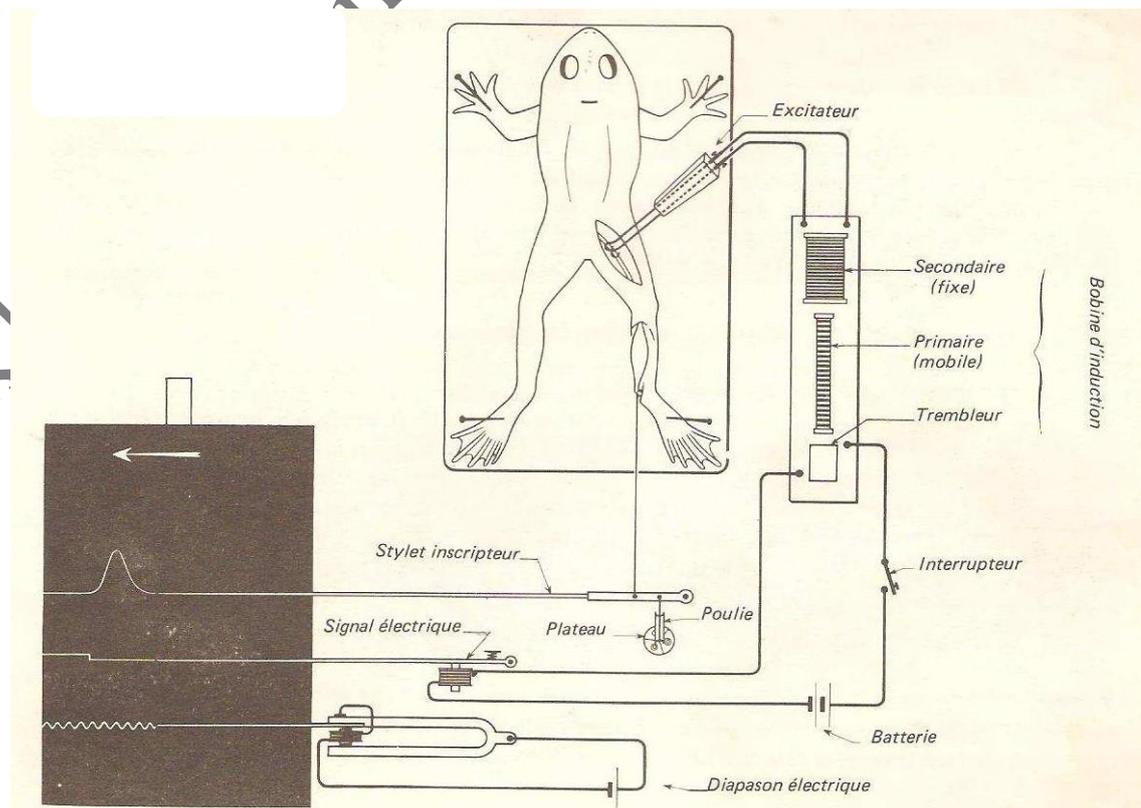
Le dispositif excitateur est constitué :

- D'un générateur de courant (2 piles de 4,5 V chacune).
- D'un chariot inducteur composé de 2 bobines électriques : le primaire et le secondaire, d'un interrupteur dont la fermeture et l'ouverture produisent des excitations, d'un trembleur qui fait varier la fréquence des excitations.
- D'un excitateur (les électrodes excitatrices) montées sur le nerf.

##### ✓ Dispositif d'enregistrement

Il est constitué :

- D'un stylet inscripteur relié par un fil au muscle et qui trace les mouvements du muscle ;
- D'un cylindre enregistreur rotatif recouvert d'une feuille de papier noircie à la fumée, la pointe du stylet inscripteur s'y frotte et y laisse une marque blanche, le myogramme ;
- D'un signal d'excitation enregistrant le moment précis de l'excitation ;
- D'un chronographe donnant la durée des phénomènes (enregistre sur une base de temps de 1/100° de seconde)

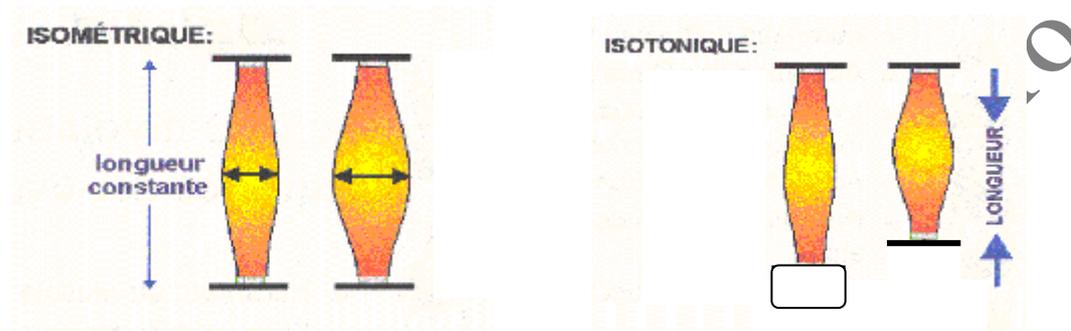


Dispositif d'enregistrement d'un myogramme

### II-1-1-2. Etude d'une contraction musculaire

Le muscle présente plusieurs aspects en se contractant :

- il se raccourcit et la force développée est constante, c'est une **contraction isotonique**.
- il conserve sa longueur et la force développée croit progressivement, c'est une **contraction isométrique**, qui se produit lorsqu'on fournit un effort croissant mais infructueux pour soulever un objet lourd.
- Par ailleurs nos muscles sont toujours en état de légère contraction isométrique, c'est le **tonus musculaire** maintenu par les voies réflexes.



### II-1-1-3. Etude expérimentale de la contraction musculaire

#### ✓ Seuil d'excitation

Excitons le nerf rattaché au muscle en augmentant l'intensité de stimulation. A une certaine intensité le muscle réagit :

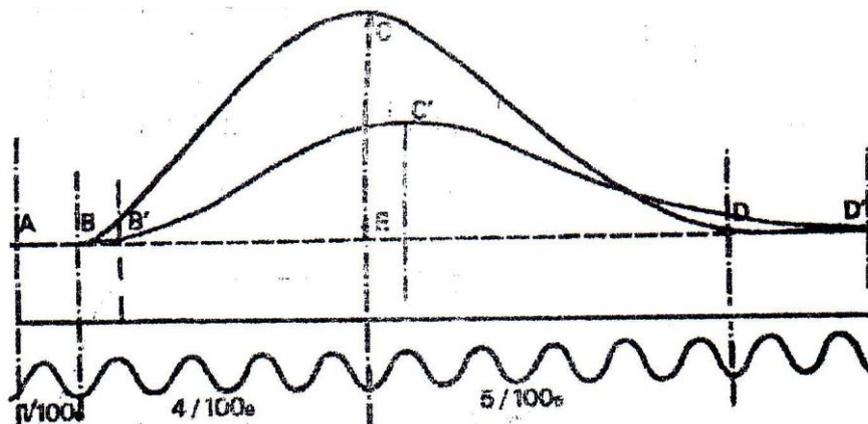
#### ✓ Réponse à une excitation unique

Une excitation liminaire produit une secousse musculaire élémentaire (A, B, C, D) que l'on décompose en 3 phases :

- **Temps de latence AB**
- **Phase de contraction BC**
- **Phase de relâchement CD**

L'augmentation de l'intensité de stimulation entraîne une augmentation de l'amplitude de la secousse musculaire qui atteint un maximum aux fortes intensités.

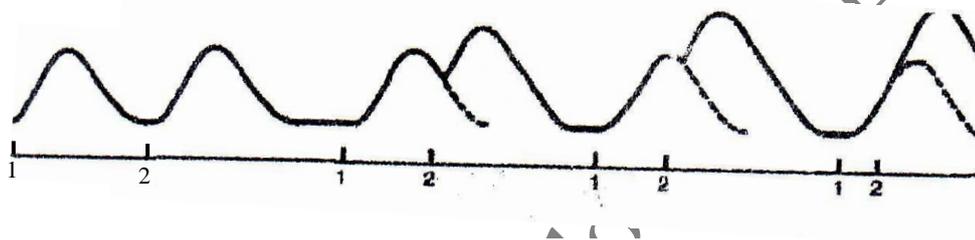
En prolongeant les stimulations, on obtient une fatigue musculaire dont la secousse a une amplitude faible et un temps de relâchement plus long (A', B', C', D').



Secousse musculaire élémentaire

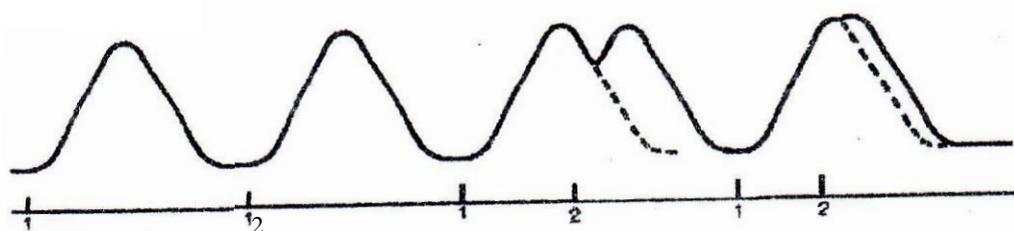
✓ Réponse à plusieurs excitations d'intensité égale

- ★ Excitons le nerf avec deux excitations liminaires d'intensités égales :
- Si la deuxième stimulation intervient après la phase de décontraction de la première : .....
  - .....
  - Si la deuxième stimulation intervient au moment de la phase de relâchement de la première ; .....
  - .....
  - Si la deuxième stimulation intervient au moment de la phase de contraction de la première : .....
  - .....



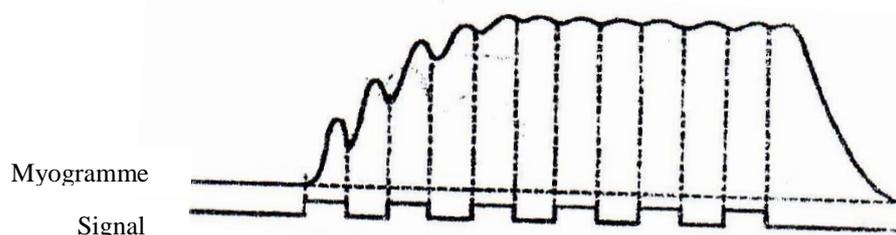
Document 7 :

- ★ Excitons le nerf avec deux excitations suffisantes pour provoquer une contraction maximale, on obtient selon le moment où arrive le second stimulus :
- Soit deux secousses séparées de même amplitude maximale,
  - Soit deux secousses de même amplitude incomplètement fusionnées,
  - Soit une portion plane.



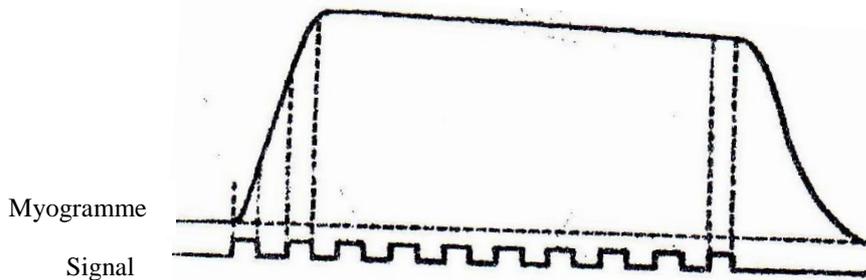
Document 8 :

- ★ Excitons le nerf avec une série de stimulations identiques. On obtient :
- Avec une fréquence d'excitation faible (15 chocs/s), on obtient des secousses d'amplitudes croissantes avant d'atteindre un maximum en forme de plateau sinueux, c'est le .....



Document 9 :

- Avec une fréquence d'excitation plus élevée (30 chocs/s), on obtient un plateau à allure rectiligne, c'est le ..... Il y a contraction sans relâchement.



Document 10 :

- Avec une fréquence encore plus élevée (1 million de chocs/s), on a une secousse simple pas suivie d'autres secousses, car chaque contraction est suivie d'une ..... très courte pendant laquelle le muscle est inexcitable.

## II-1-2. Mécanisme de la contraction

### ➤ Organisation des myofilaments

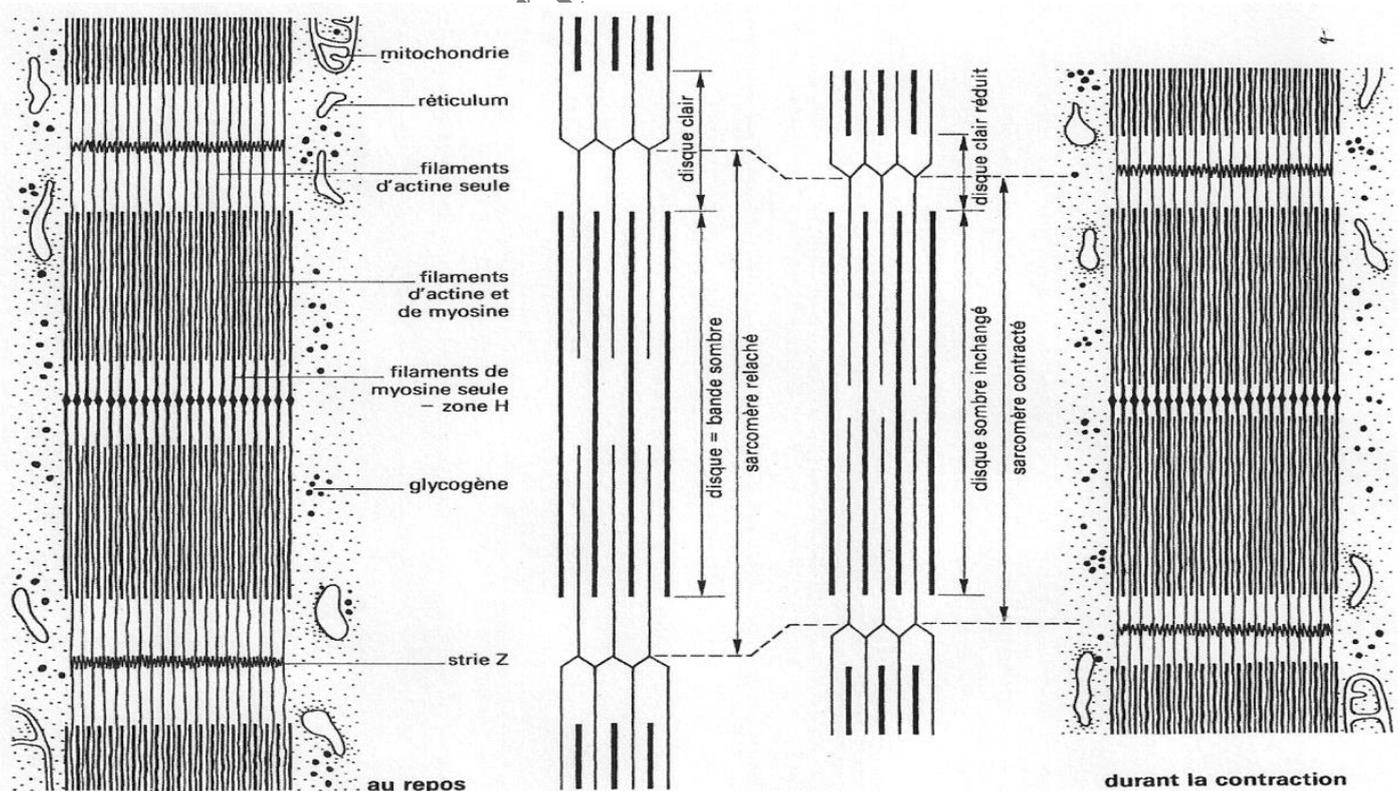
Les filaments d'**actine** sont issus d'une polymérisation d'**actines globulaires**, associées à deux protéines : la **troponine** et la **tropomyosine**.

Les filaments de **myosine** sont constitués de 4 chaînes protéiques qui leur donnent la forme de bâtonnet terminé avec des **têtes globuleuses**.

### ➤ Observations

Pendant la contraction, les myofilaments, les sarcomères, les bandes claires et la bande H se raccourcissent, mais la bande sombre, les filaments d'actine et de myosine conservent leur longueur.

Donc lors de la contraction il se produit un glissement des filaments d'actines par rapport aux filaments de myosine entraînant un raccourcissement des sarcomères, des myofibrilles, des fibres musculaires donc du muscle.

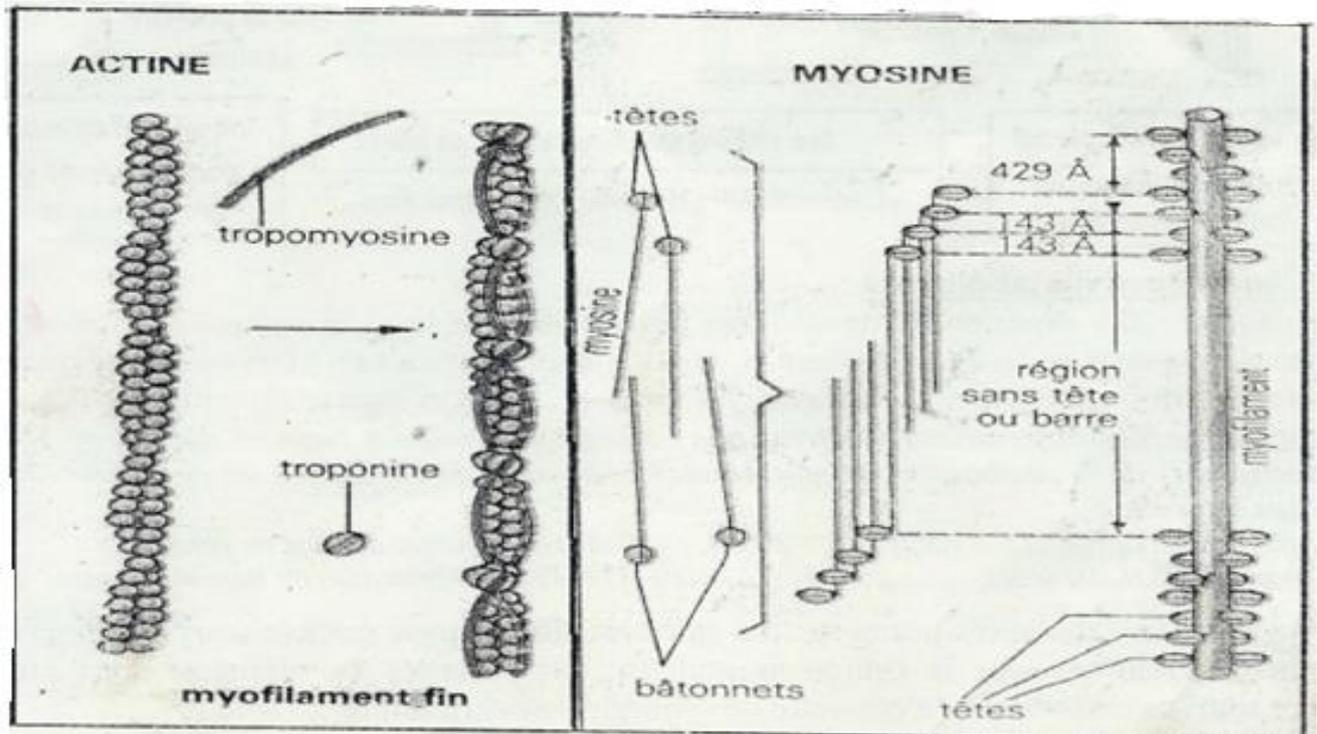


Interprétation de la contraction musculaire

### II-1-3. Interprétation de la contraction

**Rappel :** Les filaments fins d'actines sont formés de troponine et de tropomyosine. La troponine est répartie régulièrement sur tout le long de la molécule et la tropomyosine s'intercale entre les différents nœuds occupés par la troponine.

La myosine quant à elle est sous la forme de bâtonnets épais dont les extrémités présentent des sites de fixation ou têtes de myosine.



Le glissement entre les filaments d'actine et de myosine est dû à l'existence de liaisons entre ces filaments. Il se fait en trois étapes :

- **Repos (A)**

Au repos, la **tropomyosine** cache le site d'attache entre actine et myosine.

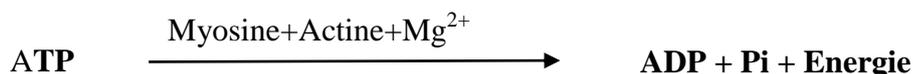
- **Attachement (B)**

L'excitation de la fibre musculaire par l'influx nerveux provoque la libération d'ions  $\text{Ca}^{2+}$  accumulés dans le **réticulum sarcoplasmique**. Ces ions se fixent sur la **troponine** qui en se déformant repousse la **tropomyosine** et libère le site d'attache actine et myosine.

En même temps les mitochondries produisent de l'ATP (adénosine triphosphate) qui se fixe sur les têtes de myosine qui se détachent et s'attachent à l'actine au niveau des sites de fixation.

- **Glissement (C)**

La myosine activée par l'actine devient une enzyme ATPase qui hydrolyse l'ATP en présence d'ions  $\text{Mg}^{2+}$

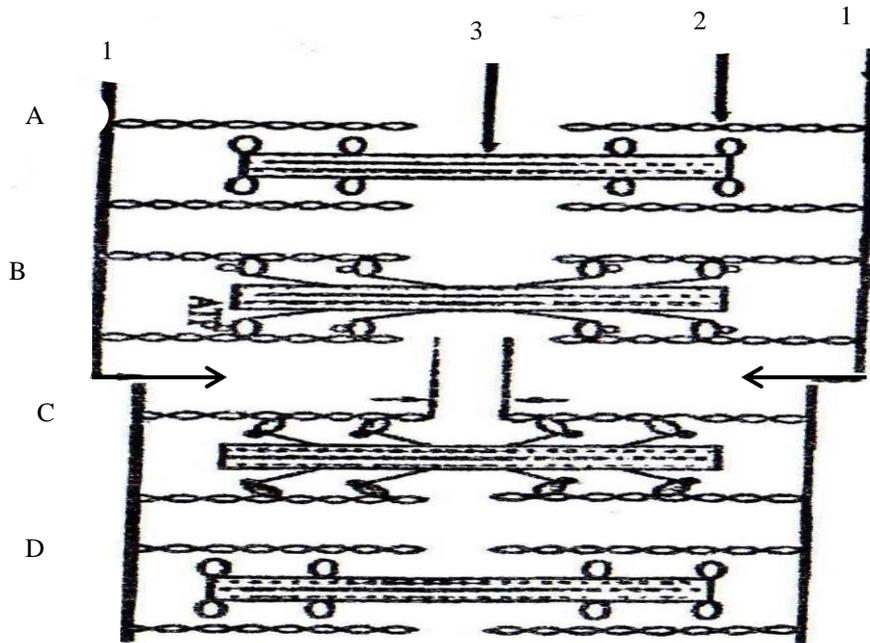


- **Détachement (D)**

Le retour à l'état initial se fait par un détachement de l'actine et de la myosine grâce à deux phénomènes simultanés :

- L'absorption active des ions  $\text{Ca}^{2+}$  par le réticulum sarcoplasmique.
- La fixation d'une nouvelle molécule d'ATP sur les têtes de myosine.

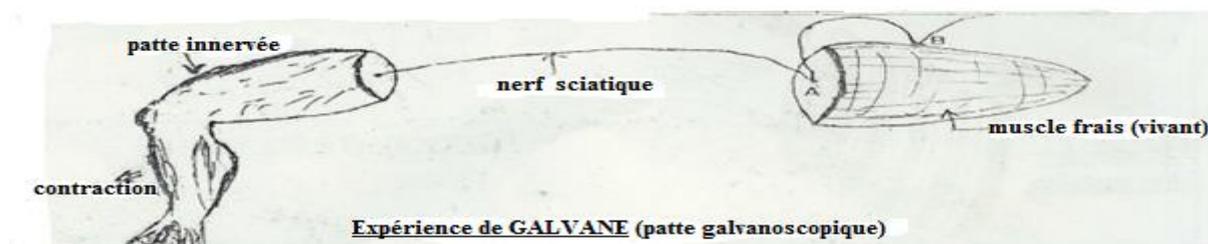
Le retour à l'état initial est un phénomène passif dû à la contraction du muscle antagoniste.



## II-2. Phénomènes électriques

### II-2-1. Mise en évidence du potentiel de repos

On isole une patte de grenouille en relation avec son nerf sciatique que l'on met en contact avec un autre muscle frais : *expérience de la patte galvanoscopique*

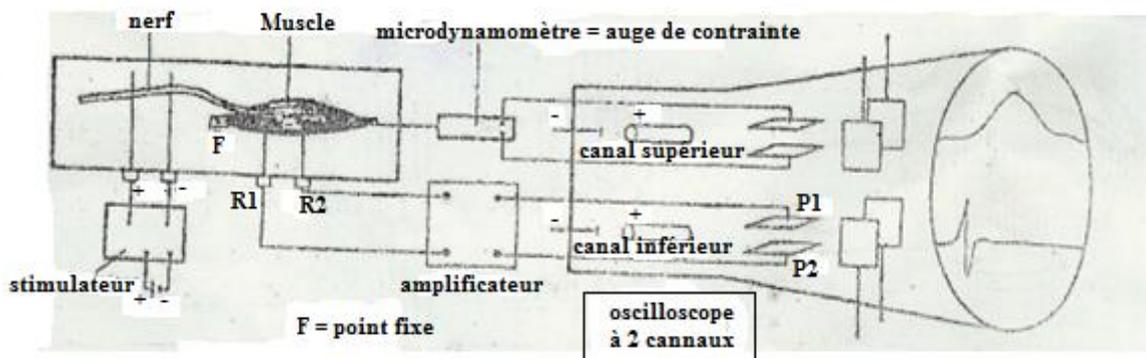


On constate qu'à chaque fois le nerf sciatique est appliqué en un point de la surface (B) et un autre point à l'intérieur (A) du muscle de la patte se contractent comme si l'on a excité le nerf avec du courant électrique.

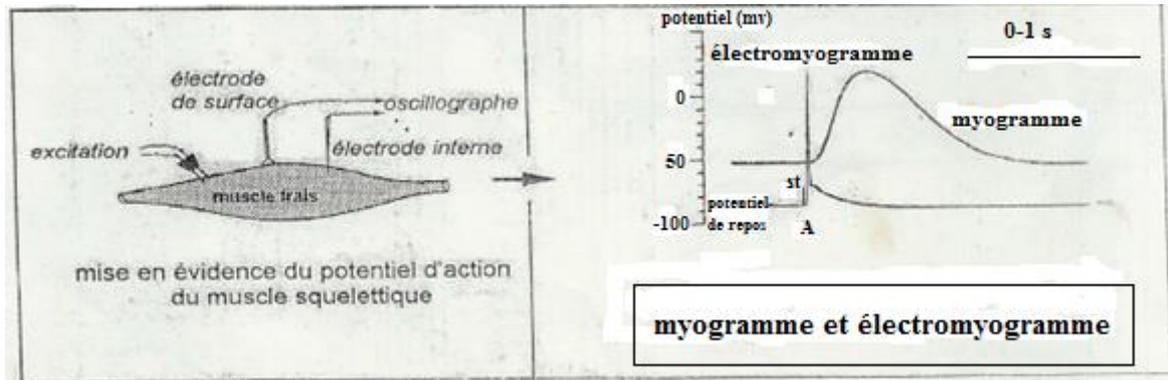
### Interprétation

### II-2-2. Potentiel d'action musculaire

Pour enregistrer en même temps les phénomènes électriques, on utilise un oscilloscope à deux voies.



Lorsque l'excitation est portée directement sur le muscle, on constate un potentiel d'action avant le début de la contraction : donc les phénomènes électriques (potentiel d'action musculaire) précèdent et déclenchent les phénomènes mécaniques (contraction musculaire).



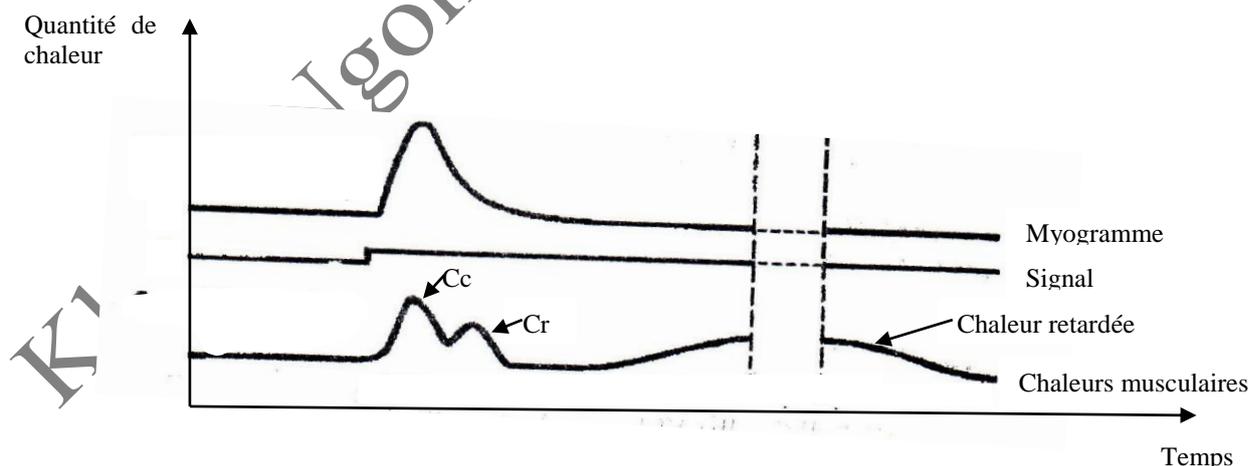
**Remarque :** l'excitation peut être portée sur le nerf moteur ; dans ce cas, on observe d'abord le potentiel d'action nerveux avant le potentiel d'action musculaire qui déclenche la contraction musculaire.

### II-3. Phénomènes thermiques

La contraction du muscle s'accompagne d'une production de chaleur d'amplitude et de durée très faible. Elle peut être enregistrée grâce à des aiguilles thermiques très sensibles (composées de cuivre et de nickel), capables d'apprécier des variations thermiques de quelques microdegrés ( $\mu\text{m}$ ).

La chaleur dégagée par le muscle lors de sa contraction, entraîne une différence de température entre les aiguilles qui se traduit par la production d'un courant électrique d'intensité proportionnelle à la température produite. Cette chaleur se décompose en :

- **chaleur initiale** constituée d'une **chaleur de contraction (Cc)** produite pendant la contraction et une **chaleur de maintien (Cm)**, de **soutien (Cs)** ou de **relâchement (Cr)** se produisant pendant le relâchement.
- **chaleur retardée** de faible amplitude et de longue durée est produite après l'activité musculaire.



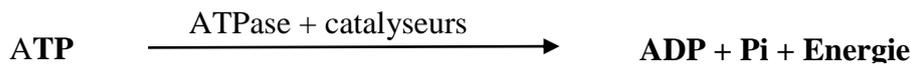
### Phénomènes thermiques

#### II-4. Phénomènes chimiques

Ce sont des phénomènes liés à consommation et à la production d'ATP (énergie) lors de la contraction musculaire.

##### II-4-1. Sources énergétiques du muscle

La contraction du muscle nécessite de l'énergie issue de l'hydrolyse de l'ATP (réaction anaérobie) directement disponible dans le muscle, grâce à l'ATPase et aux catalyseurs (complexe myosine-actine,  $\text{Mg}^{2+}$ ). Une partie de l'énergie sera perdue sous forme de chaleur initiale de contraction.



#### II-4-2. Régénération de l'ATP

Pour que la contraction se fasse pendant un certain temps, l'ATP doit être régénérée. La régénération se fait suivant deux voies :

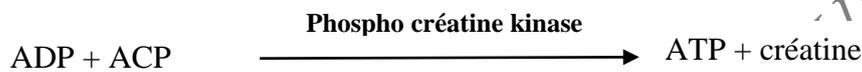
##### La voie rapide

Elle se fait soit :

A partir de deux **ADP** (adénosine diphosphate) pour donner de l'ATP et de l'AMP (adénosine monophosphate), grâce à la **myokinase** (enzyme) :



A partir de l'ADP et du **phosphagène** encore appelé **phosphocréatine** ou **acide créatine phosphorique** (ACP) :



Ces réactions s'accompagnent d'une légère perte de chaleur correspondant à la chaleur de relâchement.

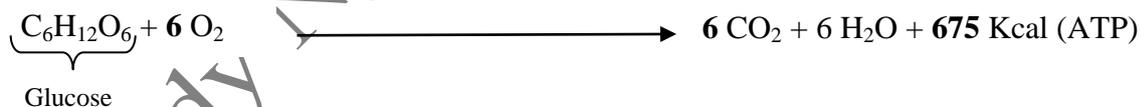
**NB** : Le phosphagène constitue la véritable réserve énergétique du muscle où il est accumulé en grande quantité.

##### Voie lente

Le phosphagène utilisé doit être reconstitué. L'oxydation du **glucose** d'origine sanguine ou provenant de l'hydrolyse du **glycogène** musculaire ou hépatique produit de l'énergie dont une partie est mobilisée sous forme d'ATP et servira à la reconstitution du phosphagène et l'autre partie sera perdue sous forme de chaleur.

Cependant, la production d'énergie par l'oxydation du glucose se fait soit :

**-En aérobie** : lorsque la quantité d'oxygène est suffisante comme lors d'un effort musculaire moyen, la dégradation du glucose est complète avec beaucoup d'ATP produit, c'est la **voie respiratoire**.



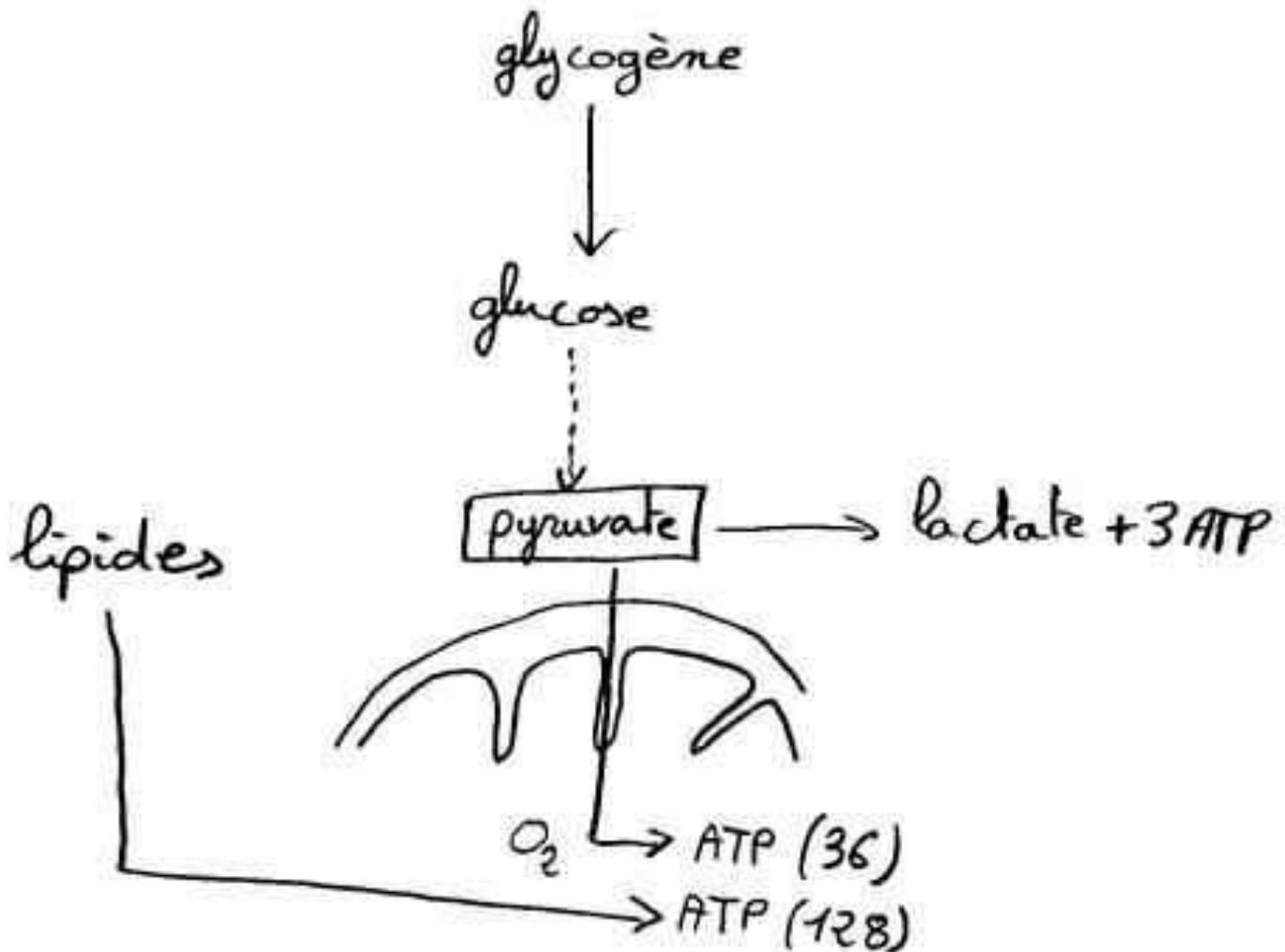
**-En anaérobie** : Lorsque la quantité d'oxygène est insuffisante comme lors d'un effort musculaire intense, la dégradation du glucose est incomplète avec une libération d'acide lactique et peu d'ATP produit, c'est la **fermentation**.



L'accumulation d'acide lactique dans le muscle entraîne une fatigue musculaire. D'où la nécessité de l'éliminer par oxydation du 1/5 pour donner de l'ATP ou transformation du 4/5 en **glycogène** stocké dans le foie.

## II-4-3. Bilan

Le muscle aura perdu peu de glycogène qui lui sera restitué par l'alimentation (glucose, acides gras...). L'énergie chimique libérée est transformée partiellement (contraction isotonique) ou entièrement (contraction isométrique) en chaleur.



Khady

## 2<sup>ème</sup> PARTIE : ACTIVITE CARDIAQUE

### THEME 5 : L'ACTIVITE CARDIAQUE

#### Leçon 7 : L'AUTOMATISME CARDIAQUE

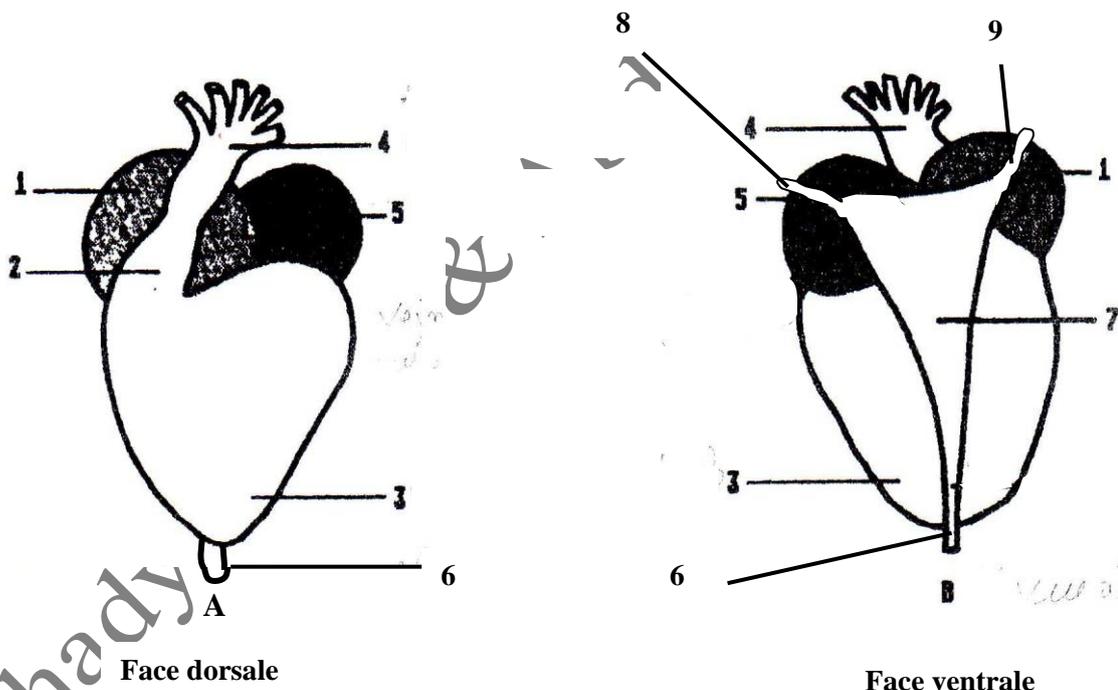
#### INTRODUCTION

Le cœur est un organe musculaire creux, situé entre les poumons au milieu du thorax. Il est le moteur du système cardio-vasculaire, dont le rôle est de pomper le sang qu'il envoie vers tous les tissus de l'organisme

#### I- ANATOMIE DU CŒUR

##### I-1. Cœur de grenouille

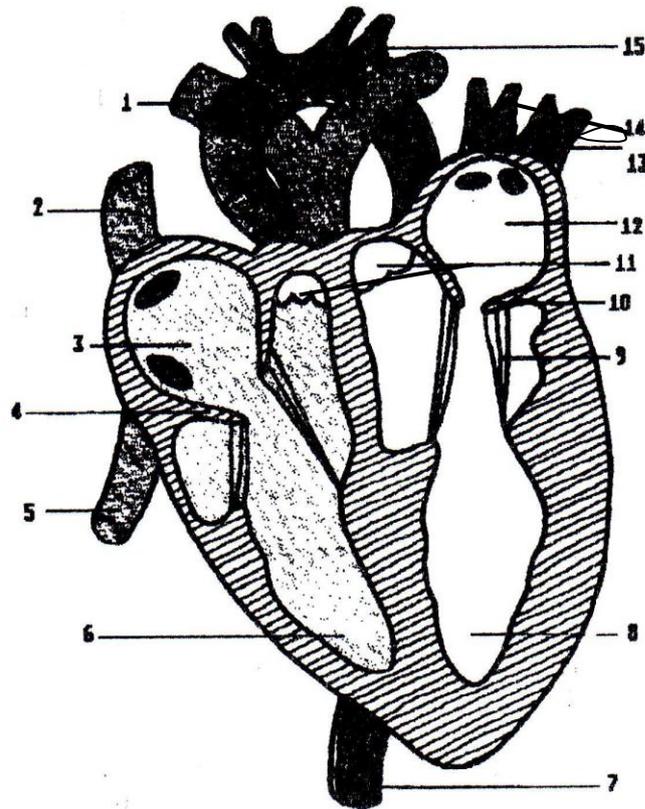
Le cœur de grenouille possède un ventricule et deux oreillettes, un bulbe artériel rattaché à un tronc artériel et un sinus veineux relié à l'oreillette droite.



Document 1 :

##### I-2. Cœur de mammifère

Le cœur de mammifère comprend quatre cavités, deux petites cavités situées vers le haut : les oreillettes droite et gauche, et deux grosses cavités situées vers le bas : les ventricules droit et gauche. Ces cavités sont en relation avec des vaisseaux, les artères (aorte et les artères pulmonaires) qui amènent le sang hors du cœur et des veines (veines caves et veines pulmonaires) qui ramènent le sang vers le cœur.



Document 2 :

## II- STRUCTURE DU MYOCARDE

Le cœur est un muscle, appelé **myocarde**, il est constitué de plusieurs fibres musculaires striées présentant des stries particulières, les **stries scalariformes**. Entre les fibres se trouve un tissu conjonctif renfermant des vaisseaux sanguins et des fibres nerveuses. Le cœur est entouré d'une enveloppe externe le **péricarde** et présente une enveloppe tapissant la paroi interne, l'**endocarde**

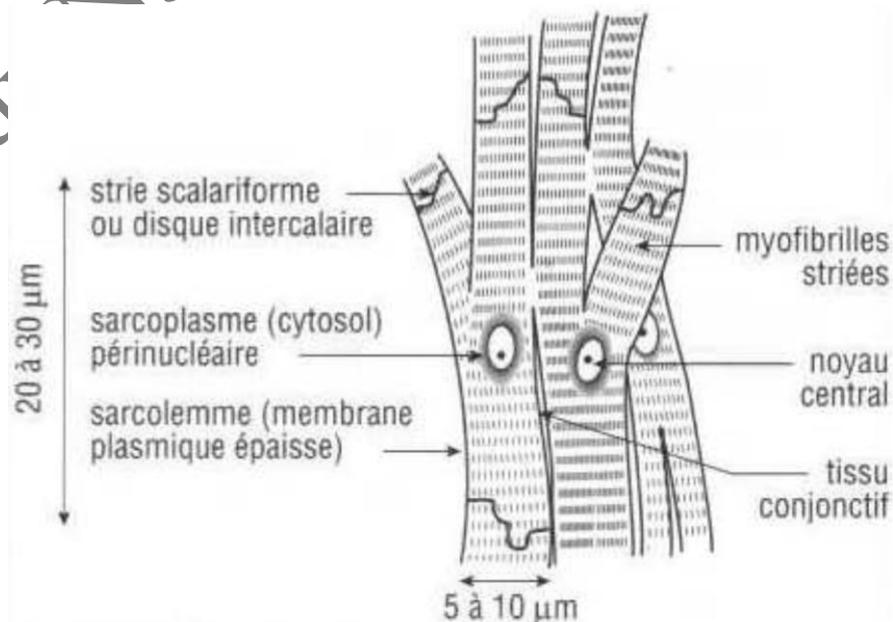
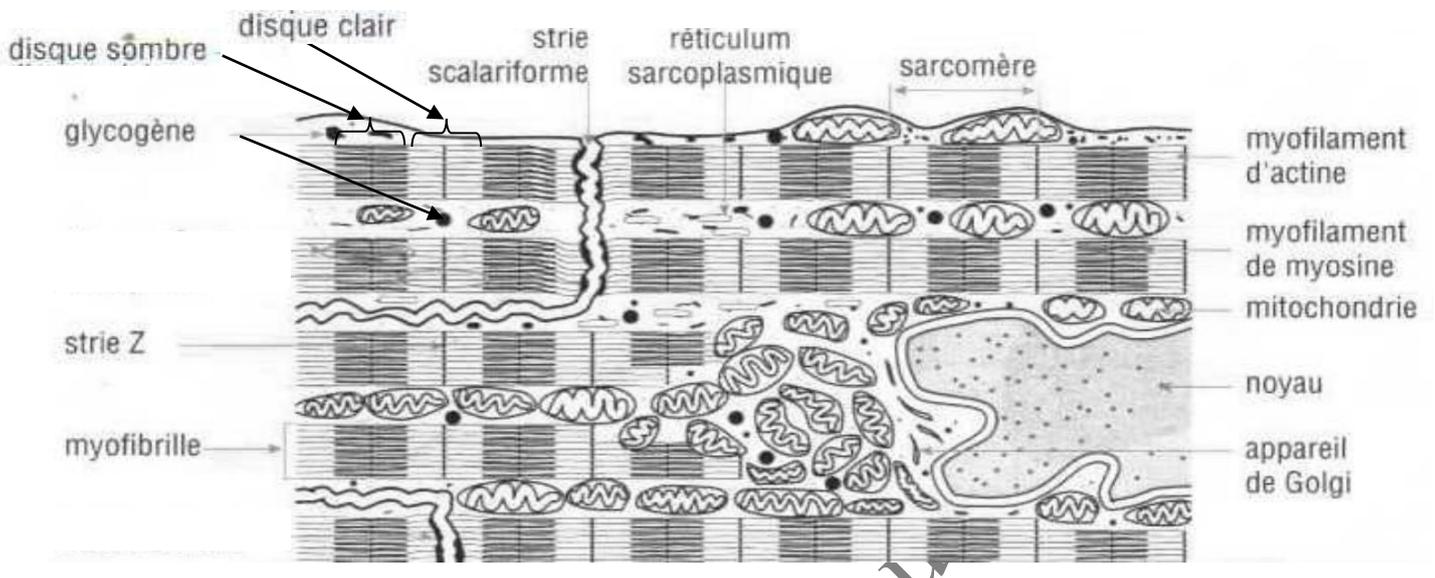


Schéma de la structure du myocarde

Au microscope électronique la fibre musculaire apparaît avec ses myofibrilles constituées d'actine et de myosine, un cytoplasme contenant les éléments caractéristiques d'une cellule animale et du glycogène comme source d'énergie.



Ultrastructure du myocarde

### III- MISE EN EVIDENCE DE L'AUTOMATISME CARDIAQUE

#### Observations

- ★ Chez un animal privé de ses centres nerveux (décérébré et déméduqué), on constate que le cœur continue de battre de manière rythmique pendant plusieurs heures.
- ★ Chez l'embryon, le cœur bat alors qu'aucune structure nerveuse n'est pas encore mise en place.

.....

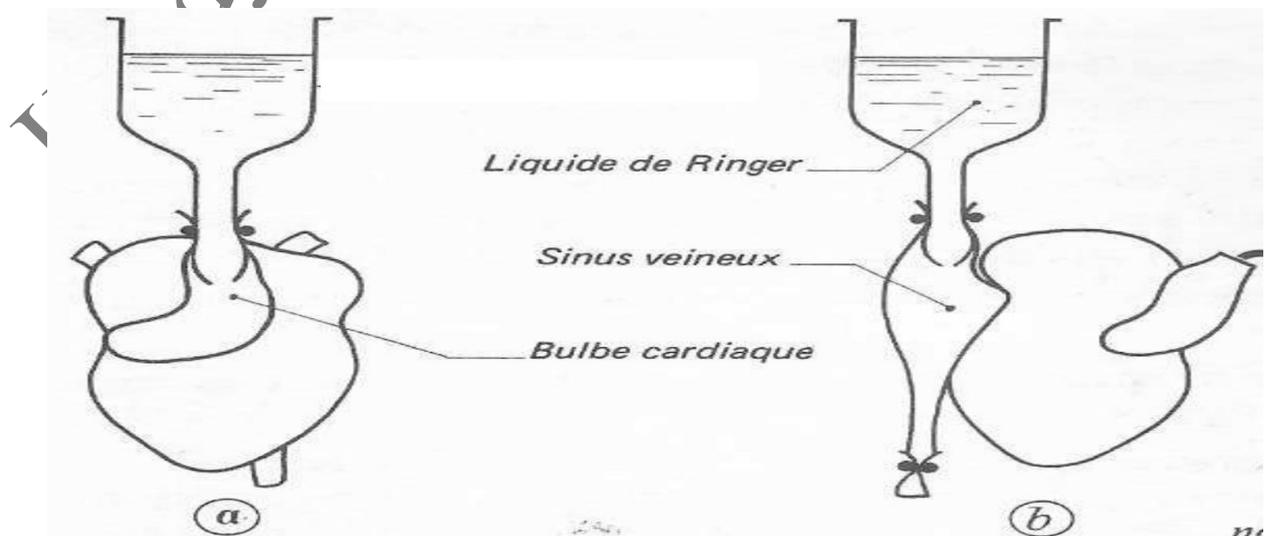
.....

.....

.....

#### Expérience

Isolé totalement de l'organisme, un cœur continue ses battements rythmiques lorsqu'il est convenablement perfusé avec un liquide physiologique, liquide Ringer (liquide dont la composition est très proche de celle du milieu intérieur).



Modes de perfusion du cœur de grenouille

## IV- SIEGE DE L'AUTOMATISME CARDIAQUE

### IV-1. Chez la grenouille

Le cœur de grenouille présente 3 ganglions nerveux intracardiaques :

le ganglion de *Remack* dans le sinus veineux ;

le ganglion de *Ludwig* dans les oreillettes ;

le ganglion de *Bidder* dans le ventricule.

#### ➤ Expérience de Stannius

Pour connaître l'origine des battements cardiaques chez la grenouille, Stannius procède à des ligatures sur deux cœurs A et B.

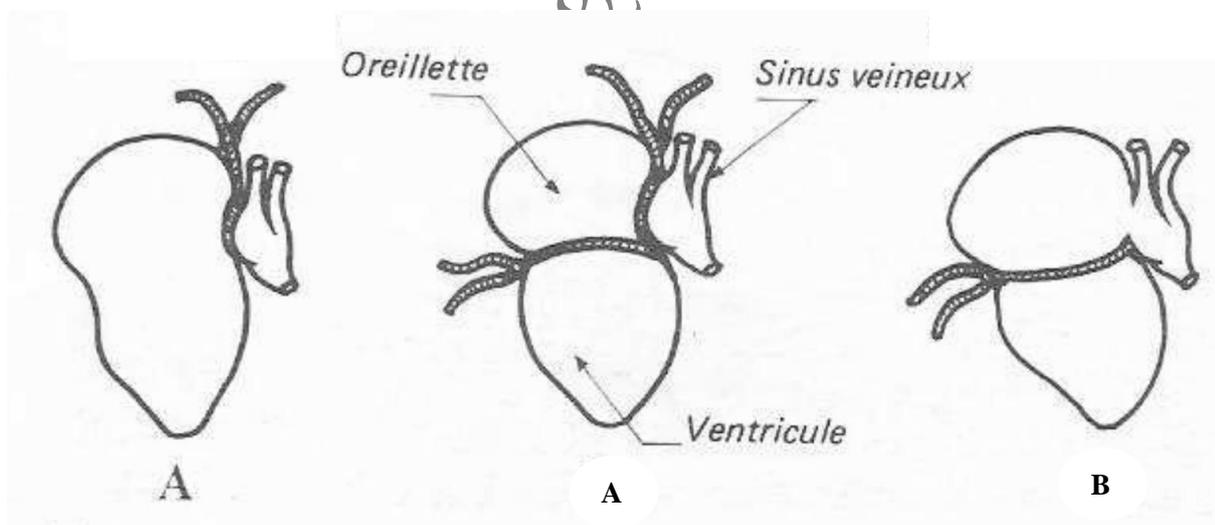
Sur le cœur A en activité, il place une ligature (L1) entre le sinus veineux et l'oreillette droite. Il remarque que le sinus continu de battre normalement alors que les oreillettes et le ventricule s'arrêtent.

Sur le même cœur A, il place une deuxième ligature (L2) entre l'oreillette et le ventricule. Il remarque que le sinus bat et le ventricule après un bref arrêt reprend de battre lentement.

Sur le cœur B, il place une ligature (L2) entre les oreillettes et le ventricule. Le sinus et les oreillettes battent normalement, alors que le ventricule s'arrête puis reprend à battre lentement.

#### ➤ Interprétation

- .....
- .....
- .....
- .....
- .....
- .....
- .....
- .....
- .....
- .....



Ligatures de Stannius

Cette théorie est qualifiée de **neurogène** ou **neurogéniste** (car elle implique le tissu nerveux intracardiaque).

Cependant, la destruction des ganglions nerveux n'entraîne pas l'arrêt du cœur. Donc la théorie neurogéniste disparaît aujourd'hui au profit de la **théorie myogéniste** qui pense que l'origine de l'automatisme cardiaque se trouve dans le myocarde (muscle cardiaque) en particulier le myocarde sinusal.

## IV-2. Chez les mammifères

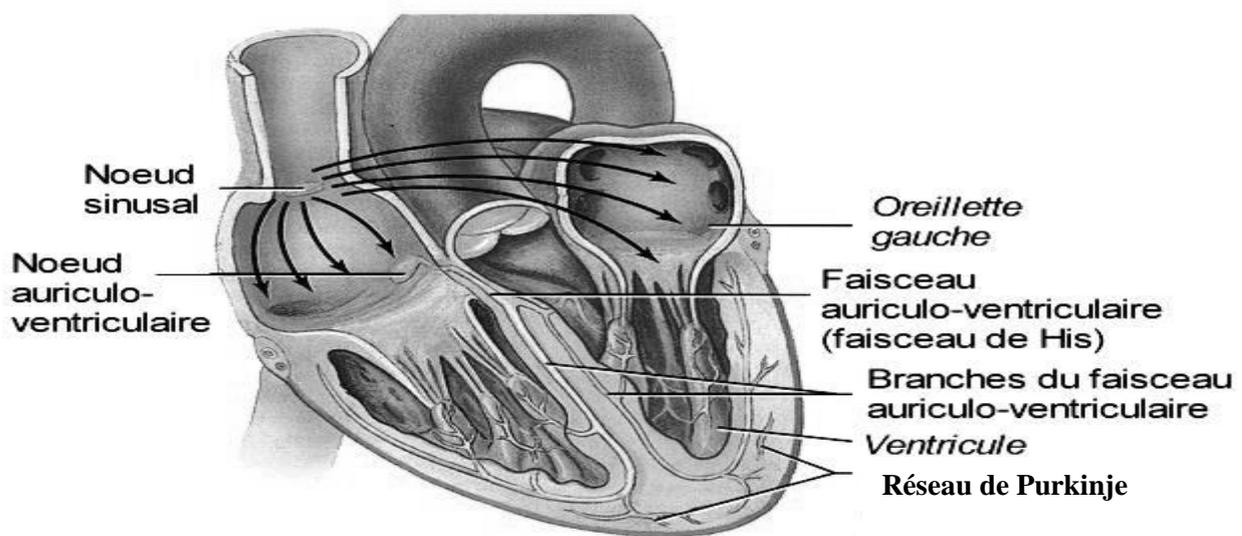
### ➤ Observations

Chez l'embryon de poulet, le cœur commence à battre dès la 30<sup>ème</sup> heure d'incubation, alors qu'il est encore dépourvu de structures nerveuses.

Mises en culture, les cellules myocardiques d'embryon de poulet se contractent spontanément.

L'étude microscopique de certaines régions du myocarde adulte de mammifères et d'oiseaux, montre des cellules musculaires à sarcoplasme abondant et pauvres en myofibrilles, les **myocytes**. Ces cellules de types embryonnaires constituent le **tissu nodal**, regroupé en nœuds et en faisceau. Le tissu nodal comprend :

- le **nœud sinusal** situé dans la paroi de l'oreillette droite au point d'arrivée des veines caves.
- le **nœud septal** ou **auriculo-ventriculaire** situé au niveau de la cloison auriculo-ventriculaire.
- le **faisceau de His** qui est un prolongement du **nœud septal**, longeant la cloison inter-ventriculaire et dont les ramifications constituent le **réseau de Purkinje**.



### Tissu nodal

#### Expériences sur le tissu nodal :

**Expérience 1 :** La destruction du nœud sinusal provoque l'arrêt des battements auriculo-ventriculaires, puis leur reprise mais à un rythme beaucoup plus faible.

**Expérience 2 :** Sur un autre cœur dénervé, on sectionne le faisceau de His juste à son début ; on observe que le rythme des oreillettes demeure normal (110 à 120 bat/mn) alors que celui des ventricules est plus lent (dissociation auriculo-ventriculaire).

**Expérience 3 :** Un fragment d'oreillette droite contenant le nœud sinusal seul est plongé dans du Ringer : on constate qu'il poursuit ses contractions à un rythme normal (110 à 120 bat/mn).

Un fragment d'une cloison interauriculaire contenant le nœud septal seul est plongé dans du Ringer : on constate qu'il se contracte aussi mais à un rythme faible (60 bat/mn).

Lorsque ces deux fragments sont placés ensemble dans du Ringer, ils se contractent à un même rythme normal (110 à 120 bat/mn).

*Exploiter rigoureusement ces expériences pour en déduire l'importance du tissu nodal et le mode de fonctionnement de ses différents constituants.*

**Exploitation des expériences :**

**Expérience1 :** .....

.....

.....

.....

.....

**Expérience2 :** .....

.....

.....

.....

**Expérience3 :** .....

.....

.....

.....

.....

➤ **Conclusion**

Le **tissu nodal** a une double fonction, il est le siège de l'automatisme cardiaque mais aussi il conduit l'excitation dans tout le cœur. Puisque le tissu nodal est un tissu musculaire cette théorie est qualifiée de théorie myogène (ou myogéniste)

**NB :** Le ganglion de **Remack** (grenouille) et le **noeud sinusal** (mammifères) imposent leur rythme à l'ensemble du myocarde, d'où leur nom, **entraîno-moteurs** ou **pacemaker**

## Leçon 8 : L'ACTIVITE CARDIAQUE ET LA PRESSION ARTERIELLE

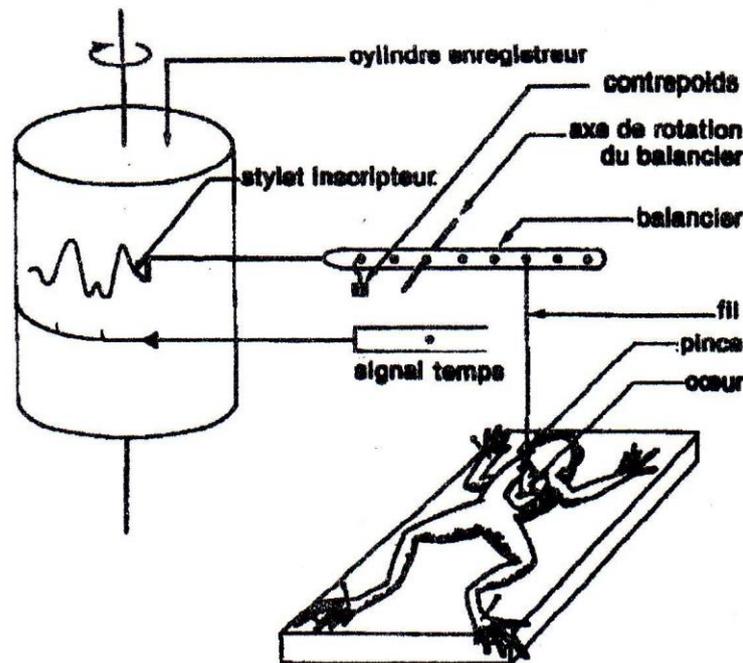
### I. MANIFESTATIONS DE L'ACTIVITE CARDIAQUE : LA REVOLUTION CARDIAQUE

#### I-1. Etude expérimentale de l'activité cardiaque

##### I-1-1. Aspect mécanique

##### I-1-1-1. Dispositif expérimental

L'enregistrement de l'activité cardiaque d'une grenouille peut se faire à l'aide d'un **cardiographe** constitué d'un **stylet inscripteur** relié au cœur par un fil. Ce stylet touche le **cylindre enregistreur** animé d'un mouvement de rotation et sur lequel il laisse un tracé, le **cardiogramme**. Un deuxième stylet enregistre le temps. L'expérience est réalisée sur une grenouille décerbrée, déméduillée.



Dispositif d'enregistrement d'un cardiogramme

##### I-1-1-2. Analyse et interprétation du cardiogramme

Dans un cardiogramme on distingue : l'activité des oreillettes et des ventricules.

✓ L'activité des oreillettes (ABC) est constituée de :

➤ AB : .....

➤ BC : .....

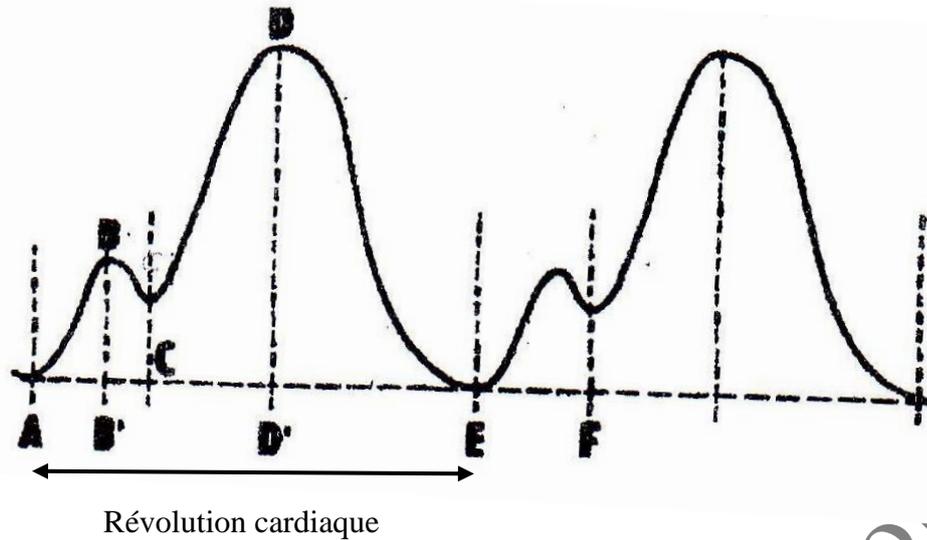
✓ L'activité des ventricules (CDE) est constituée de :

➤ CD : .....

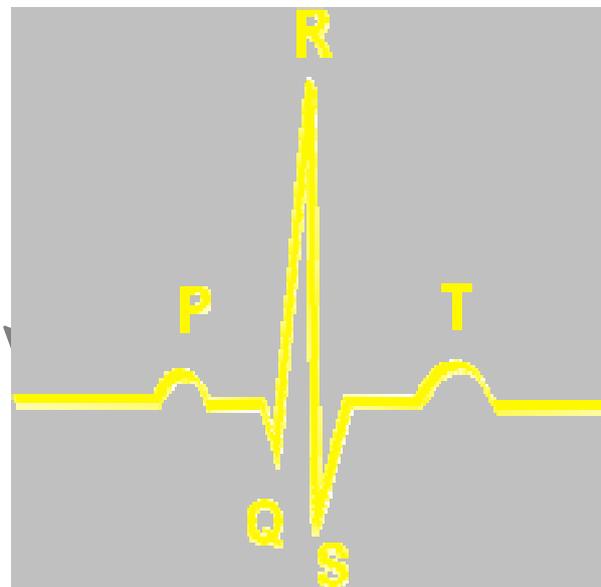
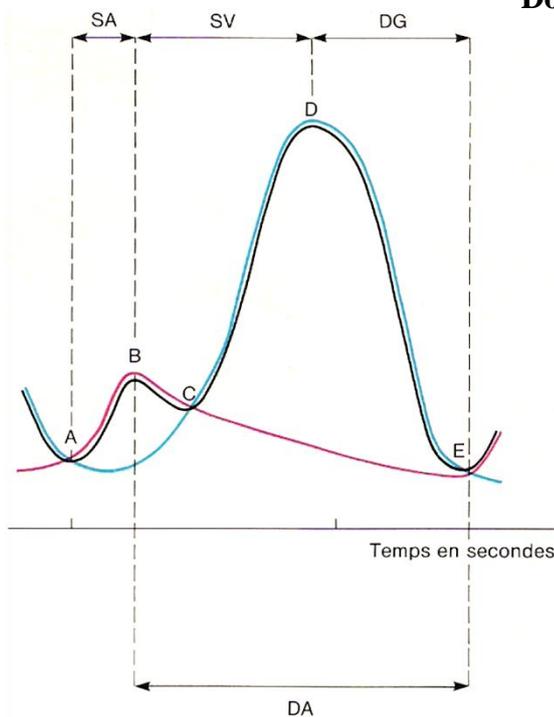
➤ DE : .....

L'ensemble de ces phases se reproduit toujours dans le même ordre et leur succession constitue un cycle ou une **révolution cardiaque**.

**Remarque** : Le temps de contraction du cœur est plus bref que le temps de relâchement. On en déduit que le cœur se repose plus qu'il ne travaille, donc il est **infatigable**.



Document 1 :



Document 2 :

### I-1-2. Aspect électrique

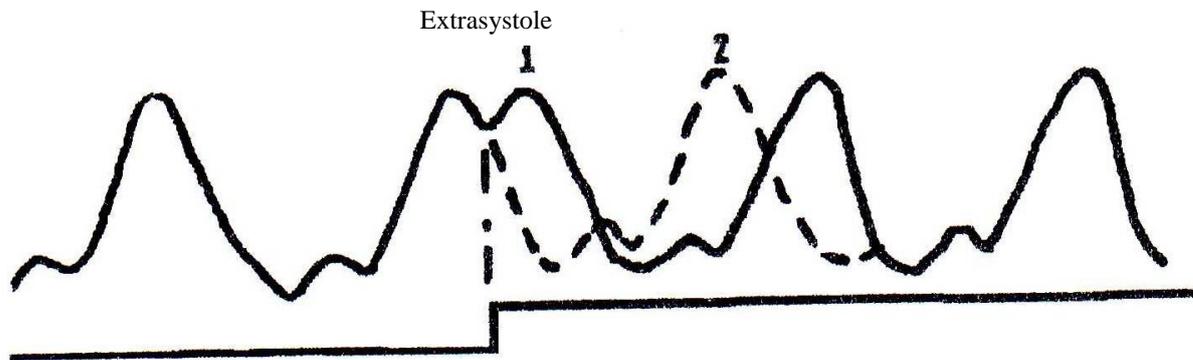
La pose d'électrodes réceptrices d'un **électrocardiographe** sur le cœur n'est pas aisée, mais on peut enregistrer à la surface du corps à des régions conventionnelles appelées **dérivations**, les potentiels d'action obtenus constituent l'**électrocardiogramme**. Nous pouvons obtenir en fonction des dérivations liées au courant provenant du cœur différentes allures de l'électrocardiogramme :

- Dérivation I = Bras gauche et bras droit
- Dérivation II = Bras droit et jambe gauche
- Dérivation III = Bras gauche et jambe droite

La dérivation II (bras droit et jambe gauche) permet d'avoir un électrocardiogramme à 5 phases (ondes) PQRST.

- Onde **P** = .....
- Ondes **QRS** = .....
- Onde **T** = .....
- Le parallélisme entre **électrocardiogramme** et **cardiogramme** montre que :
- l'onde **P** coïncide avec la systole auriculaire.
- les ondes **QRS** coïncident avec la systole ventriculaire.
- L'onde **T** coïncide avec la diastole générale.





Document 5 :

### I-1-3-2. Réponse du cœur à des stimulations d'intensité croissante

En augmentant l'intensité de la stimulation, l'amplitude de la réponse reste constante et maximale : le cœur obéit à la **loi du tout ou rien**.

Interprétation :

Remarque :

### I-1-4. Excitations chimiques

Plusieurs substances chimiques peuvent avoir des effets directs sur le cœur. Ce sont par exemple les **catécholamines** (**adrénaline**, **noradrénaline**...), l'**acétylcholine**...

- l'**adrénaline** et la **noradrénaline** provoquent une augmentation de la fréquence cardiaque :

- l'**acétylcholine** provoque une diminution de la fréquence cardiaque pouvant conduire à un arrêt momentané du cœur :

## II. PRESSION ARTERIELLE

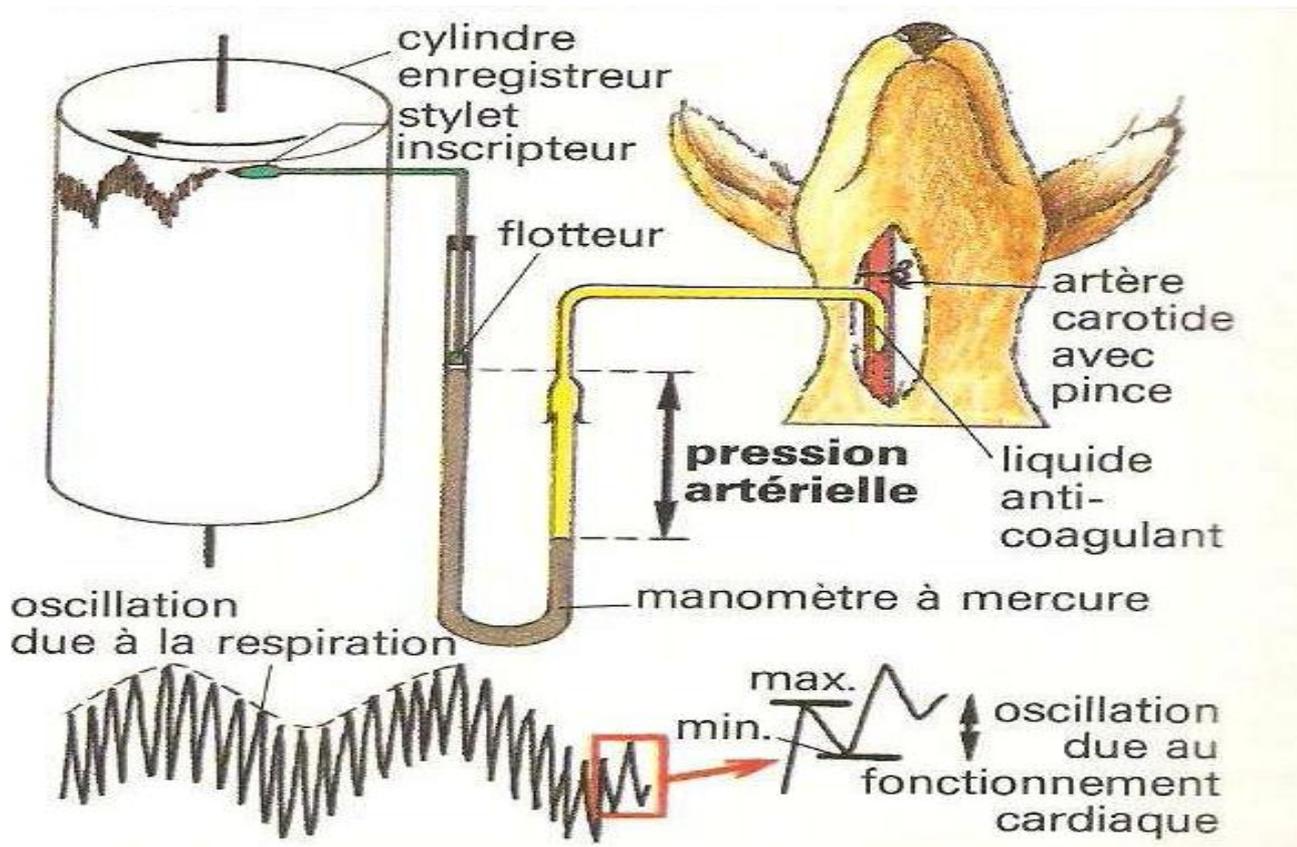
### II-1. Définition

La pression artérielle est la force exercée par le sang sur les parois des artères. Elle correspond donc à la force motrice qui fait circuler le sang.

### II-2. Mesures de la pression artérielle

La pression artérielle peut être mesurée de deux façons : mesure directe et mesure indirectes.

- ✓ **Mesure directe chez le chien** (voir figure)



Mesure directe de la pression artérielle chez le chien

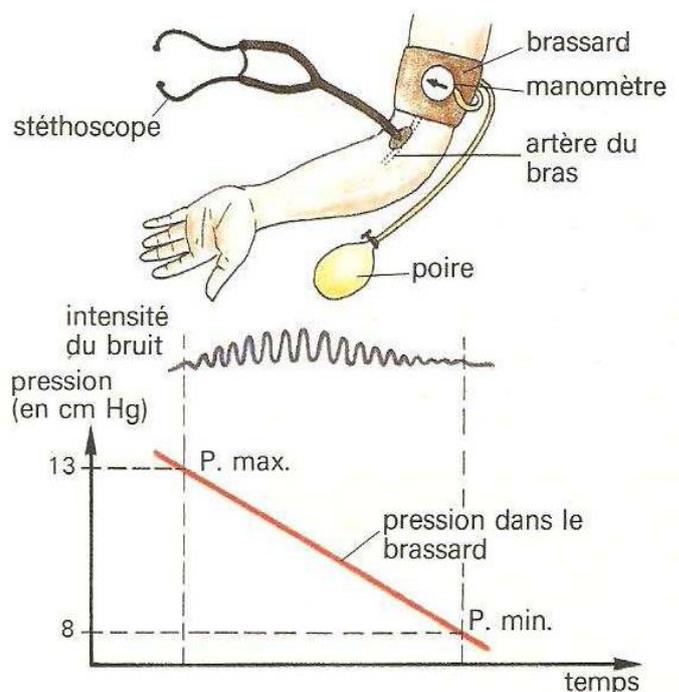
✓ **Mesure indirecte chez l'homme :**

Elle se fait à l'aide d'un **tensiomètre** accompagné d'un **stéthoscope**. Le **tensiomètre** est muni d'un brassard que l'on place autour du bras et qui est relié à une pompe qui le gonfle jusqu'à une pression supérieure à la pression artérielle maximale et on écoute à l'aide du **stéthoscope** les bruits liés à la circulation du sang. La pression artérielle est ensuite recueillie par le **tensiomètre**.

1° On gonfle le brassard à une pression supérieure à la pression artérielle maximale ; la compression de l'artère bloquant le passage du sang, aucun bruit n'est perçu à l'aide du stéthoscope.

2° On décompresse peu à peu l'artère en dégonflant le brassard ; dès que la pression sanguine devient supérieure à la pression exercée par le brassard, le sang passe à nouveau et un bruit sourd et intermittent est entendu au stéthoscope. La pression donnée alors par le manomètre correspond à la **pression maximale** ou **pression systolique**.

3° En continuant de dégonfler le brassard, le sang s'écoule de manière pulsatile ; le bruit perçu est intense et vibrant. Lorsque la pression exercée par le brassard devient inférieure à la pression minimale, l'écoulement du sang est silencieux. La valeur relevée sur le manomètre au moment de la disparition du bruit correspond à la **pression minimale** ou **pression diastolique**.



Mesure indirecte de la pression artérielle

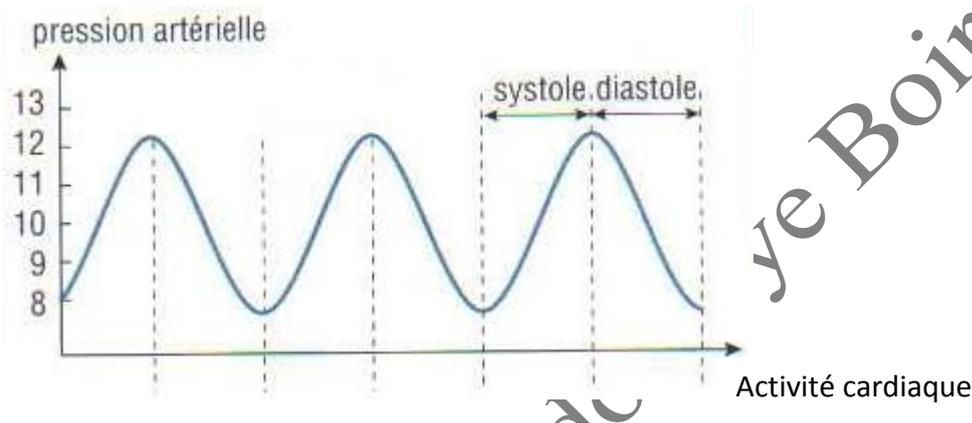
### II-3. Facteurs faisant varier la pression artérielle

Ces facteurs sont : le débit cardiaque, la vasomotricité, la volémie, la viscosité du sang et divers états physiologiques.

#### II-3-1. Le débit cardiaque

Le débit sanguin ou cardiaque,  $Q$  dépend du volume de sang éjecté lors de la systole ventriculaire (volume systolique,  $V_s$ ) et de la fréquence des contractions ( $F_c$ ). Le débit sanguin est l'acteur principal de la pression artérielle systolique.

$$Q = V_s \times F_c$$



Variation de la pression artérielle en fonction de l'activité cardiaque

#### II-3-2. La vasomotricité

C'est la variation de calibre des vaisseaux sanguin qui est due à l'élasticité et à la contractilité des artères. La contractilité s'oppose à la circulation du sang, alors que l'élasticité atténue en même temps la résistance à l'écoulement du sang, le fonctionnement discontinu du cœur et soumet les organes à une pression moyenne. Donc la vasomotricité exerce une action sur la pression artérielle.

#### II-3-3. La volémie

C'est le volume sanguin qui influence directement la pression artérielle. En effet une augmentation du volume sanguin dans les artères lors de la systole ventriculaire l'augmente, alors qu'une réduction la diminue.

#### II-3-4. La viscosité du sang

Elle est modifiée lorsque le taux de globules rouges varie. En effet, elle augmente lorsque le taux de globules rouge augmente. En cas de fièvre la viscosité diminue. Elle influence peu la pression artérielle.

#### II-3-5. Divers états physiologiques

Certains états physiologiques font varier la pression artérielle : l'âge, le sexe, la digestion, le sommeil, les émotions, le séjour en altitude, le sport... Parmi ces causes, l'exercice physique occupe une place importante.

### III. REGULATION DE L'ACTIVITE CARDIAQUE ET DE LA PRESSION ARTERIELLE

#### III-1- Régulation de l'activité cardiaque

Isolé, le cœur bat au rythme du nœud sinusal (environ 120 battements/mn), alors que lorsqu'il est dans l'organisme, il a un rythme plus faible (environ 70 battements/mn). Il existe donc un régulateur du rythme cardiaque.

### III-1-1. Effet du système nerveux dans l'activité cardiaque

#### ✓ Expérience 1 :

Chez un animal, stimulons la région située au plancher du 4<sup>ème</sup> ventricule (située au niveau du bulbe rachidien), on note une diminution de la fréquence cardiaque (**bradycardie**) et de la pression artérielle. Une stimulation très forte entraîne un arrêt cardiaque. Une anesthésie de cette zone par la cocaïne entraîne une accélération du rythme cardiaque (**tachycardie**).

**Interprétation :** .....

.....

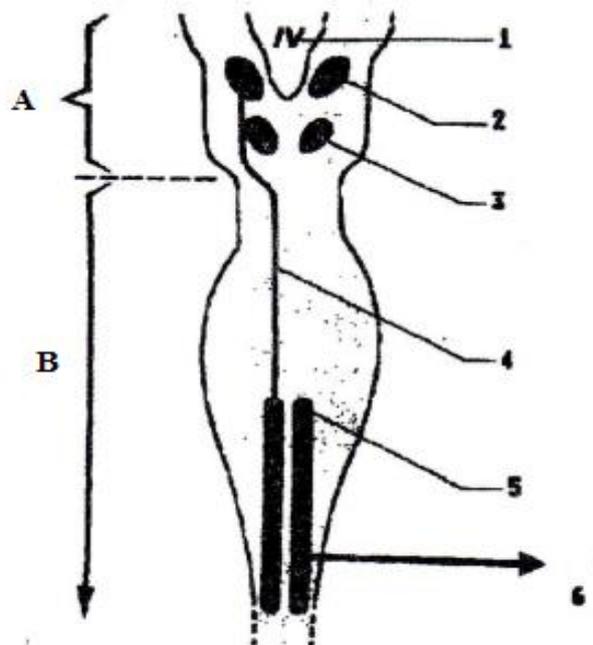
#### ✓ Expérience 2 :

La stimulation des zones latérales du 4<sup>ème</sup> ventricule entraîne une **tachycardie** et une vasoconstriction. La stimulation de certaines zones de la moelle épinière produit les mêmes effets. L'anesthésie de ces zones entraîne une **bradycardie**.

**Interprétation :** .....

.....

.....



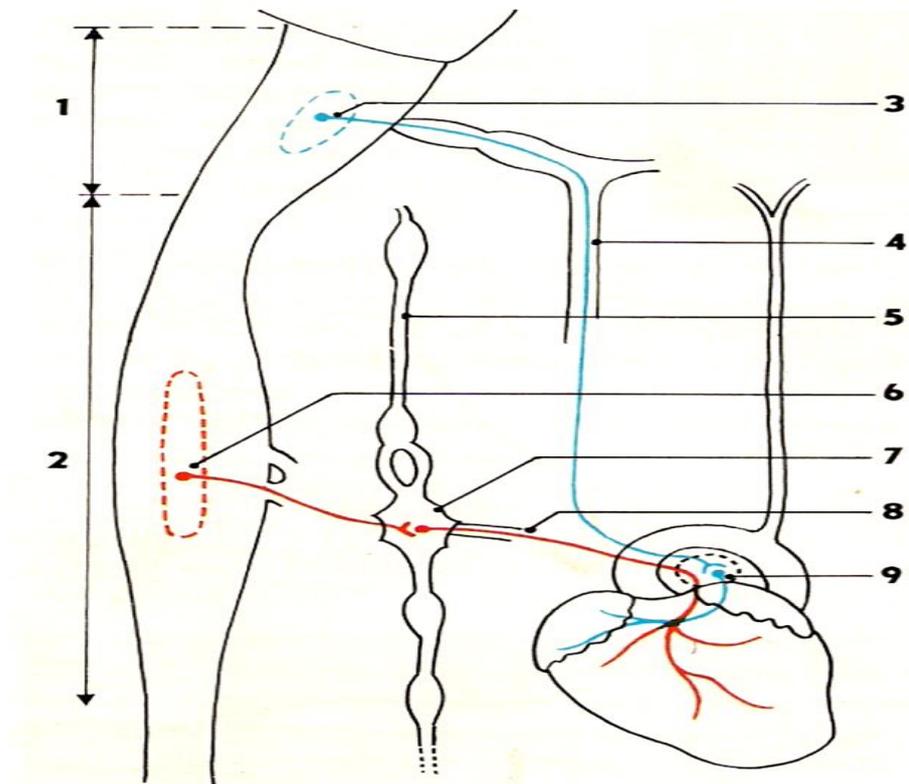
Document 5 :

### III-1-1-1. Innervations cardiaques

Le cœur est innervé par des **nerfs moteurs** et **sensitifs**.

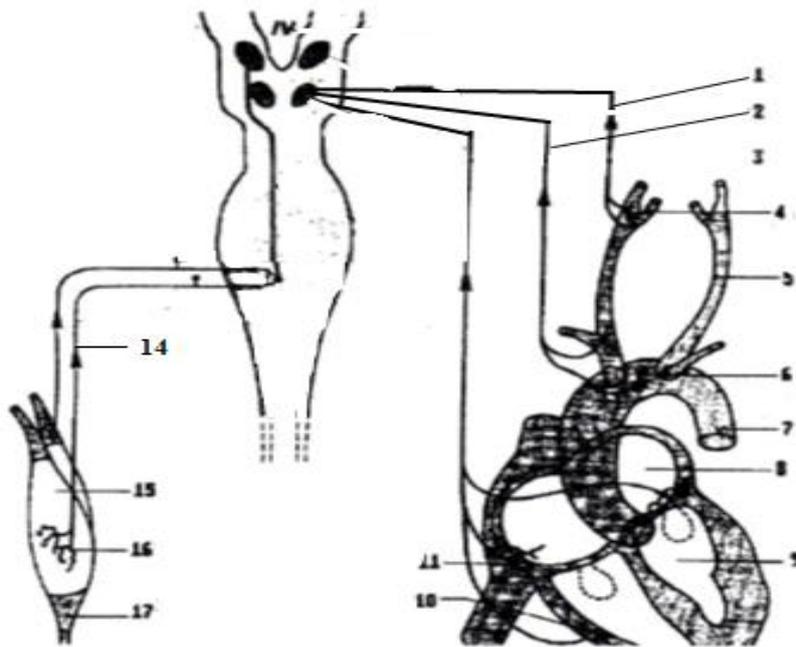
➤ **Les nerfs moteurs :** Ils sont de deux types.

- ✓ Les **fibres parasympathiques** encore appelés **nerfs vagues**, **pneumogastriques** ou **nerfs X**, ont des neurones dont le corps cellulaire se trouve dans le **centre cardio-modérateur (centre parasympathique)** et qui subissent un relais à l'intérieur du cœur (au niveau du plexus cardiaque).
- ✓ Les **nerfs orthosympathiques** ont des neurones dont les corps cellulaires se trouvent dans le **centre cardio-accélérateur médullaire (centre orthosympathique ou sympathique médullaire)** et subissent un relais dans une chaîne de **ganglions nerveux** parallèles à la colonne vertébrale.



#### Document 6 :

- Les **nerfs sensitifs** de l'appareil **cardio-vasculaire** : ils appartiennent à deux catégories :
- ✓ **Les nerfs d'origine cardio-vasculaire** constitués par :
  - les **nerfs de Héring** et de **Cyon** dont les **terminaisons sensitives** se situent respectivement dans les parois du **sinus carotidien** et de la **croisse aortique**.
  - les **fibres sensitives du nerf X** dont les terminaisons sensitives sont dans les oreillettes et les ventricules.
- ✓ **Les fibres diverses** provenant de divers endroits du corps (muscle, vaisseaux sanguins...), qui passent par la moelle épinière et dont les terminaisons sensitives se trouvent dans ces organes.



### III-1-1-2. Action des nerfs parasympathiques

#### ★ Expérier Document 7 :

- La stimulation du **nerf X** provoque une **bradycardie** et l'arrêt du cœur en diastole, si la stimulation se poursuit le cœur reprend ses contractions, c'est **phénomène d'échappement**.
- La section du **nerf X** entraîne une **tachycardie**.

#### ★ Interprétation

.....

.....

.....

.....

### III-1-1-3. Action des nerfs orthosympathiques

#### ★ Expériences

- La stimulation des **nerfs orthosympathiques** entraîne une **tachycardie**.
- Leur section entraîne une **bradycardie**.

#### ★ Interprétation

.....

.....

.....

### III-1-1-4. Action des nerfs cardio-vasculaires

#### ★ Expérience

- Sectionnons les **nerfs sino-aortiques** (Héring et Cyon) ou les **fibres sensibles du nerf X**, il se produit une **tachycardie**.
- Après section des **nerfs sino-aortiques**, excitons les bouts centraux, il se produit une **bradycardie**. L'excitation des bouts périphériques ne donne aucune réponse.
- Après section des **fibres motrices du nerf X**, excitons les **nerfs sino-aortiques**, il ne se produit rien.

#### ★ Interprétation

.....

.....

.....

.....

### III-1-2. Action des médiateurs chimiques

Sur un cœur de grenouille perfusé avec du liquide de Ringer, étudions l'effet de l'**acétylcholine** et la **noradrénaline**.

#### III-1-2-1. Action de l'acétylcholine

En ajoutant au liquide de Ringer de l'**acétylcholine** on observe une **bradycardie**, puis un arrêt du cœur en diastole, suivi d'un échappement.

#### III-1-2-2. Action de la noradrénaline

En reprenant la même expérience et en remplaçant l'**acétylcholine** par la **noradrénaline**, on observe une **tachycardie**.

#### III-1-2-3. Mécanismes moléculaires de la contraction cardiaque

Au niveau du cœur, les médiateurs chimiques sont libérés dans la fente synaptique entre le **nœud sinusal** et le **neurone** qui l'innerve. Ces neuromédiateurs se fixent sur les récepteurs spécifiques de la membrane des cellules nodales. En fonction du neuromédiateur nous avons :

- Une entrée de  $\text{Ca}^{2+}$  si le neuromédiateur est la **noradrénaline**, entraînant une dépolarisation (excitation du nœud sinusal) qui provoque une **tachycardie**.
- Une sortie de  $\text{K}^+$  si le neuromédiateur est l'**acétylcholine**, entraînant une hyperpolarisation (inhibition du nœud sinusal) qui provoque une **bradycardie**.

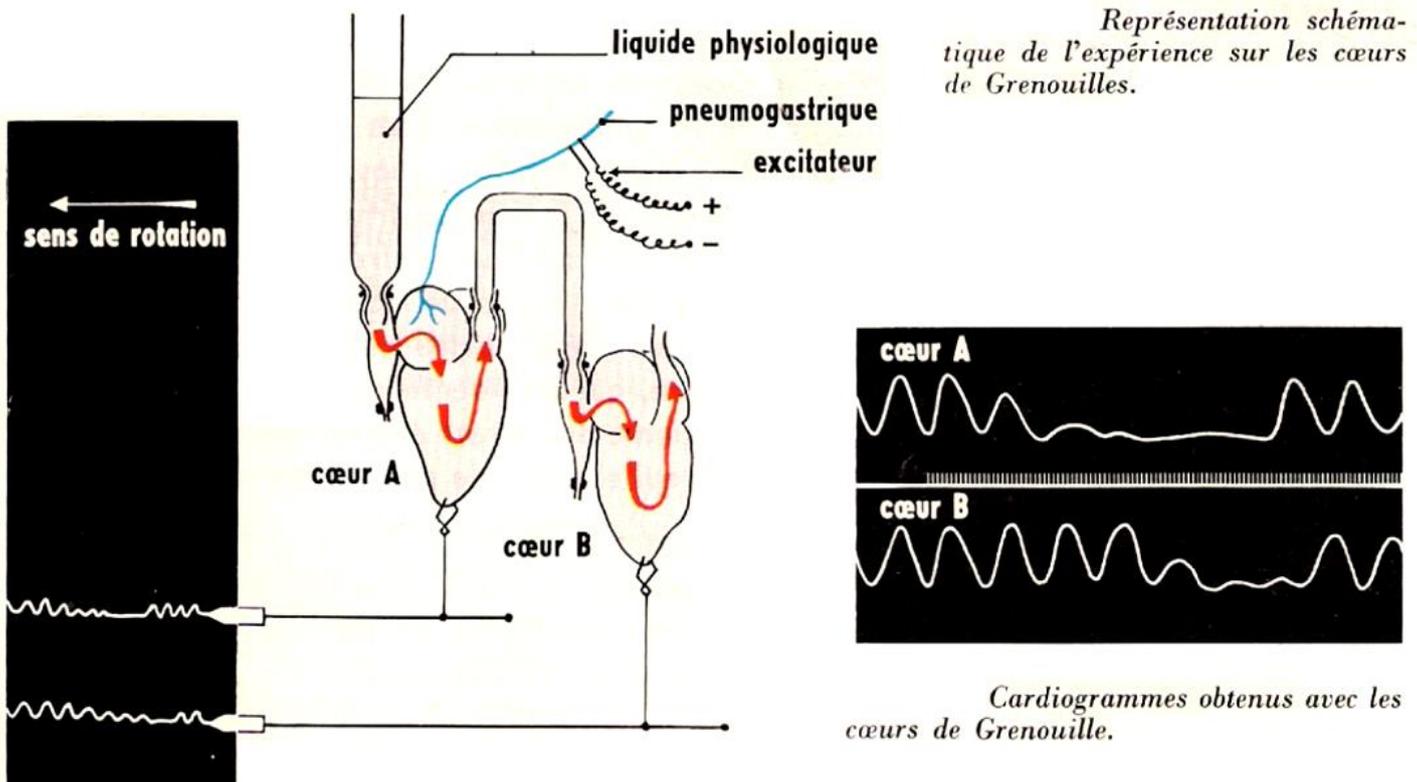
### III-1-3. Notion de médiateur chimique : transmission neuromyocardique

#### ★ Technique

**Loewi** relie deux cœurs de grenouille A et B. Il perfuse ces cœurs avec du liquide de Ringer. Le cœur A par lequel passe le liquide, reste avec son nerf X. On suit le rythme cardiaque de ces deux cœurs grâce à un cardiographe.

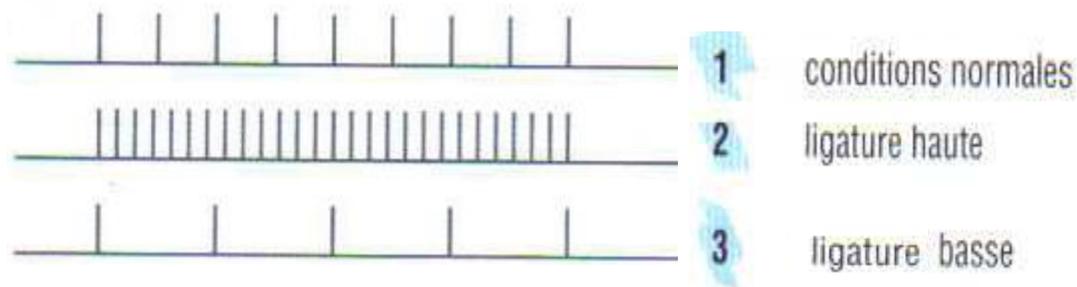
#### ★ Expérience

- En excitant le **nerf X** du cœur A, on observe une **bradycardie** suivie d'un **arrêt** en diastole et d'un échappement.
- Quelques instants après, on observe sur le cœur B une **bradycardie** suivie d'un **arrêt** en diastole et d'un échappement.



Expérience de Loewi





### Fréquence des potentiels d'action sur une fibre du nerf de Héring lors des ligatures des carotides

#### ✓ Interprétation

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

#### ★ Expérience 2

Lors du début d'un exercice physique, la contraction des muscles chasse le sang dans l'oreillette droite qui devient gorgée de sang. Il se produit ensuite une **tachycardie**.

#### ✓ Interprétation

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

#### ★ Notion de chémorécepteur

Lors de l'activité physique le sang a une concentration en élevée  $\text{CO}_2$ , en **métabolites acides** (acide lactique) et faible en  $\text{O}_2$ . Les métabolites acides et la forte concentration en  $\text{CO}_2$  rend le sang plus acide par une production de  $\text{H}^+$  grâce à la réaction suivante :

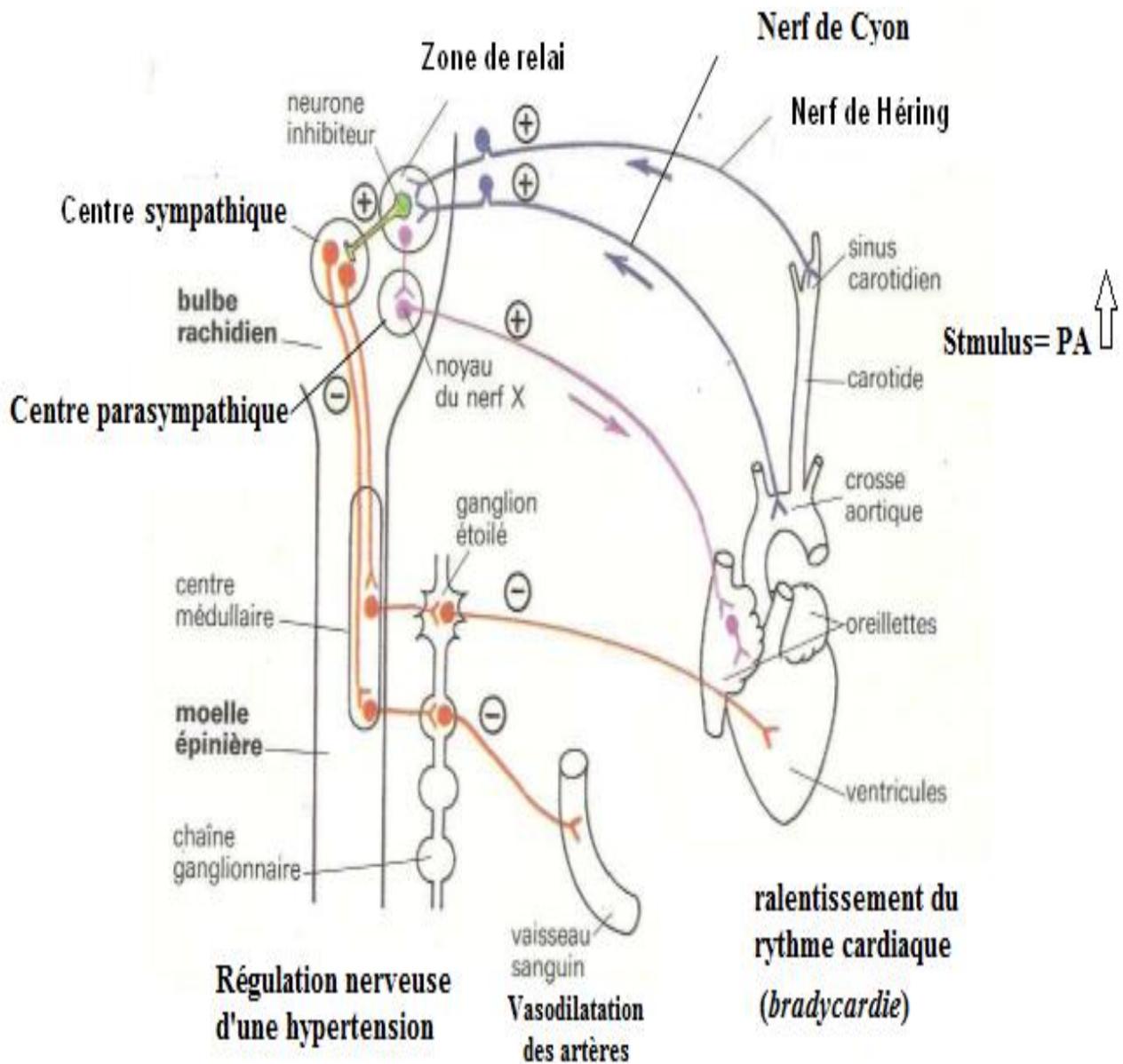


La faible teneur en  $\text{O}_2$  et l'acidité élevée du sang, excitent les **chémorécepteurs** ou **cnimiorécepteurs** de la crosse aortique et du sinus carotidien (sensibles à la variation de la composition chimique) ce qui entraîne une **tachycardie**.

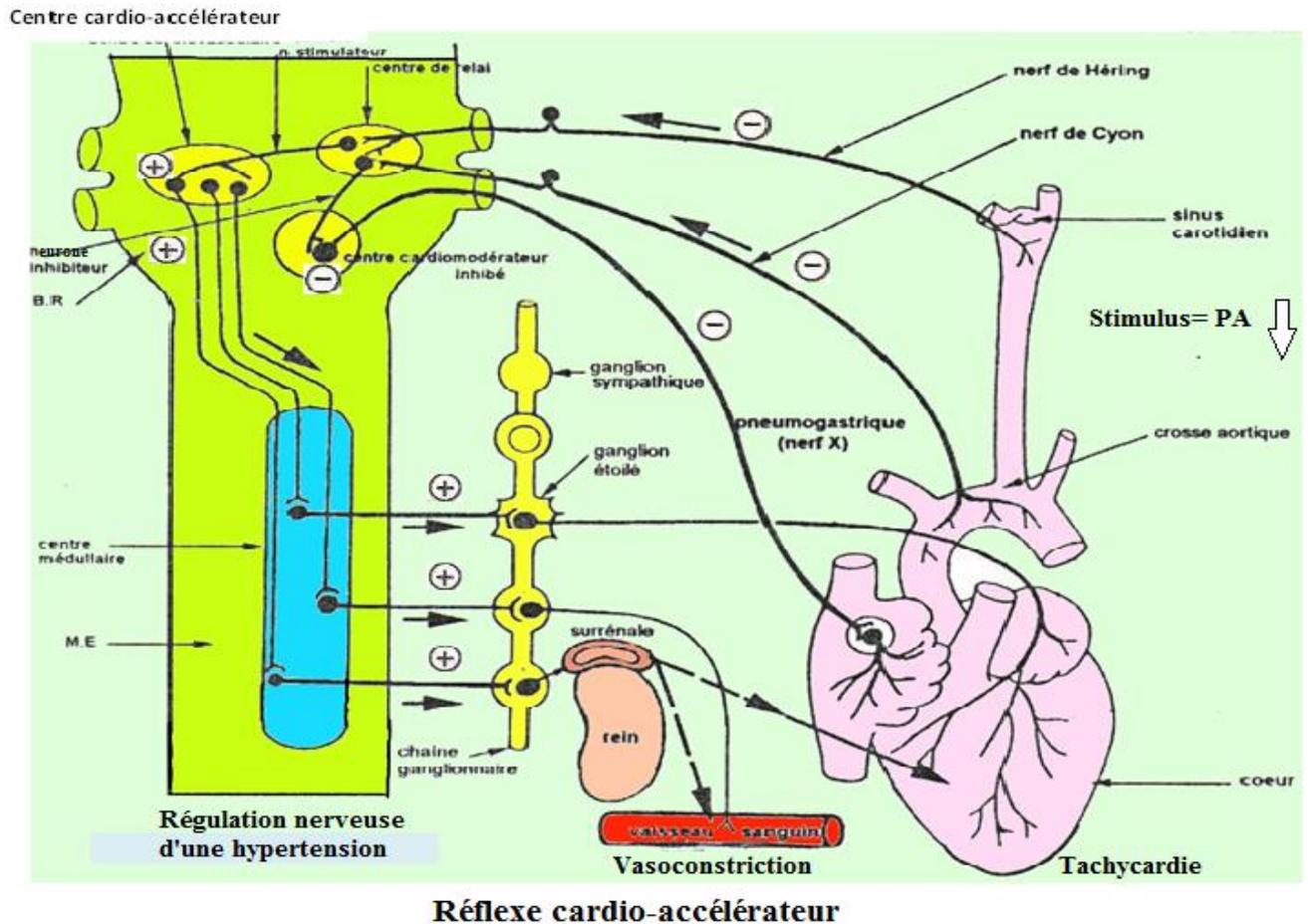
Après l'exercice physique l'excès d' $\text{O}_2$  et la diminution du  $\text{CO}_2$  provoque une **bradycardie**.

#### b- Réflexes extéroceptifs





### Réflexe cardio-modérateur

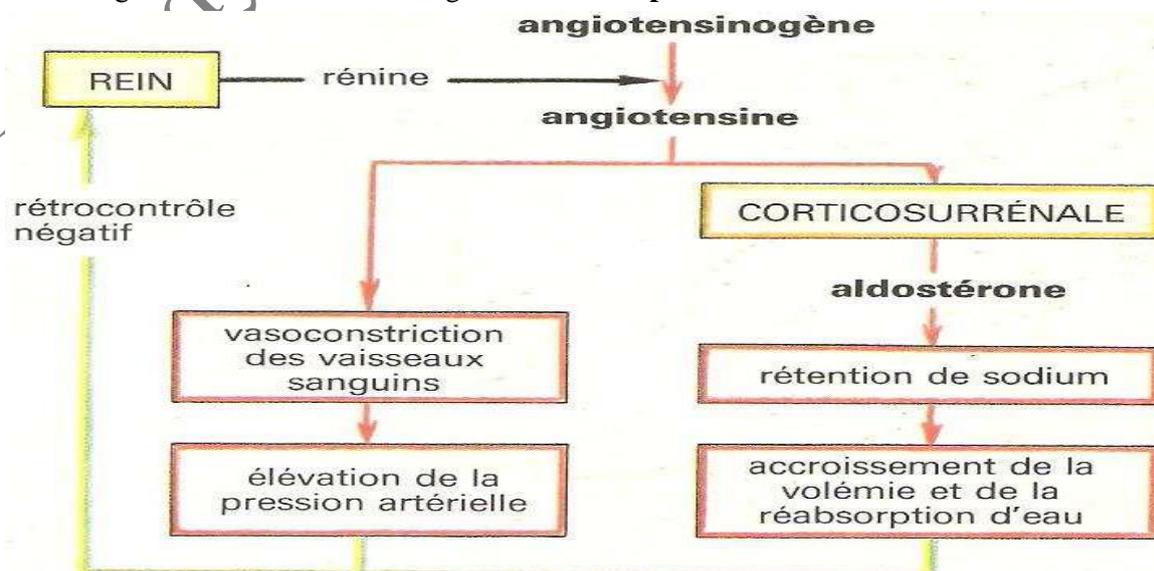


### III-2-2. Régulation hormonale de la pression artérielle

La régulation hormonale de la pression artérielle est assurée par l'**angiotensine** et les **catécholamines**.

#### ➤ L'angiotensine

Les cellules du foie sont capables de produire une hormone inactive, l'**angiotensinogène**. En présence d'une enzyme produite par le rein, la **rénine**, l'**angiotensinogène** est activée et devient l'**angiotensine**. Ce dernier provoque une **vasoconstriction** pour élever la pression artérielle. Elle provoque aussi une synthèse d'**aldostérone** par la **médullo-surrénale** qui entraîne une rétention des **Na<sup>+</sup>** dans les **tubes urinaire** des reins, ce qui provoque une réabsorption d'eau osmose. Ainsi la volémie augmente et il s'en suit une augmentation de la **pression artérielle**.





## Leçon 9 : QUELQUES MALADIES CARDIO-VASCULAIRES

Les maladies cardio-vasculaires sont responsables de la moitié des décès dans les pays développés, ce sont : **artériosclérose** et **l'hypertension**.

### I. L'ARTERIOSCLEROSE

Encore appelée **athérosclérose**, l'**artériosclérose** est due à un dépôt de lipides (**cholestérol**) et la prolifération de tissus fibreux formant des **plaques d'athéromes** dans la paroi interne des artères. L'épaississement et le durcissement qui s'en suit, provoquent l'altération de ces parois, c'est l'**athérosclérose**.

#### I-1. Evolution de la maladie

L'**athérosclérose** en se développant dans les artères de gros et moyen calibres (artères aortiques, artères céphaliques et artères coronaires irrigant le cœur), peut produire diverses complications : l'**infarctus du myocarde**, l'**angine de poitrine**, l'**anévrisme**...

##### I-1-1. Infarctus du myocarde

Il s'agit le plus souvent d'une **athérosclérose coronaire** provoquant un ralentissement de la circulation artérielle locale. Ce qui favorise la formation de **caillots de sang** qui bloquent complètement l'artère. Il se produit un déficit d'apport en **O<sub>2</sub>** et en nutriments entraînant la mort de certaines cellules, c'est l'**infarctus** proprement dit. Une forte émotion ou après un repas copieux, peut entraîner une crise cardiaque mortelle dans **60%** des cas.

**NB** : Un **infarctus cérébral** entraîne une perte des fonctions sensitive ou motrice selon le territoire détruit.

##### I-1-2. Angine de poitrine

Elle se manifeste par des douleurs au niveau de la poitrine provoquées par une insuffisance des apports en **O<sub>2</sub>** au myocarde. Elle est due dans **90%** des cas à une obturation d'une des artères coronaires.



##### I-1-3. Anévrisme

C'est une dilatation anormale de la paroi d'une artère créant une cavité ou une hernie remplie de sang. Ce qui peut entraîner une destruction de la paroi suivie d'une hémorragie interne.

## I-2. Causes

Les causes exactes ne sont pas connues, on ne parle que de **facteurs de risque** qui sont : l'hypertension artérielle, le taux élevé de cholestérol dans le sang, la consommation de tabac, le diabète, la sédentarité excessive, l'hérédité, l'âge (l'**artériosclérose** est absente jusqu'à **20** ans), le sexe (les hommes ont 10 à 15 ans d'avance sur les femmes pour l'apparition de l'**artériosclérose**).

## II- L'HYPERTENSION ARTERIELLE

Elle est la cause de plusieurs **accidents vasculaires cérébraux (AVC)** souvent mortels.

### II-1. Définition

L'**hypertension** artérielle est la pression artérielle élevée au-dessus des valeurs normales. Une personne de moins de **40 ans** a une **hypertension** si sa **pression artérielle maximale** est supérieure ou égale à **16** et la **pression minimale** supérieure ou égale à **10**. L'**hypertension** est dite **primaire** ou **essentielle** si aucune cause spécifique ne la provoque, **secondaire** si elle est la conséquence d'une autre maladie.

### II-2. Causes

Des **facteurs génétiques** et **environnementaux** sont à l'origine de l'**hypertension primaire** qui représente **90%** des cas d'hypertension avec une plus grande fréquence chez les personnes présentant une surcharge pondérale, consommant beaucoup de sel, peu d'aliments riches en potassium ou beaucoup d'alcool et chez les personnes sédentaires ou soumises à un stress psychologique.

L'**hypertension secondaire** représente **10%** des cas d'hypertension. Elle peut être causée par une **maladie rénale**, la prise de **pilules contraceptives** ou des **troubles hormonaux**.

**NB** : L'hypertension augmente naturellement avec l'âge.

La tension artérielle évolue avec l'âge :

Ages	Tension maximale	Tension minimale
<b>15-45 ans</b>	12	8
<b>46-60 ans</b>	14	9
<b>Plus de 60 ans</b>	10 + âge (ans)/10	10

**NB** : Un sujet dont la tension maximale est de **14** lorsqu'il est en activité peut avoir une tension de **7** à **8** pendant son sommeil.

### II-3. Traitement

Quand on ne connaît pas la cause de l'hypertension, on utilise des médicaments qui font baisser directement la tension. Ce traitement est accompagné d'un régime alimentaire pauvre en sel, en calories, en alcool et en graisses saturées, mais riche en potassium.

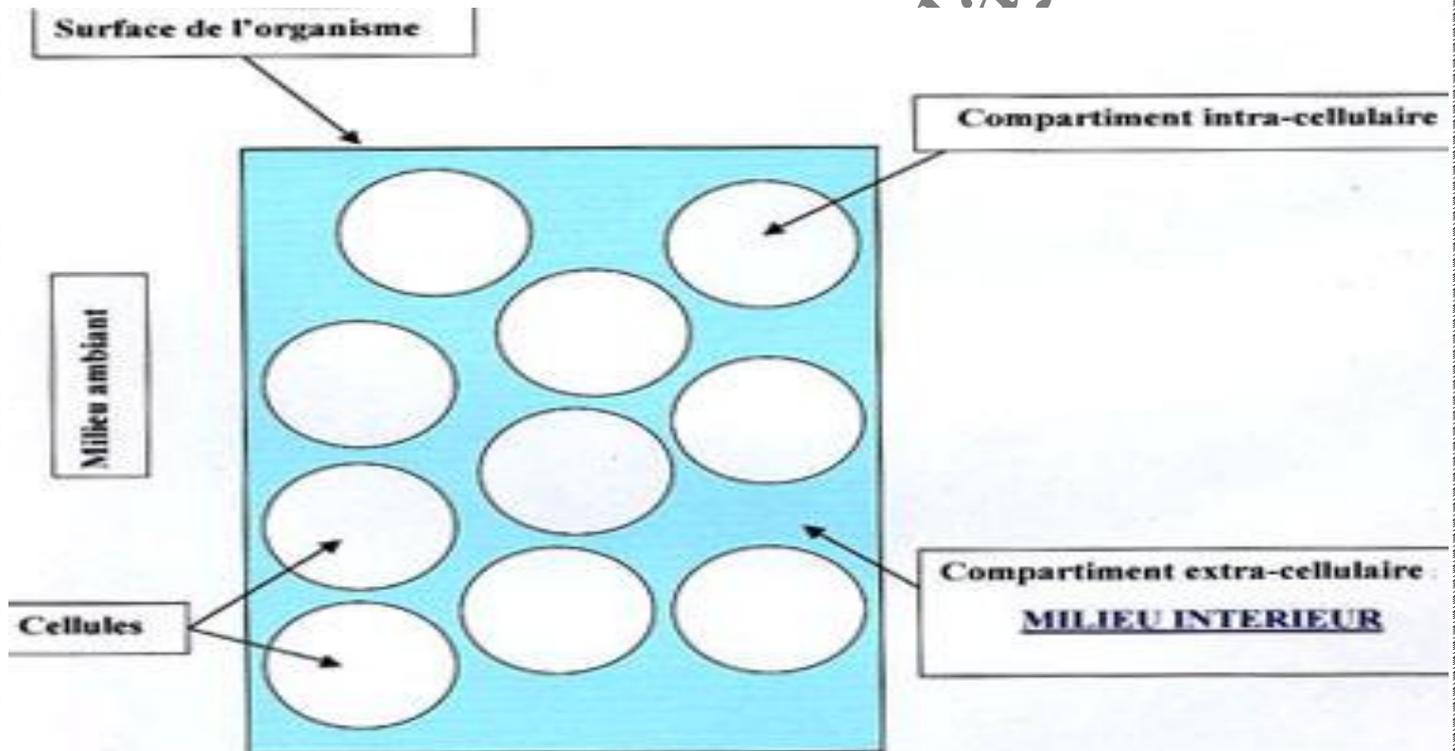
## 3<sup>ème</sup> PARTIE : INTEGRITE DE L'ORGANISME

### THEME 6 : LE MILIEU INTERIEUR

#### LEÇONS 10 : COMPOSITION ET REGULATION DU MILIEU INTERIEUR

##### I. LE MILIEU INTERIEUR

Le milieu intérieur est le liquide dans lequel baignent toutes nos cellules. Dans ce milieu les cellules trouvent les éléments nutritionnels et les conditions physico-chimiques stables appropriées pour leur survie et leur développement.



#### SITUATION DU MILIEU INTERIEUR DANS L'ORGANISME

##### II. COMPOSITION DU MILIEU INTERIEUR

Il est constitué par le sang et la lymphe.

###### ➤ Le sang

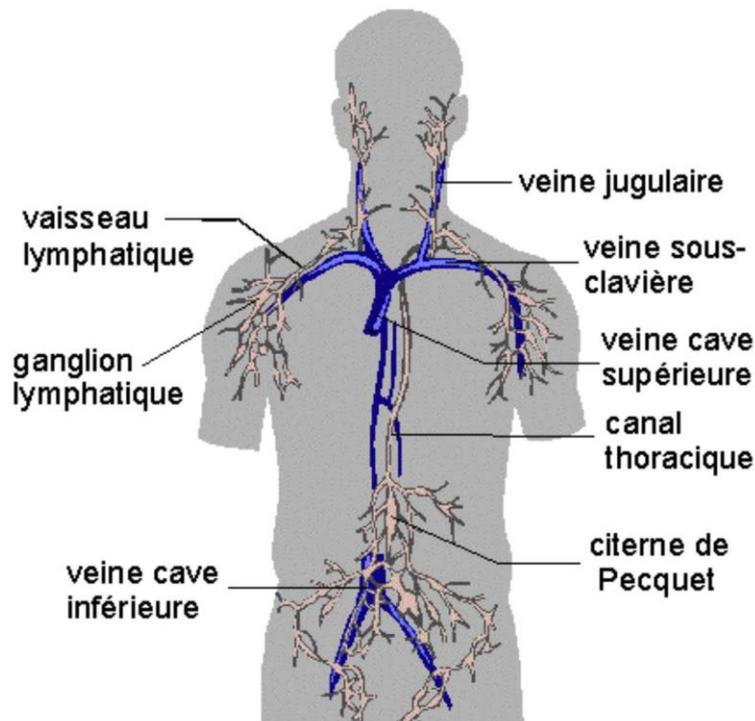
Le sang renferme des éléments figurés et le plasma :

- Eléments figurés : Ce sont les hématies ou globules rouges et les leucocytes ou globules blancs.
- Plasma : Il est constitué de sérum, de substances minérale et organique.

➤ La lymphe

Elle est constituée par la lymphe circulante et la lymphe interstitielle.

- La lymphe circulante se trouve dans un système vasculaire entièrement clos différent du système vasculaire sanguin.
- La lymphe interstitielle se trouve dans les cavités intercellulaires.

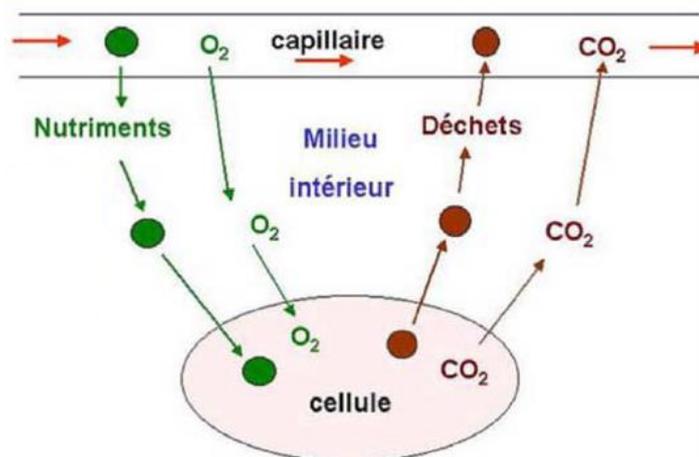


**Circulation lymphatique avec ses vaisseaux lymphatiques, canaux thoracique et citerne de Pecquet**

### III. ROLES DU MILIEU INTERIEUR

Il est un lieu d'échange, de transfert d'informations et de défense de l'organisme.

- Echanges : Des échanges entre les cellules et le sang se produisent dans la lymphe. Les éléments échangés sont : les nutriments, les substances minérales, les gaz respiratoires et les déchets issus de l'utilisation des protéines par les cellules (urée, acide urique).



- Transfert d'information : transport des hormones de leur lieu de synthèse vers les organes cibles.
- Défense : dans la lymphe circulent et agissent les lymphocytes responsables de la défense de l'organisme.

#### IV. LA CONSTANCE DU MILIEU INTERIEUR : L'HOMÉOSTASIE

##### IV-1. Notion d'homéostasie

L'homéostasie provient des mots grecs « stasis » (état) et « homoios » (semblable). On appelle homéostasie la composition physico-chimique relativement stable du milieu intérieur de l'organisme sous l'action des systèmes régulateurs.

##### IV-2. La régulation du pH

###### IV-2-1. Les causes de la variation du pH

Le pH du milieu intérieur est proche du neutre, il est égal à 7,4. Il peut tendre vers :

- **L'acidose :**
  - Dans le sang le  $\text{CO}_2$  est sous une forme liée à l'hémoglobine (carbohémoglobine) ou dissout dans l'eau et donner du  $\text{H}^+$  suivant cette réaction :



Ainsi lorsque la concentration en  $\text{CO}_2$  augmente, la production de  $\text{H}^+$  augmente et rend le milieu intérieur acide, c'est l'acidose.

- Une élimination rénale des déchets acides défectueuse augmente leur concentration sanguine, ce qui provoque une acidose.
- L'alcalose est provoquée par les troubles respiratoires et neuromusculaires.

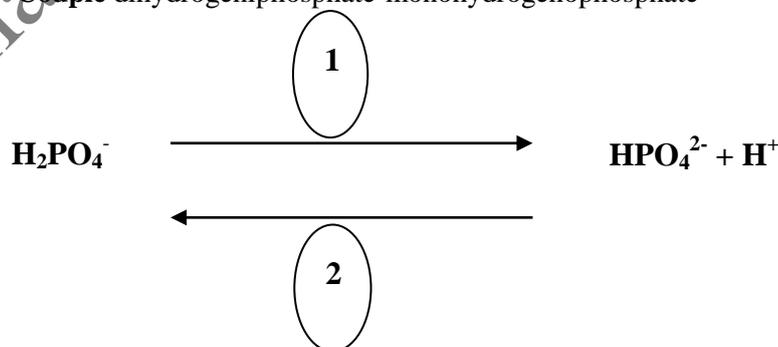
###### IV-2-2. Les mécanismes régulateurs du pH

Le pH est régulé par les systèmes tampons et les systèmes d'élimination.

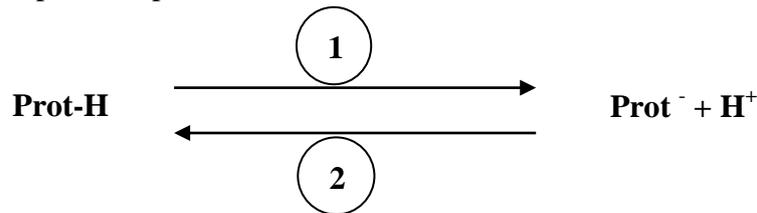
###### IV-2-2-1. Régulation par les systèmes tampon

Il est constitué par les couples acido-basiques :

- **Couple acide carbonique-hydrogénocarbonate**
- **Couple dihydrogénophosphate-monohydrogénophosphate**



- **Couple protéine-protéinate**



Les réactions peuvent se dérouler dans le sens 1 ou 2 en fonction du pH :

- ✓ Une acidose entraîne une réaction dans le sens 2 qui tend à réduire la concentration en  $\text{H}^+$  et élever le pH à 7,4.
- ✓ Une alcalose entraîne des liaisons entre l' $\text{OH}^-$  de la base et les  $\text{H}^+$ . La disparition des  $\text{H}^+$  déplace la réaction dans le sens 1 qui tend à augmenter la concentration de  $\text{H}^+$  et baisser le pH jusqu'à 7,4.

#### IV-2-2-2. Régulation par les systèmes d'élimination

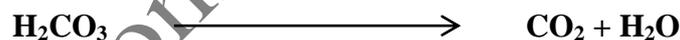
Elle se fait au niveau des poumons et des reins.

➤ Au niveau des reins

- L'acidose provoque une forte élimination de  $\text{H}^+$  dans les urines qui deviennent acides et une forte réabsorption de  $\text{Na}^+$  et de  $\text{HCO}_3^-$ , ce qui élève le pH à 7,4.
- L'alcalose provoque une faible élimination de  $\text{H}^+$  dans les urines et une faible réabsorption de  $\text{HCO}_3^-$ , ce qui baisse le pH à 7,4.

➤ Au niveau des poumons

- Lors de l'acidose, la concentration élevée de  $\text{H}^+$  excite les centres respiratoires et provoque une hyperventilation (augmentation de la fréquence respiratoire). Le  $\text{CO}_2$  dissout sera libéré et dégagé par les poumons pour élever le pH.



- Lors de l'alcalose la faible concentration de  $\text{H}^+$  ne stimule pas les centres respiratoires ce qui provoque une hypoventilation et une faible perte de  $\text{CO}_2$  qui élève la concentration de  $\text{H}^+$  et par conséquent le pH.

#### IV-3. Régulation de la pression osmotique

##### IV-3-1. Origine de la pression osmotique du milieu intérieur

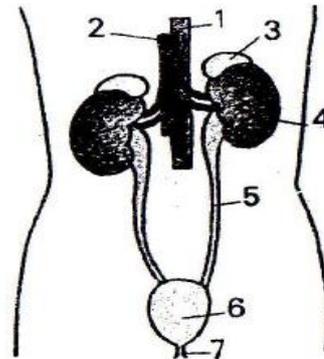
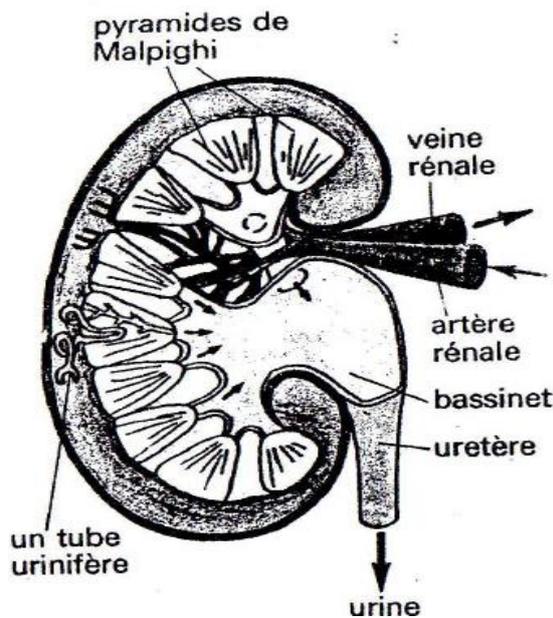
La pression osmotique du milieu intérieur est liée à la quantité d'eau et à la concentration des substances qui y sont dissoutes. Elle est égale à 300 m.osmol/l (milliosmole par litre).

## IV-3-2. Diurèse et la constance de la pression osmotique

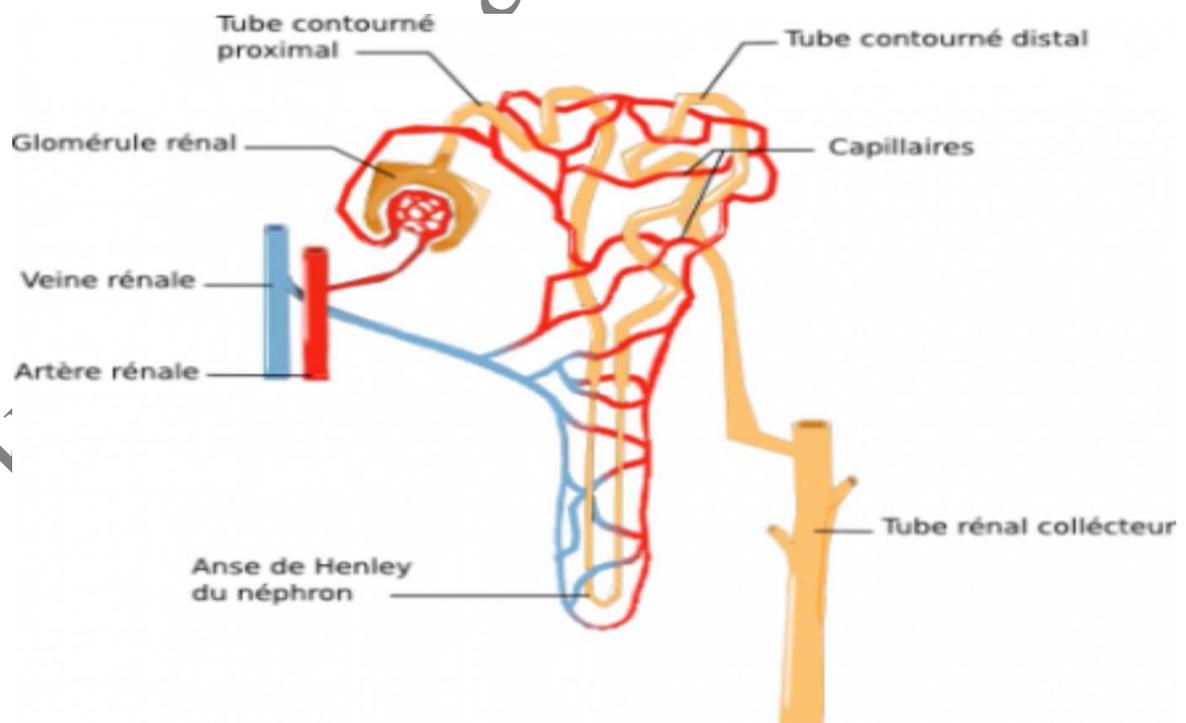
### IV-3-2-1. La diurèse

La diurèse est le processus d'élimination d'urine par le rein.

#### ➤ Structure du rein



1. artère aorte
2. veine cave inf.
3. capsule surrénale
4. rein
5. uretère
6. vessie
7. urètre



**Tube urinifère et sa vascularisation**

➤ Composition du plasma et des urines

Principaux constituants		Concentration dans le plasma en g.l <sup>-1</sup>	Concentration dans l'urine primitive en g.l <sup>-1</sup>	Concentration dans l'urine définitive en g.l <sup>-1</sup>	
Substances minérales	Na <sup>+</sup>	3,2	3,2	3 à 6	
	K <sup>+</sup>	0,2	0,2	2 à 3	
	Ca <sup>2+</sup>	0,1	0,1	0,1 à 0,3	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,02	0,02	2	
	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> et H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,04	0,04	2	
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,6	1,6	0 à 0,2	
	Cl <sup>-</sup>	3,6	3,6	6 à 8	
Substances organiques	protéines	60 à 80	0	0	
	acides aminés	0,05 à 0,1	0,05 à 0,1	≈ 0	
	lipides	4 à 8	0	0	
	glucose	1	1	0	
	déchets	urée	0,3	0,3	20
		créatinine	0,01 à 0,03	0,01 à 0,03	0,8 à 2
		acide urique	0,03 à 0,06	0,03 à 0,06	0,6
acide hippurique		0	0	0,5	

➤ Rôles du rein

L'homme a environ 1 200 000 tubes urinifères ou néphrons, qui sont les unités fonctionnelles du rein et qui lui confèrent plusieurs rôles

- Rôle de filtration

La filtration se fait au niveau du glomérule grâce à une pression sanguine élevée. A ce niveau le plasma et l'urine primitive ont la même composition sauf pour les grosses molécules (protéines et lipides).

- Rôle de réabsorption

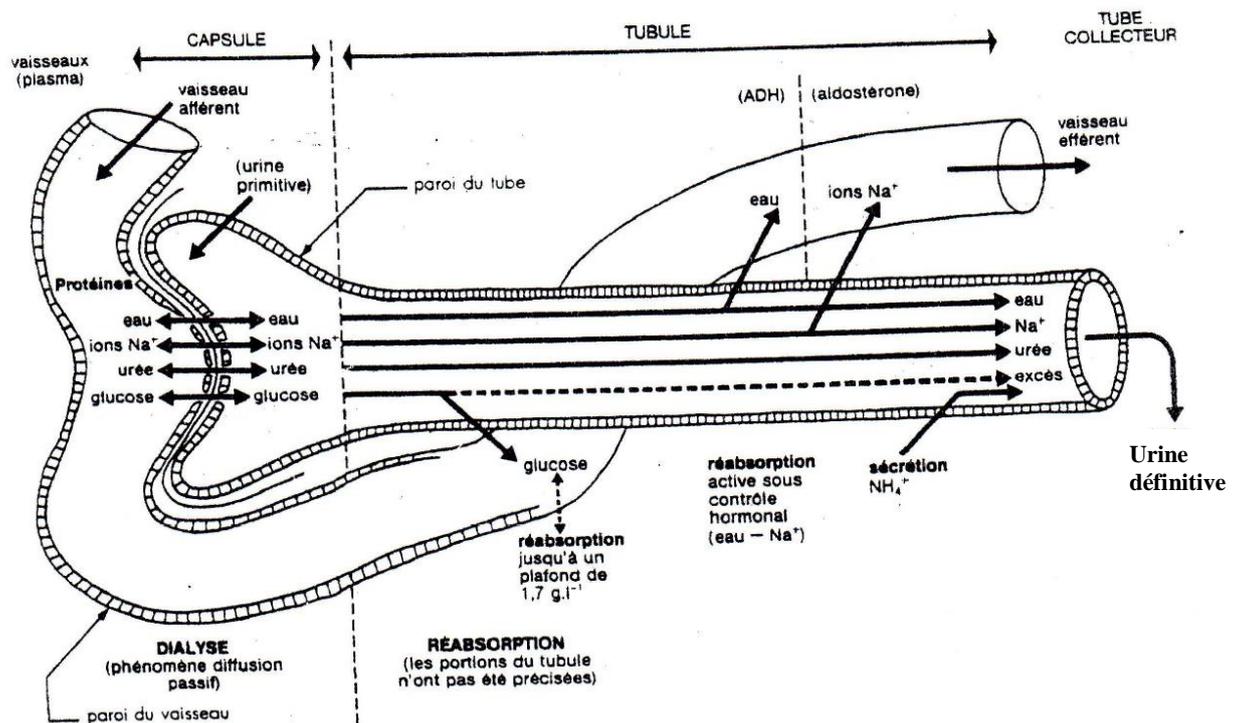
La différence de concentration entre l'urine primitive et l'urine définitive montre qu'il y a eu une réabsorption vers le sang le long du tube rénal par un transport actif :

- 100% du glucose et du HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> sont réabsorbés ;
- 98 à 99% de l'eau, du Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+</sup> et des acides aminés sont réabsorbés ;

Cependant, le glucose et le NaCl ont une réabsorption qui ne dépasse pas un seuil qui est respectivement de 1,8 et 5,6 g/l. C'est-à-dire lorsque la glycémie dépasse 1,8 g/l, les 1,8 sont réabsorbés, alors que le surplus se retrouve dans les urines. Il en est de même pour le NaCl, mais puis que sa concentration sanguine est toujours supérieure à 5,6 g/l donc il sera toujours dans les urines.

- Rôle de sécrétion tubulaire

Les cellules du tube proximal sécrètent de l'acide hippurique, de l'ammoniaque, d'acide urique, de l'urée, de la créatine.



## Rôles du rein

### IV-3-2-2. La constance de la pression osmotique

La pression osmotique du milieu intérieur est maintenue constante grâce à la variation de la diurèse :

- Une augmentation de la pression osmotique suite à une perte d'eau, une hémorragie ou un excès de sels minéraux entraîne une plasmolyse des cellules. Donc il faut une diminution de la diurèse suite à une faible réabsorption de sels minéraux, mais maximale d'eau, pour baisser la pression osmotique.
- Une diminution de la pression osmotique du milieu intérieur suite à une entrée excessive d'eau dans l'organisme ou une diminution de la concentration de sels minéraux, entraîne une turgescence des cellules. Donc il faut une augmentation de diurèse suite à une faible réabsorption d'eau, mais totale de sels minéraux, pour élever la pression osmotique.

### IV-4. Les mécanismes hormonaux régulateurs de la pression osmotique

Les hormones intervenant dans la régulation de la pression osmotique sont l'ADH et l'aldostérone.

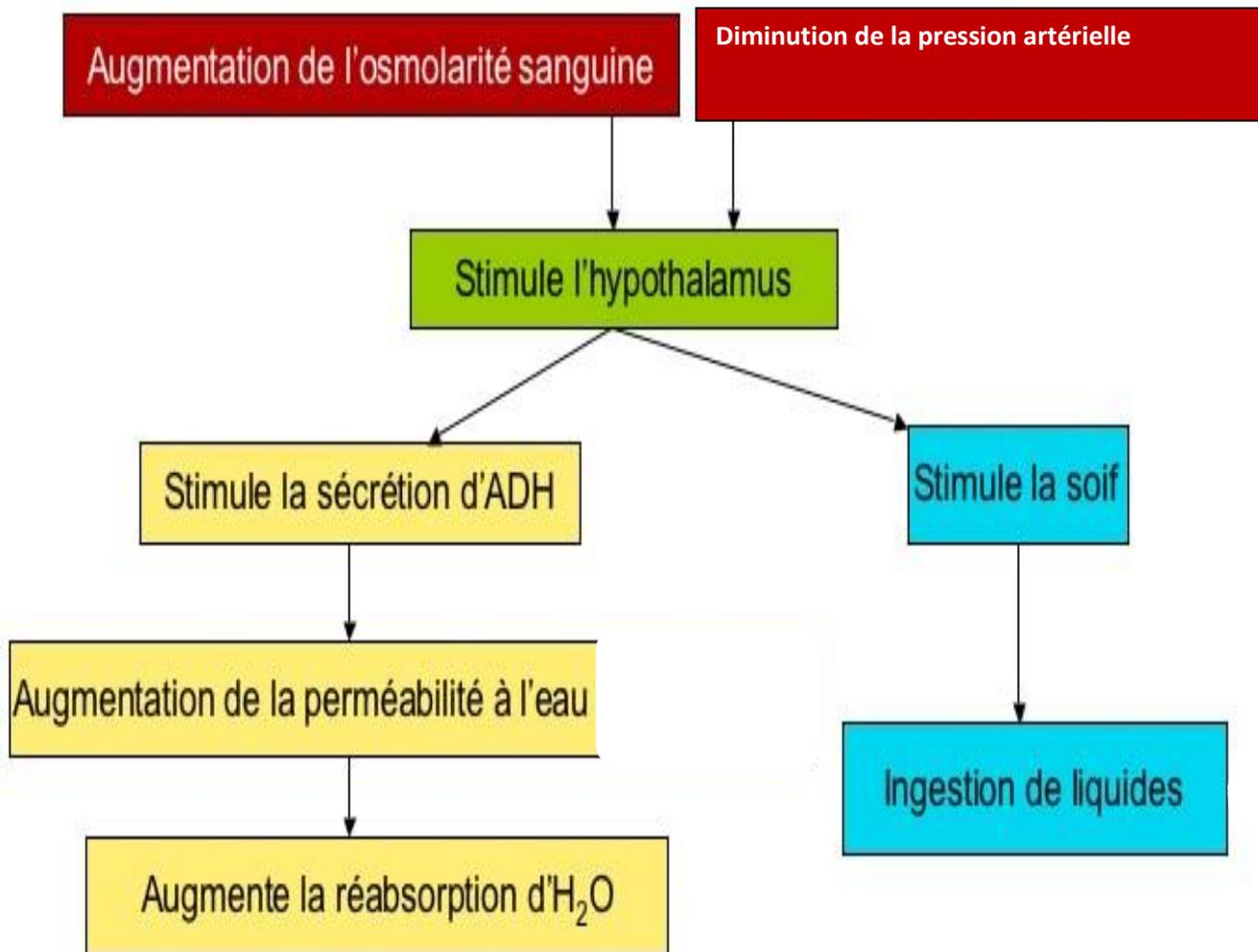
#### IV-4-1. Régulation par l'ADH

Une augmentation de la pression osmotique du milieu intérieur (par injection de NaCl par exemple), excite les osmorécepteurs de l'hypothalamus qui transmettent un message à certains neurones de l'hypothalamus reliés aux vaisseaux sanguins de la posthypophyse. Ces neurones y sécrètent, une neuro-hormone, l'ADH (Anti Diuretic Hormon) qui sera transportée par le sang jusqu'aux cellules du tube collecteur du rein pour y stimuler la réabsorption de l'eau. La quantité d'eau du milieu intérieur augmente et la pression osmotique baisse, par ailleurs la diurèse baisse. Cependant une baisse de la pression osmotique entraîne une faible stimulation des osmorécepteurs et par conséquent une faible production d'ADH.

Egalement, une hémorragie ou une perte d'eau (sudation, évaporation) fait baisser la pression artérielle, ce qui excite les récepteurs sensibles à la variation du volume sanguin (les volécepteurs)

localisés au niveau de l'oreillette droite et des sinus carotidiens. Ces volécepteurs envoient des messages nerveux à l'hypothalamus et déclenche la production d'ADH et les mêmes effets que lors de l'augmentation de la pression osmotique. Cependant, une ingestion d'eau augmente la volémie, ce qui inhibe excite moins les volécepteurs et provoque une faible production d'ADH et par conséquent la réabsorption importante d'eau, ce qui provoque une augmentation de la diurèse.

NB : L'élévation de la pression osmotique et la baisse de la volémie stimulent également la soif et pousse à boire pour augmenter la volémie et faire baisser la pression osmotique.



#### IV-4-2. Régulation par l'aldostérone (schéma cf. régulation pression artérielle)

Une baisse de la tension artérielle ou de la concentration en  $\text{Na}^+$  est détectée par des cellules situées dans le glomérule, qui produisent de la rénine. Cette hormone catalyse la transformation de l'angiotensinogène (produite par le foie) en angiotensine qui agit sur :

- La corticosurrénale en stimulant la production d'aldostérone qui favorise la réabsorption du  $\text{Na}^+$  entraînant une réabsorption d'eau pour élever la volémie et la tension artérielle ;
- Le système nerveux en stimulant la soif et l'ingestion d'eau pour élever la volémie la tension artérielle.

**Remarque :** La corticosurrénale produit aussi le cortisol qui augmente la filtration glomérulaire. La sécrétion de cette hormone par la zone fasciculée de la corticosurrénale est stimulée par une hormone antéhypophysaire appelée CTH (corticotrophinormone). L'antéhypophyse est sous le contrôle de l'hypothalamus par l'intermédiaire du CRF (Cortico Releasing Factor).

## THEME 7: LA REGULATION DE LA GLYCEMIE

### LEÇONS 11 : VARIATION ET REGULATION DE LA GLYCEMIE

#### I. DEFINITION ET VALEUR MOYENNE

La glycémie est le taux de glucose contenu dans le sang. Le taux normal de glucose chez un individu en bonne santé et à jeun avant le déjeuner est de 1g/l.

#### II. LES VARIATIONS DE LA GLYCEMIE ET LEURS CONSEQUENCES.

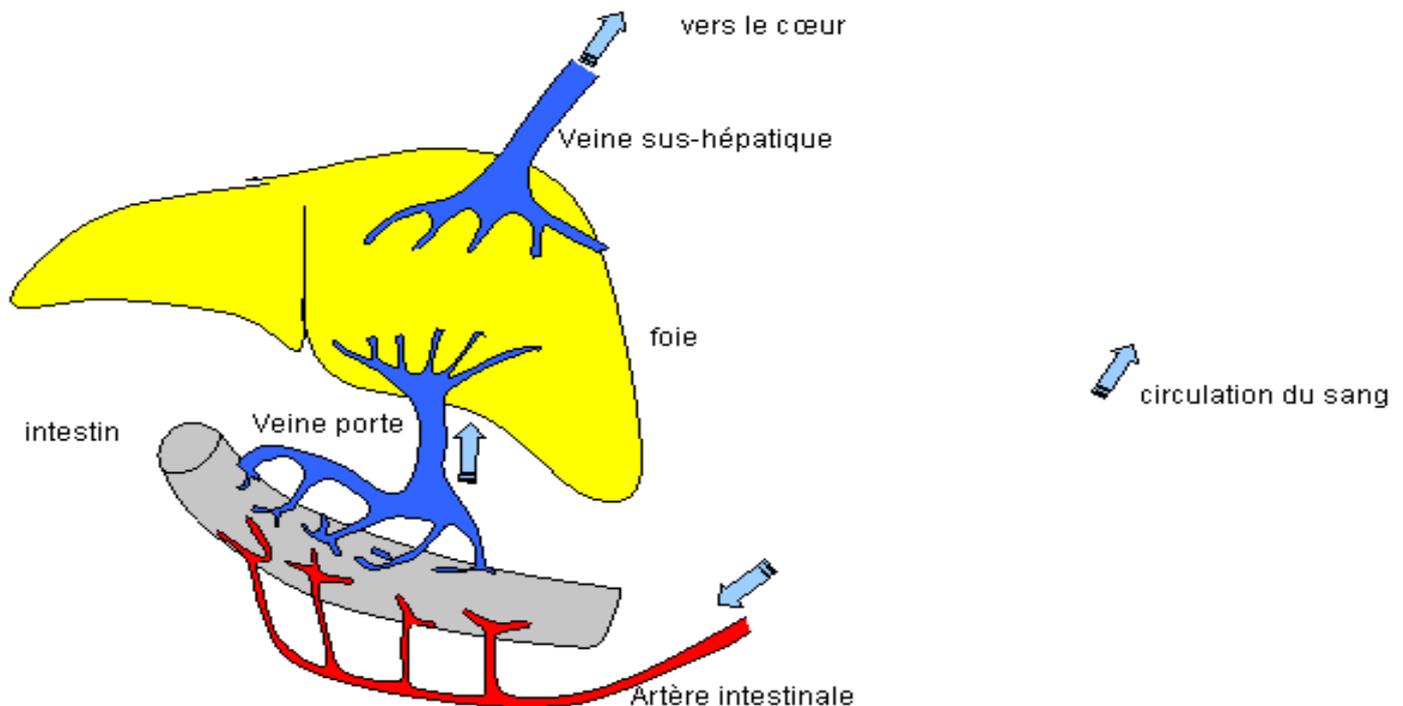
Après un exercice physique ou à la fin d'un long jeun la glycémie est inférieure à 0,8g/l, on parle d'**hypoglycémie** qui lorsqu'elle est accentuée rend faible et à la longue provoquer le coma et la mort.

Une heure après un repas riche en glucose la glycémie est supérieure à 1,2g/l, on parle d'**hyperglycémie**, mais revient à des valeurs normales. Si elle reste toujours supérieure à 1,2g/l à jeun à deux reprises ou supérieure à 2g/l à n'importe quel moment de la journée, on dit que l'individu a le **diabète**.

#### III. RÔLE DU FOIE

##### ➤ Expérience

Un dosage de la concentration de glucose dans les veines porte hépatique et sus-hépatique a été



##### ➤ Résultats

Les résultats sont recueillis dans le tableau ci-dessous.

DOSAGE DU GLUCOSE	GLYCEMIE (en g/L)	
	dans la veine porte hépatique	dans la veine sus-hépatique
Après un jeûne de quelques heures	<b>0,8</b>	<b>1</b>
Après un repas	<b>2,5</b>	<b>1</b>

➤ **Analyse**

- .....
- .....

➤ **Interprétation**

- .....
- .....

➤ **Conclusion**

#### IV. LE PANCREAS

##### IV-1. Structure du pancréas

L'observation microscopique d'une coupe de pancréas montre :

- Des acini : chaque acinus est constitué d'une couche de cellules exocrines assurant la production du suc pancréatique (riche en enzymes digestives) et relié à un canal collecteur.
- Les îlots de Langerhans : très vascularisés, sont constitués de groupes de petites cellules, parmi lesquelles on a les cellules  $\alpha$  (alpha)

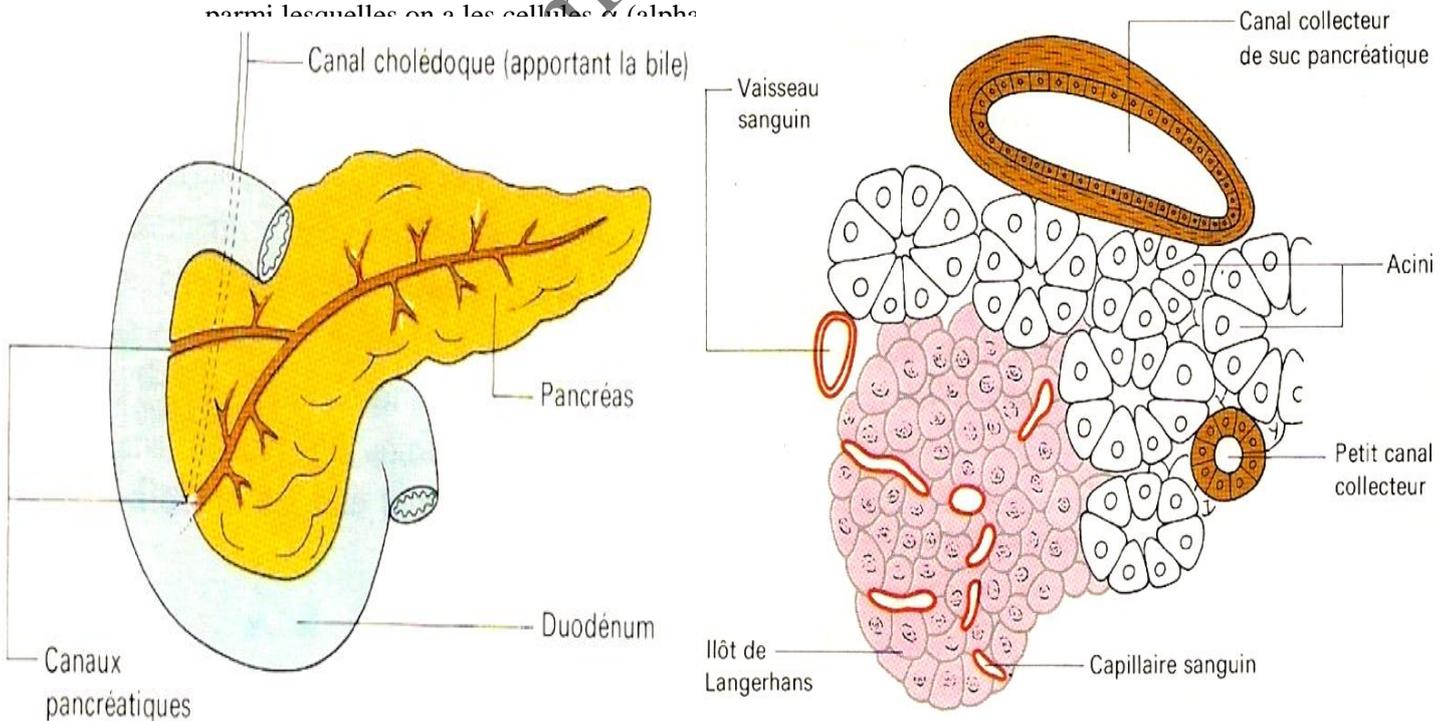


Schéma du pancréas

Coupe histologique du pancréas

## IV-2. Fonctionnement du pancréas

### ➤ Expérience 1

Des injections d'extraits pancréatiques sont réalisées sur deux chiens, l'un dans un état d'hypoglycémie et l'autre dans un état d'hyperglycémie. Tous ces chiens retrouvent leur glycémie normale.

### ➤ Interprétation

### ➤ Expérience 2

Dans l'extrait pancréatique deux hormones ont été détectées : l'insuline et le glucagon. Ces hormones sont injectées aux chiens et la variation de la glycémie est recueillie dans ce tableau.

Injections \ Chiens	Chien en hypoglycémie	Chien en hyperglycémie
Insuline	Hypoglycémie accentuée	Glycémie normale
Glucagon	Glycémie normale	Hyperglycémie accentuée

### ➤ Interprétation

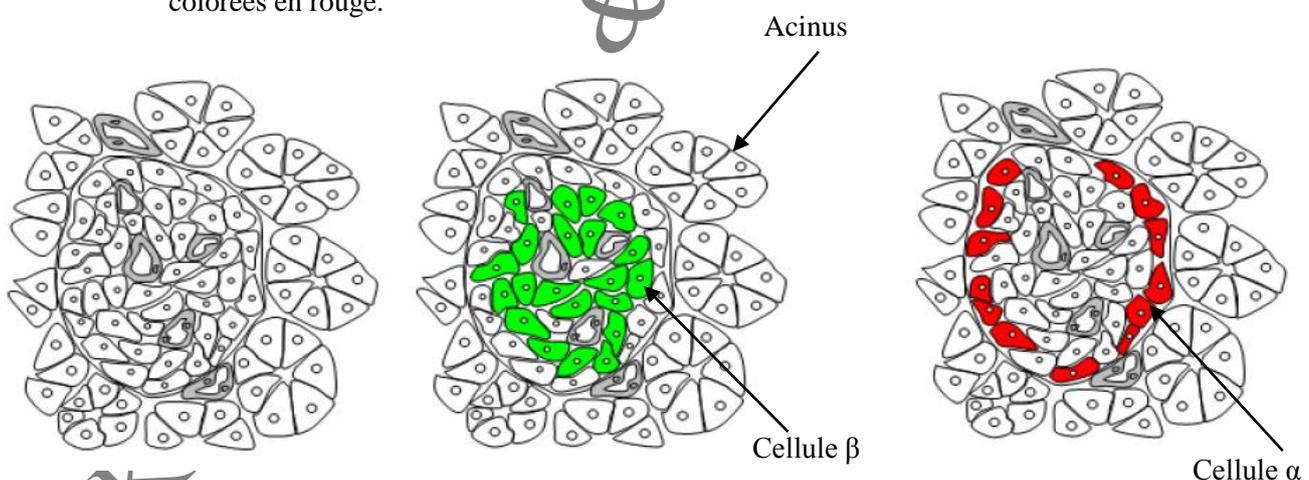
.....

.....

.....

### ➤ Expérience 3

Des anticorps anti-insuline de couleur verte et anti-glucagon de couleur rouge sont appliqués sur une coupe fine de pancréas. On constate que les cellules  $\beta$  sont en vert et les cellules  $\alpha$  sont colorées en rouge.



### ➤ Interprétation

.....

.....

.....

## V. Mécanismes de régulation de la glycémie

La régulation de la glycémie se fait sur le plan hormonal et nerveux.

### V-1. Mécanismes de la régulation hormonale de la glycémie

#### ➤ Expérience

Sur un chien, on réalise des injections d'insuline et de glucagon radioactifs. Quelques minutes après on mesure la radioactivité sur certaines cellules. Les résultats sont recueillis dans ce tableau.

	Insuline radioactive	Glucagon radioactif
Cellules hépatiques	+	+
Cellules musculaires	+	-
Cellules adipeuses	+	-

➤ **Analyse et interprétation**

.....

.....

.....

.....

### V-1-1. Cas d'une hyperglycémie

Lorsque la glycémie est élevée, les cellules  $\beta$  sont stimulés et sécrètent de l'insuline qui :

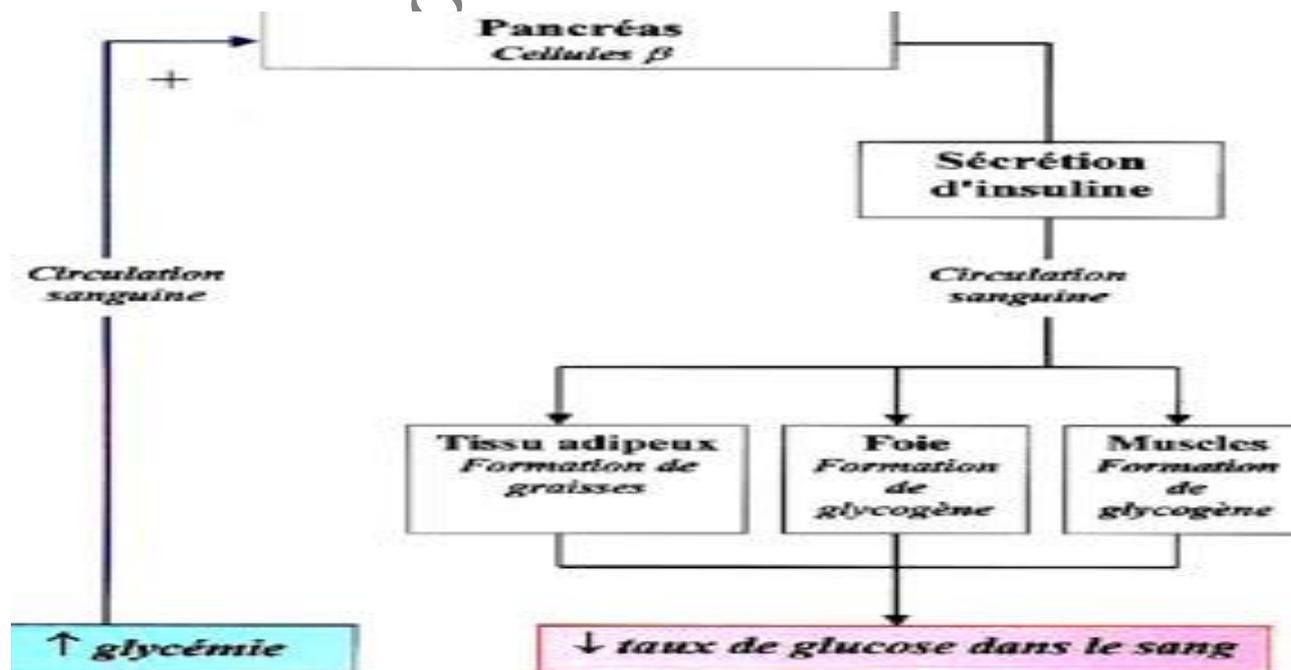
- stimule le stockage du glucose dans le foie et les cellules musculaires sous forme de glycogène, c'est la glycogénogenèse.
- Stimule la transformation du glucose en lipide par les cellules adipeuses, c'est la lipogenèse.
- stimule l'absorption et l'utilisation du glucose par les autres cellules sauf les cellules nerveuses.

Cependant dans certains cas l'hyperglycémie persiste, c'est le diabète, qui est dû à :

- Une production d'insuline faible ou nulle, car les cellules  $\beta$  sont détruites, c'est le diabète insulino-dépendant ou de type I,
- Une insensibilité ou un déficit de récepteurs de l'insuline sur les cellules cibles de l'insuline, c'est le diabète non insulino-dépendant ou de type II qui est héréditaire.

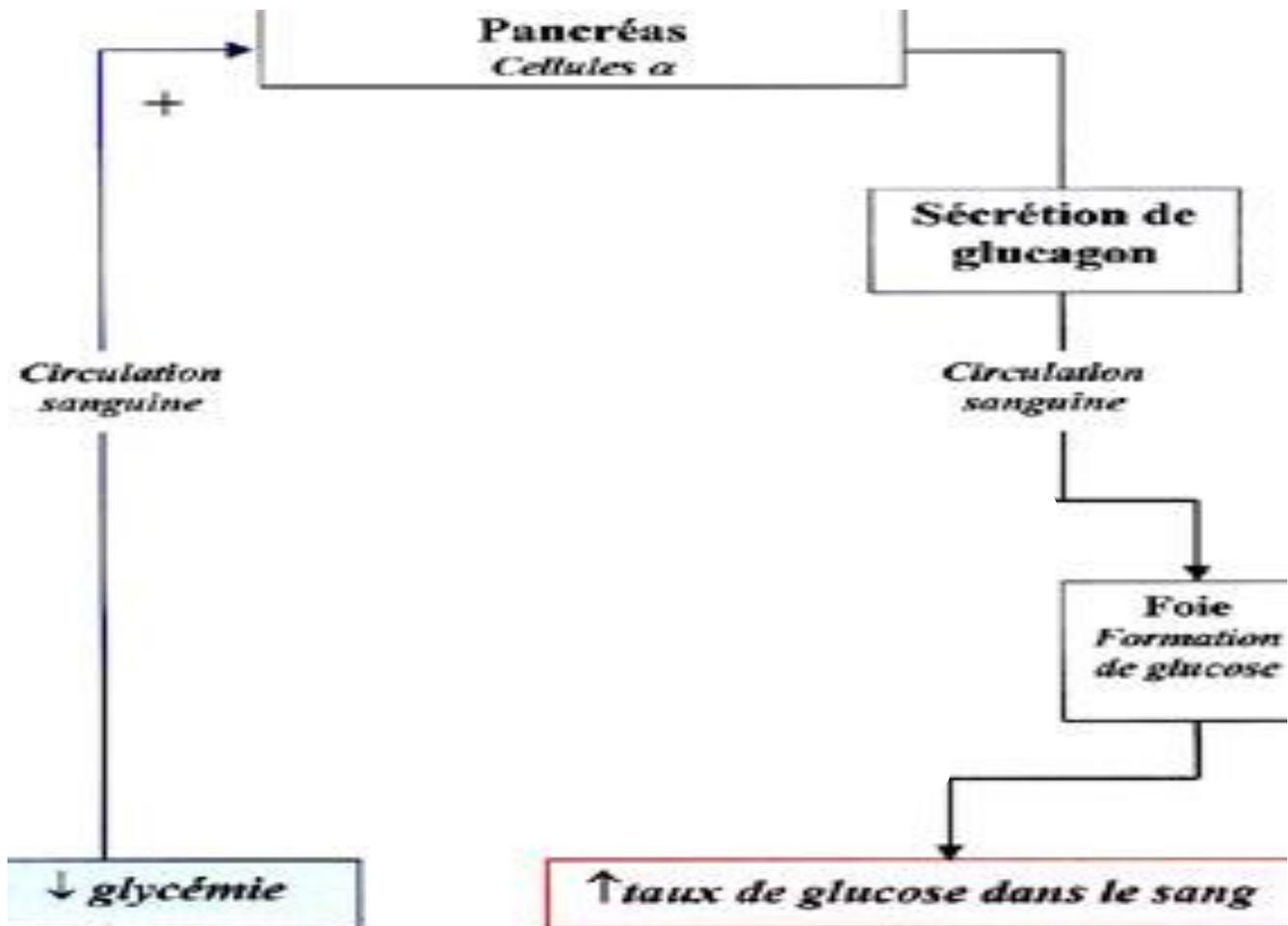
Le diabète se manifeste par :

- une polyurie : abondance et fréquence des urines,
- une glycosurie : urines sucrées,
- une grande soif : due à la perte d'eau à cause de la polyurie,
- un amaigrissement progressif : car le glucose n'étant plus utilisé, ce sont les lipides et les protéines qui sont utilisés comme source d'énergie, ce qui fait maigrir.



**Action hypoglycémisante de l'insuline**

Lorsque la glycémie est faible, les cellules  $\alpha$  sont stimulées et sécrètent du glucagon, qui stimule la production de glucose par les cellules hépatiques par glycogénogenèse et par néoglucogenèse ou gluconéogenèse (production de glucose par dégradation des protéines et des lipides), tout en bloquant l'utilisation par les cellules utilisatrices.



### Action hyperglycémisante du glucagon

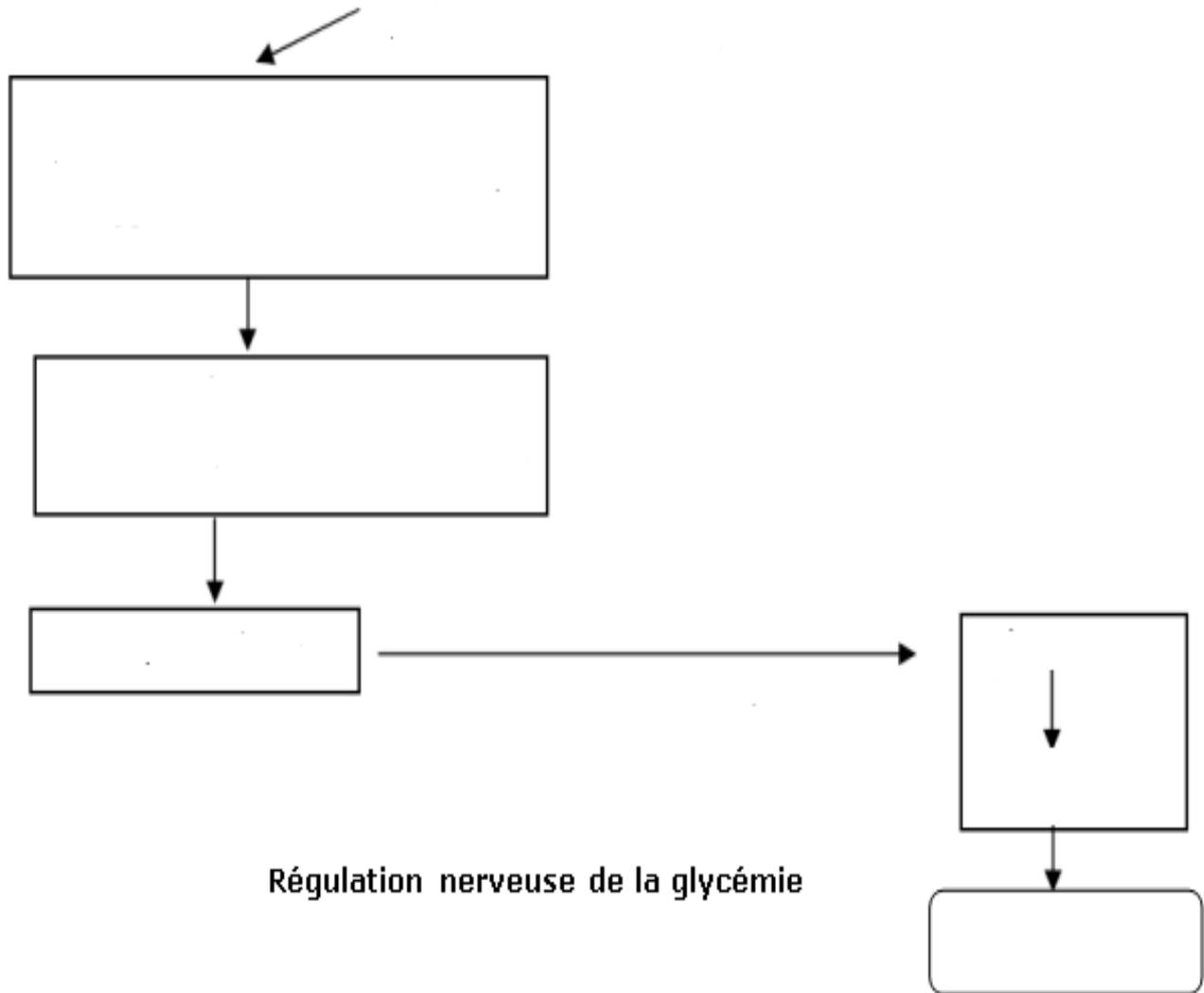
Il existe d'autres hormones hyperglycémisantes :

- Le cortisol : produit par la corticosurrénale, stimule l'utilisation des lipides comme source d'énergie dans les cellules adipeuses et bloque l'utilisation du glucose par les autres cellules de l'organisme. Ce qui augmente la glycémie de façon plus durable.
- L'hormone de croissance (la GH) : produite par l'hypophyse antérieure, stimule la néoglucogenèse au niveau des cellules hépatiques et bloque l'utilisation du glucose par les cellules musculaires. Ce qui provoque une hyperglycémie.

NB : L'insuline et le glucagon sont deux hormones antagonistes, la 1<sup>ère</sup> est hypoglycémisante, alors que la 2<sup>ème</sup> est hyperglycémisante.

### **V-2. Mécanismes de la régulation nerveuse de la glycémie**

La régulation nerveuse intervient lorsqu'il y a une baisse brutale de la glycémie. Ce qui stimule les glucorécepteurs de l'hypothalamus qui envoient des influx nerveux passant le bulbe rachidien, le centre sympathique médullaire, le nerf orthosympathique et provoquent la production de glucose par les cellules hépatiques lors de la glycogénolyse. Ce qui provoque une hyperglycémie

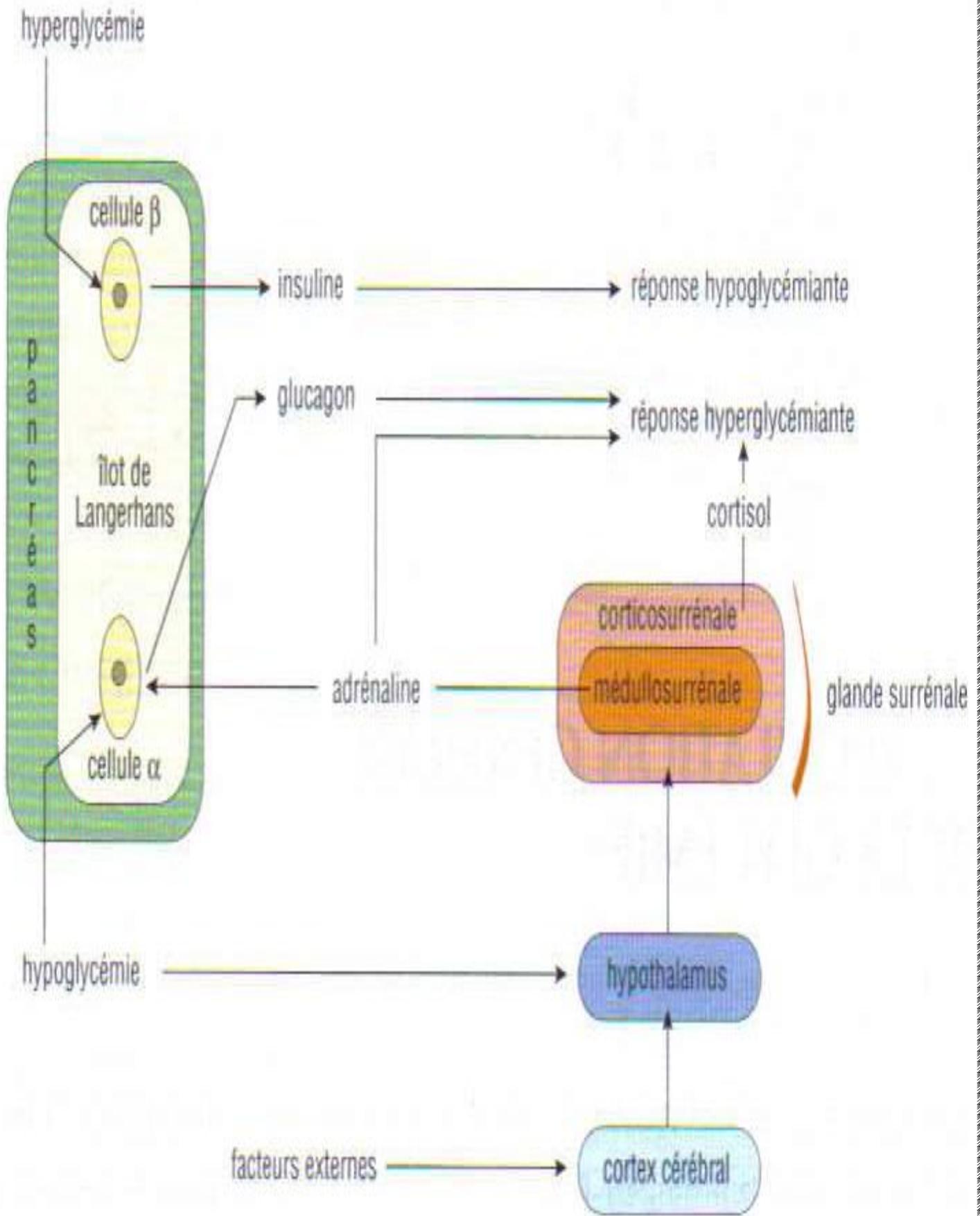


### V-3. Régulation neuro-hormonale de la glycémie

Les messages partant de l'hypothalamus, à la suite de la stimulation des glucorécepteurs (par baisse brutale de la glycémie) ou du centre adrénalinosécréteur bulbaire, passent par la moelle épinière puis les nerfs orthosympathiques. Ces messages nerveux agissent à différents niveaux :

- La médullosurrénale : dont l'excitation entraîne une sécrétion d'adrénaline qui provoque au niveau des cellules hépatiques une glycogénolyse et néoglucogénèse. Ce qui augmente la glycémie.
- Le pancréas : en excitant les cellules  $\alpha$  qui sécrètent du glucagon qui agit au niveau :
  - du foie : en déclenchant la glycogénolyse et la certaines néoglucogénèse.
  - les cellules adipeuses : en entraînant une hydrolyse des lipides (lipolyse) comme source d'énergie.
  - les cellules utilisatrices du glucose : en bloquant l'utilisation du glucose.

NB : Les mécanismes de régulation nerveuse et neuro-hormonale sont hyperglycémiantes en bloquant l'utilisation du glucose et en stimulant sa production.



Les différentes régulations de la glycémie

# THEME 8 : L'IMMUNOLOGIE

## Leçons 12: L'IMMUNOLOGIE

### INTRODUCTION :

L'organisme évolue dans un milieu peuplé par une infinité de corps étrangers inertes ou vivants susceptibles de l'envahir et de le déséquilibrer. Pour préserver son intégrité et la rétablir quand elle est perturbée, l'organisme développe un ensemble de réactions de défense qui constituent la réponse immunitaire.

### I. LE SYSTEME IMMUNITAIRE

Il est constitué de molécules, de cellules et d'organes qui assurent l'intégrité de l'organisme.

#### I-1. Notion d'intégrité

L'organisme est exposé à des microbes, des agents physiques ou chimiques responsables de maladies ou de modifications de son fonctionnement. Pour y faire face et maintenir son état normal ou intégrité, l'organisme est capable :

- de rejeter et de se défendre contre les éléments qui lui sont étranger, c'est-à-dire le « non soi »,
- de reconnaître et de protéger les éléments qui l'appartiennent, c'est dire le « soi ».

##### ➤ Le « non soi »

Le « non soi » est l'ensemble des micro-organismes ou molécules étrangères à l'organisme, ce sont les antigènes. Lorsqu'ils pénètrent dans l'organisme, ils déclenchent des réactions immunitaires. Ces antigènes sont :

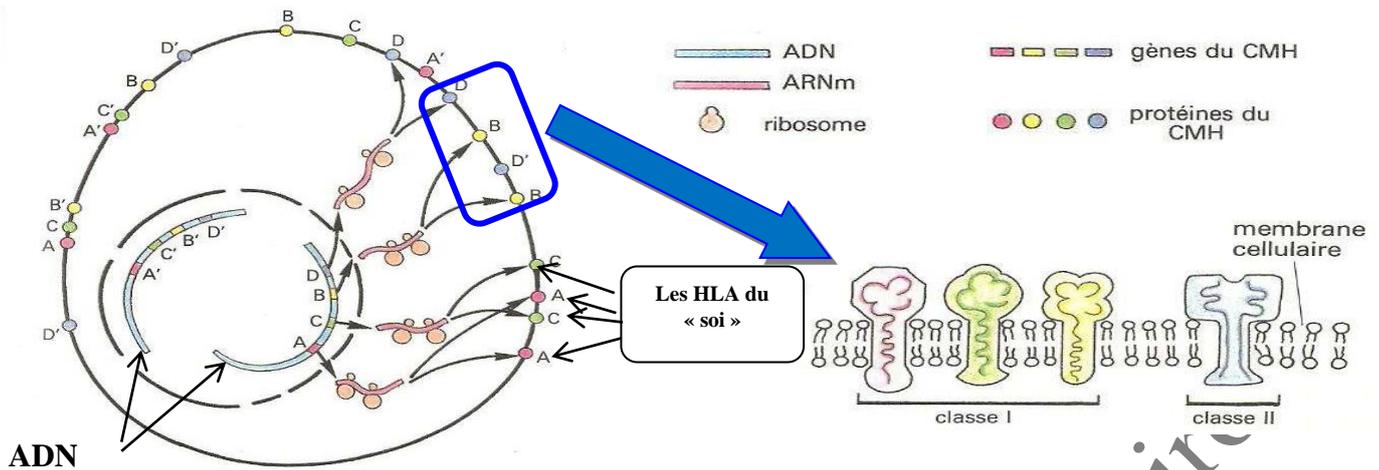
- des agents infectieux : virus, bactéries, protozoaires, champignons etc.,
- des greffes de tissus ou d'organes (cas d'allogreffes c'est-à-dire des greffes entre des individus de même espèce),
- des cellules du « soi » mortes, altérées, vieilles, cancéreuses ou anormales reconnues comme du « non soi » et détruites par le système immunitaire.

NB : Ils existent trois types d'antigènes : les antigènes particuliers (microbes, virus...), les antigènes solubles (les toxines qui sont des substances) et les allergènes (responsables d'allergie).

##### ➤ Le « soi »

Le « soi » est l'ensemble des organes, tissus, cellules et molécules issus de l'expression génétique de l'individu. Chaque être vivant a des molécules sur les membranes cellulaires ou le plasma qui constituent des marqueurs biologiques de son identité, ce sont les « cartes d'identité » de l'individu. Les marqueurs les plus connus sont :

- le système ABO (les agglutinogènes) et les facteurs rhésus portés par les hématies,
- le système CMH (complexe majeur d'histocompatibilité) encore appelé système HLA (human leukocyte antigens) qui sont regroupés en deux classes :
  - les HLA de classe I présents sur les membranes de toutes les cellules nucléées,
  - les HLA de classe II présents sur les membranes de certains leucocytes (macrophages et lymphocytes).



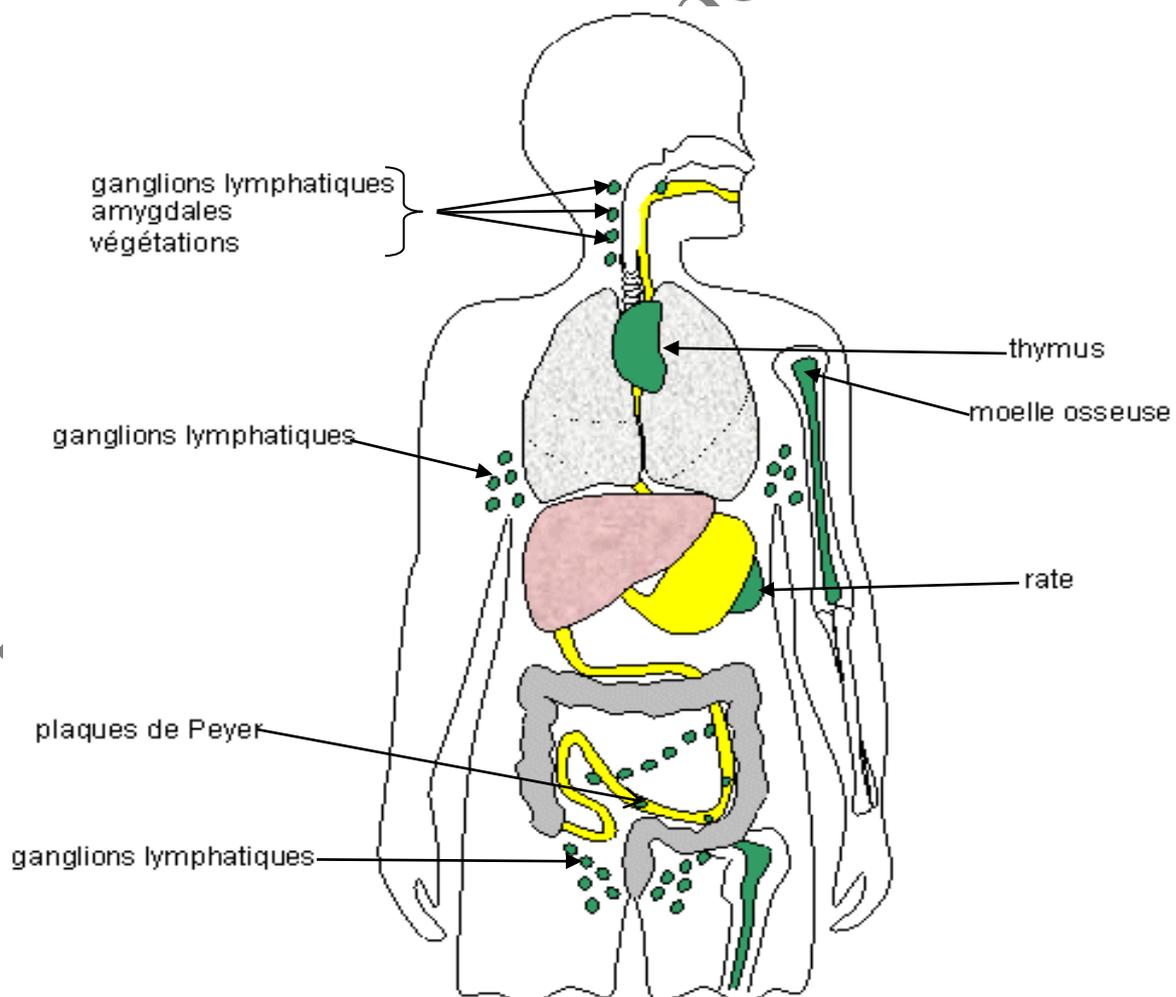
Localisation, transcription et traduction des gènes des HLA de classes I et II

## I-2. Organes et cellules du système immunitaire

### I-2-1. Organes

Ce sont :

- Les organes lymphoïdes primaires ou centraux : la moelle osseuse et le thymus.
- Les organes lymphoïdes secondaires ou périphériques : les ganglions lymphatiques, la rate, les amygdales et les plaques de Peyer)



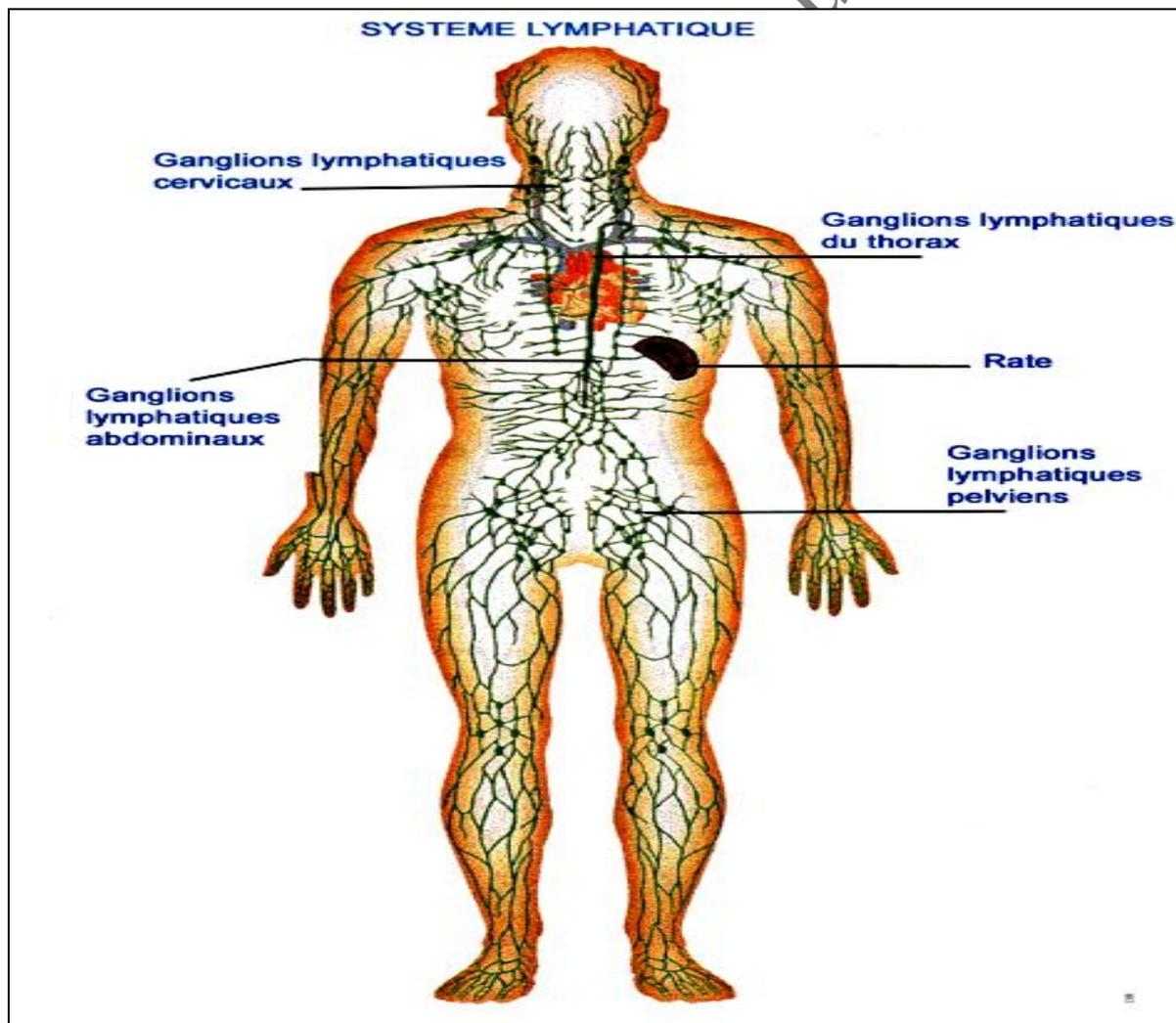
Organes et tissus lymphoïdes

### I-2-2. Cellules immunitaires et leur origine

Les cellules immunitaires sont les globules blancs ou leucocytes qui sont tous produits dans la moelle osseuse rouge à partir de cellules souches : les lymphoblastes. Ces derniers se divisent pour donner plusieurs lignées de cellules :

- Les granulocytes ou polynucléaires : petite taille, cytoplasme granuleux, noyau multilobé, migrent dans les tissus pour phagocyter des éléments étrangers.
- Les monocytes : grande taille, noyau arqué, migrent dans les tissus pour donner de grosses cellules, les macrophages assurant aussi la phagocytose.
- Les lymphocytes : petite taille, noyau volumineux arrondi. On a :
  - Les lymphocytes B (LB) dont la maturation (ou acquisition de l'immunocompétence) se fait au niveau de la moelle osseuse. Ils peuvent donner des plasmocytes (gros lymphocytes) producteurs d'anticorps (immunoglobuline (Ig)) lorsqu'ils sont activés par un antigène.
  - Les lymphocytes T (LT) produits sous forme immature dans la moelle osseuse, passent dans le thymus pour achever leur maturation et donner des LT4 (encore appelés LTa (auxiliaire), LTh (helper) ou LTs (suppresseur)) et des LT8 (encore appelés LTC), c'est l'acquisition de l'immunocompétence.

NB : Après leur maturation, les lymphocytes vont dans le sang, rejoignent la lymphe et sont stockés en particulier dans les ganglions lymphatiques, lieu de rencontre avec les antigènes.



Circulation lymphatique

## I-2. Notion d'immunité

L'immunité est la capacité d'un organisme à résister à un agent infectieux grâce à des réactions immunitaires. On distingue 2 types d'immunités : l'immunité naturelle et l'immunité acquise.

### I-2-1. Immunité naturelle

Elle correspond aux barrières physiques (peau, muqueuse, cils...) et chimiques (salive, sueur, larmes, mucus...) neutralisant indifféremment divers agresseurs et les empêchant de pénétrer dans l'organisme. C'est une immunité naturelle, innée qui n'est pas dirigée vers un antigène particulier donc elle est non spécifique.

### I-2-2. Immunité acquise

Certaines personnes peuvent développer une immunité à une maladie après l'avoir contracté ou après avoir reçu un vaccin contre cette maladie. C'est une immunité acquise, mais qui est dirigée contre les agents pathogènes de cette maladie seulement, on dira que c'est une immunité spécifique.

## II. MECANISME DE LA REPOSE IMMUNITAIRE

La reconnaissance par l'organisme des antigènes déclenche des réactions immunitaires qu'on peut classer en deux catégories :

- La réponse non spécifique qui est indépendante de la nature de l'antigène.
- La réponse spécifique qui est dirigée contre un antigène bien déterminé.

### II-1. Réponse immunitaire non spécifique

La réponse immunitaire non spécifique fait appel à des facteurs tissulaires, cellulaires et humoraux qui ne sont pas dirigés vers un antigène déterminé, mais vers tout antigène tentant de pénétrer dans l'organisme ou ayant réussi à y entrer.

#### II-1-1. Les facteurs tissulaires

Ils constituent la 1<sup>ère</sup> ligne de défense contre l'antigène. Ce sont les barrières physiques (peau, muqueuse...) et chimiques (sueur, mucus, larmes...).

#### II-1-2. Les facteurs cellulaires

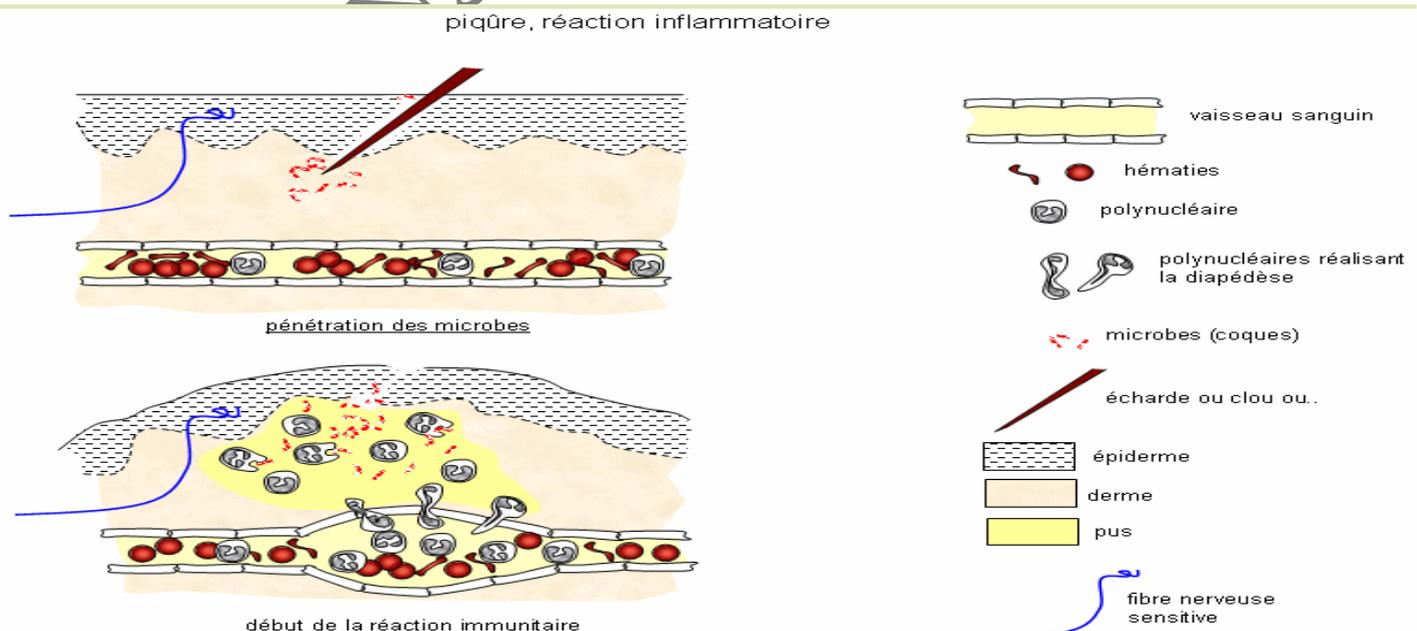
Ce sont : la réaction inflammatoire et la phagocytose.

- La réaction inflammatoire

C'est une réaction de l'organisme suite aux lésions des tissus ou au franchissement de des barrières mucocutanées. Elle se manifeste dans la zone d'invasion par :

- Une rougeur et une chaleur dues à la dilatation des capillaires sanguins,
- Un gonflement (œdème) dû à la sortie du plasma et des phagocytes (granulocytes, monocytes et macrophages),
- Des douleurs dues à l'excitation de certaines terminaisons nerveuses.

L'inflammation prépare la réparation des tissus lésés et constitue un signal qui oriente les phagocytes.

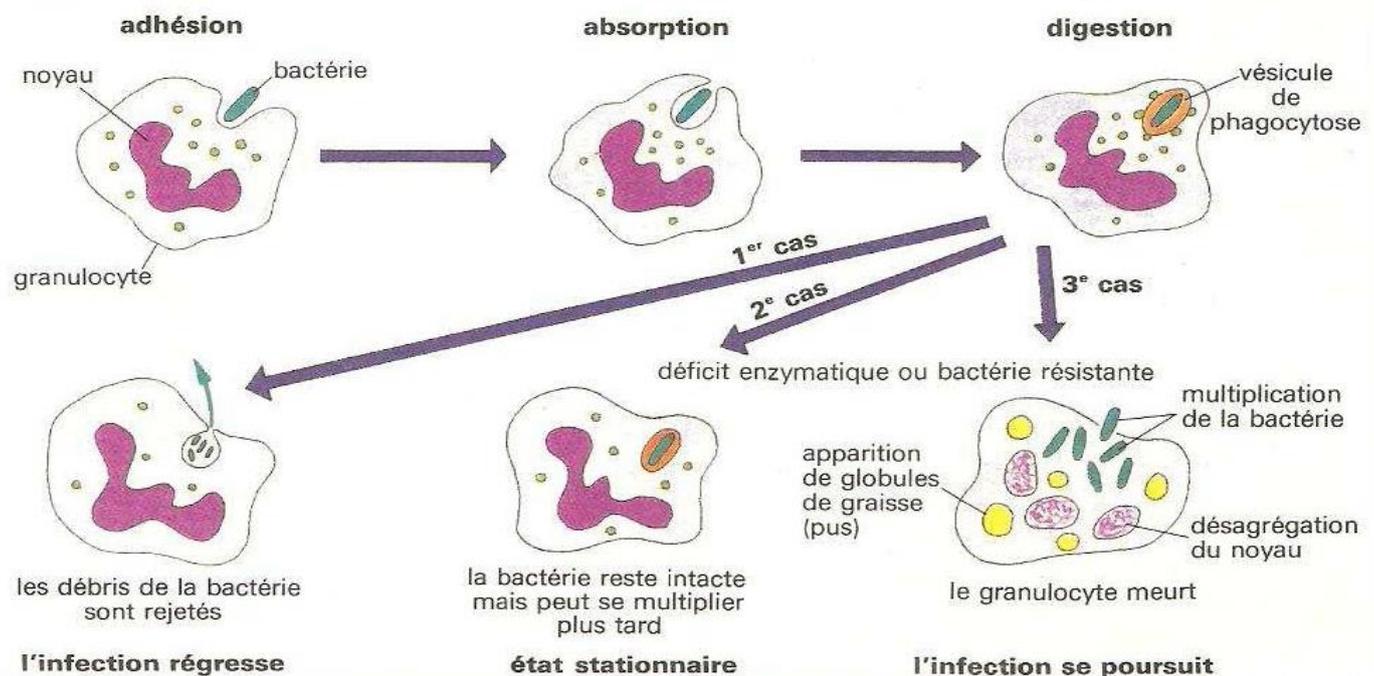


## Réactions inflammatoires

### ➤ La phagocytose

Elle est assurée par les phagocytes qui, attirés par chimiotactisme, traversent la paroi des capillaires par **diapédèse** pour se retrouver dans la zone envahie. La phagocytose se produit ensuite par une adhésion à l'antigène (bactéries ici), le macrophage se déforme pour piéger la bactérie dans une vésicule (la **phagosome**) et les lysosomes produits par l'appareil de Golgi déversent dans le phagosome leurs enzymes hydrolytiques pour digérer l'antigène. Lors de cette digestion, il peut se produire :

- soit une destruction des bactéries et libération des débris par exocytose, d'où une guérison rapide.
- soit une résistance des bactéries qui peuvent se multiplier ultérieurement d'où un état stationnaire de l'infection.
- soit le phagocyte est tué et déverse dans le sang les bactéries qui se sont multipliées, il se forme ensuite du pus signe de la mort du phagocyte. C'est l'infection généralisée.



### La phagocytose et ses résultats

#### II-1-3. Les facteurs humoraux

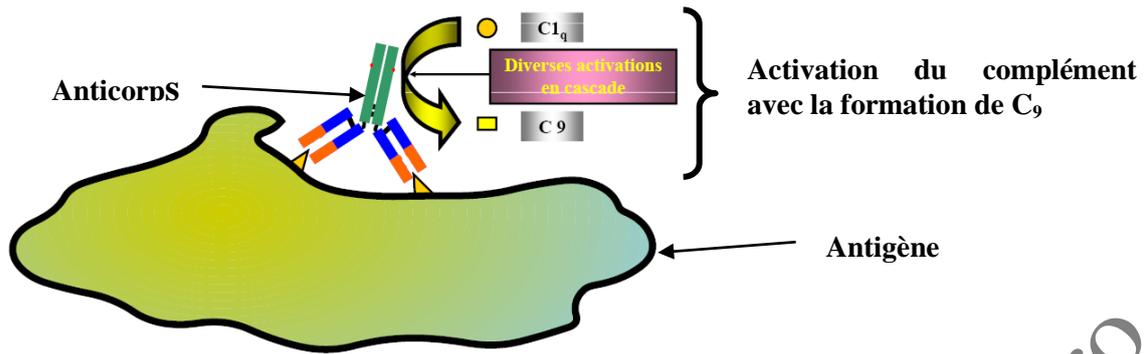
Ce sont les interférons, le complément et les lysozymes qui ne sont pas spécifiques à un antigène.

##### ➤ Les interférons

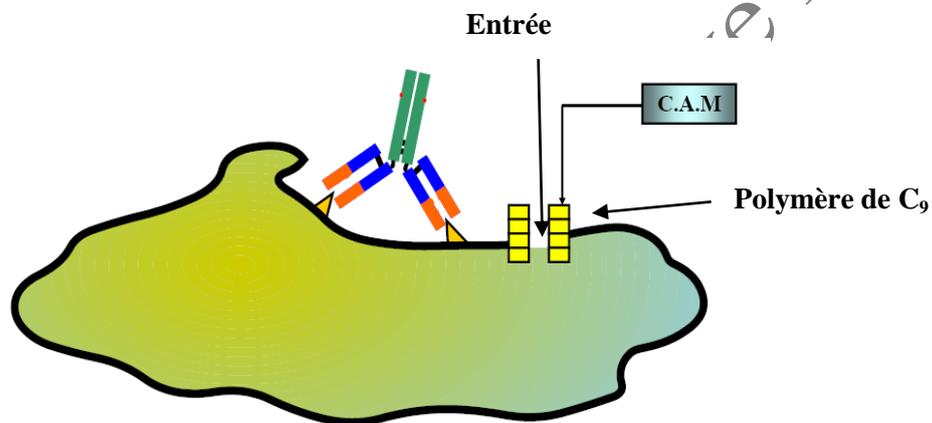
Lorsqu'une cellule est parasitée par un virus quelconque, elle produit des interférons (des glycoprotéines) qui déclenchent chez les cellules voisines la synthèse de protéines antivirales pour se protéger du virus qui ne pourra pas se développer.

##### ➤ Le complément

Il est constitué d'une vingtaine de protéines ( $C_1$  à  $C_9$ ) (avec des sous unités comme  $C_{1q}$ ,  $C_{2q}$ ...) présentes à l'état inactif dans le plasma et synthétisées dans le foie, la rate, l'épithélium intestinal... Elles sont activées par la formation d'un **complexe-immune** (c'est-à-dire l'association entre un anticorps et un antigène ou une toxine produite par un antigène). C'est une activation en chaîne qui permet la formation d'un complexe d'attaque membranaire (C.A.M) composé d'un polymère de  $C_9$  sur la membrane de l'antigène. Ce qui provoque une ouverture, une entrée d'eau par osmose et l'éclatement de l'antigène.



Complexe-immune



Lyse de la membrane de l'antigène par le C.A.M



Activation du complément et son action

En se fixant sur un antigène, le complément peut faciliter sa reconnaissance par les phagocytes et la phagocytose de l'ensemble antigène complément, c'est l'**opsonisation**.

### ➤ Les lysozymes

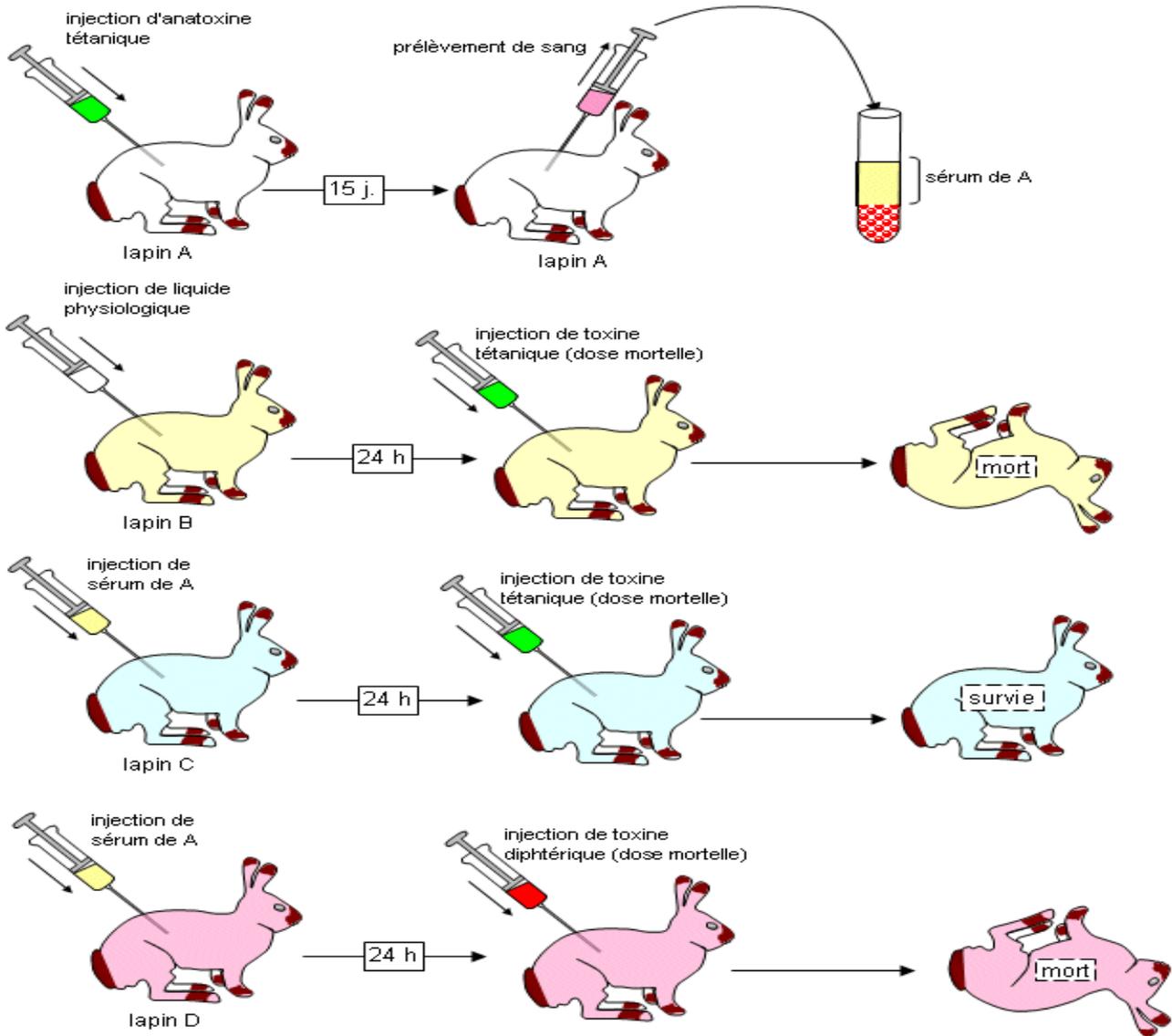
Ils sont produits dans différentes sécrétions (larmes, salives, mucus nasal et vaginal...) et hydrolysent les parois de certaines bactéries moins virulentes.

## II. Réponse immunitaire spécifique

Lorsque les antigènes échappent aux réactions immunitaires non spécifiques, leur arrivée dans les organes lymphoïdes secondaires déclenche une réponse immunitaire spécifique. Parmi les réponses immunitaires on a : la réponse immunitaire à médiation humorale et la réponse immunitaire à médiation cellulaire

### II-1. Réponse immunitaire à médiation humorale (RIMH)

#### ➤ Expérience 1



#### ➤ Interprétation

.....

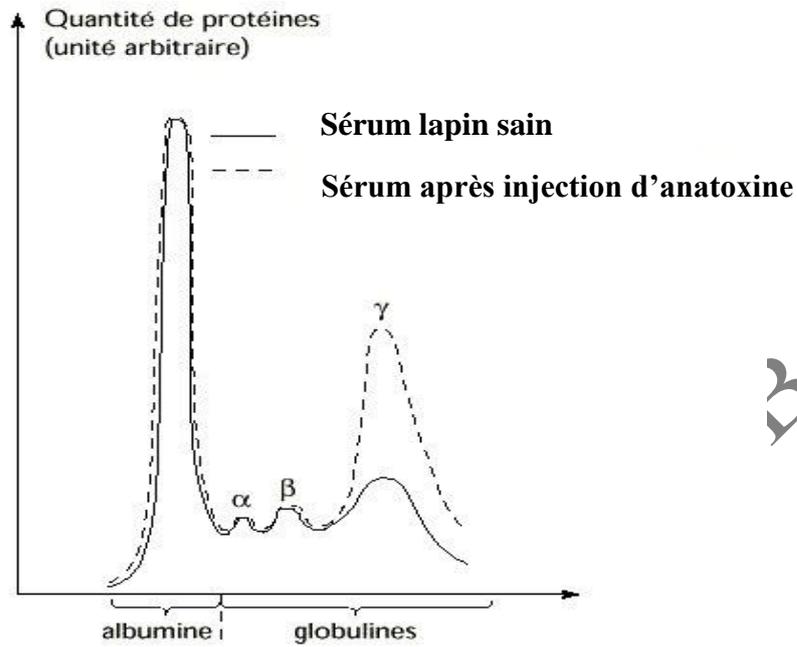
.....

.....

#### ➤ Expérience 2

Les éléments responsables de cette immunité se trouvent dans le sérum du lapin. Pour les identifier une électrophorèse du sérum a été effectuée avant et après injection d'anatoxine.

➤ Résultats



Boiro

Electrophorèse du sérum de lapin avant et après injection

➤ Analyse

.....

.....

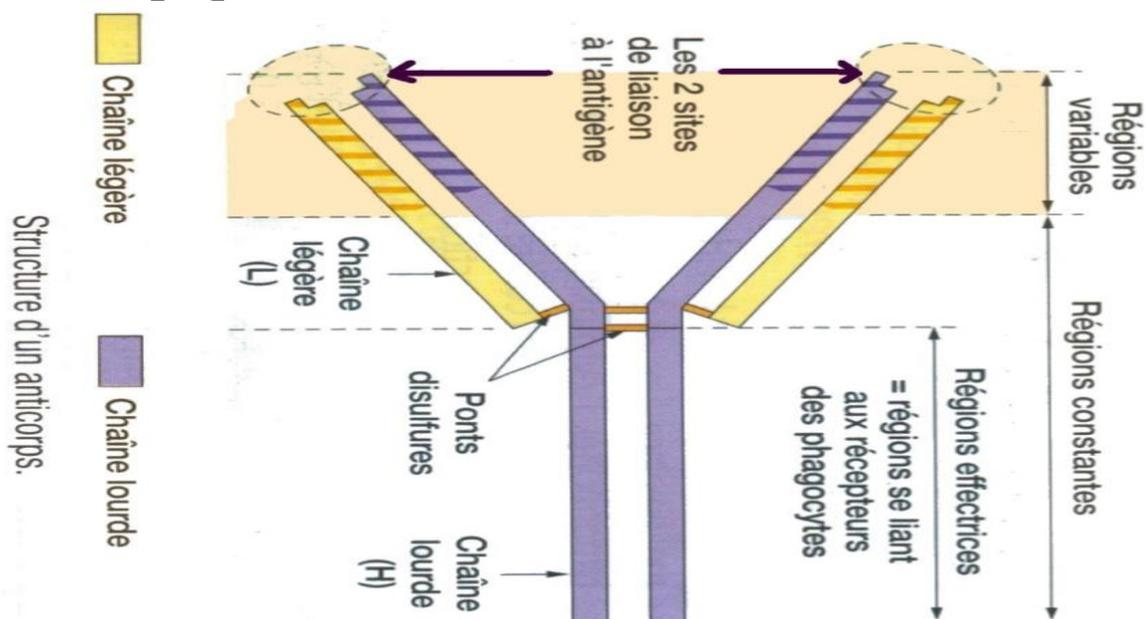
➤ Interprétation

.....

.....

Parmi les anticorps, nous avons l'immunoglobuline (IgG : Immunoglobuline Gamma) dont la structure présente une zone variable (en fonction des types d'anticorps) où se fixe l'antigène appelée le **paratope** et une zone constante.

NB : Chez l'homme on a 5 classes d'immunoglobulines : IgG, IgM, IgA, les IgE et les IgD



➤ **Conclusion**

.....

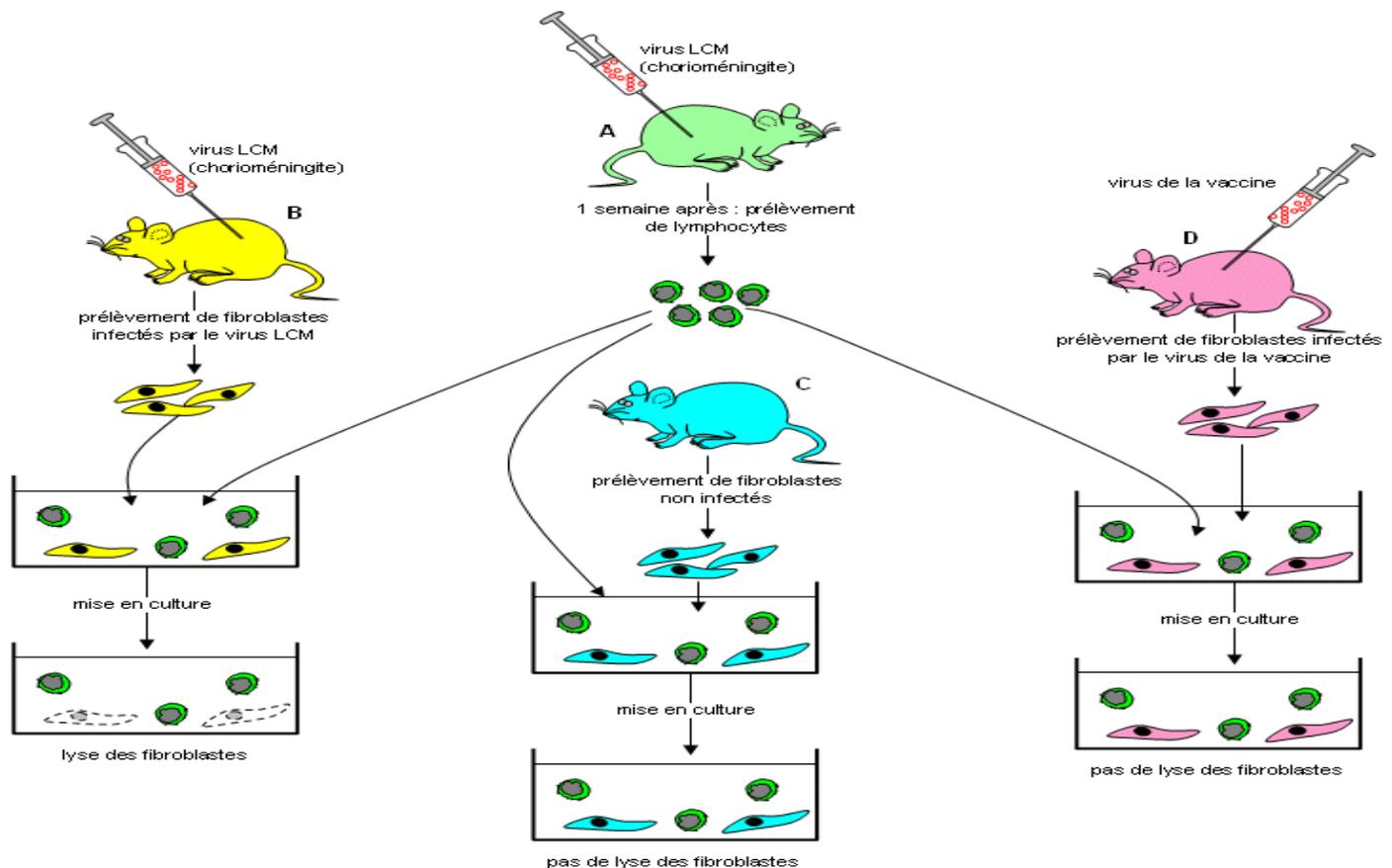
.....

.....

## II-2. Réponse immunitaire à médiation cellulaire (RIMC)

➤ **Expérience**

On dispose de 4 souris A, B, C et D. Sur les souris A et B on injecte le virus LCM (chorioméningite), sur la souris D le virus de la vaccine, alors que la souris C n'est pas infectée. Des fibroblastes (cellules) infectés des souris B, D et non infectés de la souris C, sont mis en culture dans un milieu adéquat en y ajoutant les lymphocytes de la souris A une semaine après infection.



### Expérience de mise en évidence de la RIMC

➤ **Résultats**

Après des heures de culture, on constate que :

- Les fibroblastes infectés de la souris B meurent,
- Les fibroblastes de la souris D infectés par le virus de la vaccine ne meurent pas, ainsi que les fibroblastes de la souris C saine.

➤ **Interprétation**

.....

.....

.....

.....

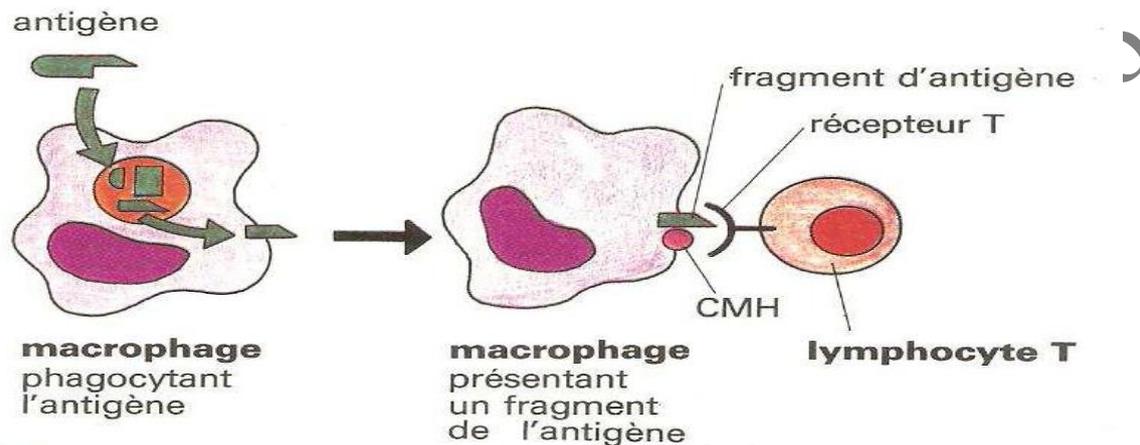
## II-3. Mécanismes des réactions immunitaires à médiation cellulaire et humorale

### II-3-1. Mécanisme de la réaction immunitaire à médiation cellulaire

Elle se déroule en 3 phases : les phases d'induction, d'amplification et effectrice.

#### ➤ Phase d'induction, de reconnaissance de l'antigène ou de sélection clonale

Les macrophages ayant une fois phagocyté l'antigène (**CPA** = cellules présentant l'antigène) développent sur leur membrane un fragment de l'antigène associé à un **HLA** qui peuvent être reconnus par certains **LT4** et **LT8** ayant des récepteurs capables de s'y fixer. Les cellules cancéreuses et de greffe allogénique sont également reconnues par ces **LT**.



#### ➤ Phase d'amplification et de différenciation

Les **LT4** fixés au CPA se divisent par mitoses successives pour donner de nombreux clones de **LT4**, les **LT4** auxiliaires (**LTA**). L'association entre les **LT4** et la CPA provoque la production d'**interleukine 1 (IL1)** par la CPA qui stimule d'avantage la division des **LT4**. Certains des **LTA** se différencient en **LTA sécréteurs** et d'autres en **LTA mémoires**.

Les **LTA sécréteurs** produisent de l'**interleukine 2 (IL2)** qui stimule la différenciation des **LT8** fixés sur les CPA en **LT8 cytotoxiques** ou **LTC**.

#### ➤ Phase effectrice

Les **LTC** reconnaissent les cellules infectées par l'antigène (ainsi que cancéreuse ou de greffe), s'y fixent et sécrètent une substance, la **perforine** qui perce la membrane de l'antigène et entraîne leur destruction.

Les **LT4 suppresseurs (LTS)** interviennent à la fin pour bloquer la réponse immunitaire.

**NB** : Outre les **LTC**, il existe d'autres cellules tueuses capables de lyse cellulaire, ce sont **cellules K** (Killer) et les **cellules NK** (Naturel Killer)

### II-3-2. Mécanisme de la réaction immunitaire à médiation humorale

Elle se déroule également en 3 phases : les phases d'induction, d'amplification et effectrice.

#### ➤ Phase d'induction, de reconnaissance de l'antigène ou de sélection clonale

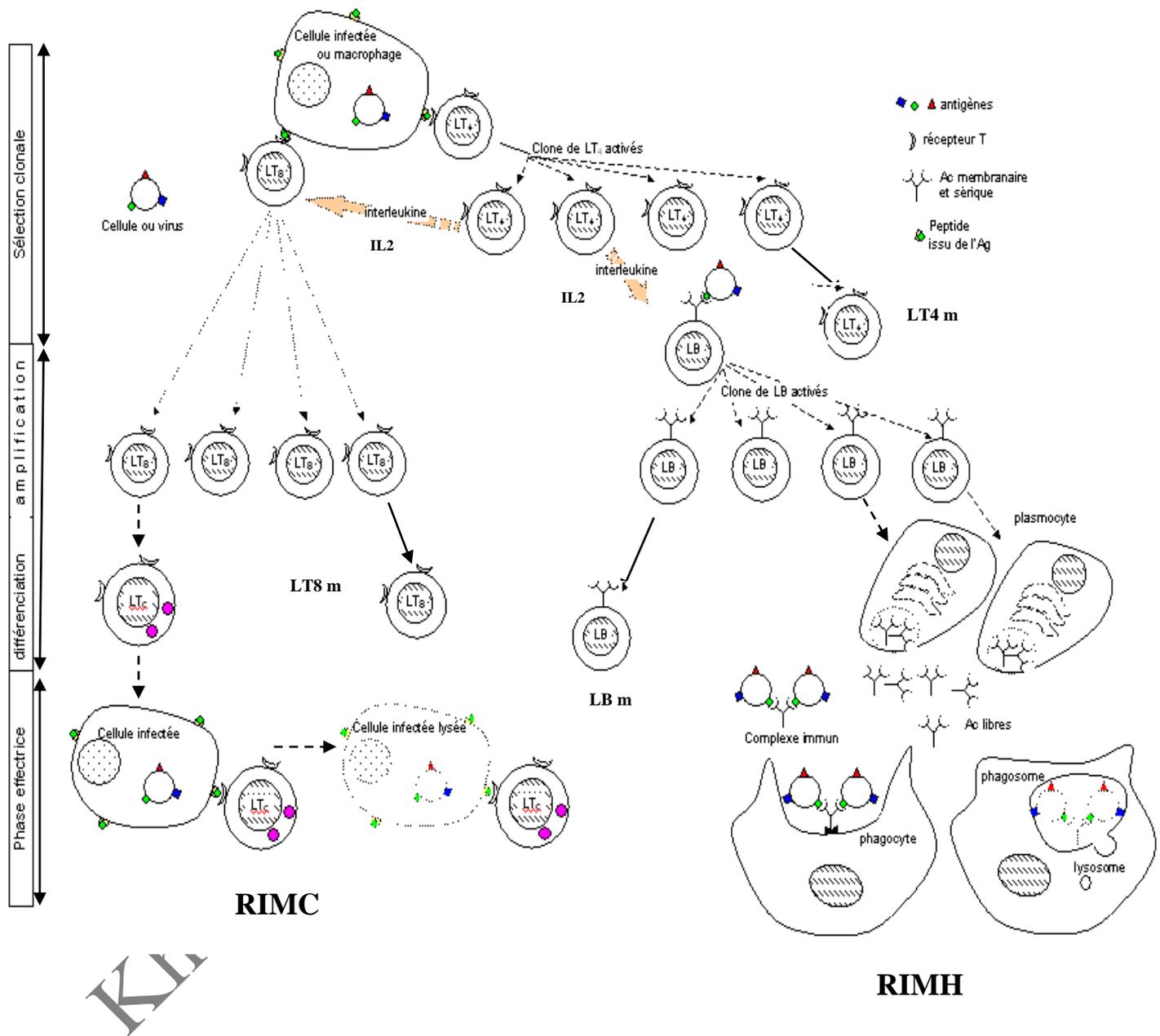
Au cours de cette phase certains **LB** peuvent reconnaître directement à travers leur récepteur, les antigènes (bactéries, virus ou toxine) et s'y fixent.

#### ➤ Phase d'amplification et de différenciation

L'**IL2** sécrété par les **LTA sécréteurs**, stimule la division successive par mitose des **LB** fixés au CPA, pour donner plusieurs clones **LB**. Certains **LB** vont se différencier en **plasmocytes** et d'autres en **LB mémoire**.

➤ Phase effectrice

Les **plasmocytes** sécrètent des anticorps spécifiques à l'antigène, qui vont s'y fixer pour former des **complexe-immunes**. Il s'en suit une phagocytose par des complexe-immunes appelée **opsonisation**.  
**NB** : On peut en déduire qu'il existe une coopération entre les lymphocytes **LT** et **LB**, car les **LTa** interviennent dans la multiplication et la différenciation des **LT8** et des **LB**.

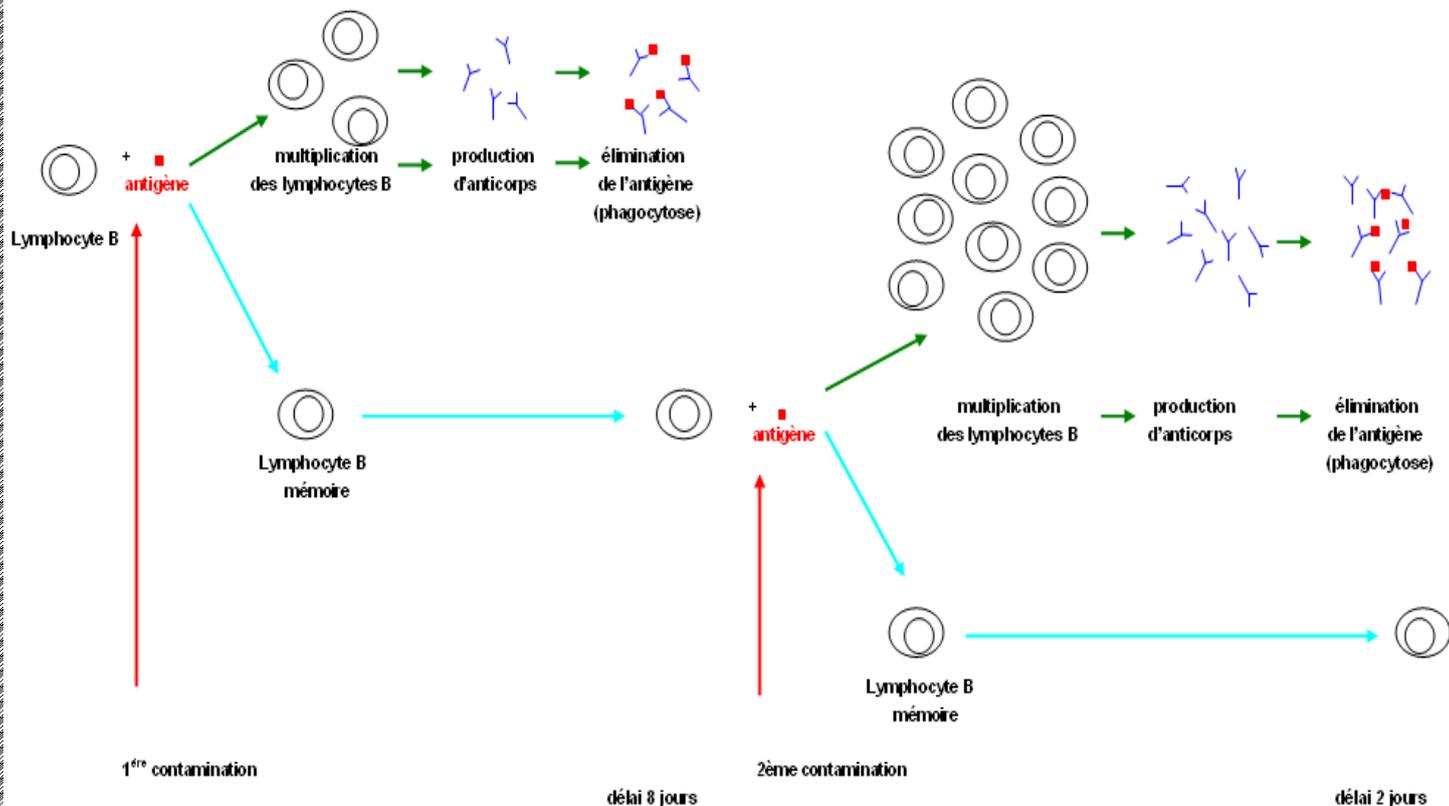


**Bilan des réponses immunitaires spécifiques**

**II-3-2. Intérêt de lymphocytes mémoires**

Lors d'un 1<sup>er</sup> contact avec un antigène l'organisme réagit par une réponse immunitaire spécifique lente. On note également que certains lymphocytes LB et LT sont gardés en mémoire. Ce qui leur permet de répondre immédiatement lors d'un second contact avec l'antigène de façon plus rapide, plus intense et plus efficace. La mise en mémoire confère donc à l'organisme une immunité spécifique durable

## Production d'anticorps par les lymphocytes B



### III. UN EXEMPLE DE DYSFONCTIONNEMENT DU SYSTEME IMMUNITAIRE : LE SIDA

#### III-1. Quelques informations sur le SIDA :

##### III-1-1. Définition

Le SIDA (Syndrome d'immunodéficience acquise) est une maladie causée par le VIH (virus d'immunodéficience humaine) qui entraîne un dysfonctionnement du système immunitaire, permettant ainsi l'apparition de maladies opportunistes.

##### III-1-2. Données épidémiologiques

Ce tableau montre l'évolution du SIDA au Sénégal de 2004 à 2010. Il montre que le nombre de personnes atteintes du SIDA augmente chaque année.

Nombre de personnes infectées par le VIH				
Année	Hommes (15-49 ans)	Femmes (15-49ans)	Adultes (15-49 ans)	Enfants (0-14 ans)
2004	20 590	25 340	45 930	4150
2005	21 440	26 280	47 720	4500
2006	22 480	27 360	49 850	4850
2007	23 070	28 090	51 160	5150
2008	23 900	29 100	53 000	5440
2009	24 420	29 710	54 130	5680
2010	25 200	30 640	55 830	5890

##### III-2. Présentation du virus

Le VIH est un virus sans ADN, mais ayant deux molécules d'ARN associées à une protéine virale, la transcriptase réverse (cette protéine permet la synthèse d'ADN à partir d'ARN). Elle porte sur son enveloppe lipidique des protéines GP120.

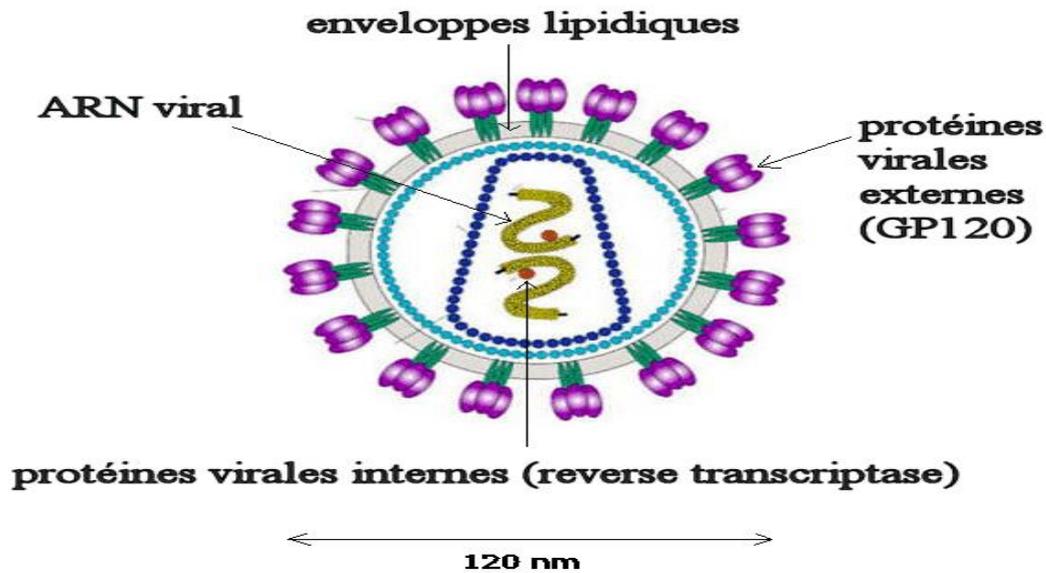


Schéma d'un VIH

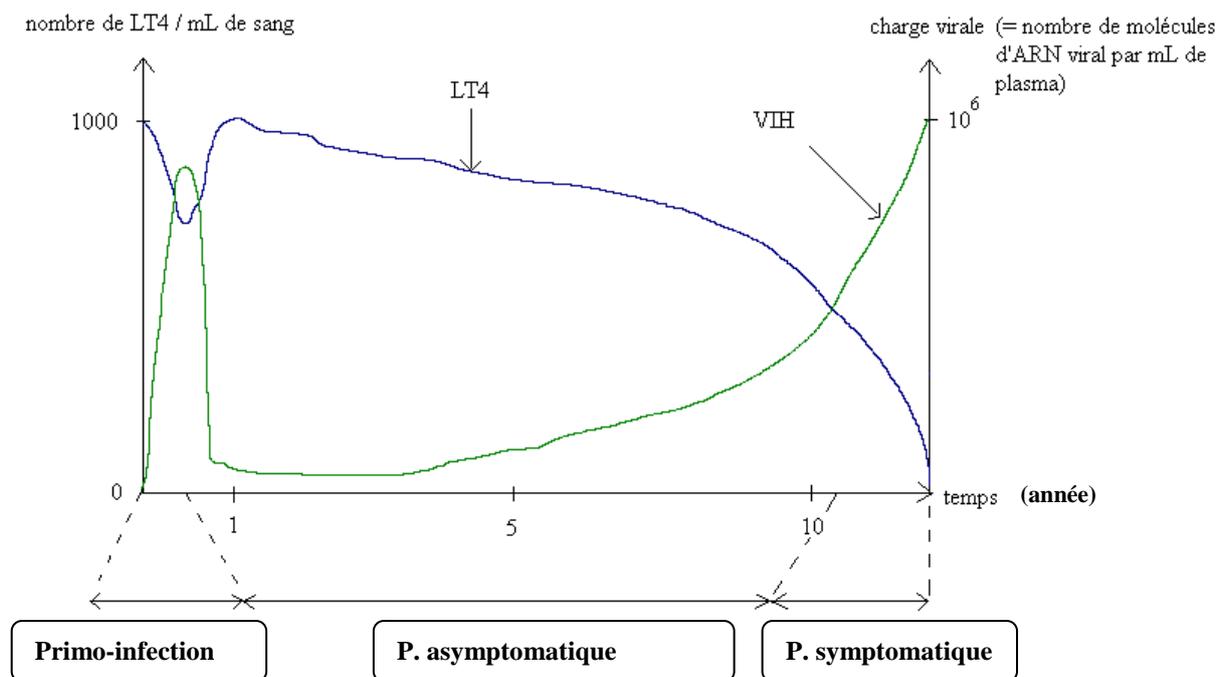
### III-3. L'infection à VIH

#### III-3-1. Mode de contamination

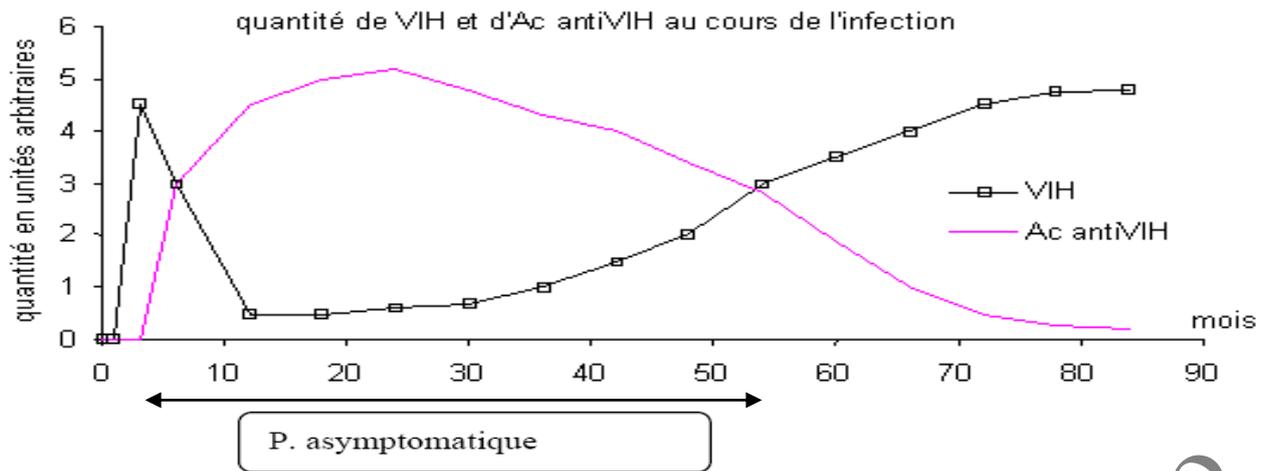
Il existe trois modes de transmissions : sexuel, sanguine et de la mère à l'enfant (au cours de l'accouchement ou pendant l'allaitement).

#### III-3-2. Evolution dans l'organisme

L'analyse des courbes de variation du nombre de LT4 et de la charge virale dans le sang en fonction du temps chez un sujet contaminé, montre l'existence de trois phases : la primo-infection, la phase asymptomatique et la phase symptomatique ou sida déclaré.



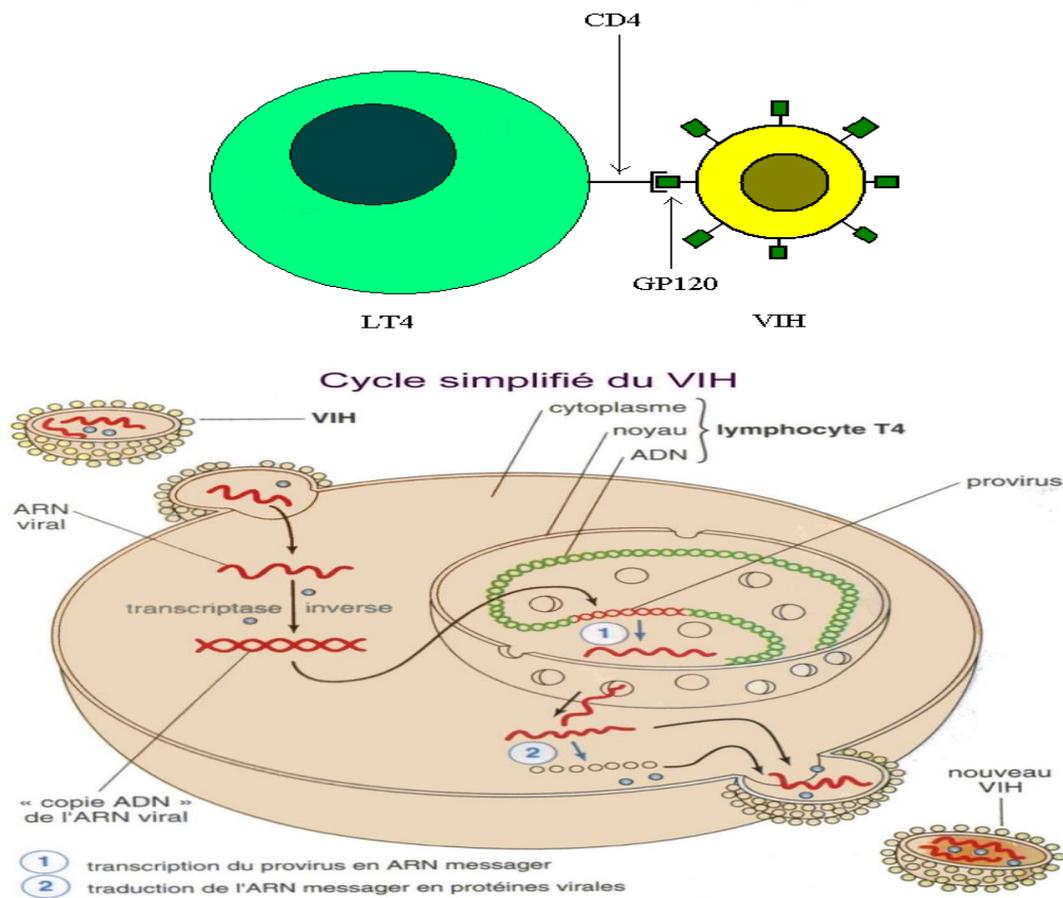
Courbes de variation du nombre de LT4 et de la charge virale dans le sang en fonction du temps chez un sujet contaminé



### Courbes de variation de du nombre de VIH et de la quantité d'anticorps anti-VIH en fonction

#### ➤ La primo-infection

Les LT4 ont un récepteur membranaire, appelé CD4, qui est reconnu par la protéine GP120 du VIH qui s'y fixe et pénètre dans le lymphocyte. La transcriptase réverse copie l'ARN viral en ADN qui s'intègre dans l'ADN de la cellule infectée. Le virus devient un provirus dans la cellule infectée. Il s'y reproduit et donne de nombreuses particules virales infectieuses, qui sont alors disséminées dans l'organisme entraînant une mort des LT4 infectés. (L'ADN du provirus peut aussi y rester sans s'exprimer pendant de nombreuses années).



#### ➤ Phase asymptomatique ou sida déclaré

Au cours de cette phase des anticorps Anti-VIH sont produits par le LTc en forte quantité pendant les 1ers mois, ainsi que le nombre de LT4, puis diminuent au fur du temps, alors que la quantité de VIH augmente. Donc pendant cette période asymptomatique de plusieurs années, les défenses immunitaires restent actives mais les virus se multiplient et le nombre de LT4 diminuent. En ce moment l'individu est « séropositif ».

➤ Phase symptomatique

Elle est caractérisée par une forte destruction des LT4 (ou des CD4) suite à la prolifération du VIH. Ce qui entraîne une baisse significative de la production d'anticorps. Le système immunitaire est affaibli et ne peut lutter efficacement contre des infections courantes. L'individu est atteint du SIDA lorsqu'il a déclaré une maladie opportuniste (pneumonies, tuberculose, cancer du tissu conjonctif, méningites...)

### III-4. Prévention du SIDA

Il n'y a toujours pas de vaccin ou de médicaments contre le sida, le seul moyen de l'éviter c'est la prévention avec l'abstinence, les préservatifs et la fidélité. Cependant, ils existent pour les personnes atteintes des antirétroviraux qui bloquent le développement du VIH pendant un certain temps.

## IV. LES AIDES A LA REPOSE IMMUNITAIRE

### IV-1. La vaccination ou la prévention

➤ Expériences et résultats

Pasteur réalise sur quatre lots de poules de 20 des injections de bactéries du choléra :

- Lot 1 : il injecte la bactérie virulente et toutes les poules meurent.
- Lot 2 : il injecte la bactérie dont la virulence est atténuée à l'étuve (37°C pendant plusieurs jours), aucune ne meurt, quelques jours après il injecte leur injecte le microbe virulent, 1/3 tombe malade, mais ne meurt pas.
- Le lot 3 : il injecte le microbe atténué, une semaine après il fait une 2<sup>nd</sup>e injection du microbe atténué. Toutes les poules survivent et il n'y a aucune qui tombe malade.

➤ Interprétation

- Lot1 : .....
- Lot2 : .....
- Lot3: .....

Conclusion : .....

### IV-2. La sérothérapie

Elle consiste à apporter à un organisme malade des anticorps (spécifiques à l'antigène responsable de cette maladie) synthétisés chez un animal ou une personne. Mais il y a un risque de contamination de virus.

### IV-3. La chimiothérapie

Elle consiste à utiliser des substances chimiques (naturelles ou synthétisée au laboratoire) dans des médicaments pour soit :

- attaquer directement l'antigène et le détruire,
- stimuler la production de lymphocytes spécifiques ou inhiber cette production.

NB : La **vaccination** est active, retardée, durable et spécifique, alors que la **sérothérapie** et la **chimiothérapie** sont passives, immédiates, passagères et spécifiques.

## CONCLUSION

Les systèmes immunitaires se complètent, mais présentent des limites contre certains antigènes dont le VIH. Il peut tolérer certains antigènes par la production d'anticorps **IgE** par les plasmocytes, ce qui provoque des réactions d'allergie. Le système immunitaire peut être également complètement dérégulé en produisant des anticorps contre le « soi » qu'ils attaquent et détruisent. Cependant, il peut être aidé à travers la vaccination, la sérothérapie et la chimiothérapie.

## 4<sup>ème</sup> PARTIE : REPRODUCTION

### THEME 9 : REPRODUCTION CHEZ LES MAMMIFERES

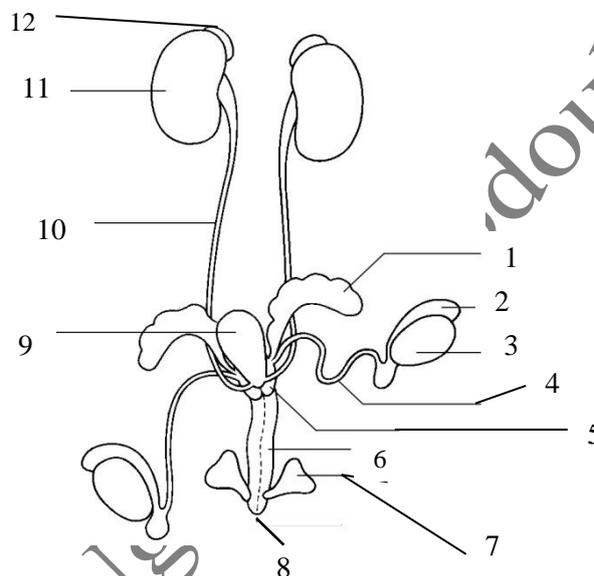
#### Leçon 13 : ORGANISATION DES APPAREILS GENITAUX MALE ET FEMELLE

##### INTRODCUTION

Les mammifères ont des appareils génitaux différenciés en fonction du sexe. Ainsi nous avons : les appareils génitaux mâle et femelle.

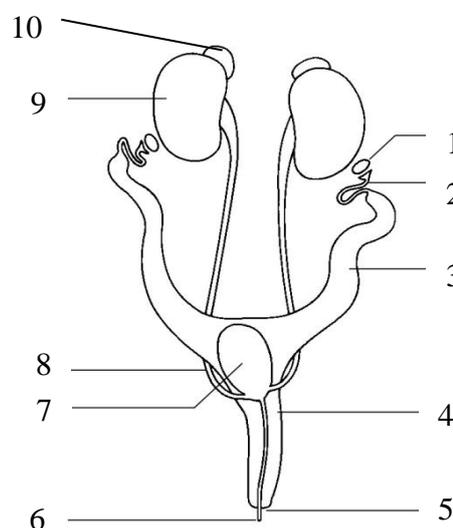
##### I- ORGANISATION DE L'APPAREIL GENITAL DE LA SOURIS

##### I-1. Organisation de l'appareil génital de la souris mâle



Document 1 :

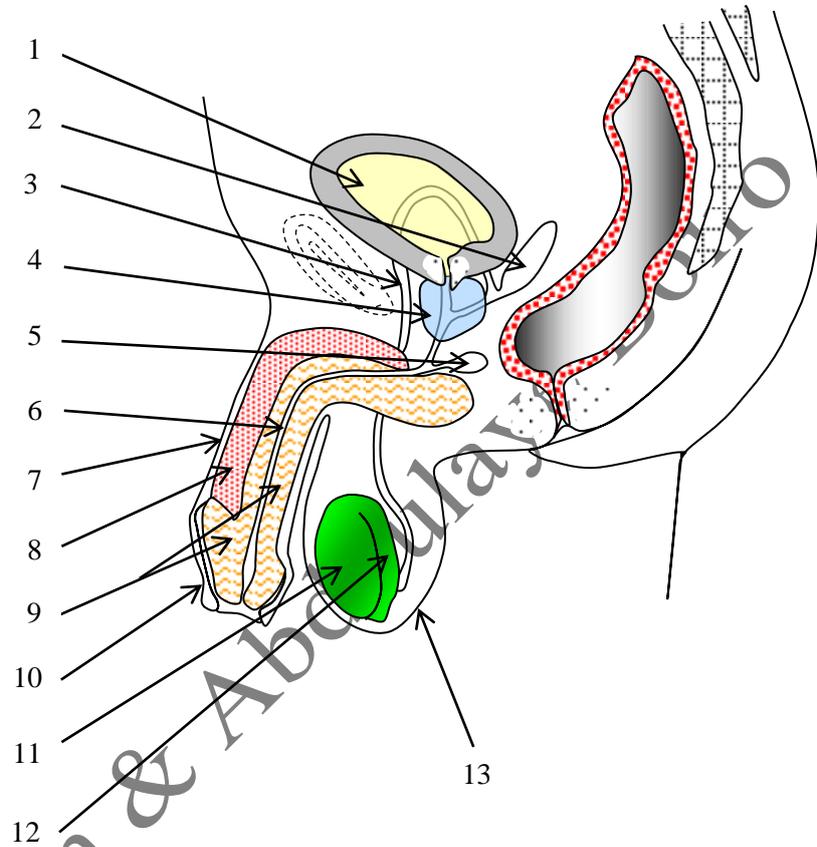
##### I-2. Organisation de l'appareil génital de la souris femelle



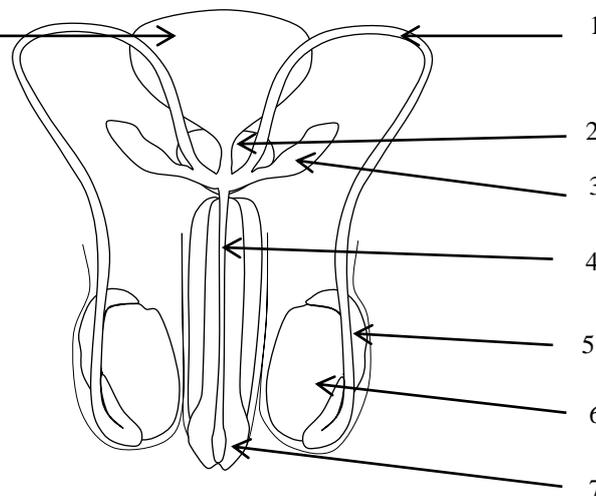
Document 2

## II- ORGANISATION DE L'APPAREIL GENITAL DE L'HOMME ET DE LA FEMME

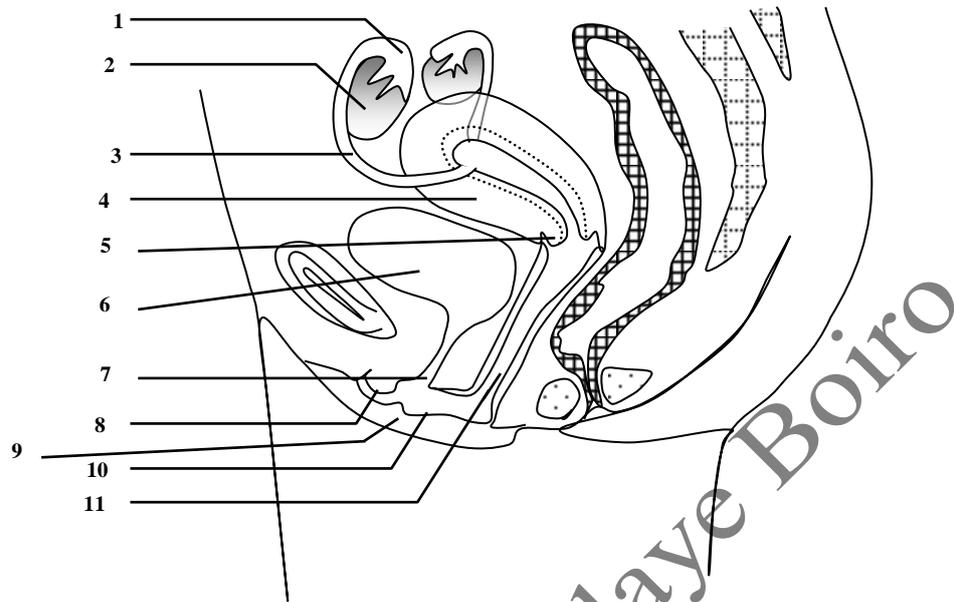
### II-1. Organisation de l'appareil génital de l'homme



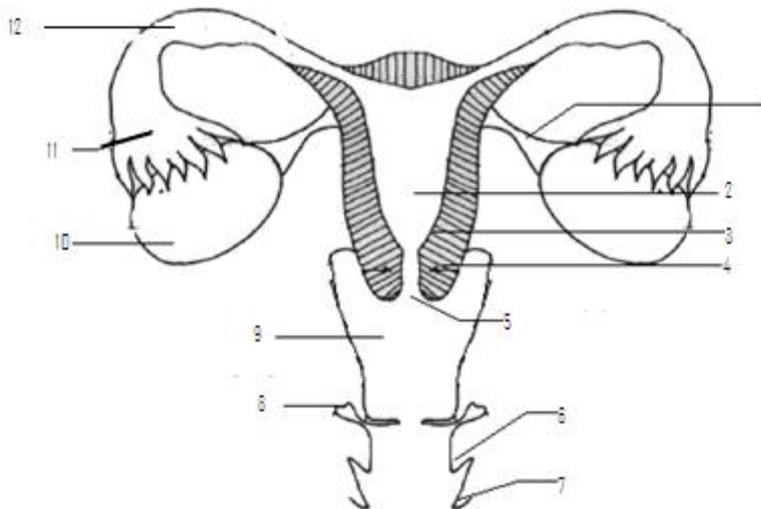
Document 3 :



### II-2. Organisation de l'appareil g Document 4 :



Document 5 :



Document 6 :

### III. TABLEAU RECAPITULATIF DE L'ORGANISATION DES APPAREILS GENTAUX MÂLE ET FEMELLE ET LEUR RÔLES

Fonction des organes reproducteurs	Noms des structures	
	Chez la femme	Chez l'homme
Organes producteurs de gamètes		
Voies conducteurs		
Organes d'accouplement ou copulateurs		
Glandes annexes		

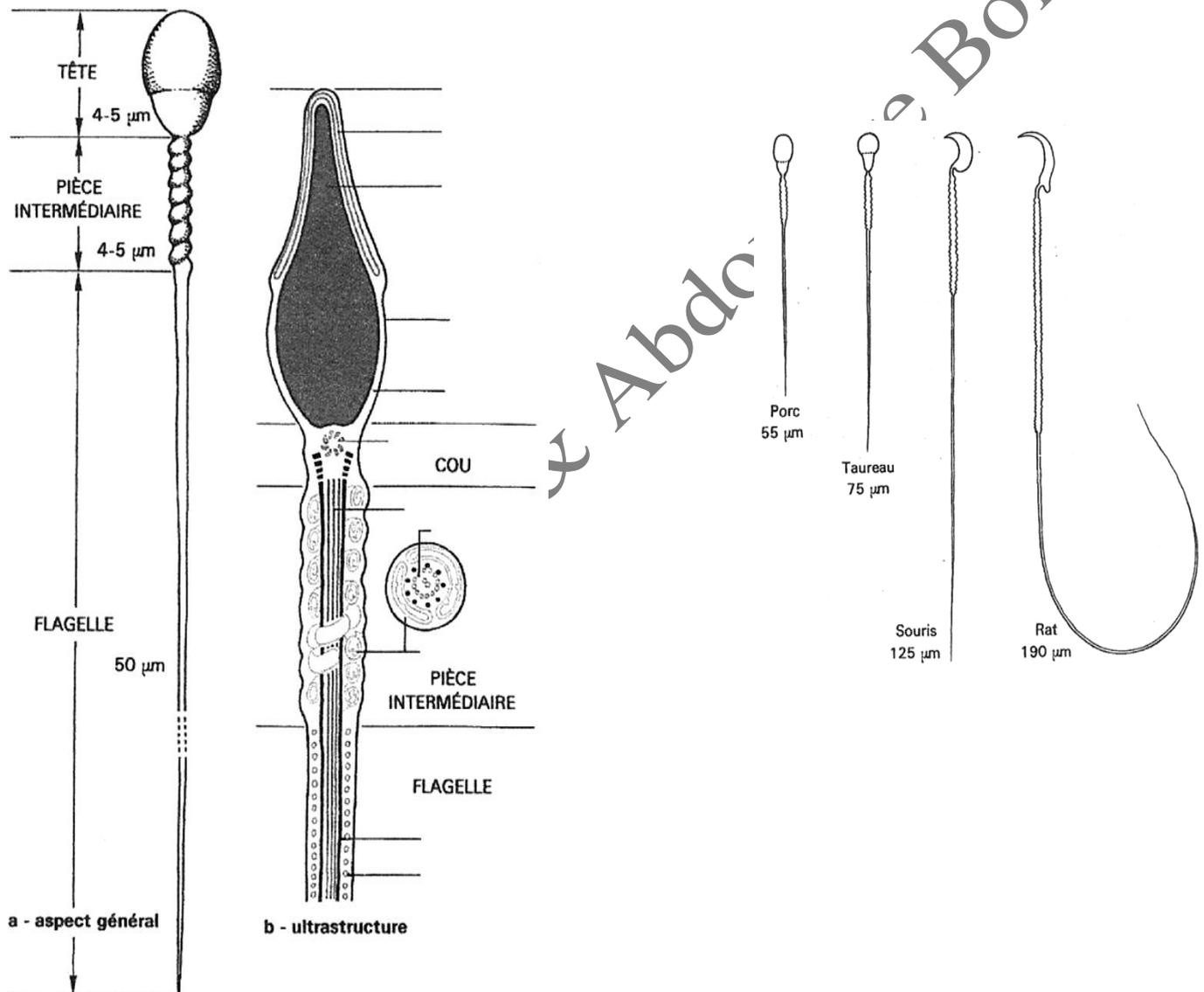
## Leçon 14 : FORMATION DES GAMETES MALES ET FEMELLES : GAMETOGENESE

### I. NOTION DE GAMETES

Un gamète est une cellule reproductrice capable de fusionner avec une autre cellule reproductrice du type complémentaire, pour donner un être vivant. Ce sont chez l'homme les spermatozoïdes et les ovules.

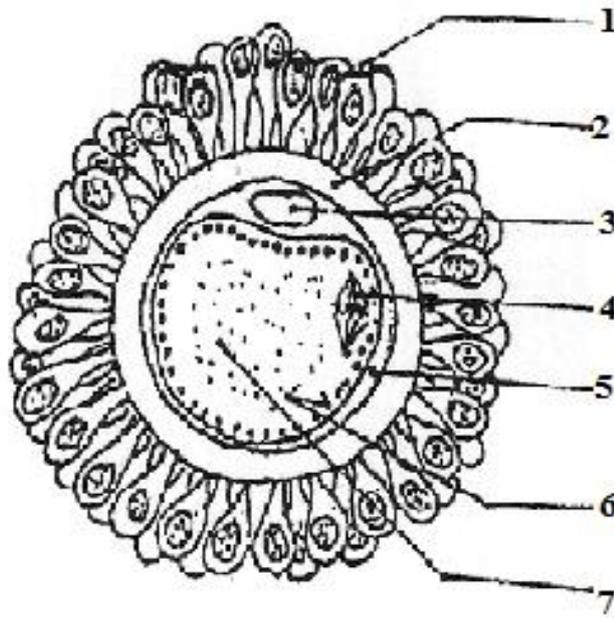
### II. Structure et caractéristiques des gamètes

Les spermatozoïdes sont formés d'une **tête** aplatie contenant un noyau, coiffée d'un « **sac** » contenant des enzymes, l'**acrosome**, d'une **pièce intermédiaire** riche en mitochondries (productrices d'énergie pour la locomotion) et d'un long **flagelle** servant à la locomotion du spermatozoïde.



Document 1 :

L'ovule humain est entouré de **cellules folliculaires**, d'une **zone pellucide**, d'une **membrane plasmique** délimitant un **cytoplasme** dans lequel se trouvent des **granules corticaux** proches à la membrane et un noyau en division bloqué en **métaphase II**. Il présente le **premier globule polaire**



Document 2 :

Tableau comparatif du spermatozoïde et de l'ovule

Caractères	Spermatozoïde	Ovule
Taille		
Cytoplasme		
Réserves		
Mobilité		
Structure originale		
Métabolisme		
Nombre émis		

### III. Notion de gamétogenèse

C'est le processus de formation des gamètes (spermatozoïdes et ovules). Elle s'appelle **spermatogenèse** quand les gamètes formés sont des spermatozoïdes (se déroule dans les testicules) et **ovogenèse** quand les gamètes produits sont des ovules (se déroule dans les ovaires).

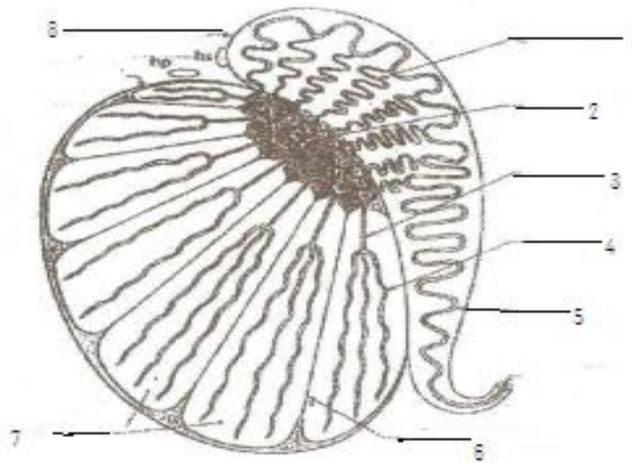
#### III-1. Spermatogenèse

##### III-1-1. Structure macroscopique et microscopique du testicule

###### a- Structure macroscopique

Sur le plan macroscopique le testicule est constitué :

- De **lobes testiculaires** séparés par des **cloisons interlobulaires** dans lesquels se trouvent des **tubes séminifères** qui s'unissent à leur extrémité pour donner le **tube droit**, la rencontre de ces **tubes droits** forme le **réseau de Haller**.
- D'un **épididyme** contenant le **canal de l'épididyme** relié au **réseau de Haller** et qui est prolongé par le **canal déférent**.



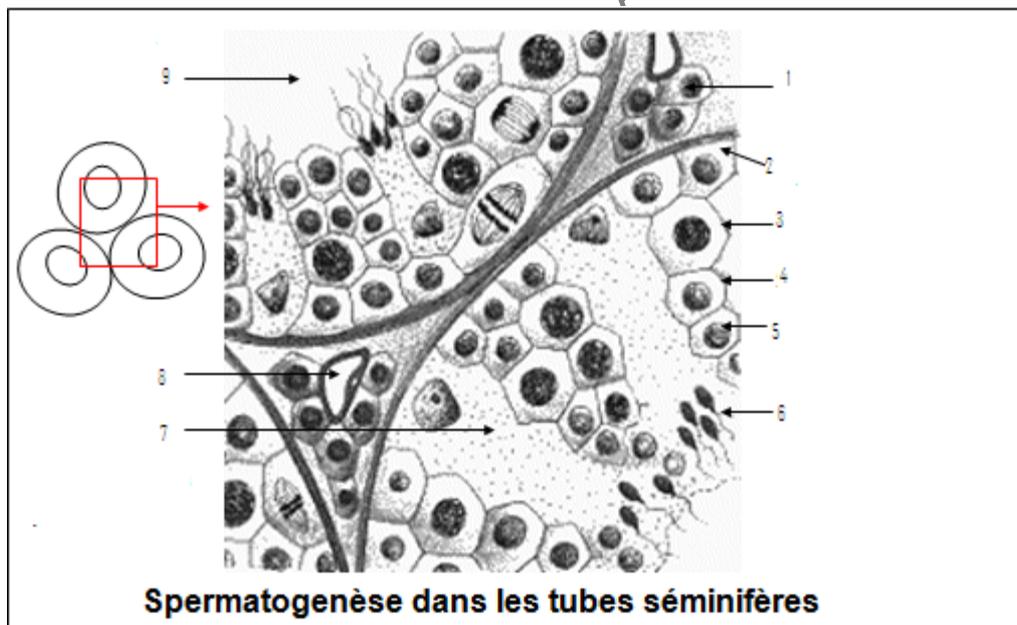
### Document 2 :

#### b- Structure microscopique du testicule

L'observation microscopique du testicule montre :

- Un **tissu conjonctif** délimitant les **tubes séminifères** (dont la **lumière** est absente avant la puberté), dans lesquels se trouvent des **cellules de la lignée germinale** et des **cellules de Sertoli** (rôle nutritif des cellules sexuelles) ;
- Des **cellules de Leydig** ou **cellules interstitielles** et des **vaisseaux sanguins** situés entre les tubes séminifères.

Les cellules de la **lignée germinales** sont successivement de la périphérie vers la lumière : les **spermatogonies** (**cellules souches**), les **spermatocytes I**, les **spermatocytes II**, les **spermatides** et les **spermatozoïdes**.



#### IV-1-2. Stades de la spermatogenèse

La spermatogenèse se déroule en **4 stades** :

##### ➤ Multiplication

Des **spermatogonies souches** à **2n** chromosomes subissent une succession de mitoses donnant plusieurs cellules de petite taille, les **spermatogonies** (**2n** chromosomes).

##### ➤ Accroissement

Ces **spermatogonies** augmentent de taille en accumulant des réserves et deviennent des **spermatocytes I** (**2n** chromosomes).

### ➤ Maturation

Elle correspond à la méiose qui se fait en 2 étapes :

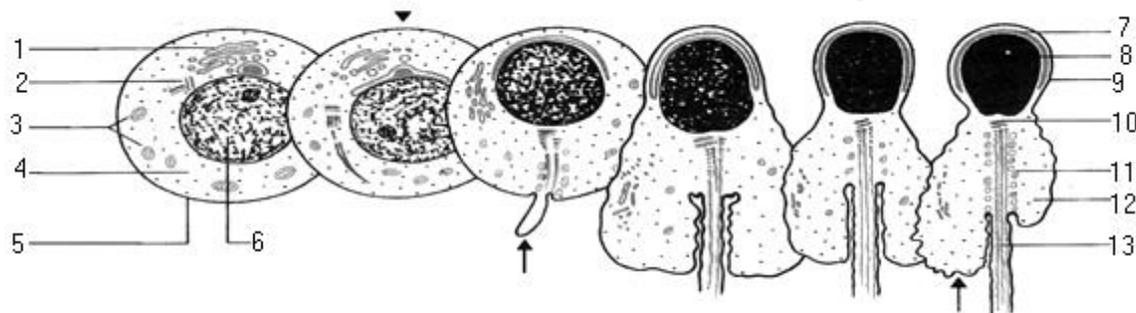
- Une 1<sup>ère</sup> division réductionnelle des **spermatocytes I** (2n) donnant deux **spermatocytes II** (n).
- Une 2<sup>ème</sup> division équationnelle de chaque **spermatocyte II** donnant 4 **spermatides** (n).

### ➤ Différenciation

Chaque **spermatide** se transforme pour donner un **spermatozoïde**, c'est la **spermiogenèse**.

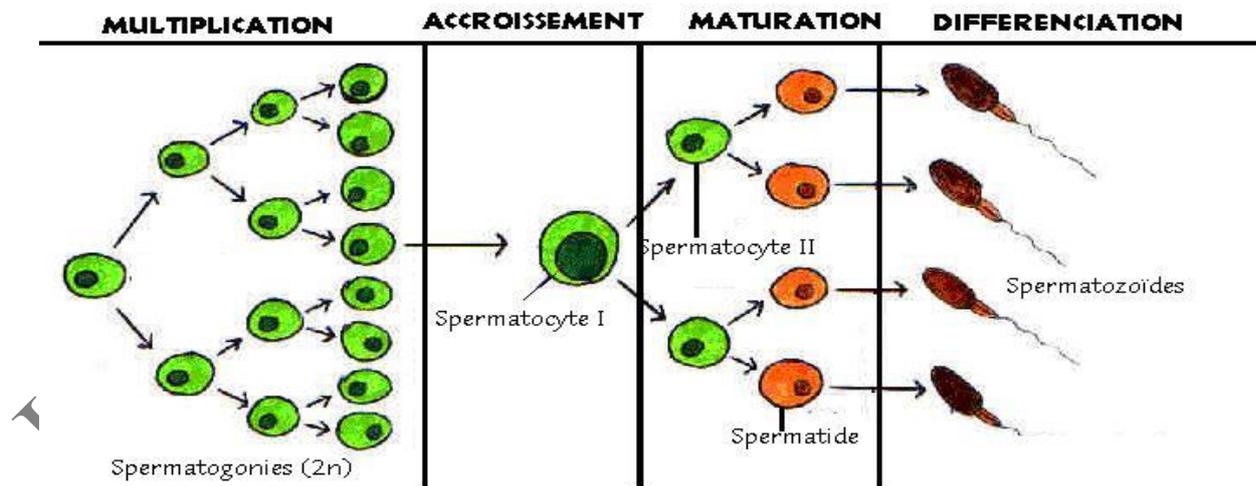
Au cours de la **spermiogenèse** on note :

- Le cytoplasme s'étire et le **centriole distal** élabore un **flagelle** ;
- Des **vésicules golgiens** s'associent pour donner l'**acrosome** ;
- La **chromatine** se condense et le **noyau** diminue de volume ;
- Les **mitochondries** se regroupent à la base du flagelle pour donner la **pièce intermédiaire** ;
- La perte d'une partie du **cytoplasme** et de l'**appareil de Golgi**.



Document 3 :

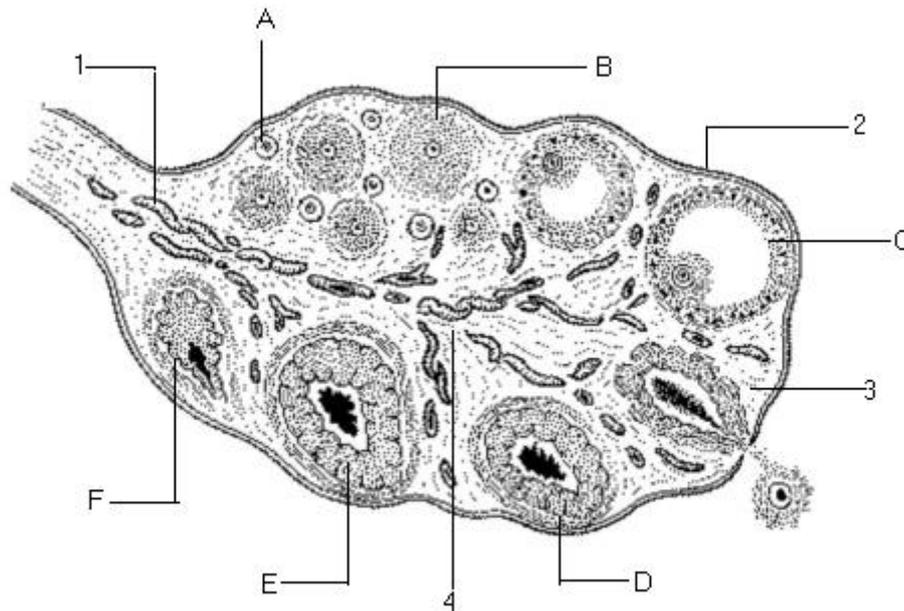
NB : C'est la fonction exocrine du testicule.



## IV-2. Ovogenèse

### IV-2-1. Structure macroscopique et microscopique de l'ovaire

De l'extérieur vers l'intérieur, l'ovaire présente un **épithélium de revêtement**, une **zone corticale** où se développent des **follicules** et le **corps jaune** et une **zone médullaire** riche en **vaisseaux sanguins** et en **nerfs**.



Document 4 :

#### IV-2-2. Stades de l'ovogénèse

L'ovogénèse se déroule en trois stades :

##### ➤ Multiplication

Pendant la vie embryonnaire de la fille, les **ovogonies souches** ( $2n$ ) se multiplient par des mitoses successives pour donner plusieurs **ovogonies** ( $2n$ ). Ces mitoses s'arrêtent vers la **15<sup>ème</sup> semaine** de vie utérine et les **ovogonies** sont environ 7 millions.

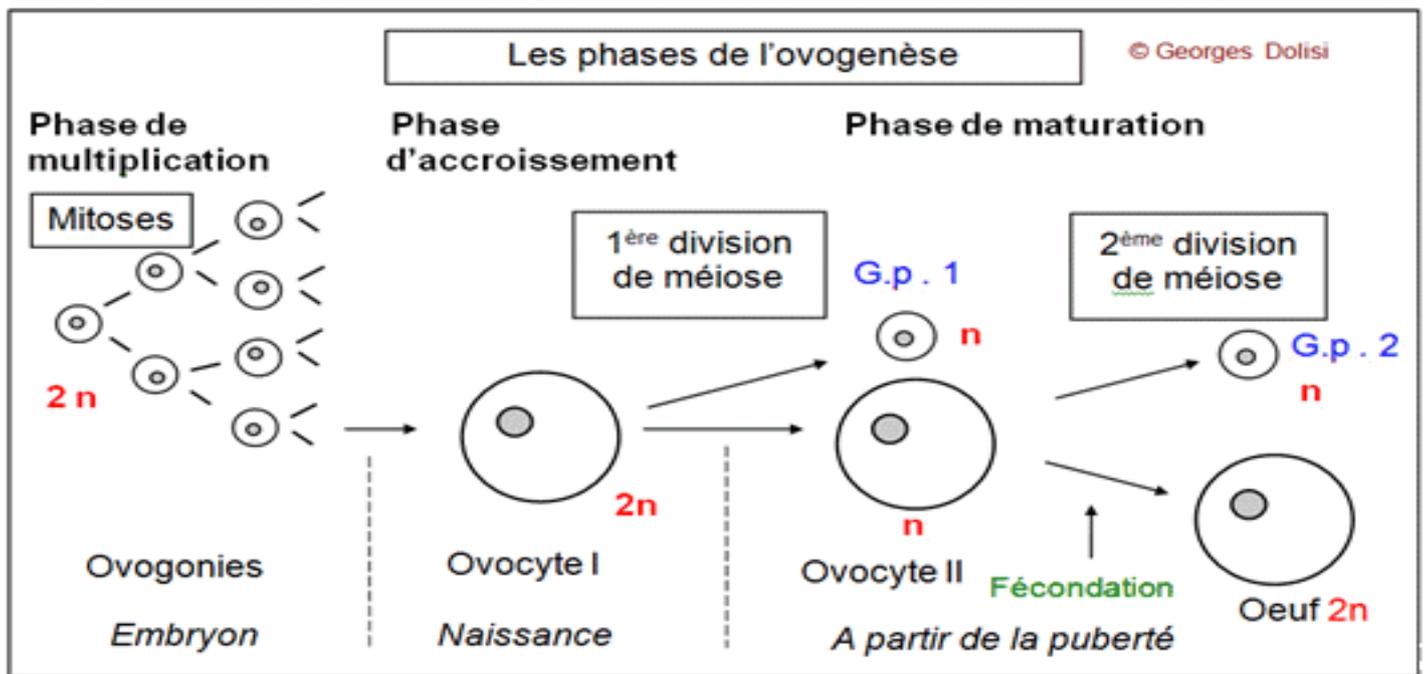
##### ➤ Accroissement

Les **ovogonies** (diamètre  $30\mu\text{m}$ ) accumulent des réserves (**vitellus**) et augmentent de taille pour donner des **ovocytes I** ( $2n$ ) (diamètre de  $140\mu\text{m}$ ). Ces derniers entrent en **prophase I** de la **méiose I**, mais restent bloqués à ce stade jusqu'à la puberté. Ils s'entourent de cellules folliculaires pour donner des **follicules**. Avant la naissance il se produit une dégénérescence d'un grand nombre de **follicules** jusqu'à la puberté, c'est l'**atrésie folliculaire**.

##### ➤ Maturation

Elle débute à la puberté et se fait de façon cyclique, car tous les **ovocytes I** n'entrent pas en phase de maturation en même temps, mais seulement quelques-uns. En effet, à la puberté, certains **ovocytes I** poursuivent leur méiose qui était bloquée en **prophase I**, avec une division inégale qui donnera un **ovocyte II** ( $n$ ) et un **globule polaire** ( $n$ ) non viable. L'**ovocyte II** entre en 2<sup>ème</sup> phase de méiose, mais reste bloqué en **métaphase II**. Il est libéré lors de l'ovulation chez la femme.

La méiose ne s'achèvera qu'après la pénétration du spermatozoïde, pour donner un **ovotide** ( $n$ ) et un 2<sup>nd</sup> **globule polaire** ( $n$ ).



**V. Etude comparative de la spermatogenèse et de l'ovogenèse**

Nous avons schématiquement les mêmes phases, mais avec quelques différences :

- Au niveau de la spermatogenèse la multiplication est permanente depuis la puberté, alors que pour l'ovogenèse la multiplication se fait uniquement pendant la vie embryonnaire et produit un stock bien déterminé.
- La différenciation n'existe que dans la spermatogenèse.

	SPERMATOGENÈSE	OVOGENÈSE
<b>MULTIPLICATION</b> (mitoses)	<p>spermatogonies</p>	<p>ovogonies</p>
<b>ACCROISSEMENT</b>	<p>spermatocyte I</p>	<p>ovocyte I</p>
<b>MATURATION</b> (méiose)	<p>spermatocytes II</p> <p>spermatides</p>	<p>Période de repos</p> <p>ovocyte II</p> <p>ovotid</p> <p>globules polaires</p>
<b>DIFFÉRENCIATION</b>	<p>spermatozoïdes</p>	<p>ovule</p>

Déroutement continu à partir de la puberté

Avant la naissance (au cours de la vie embryonnaire)

Dès la puberté et pour quelques ovocytes au cours de chaque cycle

#### IV. Notion de méiose

Les cellules du corps possèdent  $2n$  chromosomes. Si les gamètes possédaient  $2n$  chromosomes, l'union d'un gamète mâle et d'un gamète femelle, lors de la fécondation, donnerait un œuf puis un individu à  $4n$  chromosomes. Le même phénomène se reproduirait aux générations suivantes et engendrerait des individus à  $8n$ ,  $16n$ , etc. Ce qui va à l'encontre de ce qu'on observe puisque les générations successives ont toutes  $2n$  chromosomes.

Il faut donc un mécanisme compensateur de la fécondation. C'est au cours de la méiose qu'il intervient.

.....

.....

.....

.....

##### IV-1. Mécanisme de la méiose

###### a) Première division méiotique ou division réductionnelle

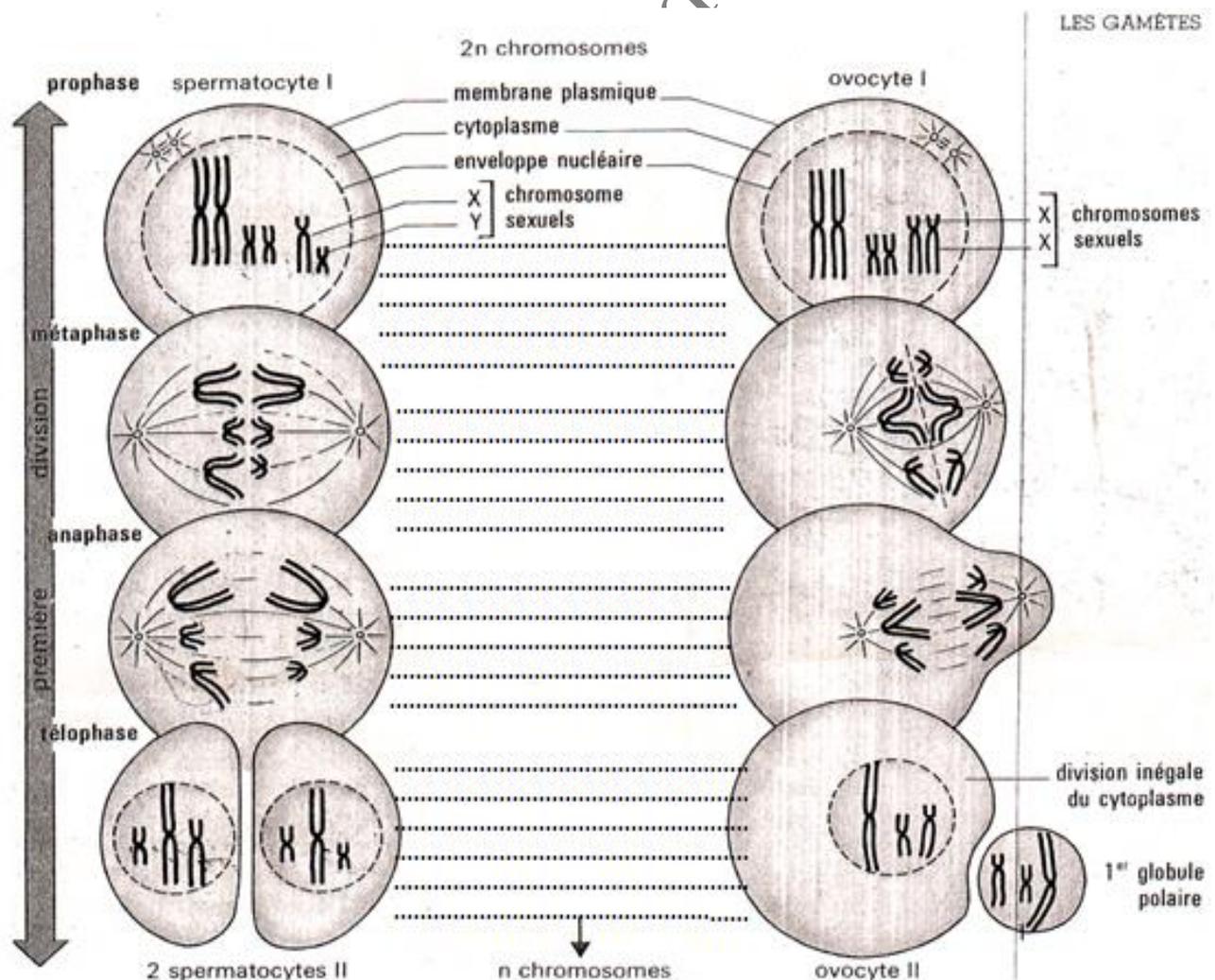
Bilan de la première division

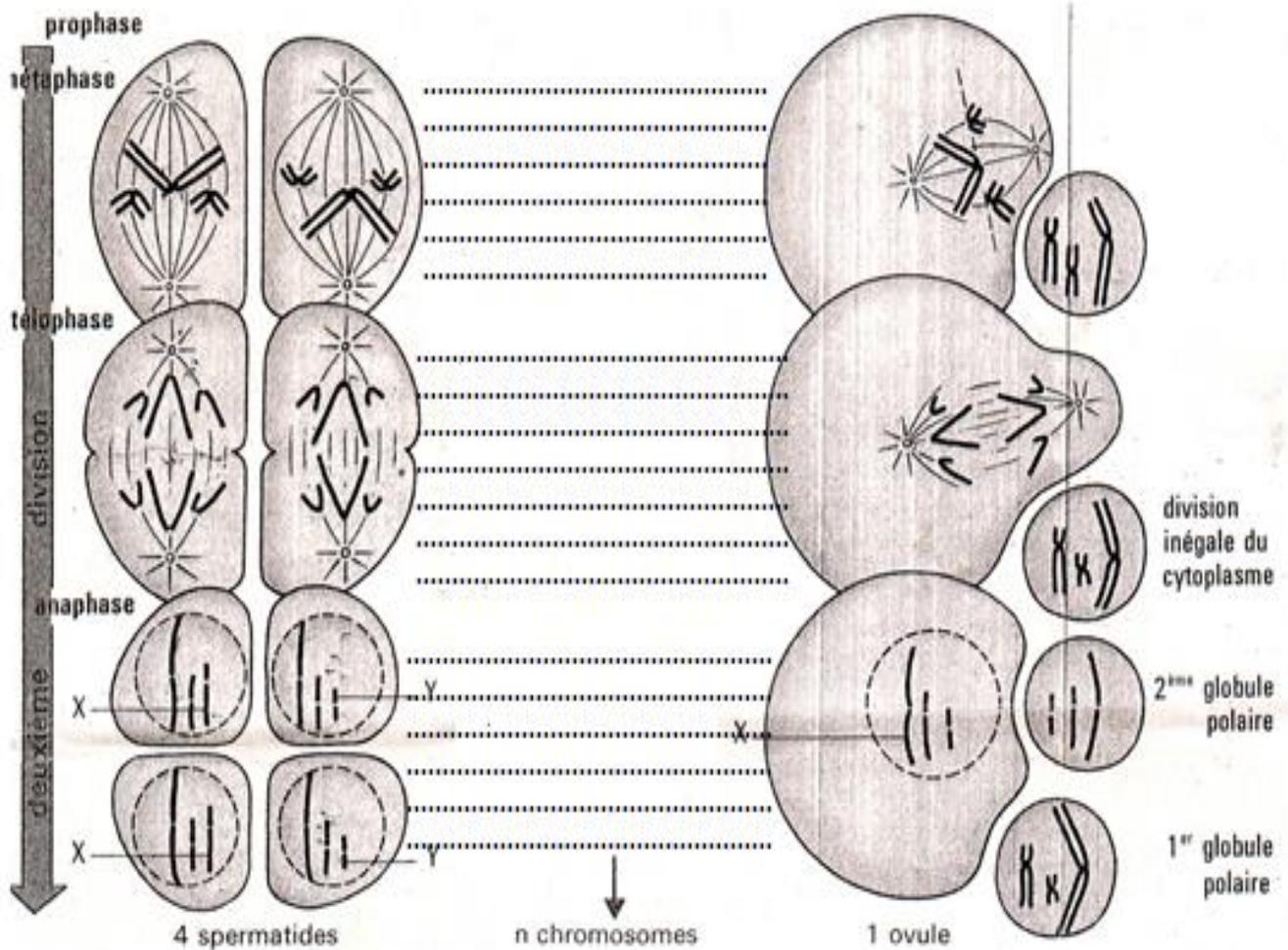
Une souche de gamètes à  $2n$  chromosomes en fin de mitose donne 2 cellules haploïdes à  $n$  chromosomes.

###### b) Deuxième division méiotique ou division équationnelle

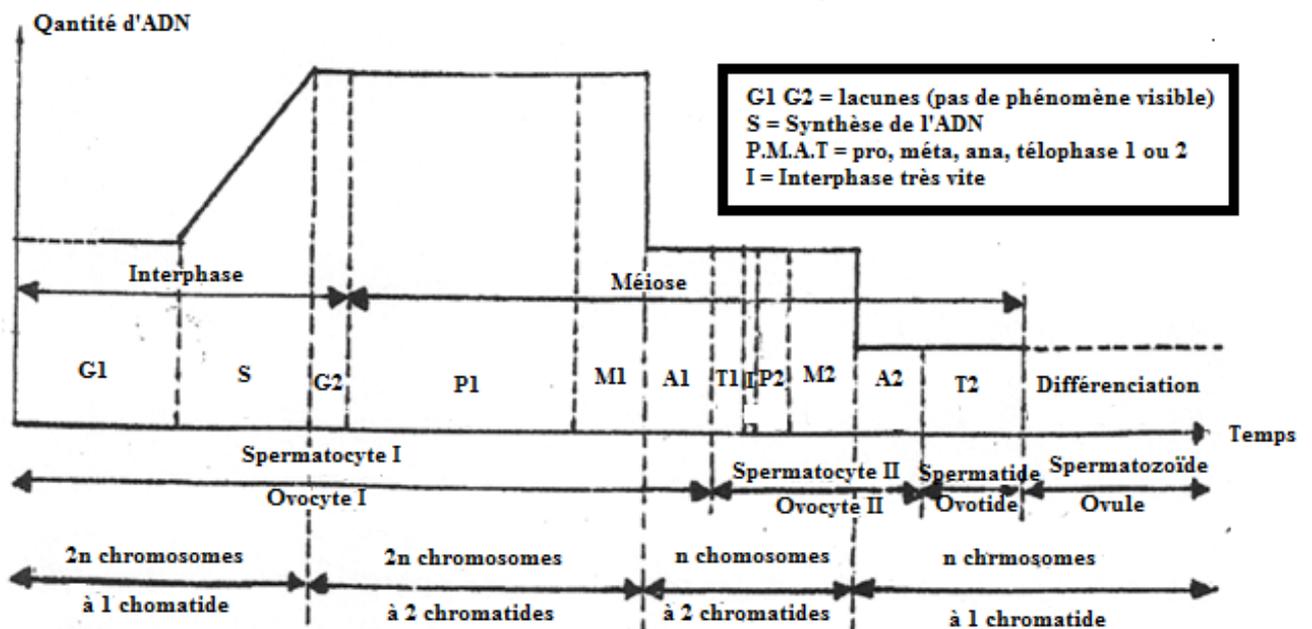
Bilan de la deuxième division

Les deux cellules haploïdes issues de la première division donnent chacune 2 autres cellules comportant chacune  $n$  chromosomes, donc cette division assure simplement la séparation des chromatides.





IV-2. Evolution de la quantité d'ADN au cours de la méiose



### Résultats de la méiose

- Chez l'homme à partir d'un spermatocyte I, on obtient 4 spermatozoïdes.
- Chez la femme à partir d'un ovocyte I, on obtient un ovotide et deux globules polaires qui sont généralement phagocytés par l'ovotide.

### IV-3. Importance de la méiose

#### a) Du point de vue quantitatif

Elle est beaucoup moins importante que la mitose puisqu'elle ne se produit que dans la lignée cellulaire aboutissant aux gamètes.

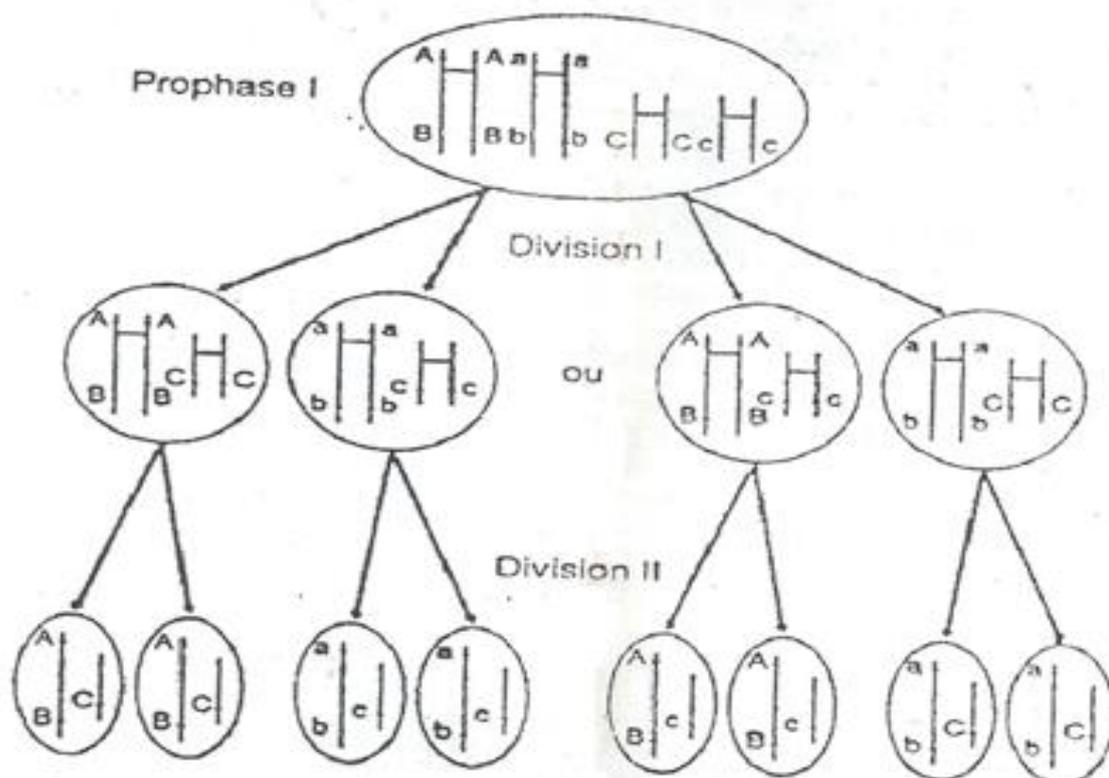
#### b) Du point de vue qualitative

Elle équilibre la fécondation quant au nombre de chromosomes et permet ainsi de maintenir le nombre de chromosomes à  $2n$  dans toutes les cellules œufs d'une même espèce.

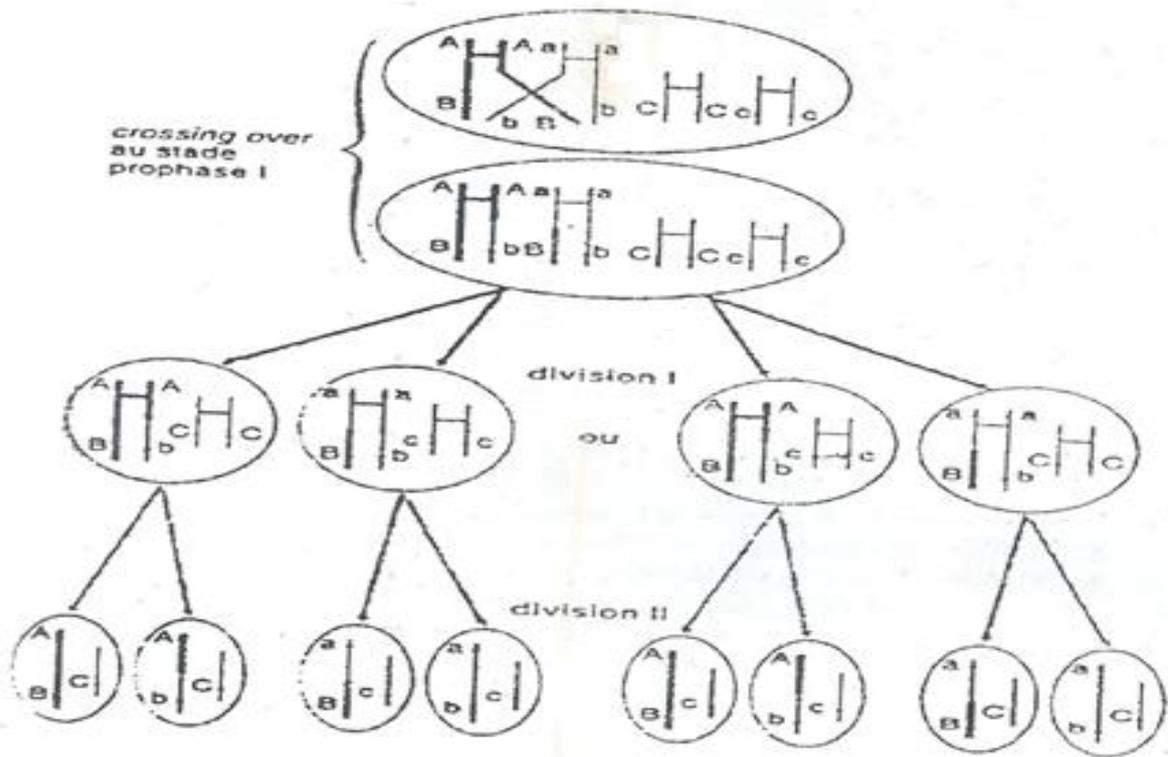
Elle disjoint les couples de chromosomes homologues constitués chacun d'un chromosome maternel et d'un chromosome paternel pendant l'anaphase I et répartit ces derniers au hasard dans les cellules filles (donc des gamètes), jouant ainsi un rôle essentiel dans l'hérédité : c'est la ségrégation aléatoire des chromosomes. Ainsi, le nombre de combinaison est très élevé  $2^n$ ,  $n$  étant le nombre de paires de chromosomes.

Exemple, chez l'homme :  $2^n = 2^{23} = 8.388.608$  gamètes également probables

La méiose assure ainsi un **brassage inter-chromosomique**. Par opposition, on qualifie de **brassage intra-chromosomique** les échanges de fragments de chromosomes se réalisant lors de la prophase I et de l'anaphase I (crossing-over).



Brassage inter-chromosomique



Brassage intra- chromosomique

Khady Ngom & AL

## Leçon 15 : LA FOLLICULOGENESE

### Introduction

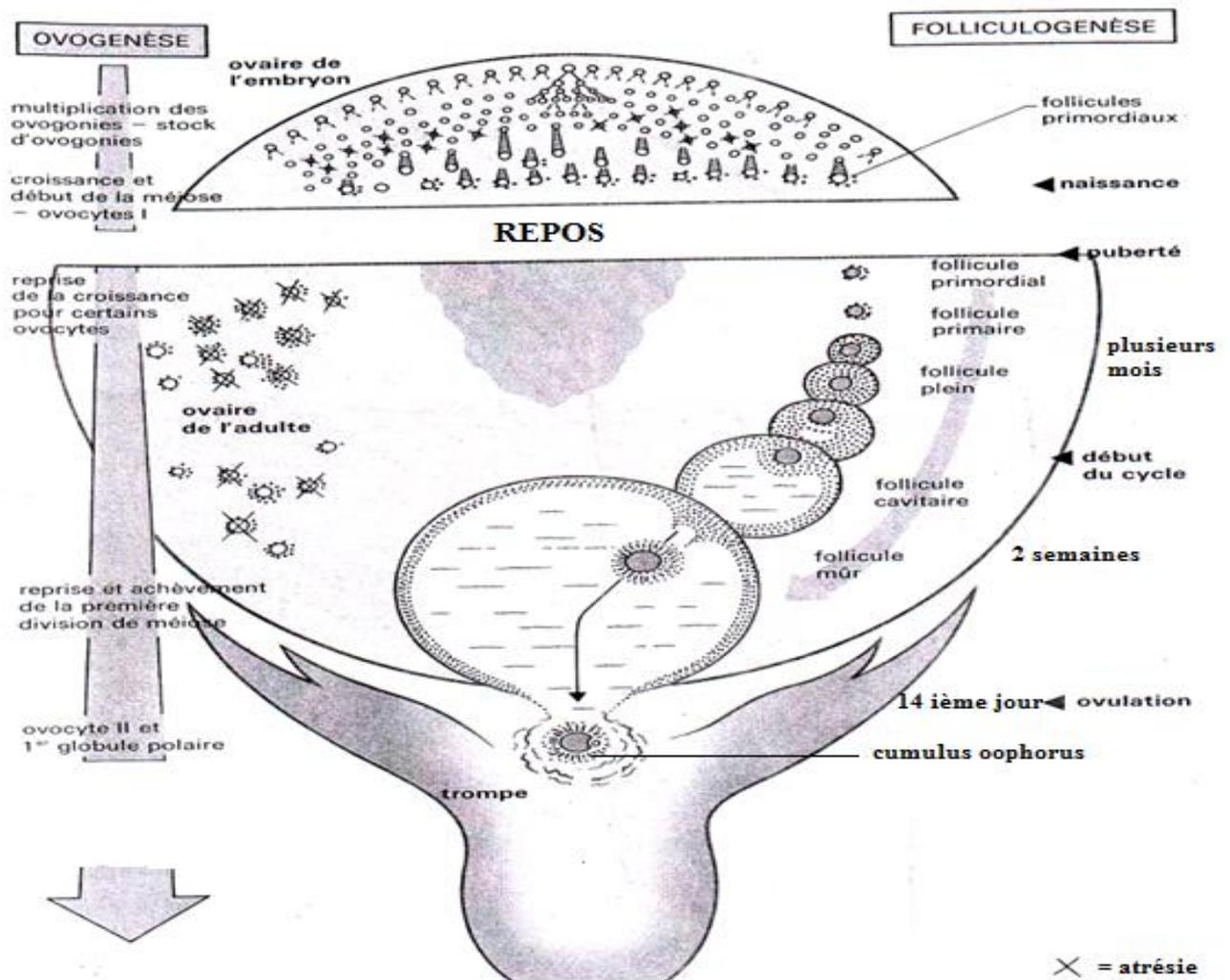
La folliculogénèse est le processus de formation des follicules dans lesquels se déroule la gamétogénèse. Elle se produit dans l'ovaire très tôt durant la vie embryonnaire à partir des follicules primordiaux et aboutit après la libération du gamète femelle à la formation du corps jaune dont le devenir dépend de la fécondation ou non du gamète.

### I. De la vie embryonnaire à la puberté

Pendant la vie embryonnaire, les ovocytes 1 en prophase 1 issus de l'accroissement des ovogonies, s'entourent de quelques cellules folliculaires pour former les follicules primordiaux. Un grand nombre de ces follicules dégénère, c'est l'**atrésie** folliculaire et à la naissance la fille contient un stock de follicules primordiaux présentant chacun un ovocyte 1 en prophase 1. Arrive ensuite un long temps de repos jusqu'à la puberté.

### II. De la puberté à la ménopause

Au cours de chaque cycle, un certain nombre de follicules primordiaux s'engage dans un processus de maturation, mais un seul atteint généralement le stade ultime de maturité. Cette évolution se fait en même temps que la gamétogénèse.



Document 1 :

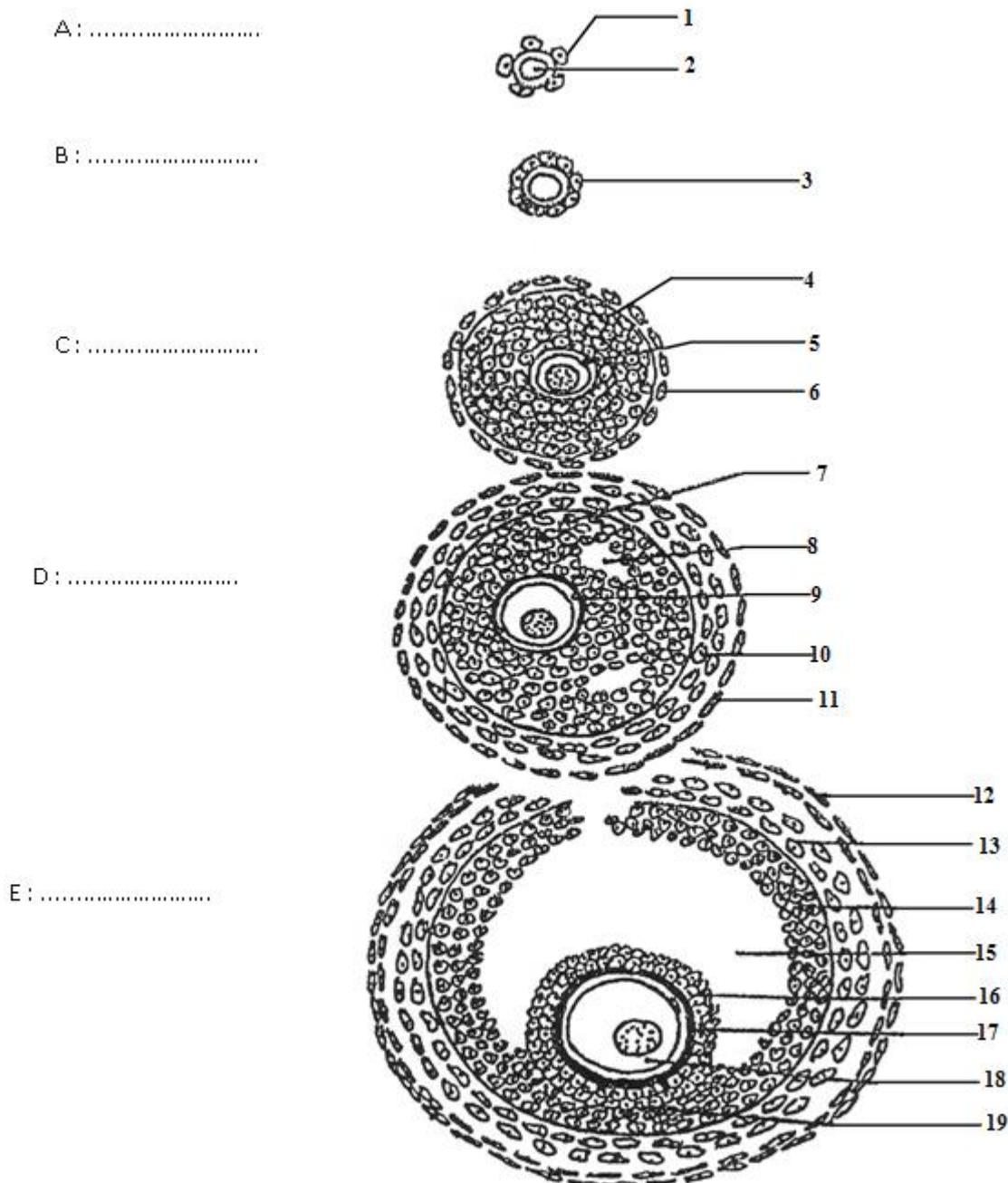
## II-1. Follicules primaires, secondaires et tertiaire

Les follicules primordiaux engagés dans un processus de maturation s'entourent d'une couche de cellules folliculaires jointives et deviennent des follicules primaires.

Ces follicules primaires évoluent en s'entourant de plusieurs couches de cellules folliculaires formant ainsi la granulosa et autour de la granulosa, des cellules de l'ovaire s'organisent pour former la thèque externe fibreuse et la thèque interne granuleuse. On obtient des follicules secondaires.

La granulosa des follicules secondaires se creuse par la suite pour former une cavité, l'antrum, remplie d'un liquide folliculaire. On obtient ainsi des follicules tertiaires ou cavitaires.

Cette évolution, allant du follicule primaire au follicule tertiaire, dure plusieurs mois et l'ovocyte reste un ovocyte 1 en prophase 1.



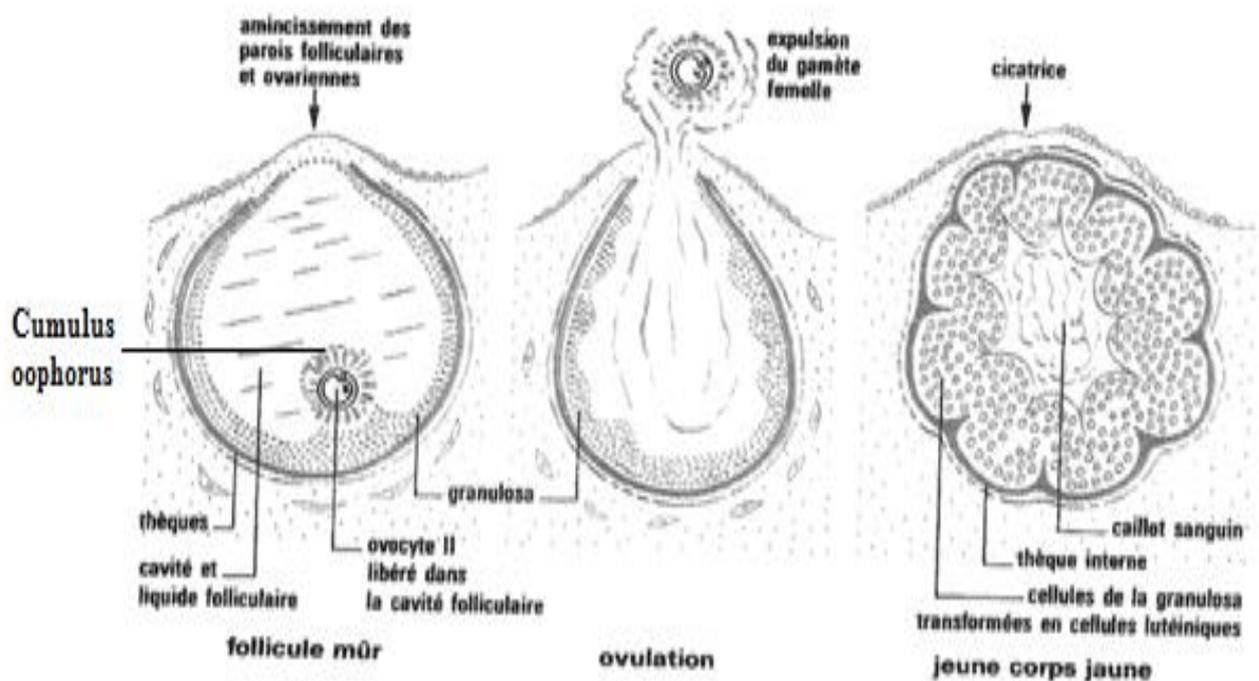
Document2 :

## II-2. Follicule mûr de De Graaf et corps jaune

Au cours de chaque cycle, un des follicules tertiaires ou cavitaires voit le nombre de ses cellules folliculaires augmenter et son antrum se remplir de plus en plus de liquide folliculaire. Le follicule cavitaire augmente ainsi considérablement de taille, en passant d'environ 4 mm à 20 mm de diamètre en 2 semaines, pour donner ainsi le follicule mûr de De Graaf.

Vers le 14<sup>e</sup> jour du cycle, la pression exercée par le liquide folliculaire provoque la rupture des parois de l'ovaire et du follicule mûr et l'expulsion du gamète (ovocyte 2 bloqué en métaphase 2), c'est l'ovulation. 48 heures avant l'ovulation, l'ovocyte 1 en prophase 1, reprend la méiose pour donner un ovocyte 2 en métaphase 2 et un globule polaire le tout entouré d'une couronne de cellules folliculaires, le cumulus oophorus.

Après l'ovulation, la formation du corps jaune se fait à partir du reste du follicule dont les cellules folliculaires se chargent d'un pigment jaune appelé lutéine et deviennent des cellules lutéales. S'il y a fécondation il reste et se développe (pendant 3 à 4 mois), il est appelé alors corps jaune gravidique ou gestatif. S'il n'y a pas fécondation il dégénère en laissant une cicatrice.



### Document 3 :



### Conclusion

La gamétogenèse chez la femme s'accompagne d'une folliculogenèse. Le développement des follicules débute avant la naissance et se déroule avec plusieurs interruptions, jusqu'à la ménopause. Le stade ultime de l'évolution d'un follicule est l'obtention d'un corps jaune dont le devenir dépend de la fécondation ou non du gamète.

## Leçon 16 : LA FECONDATION

### I. Notion de fécondation

#### 1. Les étapes de la fécondation

##### a) La migration des gamètes

##### a1. L'attente du gamète femelle :

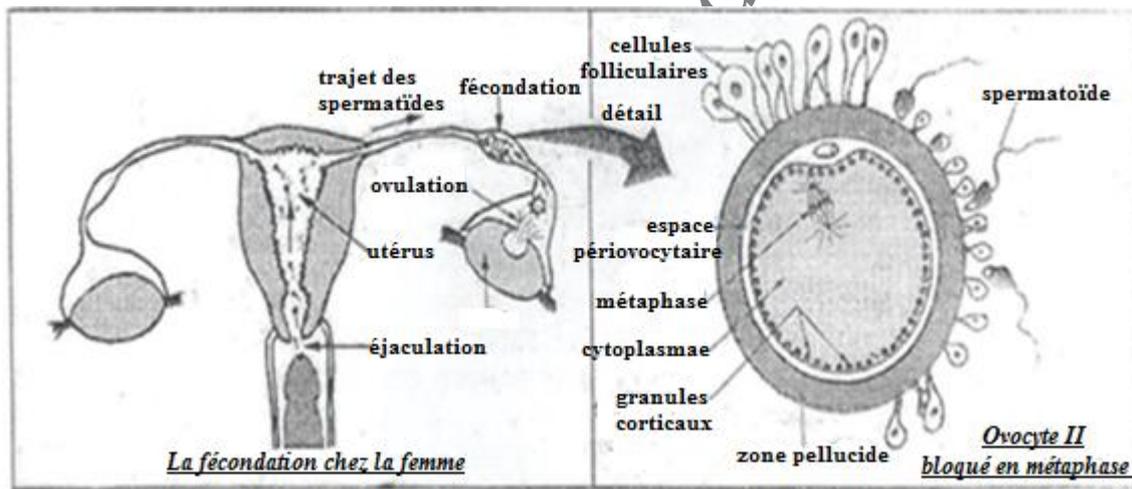
Lors de l'ovulation, la masse visqueuse contenant l'ovocyte est recueillie par le pavillon de la trompe, entonnoir souple, tapissé de cils vibratiles. Poussé par les mouvements des cils et les contractions péristaltiques, le gamète est transporté rapidement jusqu'à l'ampoule.....

##### a2. La longue marche des spermatozoïdes

Lors de l'éjaculation, 300 millions de spermatozoïdes sont déposés dans le vagin de la femme. Leur mobilité permet aux spermatozoïdes de s'engager dans la glaire cervicale, mucus fluide à mailles lâches laissant passer les spermatozoïdes en sélectionnant les plus mobiles. C'est également au cours de ce passage que les spermatozoïdes sont lavés et débarrassés du liquide séminal et sont éliminés les spermatozoïdes anormaux ou immobiles.

Moins de 1% des spermatozoïdes réussissent à traverser la glaire cervicale. Les spermatozoïdes rescapés arrivent dans la cavité utérine et s'engagent dans les trompes. Leur ascension est favorisée par les contractions de l'utérus et des trompes.

Au cours de ce parcours, l'enveloppe protéique revêtue lors du transit dans l'épididyme est éliminée lentement, rendant le spermatozoïde fécondant :..... Elle se réalise au contact des sécrétions des voies génitales femelles, au voisinage de l'ovocyte.



##### b) La rencontre des gamètes

La rencontre des gamètes se déroule dans l'ampoule de la trompe du côté de l'ovaire qui a ovulé.

##### b1. Piégeage des spermatozoïdes

Les spermatozoïdes sont piégés par la masse visqueuse qui entoure l'ovocyte et ramenés au voisinage de celui-ci par la rétraction des cellules folliculaires.

##### b2. l'entrée du spermatozoïde

L'accolement avec la zone pellucide déclenche la libération des enzymes contenues dans l'acrosome :..... Grâce aux actions enzymatiques et à la propulsion de son flagelle, le spermatozoïde traverse la zone pellucide et pénètre dans l'espace péri-ovocyttaire. Il s'unit ensuite tangentiellement à la membrane plasmique de l'ovocyte II puis s'enfonce entièrement dans le cytoplasme ovocyttaire.

La pénétration du spermatozoïde déclenche l'activation de l'ovocyte II qui libère le contenu des granules corticaux dans l'espace entre la zone pellucide et l'ovocyte. La substance libérée dans l'espace péri-vitellin rend alors la zone pellucide imperméable aux autres spermatozoïdes et empêche.....

La deuxième division méiotique, bloquée en métaphase depuis l'ovulation, reprend et se termine par l'émission d'un deuxième globule polaire : l'ovocyte est enfin devenu un ovule.

**b3. La formation et l'union des pronucléus**

Le noyau de l'ovule se reconstitue, gonfle et devient un pronucléus femelle. Le spermatozoïde abandonne son flagelle et sa pièce intermédiaire, son noyau gonfle progressivement et devient un pronucléus mâle.

Les deux pronucléus se rapprochent l'un de l'autre vers le centre de l'ovule. Les synthèses d'ADN préparant la division s'effectuent, puis les enveloppes des deux pronucléus se rompent, les chromatines paternelles et maternelles s'unissent :....., étape ultime de la fécondation.

L'œuf ou zygote, première cellule de l'embryon, est né.

**b4. Les conséquences de la rencontre des gamètes**

La caryogamie rétablit la diploïdie. Elle « réveille » le gamète féminin qui devient capable en particulier de se diviser. Elle assure la détermination chromosomique du sexe.

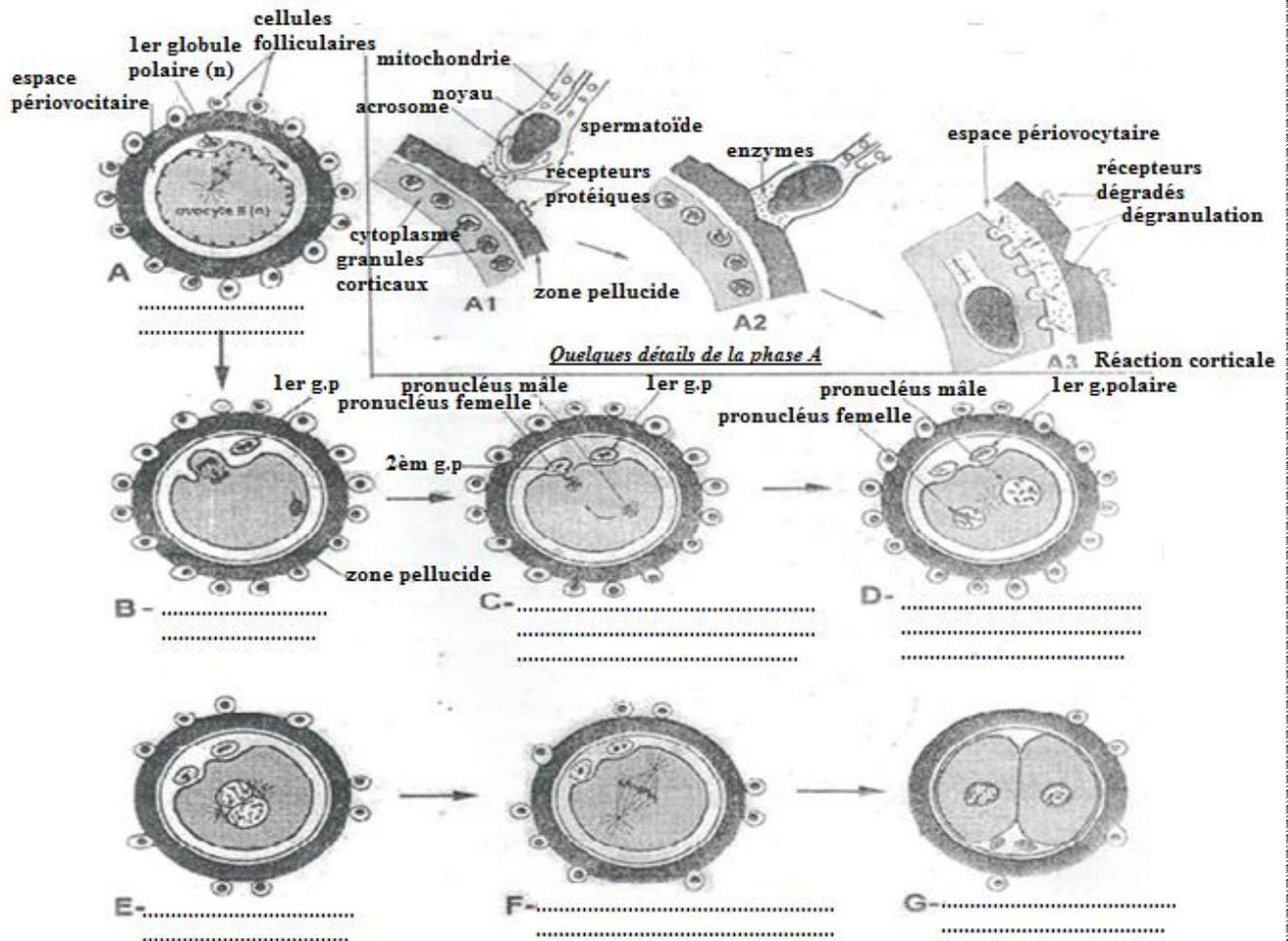
**2. Définition de la fécondation**

.....

.....

.....

.....



Document 1 :

## II. Les conditions de la fécondation

### 1. Conditions liées aux appareils génitaux

La fécondation nécessite l'intégrité des organes génitaux :

- Chez le mâle, les testicules et les spermatozoïdes doivent être fonctionnels. De même le pénis doit être érectile afin de déposer le sperme au fond du vagin.
- Chez la femme, l'ovaire doit produire un ovule, capté par le pavillon et déposé au 1/3 supérieur (ampoule) de l'oviducte qui est le lieu de rencontre avec les spermatozoïdes. Pour cela, les spermatozoïdes éjectés au fond du vagin doivent traverser normalement l'utérus pour arriver dans l'ampoule de l'oviducte.

### 2. Conditions liées aux gamètes

La fécondation nécessite la rencontre des gamètes normaux (mâle et femelle) :

- La mobilité des gamètes doit- être active ;
- Une bonne structure (forme, taille, poids, volume) des gamètes ;
- Un stock chromosomique normal.

### 3. Conditions liées à l'état général de l'organisme

- L'âge de procréation est d'environ 12 ans chez la fille et 14 ans chez le garçon ;
- Un bon état général.

## III. Quelques problèmes liés à la fécondation

### 1. Problèmes liés aux organes génitaux

#### a) Organes femelles

- L'obstruction des trompes : est le cas le plus fréquent. Il n'existe pas de médicament pour déboucher les trompes, seule la chirurgie est efficace dans 30 à 70% des cas. La cause généralement de ces obstructions est due à des infections ;
- L'endométriose : qui se caractérise par la présence de cellules de la muqueuse utérine (endomètre) dans les trompes ou dans l'ovaire, il en résulte, par un mécanisme mal élucidé, une stérilité qui nécessite l'ablation chirurgicale de ces ilots cellulaires ;
- Troubles de la réceptivité du sperme : si la glaire cervicale est absente ou infectée, l'ascension des spermatozoïdes se fait mal. Dans d'autres cas, la glaire est apparemment, pour des raisons immunologiques, hostile aux gamètes du conjoint.

#### b) Organes mâles

- Obstruction du spermatozoïde : qui peut être congénitale ou acquise, entraînant l'absence de spermatozoïdes dans le sperme ou .....
- La production insuffisante de spermatozoïdes ou .....
- Un pénis mal fonctionnel (non érectile)

### 2. Problèmes liés aux gamètes

#### a) Mobilité et structure des spermatozoïdes

La mobilité peut être affectée par diverses perturbations, or la qualité du mouvement spermatique est aussi importante que le nombre : certaines anomalies de structures décelées au microscope électronique (2 flagelles, 2 têtes, grosse tête, petite tête...) expliquent certaines perturbations de la mobilité.

#### b) L'attraction des cellules sexuelles

#### Expérience 1

On dépose sur une lame de verre une goutte d'eau de mer contenant des ovules (1), puis contre elle une goutte d'eau de mer contenant des spermatozoïdes (2).

#### Expérience 2

On remplace la goutte d'eau (1) par une goutte d'eau de mer ayant contenu des ovules(3), les ovules ont été enlevés par filtration.

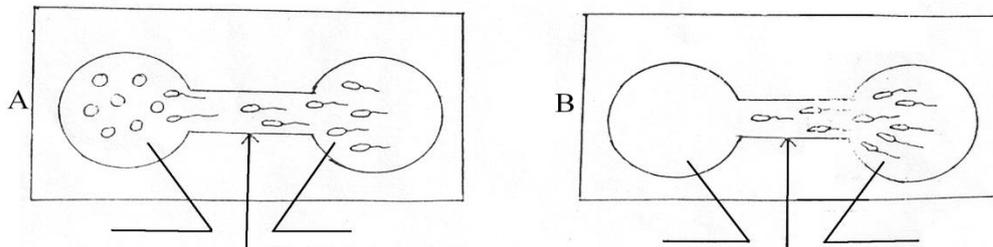
## Résultat et interprétation

.....

.....

.....

.....



### Document 2 :

#### c) La monospermie

Parmi les milliers de spermatozoïdes qui entourent l'ovule, un seul au hasard, va pénétrer et féconder l'ovule, les autres vont dégénérer car ne pouvant pénétrer à cause de la membrane de fécondation. Cette règle absolue dans le monde vivant est la monospermie.

#### d) Durée de vie des gamètes

Pour les spermatozoïdes, elle est assez courte dans les voies génitales : exemple : taureau 28h ; l'homme 72h ; souris 6h.

Pour les ovules, cette durée est de quelques heures : exemple : truite 12h, femme 24h

#### e) Formule chromosomique

Si les gamètes disposent d'un nombre anormal de chromosomes (moins de 23 chromosomes), même si la fécondation a lieu, l'œuf ne se développe pas généralement. C'est une des causes des avortements inaperçus.

#### Remarque :

.....

.....

.....

.....

### 3. Problèmes hormonaux

Une insuffisance hormonale d'origine ovarienne ou hypothalamo-hypophysaire peut entraîner chez la femme des anomalies de l'ovulation.

De même chez l'homme, les troubles hormonaux hypothalamo-hypophysaires et testiculaires agissent sur la production de spermatozoïdes.

## Leçon 17 : Régulation du fonctionnement des appareils génitaux

### I. Chez la femme

#### Expériences et observations

L'ovariectomie chez une fille impubère entraîne l'absence du développement des organes génitaux et les caractères sexuels secondaires n'apparaissent pas : pas de développement des seins, voix aiguë, membres de grande taille, ...

Si l'ovariectomie est faite après la puberté, elle entraîne l'arrêt des règles, la stérilité, la régression des voies génitales et des glandes mammaires.

Les expériences de greffe d'ovaire sous la peau et d'injections d'extraits ovariens faites chez des souris ovariectomisées ont entraîné l'apparition de l'œstrus ou rut qui est un caractère sexuel secondaire chez l'animal.

#### Interprétation :

.....

.....

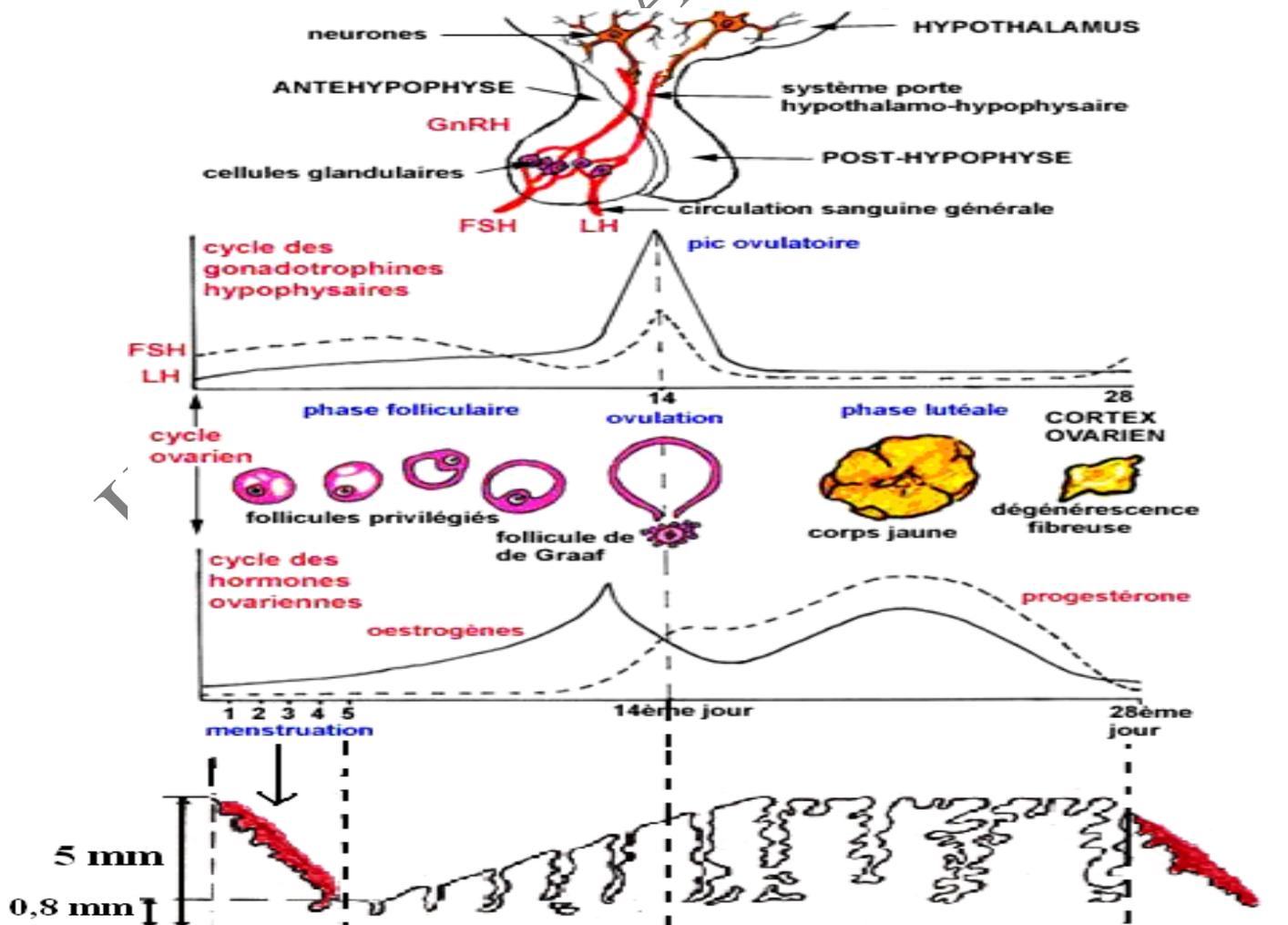
.....

.....

.....

#### A. les cycles sexuels

A partir de la puberté, la vie de la femelle est marquée par des modifications qui reviennent à intervalle régulier jusqu'à la ménopause suivant un rythme propre à chaque espèce. Ces modifications constituent le cycle sexuel. Durant le cycle sexuel ou menstruel, l'ovaire, l'utérus, le vagin, la température corporelle subissent des modifications.



**a) Le cycle ovarien**

Il comporte deux phases séparées par l'ovulation

○ **La phase folliculaire**

.....

.....

.....

.....

○ **L'ovulation**

.....

.....

.....

.....

La première division de méiose qui était bloquée en prophase I depuis la vie embryonnaire reprend dès que l'ovocyte, séparé de la granulosa, est libre dans la cavité folliculaire, c'est un ovocyte II en métaphase II qui est libéré.

○ **La phase lutéinique**

.....

.....

.....

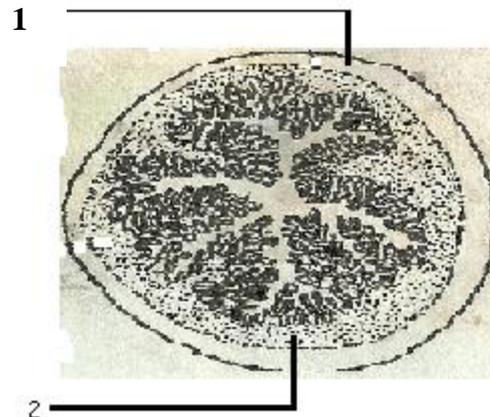
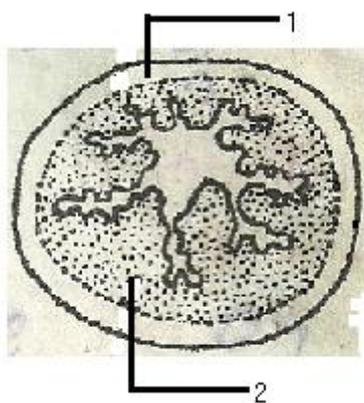
.....

**Remarque :** Chez la femme, l'ovulation se produit automatiquement à la fin de la phase folliculaire :..... Chez la chatte ou la lapine, c'est le stimulus de l'accouplement qui provoque l'ovulation :.....

**b) Le cycle utérin, les modifications du comportement et le cycle hormonal**

**b1) Le cycle utérin**

L'endomètre, forme de tissu conjonctif, recouvert d'un épithélium, présente des modifications importantes au cours du cycle ovarien :



- **Durant la phase folliculaire :**

.....  
.....  
.....

- **De l'ovulation jusqu'au milieu de la phase lutéinique**

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

### Remarque

.....  
.....  
.....

### b2) Les modifications du comportement

Chez les animaux, le cycle est marqué par une période où la femelle est inquiète et recherche activement le mâle :..... qui correspond à.....

L'œstrus étant la modification la plus importante du cycle sexuel chez les animaux, celui-ci prend alors le nom de..... L'ovulation se produit généralement à la fin ou peu après l'œstrus.

### b3) Le cycle des hormones ovariennes

- Leur découverte : chez la femme, l'ablation des deux ovaires entraîne la disparition des règles ; la greffe d'ovaire ou l'injection d'extraits ovariens entraîne la réapparition des règles.

### Interprétation

.....  
.....  
.....  
○ .....  
○ .....  
.....  
.....

- **Variation du taux des hormones ovariennes : leur origine**

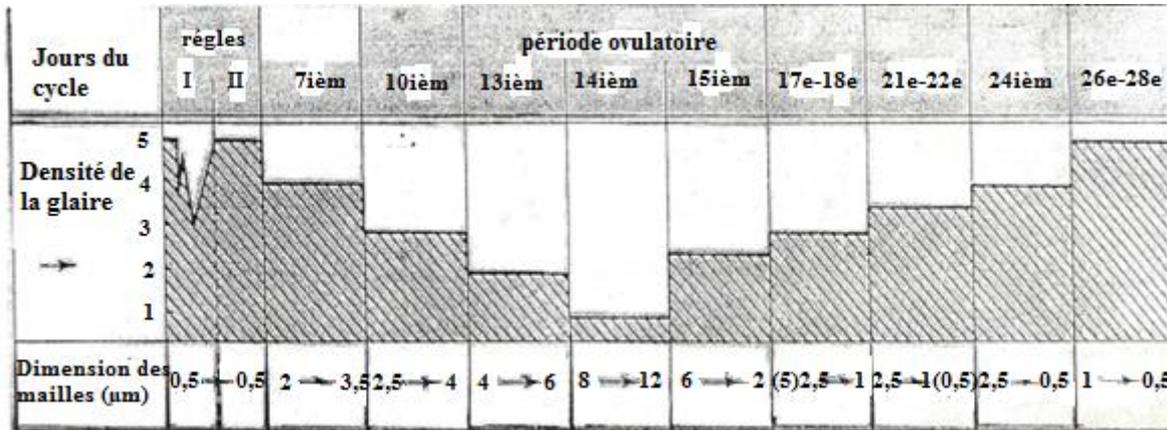
- **L'œstradiol**

.....  
.....  
.....  
.....



### d) Le cycle vaginal

Les modifications sont très discrètes chez la femme, par contre elles sont très marquées chez les rongeurs : développement de l'épithélium vaginal qui sécrète un mucus riche en leucocytes. La glaire cervicale sécrétée par le col est abondante et beaucoup plus lâche durant la période ovulatoire mais dense et presque imperméable aux spermatozoïdes pendant le reste du cycle.



**Remarque :** A 40 ans chez la femme, les cycles deviennent irréguliers (longs, courts). La ménopause, qui se traduit par un arrêt des règles, intervient entre 45-55 ans à cause de l'épuisement du stock des follicules primordiaux.

## B. La régulation du fonctionnement de l'appareil génital de la femme

### 1) Par les hormones hypophysaires

#### a) Mise en évidence de l'activité de l'hypophyse

↳ **Expérience :** L'élimination du lobe antérieur de l'hypophyse entraîne l'arrêt du cycle ovarien, l'atrophie des ovaires et de leurs effecteurs (utérus, vagin...), alors que l'injection d'extraits de l'hypophyse antérieure entraîne une disparition des phénomènes précédents.

↳ **Interprétation**

On distingue trois gonadostimulines :

- ⇒ La FSH : follicular stimulating hormone ;
- ⇒ La LH : luteinising hormone ;
- ⇒ La LTH : luteotrophic hormone, ou prolactine.

#### b) Variation du taux des hormones hypophysaires, leurs rôles

En faisant un parallélisme entre l'évolution des hormones et celles des follicules, on peut en déduire le rôle des hormones hypophysaires.

↳ **A l'ovulation,**

↪ **A la phase folliculaire,**

.....

.....

.....

↪ **A la phase lutéinique,**

.....

.....

.....

.....

.....

**2) Par l'hormone de l'hypothalamus**

↪ **Expérience**

La stimulation de certaines zones de l'hypothalamus chez la lapine entraîne la production de LH et l'ovulation. La greffe de l'hypophyse à des animaux hypophysectomisés ne donne le résultat que si la greffe est implantée près de l'hypothalamus et vascularisée.

↪ **Interprétation**

.....

.....

.....

.....

**3) Contrôle de l'activité hypothalamo-hypophysaire**

**a) Par les hormones ovariennes circulantes**

↪ **Expérience**

L'ablation des ovaires entraîne une augmentation des gonadostimulines, on obtient le même résultat quand l'ovaire ne fonctionne plus comme pendant la ménopause.

↪ **Interprétation**

.....

.....

.....

.....

.....

**b) Par des stimuli externes**

↪ **Quelques observations**

- ↪ La lumière semble jouer un rôle dans l'apparition de la saison de reproduction chez les mammifères sauvages et les oiseaux. Exemple des canards sauvages.
- ↪ Les variations de la date d'apparition des règles sont fréquentes chez les femmes à la suite de choc émotionnel, changement de climat, maladies infectieuses...
- ↪ L'accouplement (stimulus tactile) provoque l'ovulation chez certaines espèces (lapine, chatte).

↪ **Interprétation**

.....

.....

.....

.....

**C. Chez le mâle**

**1) La fonction exocrine des testicules**

Les testicules produisent des spermatozoïdes qui transitent par le canal déférent.

Les glandes annexes (vésicules séminales, glandes de Cowper et prostate) sécrètent des produits dont l'ensemble constitue le liquide séminal qui assure le transport et la nutrition des spermatozoïdes.

.....  
.....  
.....

## 2) La fonction endocrine des testicules

### ☞ Expériences

- L'ablation des testicules ou castration entraîne chez les mammifères adultes, la stérilité, la régression des glandes annexes de l'appareil génital et de l'instinct sexuel ;
- ☞ chez l'enfant, le pénis ne se développe pas, pas de pilosité pubienne, le tissu adipeux se développe, une croissance prolongée des os longs, la voix reste infantile.
  - La greffe de testicule sur un jeune mâle castré empêche l'apparition de ces symptômes ;
  - L'injection d'extraits testiculaires a les mêmes effets qu'une greffe ;
  - La destruction naturelle ou accidentelle des cellules interstitielles entraîne les mêmes effets que la castration.

### ☞ Interprétation

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

### ☞ Conclusion

.....  
.....  
.....

## 3) La régulation des fonctions testiculaires

### ☞ Expérience 1

L'ablation du lobe antérieur de l'hypophyse d'un adulte entraîne toujours l'atrophie des cellules interstitielles et l'absence de spermatogénèse, alors que les injections d'extraits hypophysaires restituent un état et un fonctionnement normal des cellules interstitielles et des tubes séminifères.

### ☞ Interprétation

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

### ☞ Expérience 2

La section des vaisseaux sanguins reliant l'hypothalamus à l'hypophyse réduit l'activité des testicules.

### ☞ Interprétation

.....  
.....  
.....

### ↳ Expérience 3

La testostérone introduite en petite quantité dans l'hypothalamus provoque une atrophie testiculaire, mais ce dépôt effectué sur l'hypophyse est sans action.

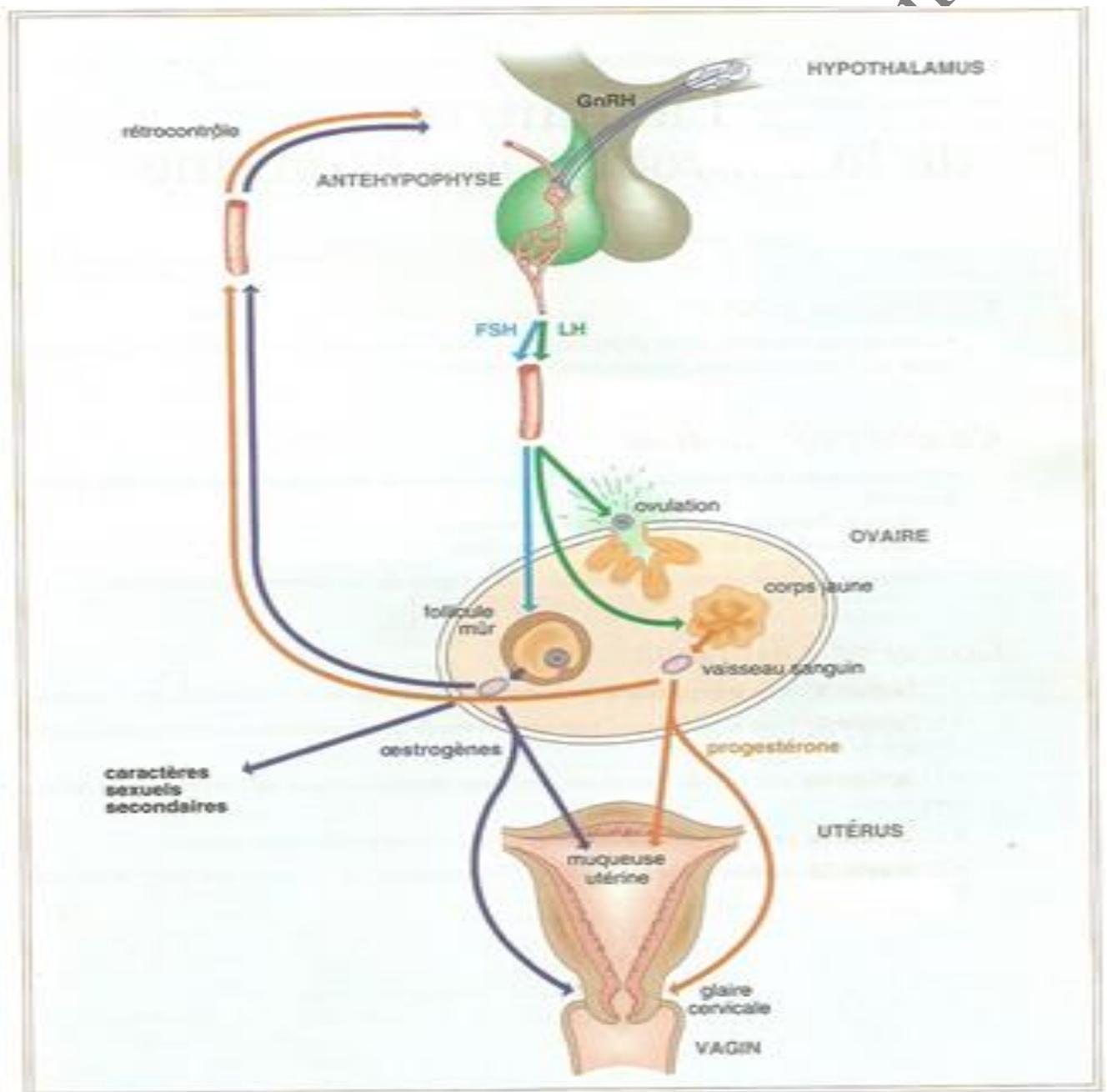
### ↳ Interprétation

.....

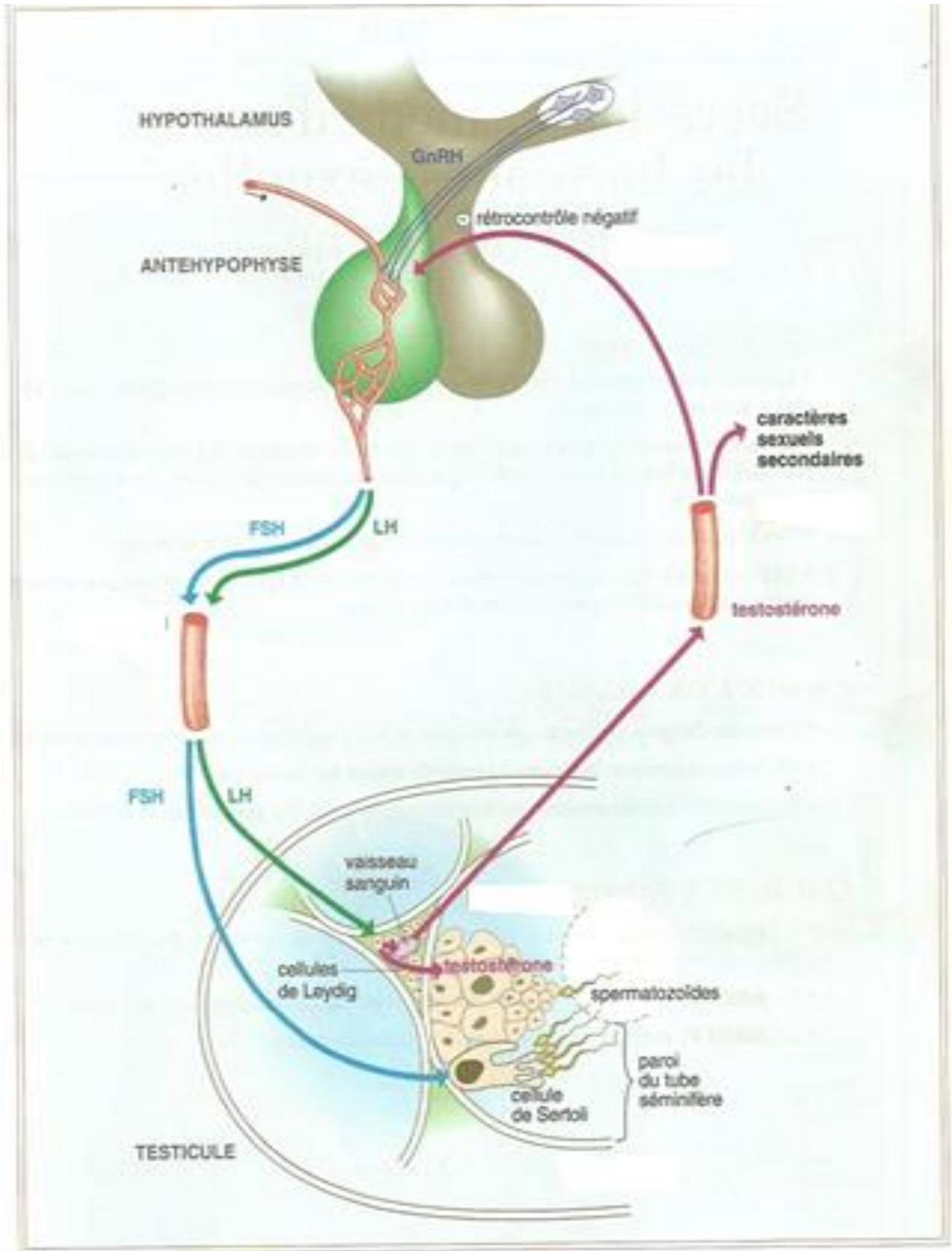
.....

.....

.....

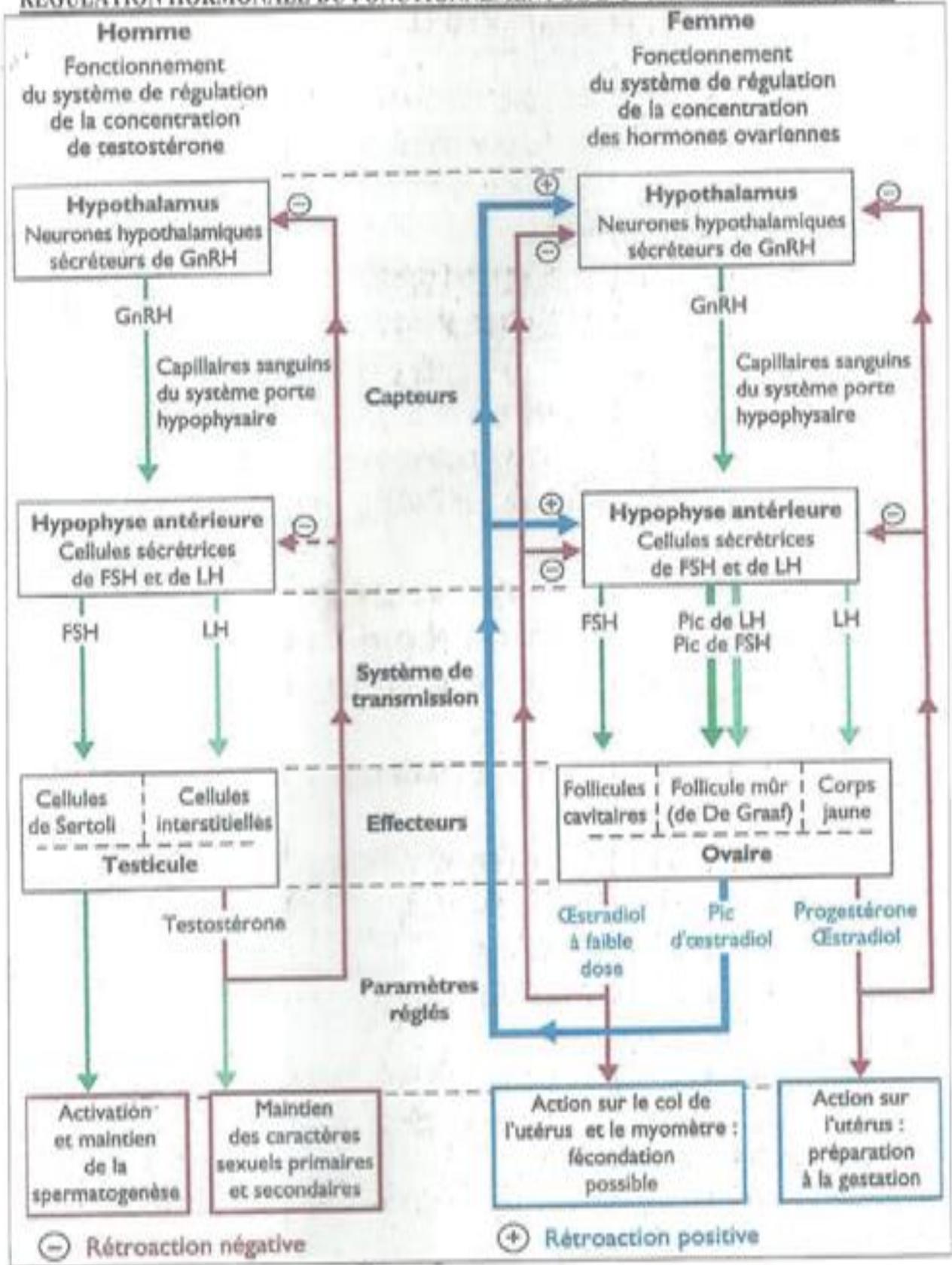


### Ovaire



## Testicule

**REGULATION HORMONALE DU FONCTIONNEMENT DE L'OVAIRE ET DU TESTICULE :**



## Leçon 18 : LES PREMIERES ETAPES DE LA VIE

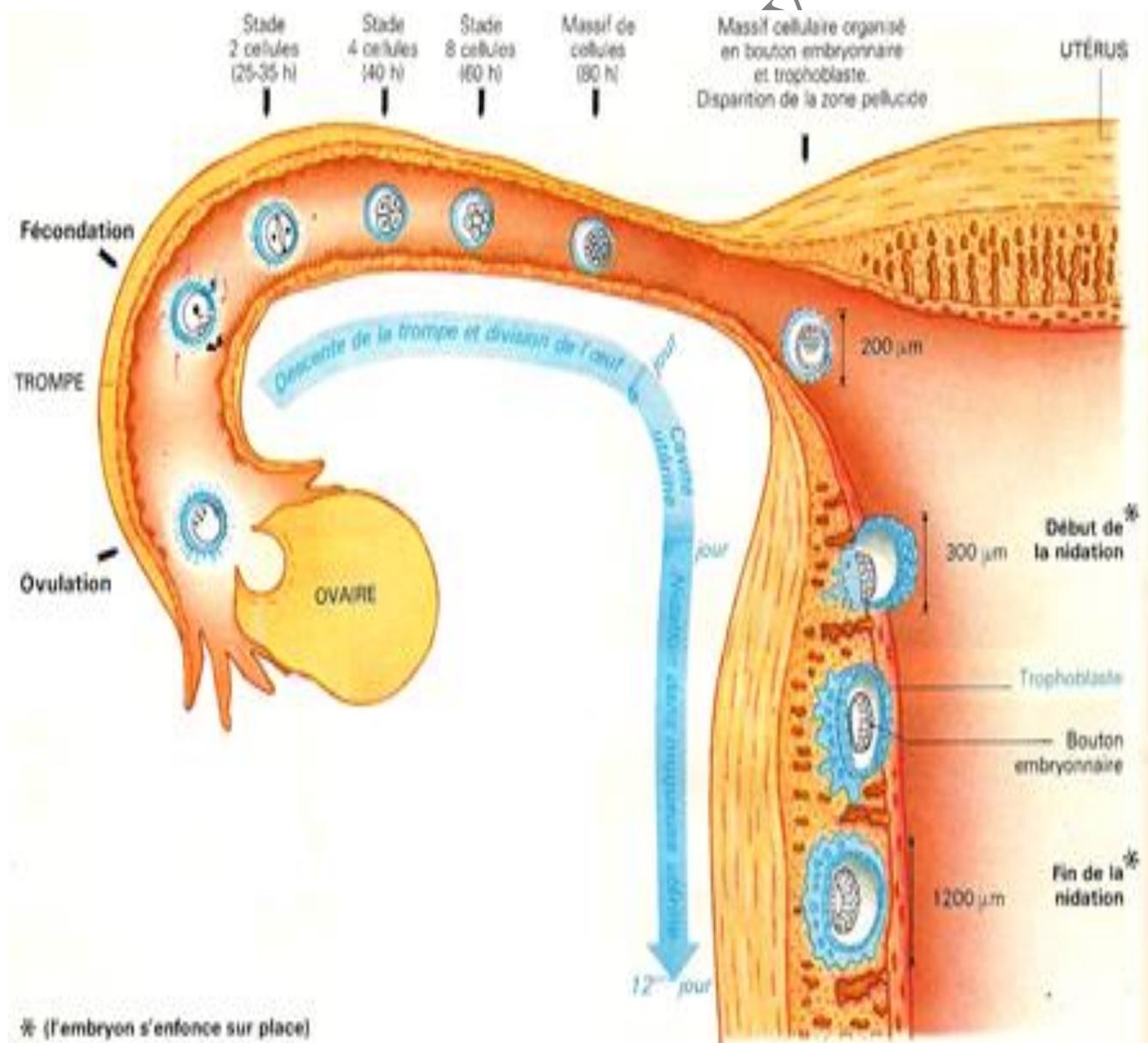
### Introduction

Les mammifères sont des êtres vivants vivipares. Alors, l'œuf résultant de la fécondation se développe intégralement à l'intérieur de l'utérus maternel. Chez l'espèce humaine, la fécondation est suivie d'une gestation qui dure neuf mois. L'accouchement met fin à cette gestation ; l'enfant, devenu autonome, est nourri au lait maternel, ce qui nécessite une lactation efficace et bien entretenue.

### I. Les étapes de la gestation

#### A- Migration et premières divisions de l'œuf

L'œuf issu de la fécondation s'engage aussitôt dans ses premières divisions. Sous l'action des cils et des contractions des muscles de la paroi de la trompe, l'œuf migre en direction de l'utérus. Il arrive dans la cavité de l'utérus vers le quatrième jour, composé d'environ soixante cellules emballées dans la zone pellucide qui ne tarde pas à éclater donnant ainsi le blastocyste qui grandit et se creuse d'une cavité vers le sixième jour. Alors, commence la nidation (doc. 1).



Document 1:

## B- Nidation et ébauche d'une organisation de l'embryon

### 1. Nidation

Les cellules, toutes semblables, vont commencer à se différencier et à s'organiser. Ainsi, un massif de cellules volumineuses se différencie et forme le bouton embryonnaire. Les cellules voisines se multiplient, s'accrochent à l'endomètre et commencent à y pénétrer : .....

.....Ces cellules jouent un rôle nutritif pour l'embryon, d'où leur nom de trophoblaste. La nidation est un stade vulnérable dont la réussite dépend de la synchronisation du développement de l'endomètre, d'une part et d'autre part, du blastocyste.

Le trophoblaste, en s'enfonçant dans la muqueuse utérine, amène avec lui le blastocyste qui finit par être entièrement enfoui dans la muqueuse utérine vers le onzième jour. Pendant qu'il se niche, l'embryon sécrète une hormone, la HCG (Human chorionic gonadotrophin) hormone homologue à la LH, qui empêche la régression du corps jaune et prolonge son action. ....

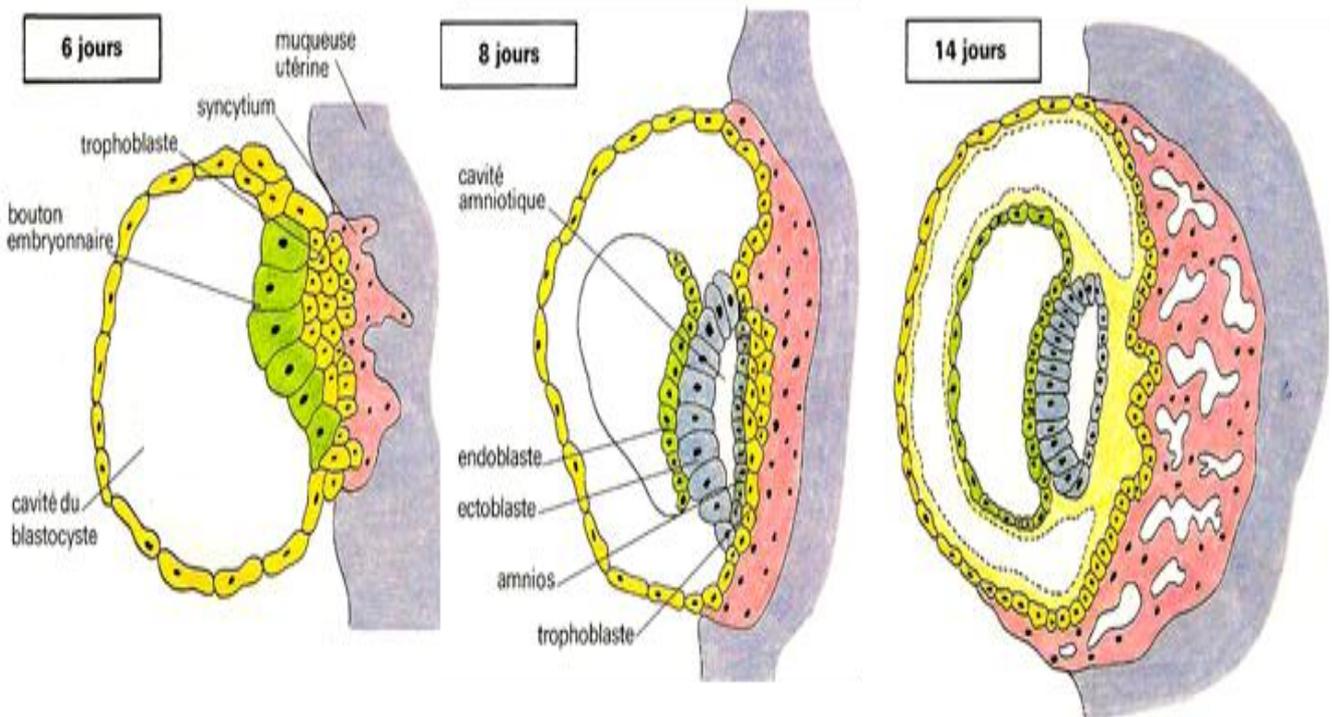
### 2. Mise en place des structures embryonnaires

Lors des trois premières semaines du développement, se mettent en place les structures essentielles de l'embryon.

Ainsi, les cellules du bouton se différencient en deux feuillet : l'ectoblaste et l'endoblaste. Puis de l'ectoblaste, migrent des cellules qui forment un feuillet intermédiaire : le mésoblaste. De ces trois feuillet, se forment les divers organes de l'embryon, par exemple :

- ☞ de l'ectoblaste, se forment l'épiderme et le système nerveux ;
- ☞ du mésoblaste, se constituent les muscles, le squelette, l'appareil circulatoire et l'appareil rénal ;
- ☞ de l'endoblaste, naissent l'appareil digestif et l'appareil respiratoire.

Une couche de cellules se détache de l'ectoblaste délimitant la cavité amniotique qui se développe et entoure complètement l'embryon qui baigne dans le liquide amniotique. Progressivement, l'embryon va se dégager des annexes embryonnaires et prendre forme (doc. 2).

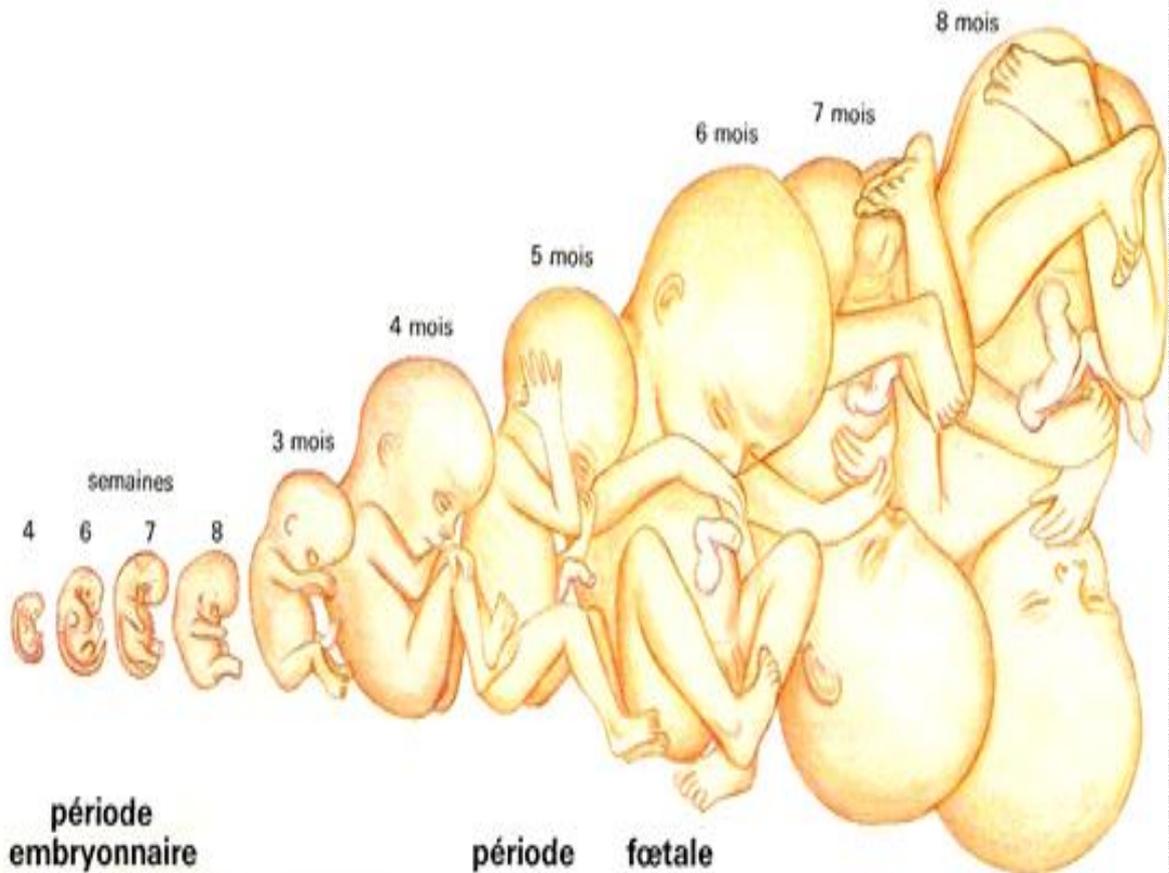


Document 2:

Les deux premiers mois correspondent à la période embryonnaire au cours de laquelle se mettent en place les principaux organes et systèmes. Vers le 28<sup>e</sup> jour, les premiers battements cardiaques se manifestent tandis que la région encéphalique et les ébauches des membres apparaissent vers la quatrième semaine. ....

Durant la période fœtale, tous les organes sont individualisés avec des mouvements de plus en plus marqués. Le cerveau se développe et les réflexes apparaissent.

A partir de la 24<sup>ème</sup> semaine de grossesse, le fœtus est viable. La période terminale de la grossesse est une période de croissance, menant le fœtus à terme (doc. 3).



	période embryonnaire			période fœtale					
mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9
étapes	fécondation le cœur commence à battre	bourgeons des membres tous les organes formés l'embryon a pris une forme humaine	membres formés	sexe reconnaissable appareil circulatoire achevé	maturation nerveuse mouvements ressentis par la mère	premiers réflexes	fœtus viable	descente des testicules de l'abdomen dans les bourses	
taille moyenne en cm	0,5 1		3	11	20	32	36	40	45
	de la tête au coccyx		du sommet de la tête à la plante des pieds						
poids moyen en g		1	10	70	200	500	1200	1700	2400
									3200

Document 3:

## C- Le placenta

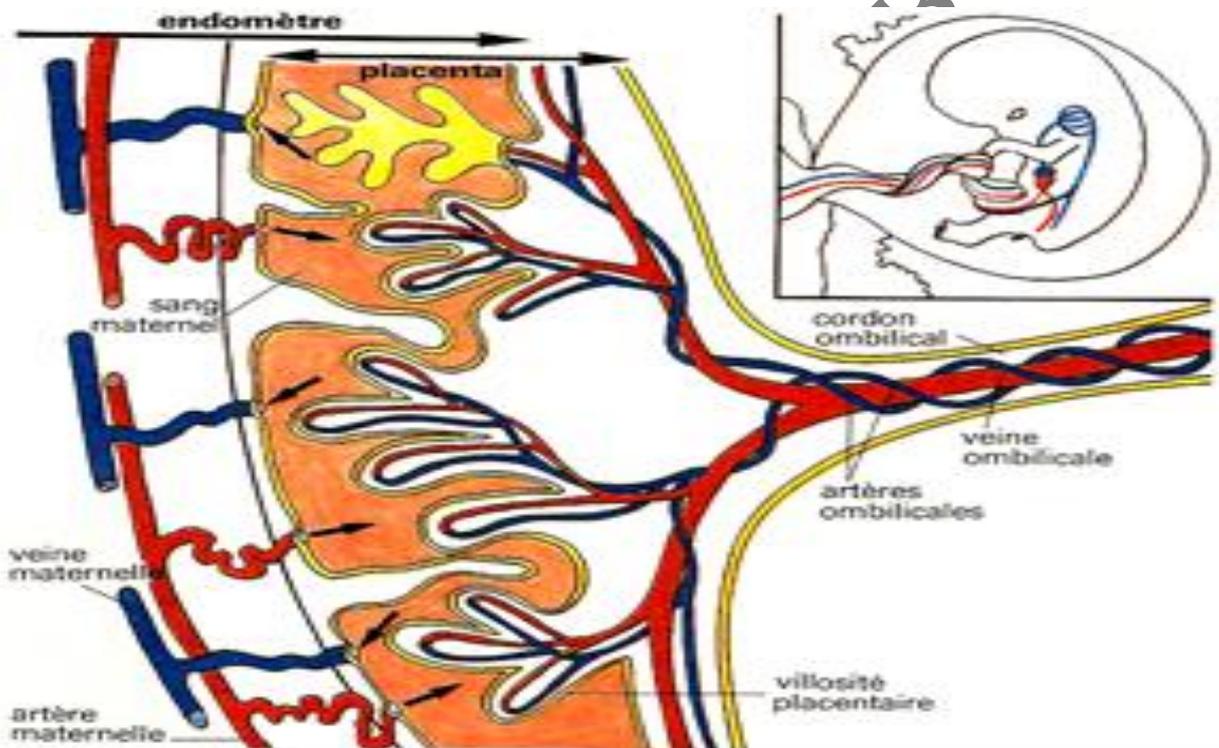
Le placenta est un organe qui assure les relations entre la mère et l'enfant.

### 1. Formation du placenta

Lorsque l'embryon pénètre dans l'endomètre, la partie du trophoblaste dirigée vers la cavité utérine s'atrophie et forme le chorion, alors que celle tournée vers la paroi utérine prolifère et se ramifie dans la muqueuse en se creusant de lacunes. Puis ces lacunes confluent en une chambre unique : ..... qui se remplit de sang maternel provenant des vaisseaux utérins érodés par le trophoblaste. Ensuite de nombreuses villosités d'origine embryonnaire se ramifient et baignent dans le sang maternel de la chambre placentaire.

Des vaisseaux sanguins se développent dans les villosités et se raccordent au système circulatoire du fœtus par les deux artères et la veine du cordon ombilical.

.....  
 ..... (doc.4).



Document 4

### 2. Rôles du placenta

#### a) Lieu d'échange

Le rôle premier du placenta est d'assurer la fixation et la nutrition du fœtus. Il est le siège d'importants échanges à travers un réseau de capillaires dont la surface est évaluée à plus 10 m<sup>2</sup>. Le sang fœtal va puiser dans le sang maternel de la chambre placentaire l'eau, les sels minéraux, les vitamines, le glucose, les acides aminés, les acides gras indispensables à la croissance du fœtus, ainsi que l'oxygène nécessaire à sa respiration. Il va y rejeter le CO<sub>2</sub> respiratoire et les déchets (urée) de son métabolisme.

Par ailleurs, si perfectionnée soit elle, la barrière placentaire laisse traverser certaines protéines maternelles (anticorps) qui protègent le nouveau-né contre les infections microbiennes. Par contre, il arrête la plupart des microbes et médicaments ; toutefois, il laisse passer presque tous les virus et certaines substances qui peuvent perturber la grossesse (drogues) doc. 5.



### Document 5:

#### b) Lieu de synthèse d'hormones

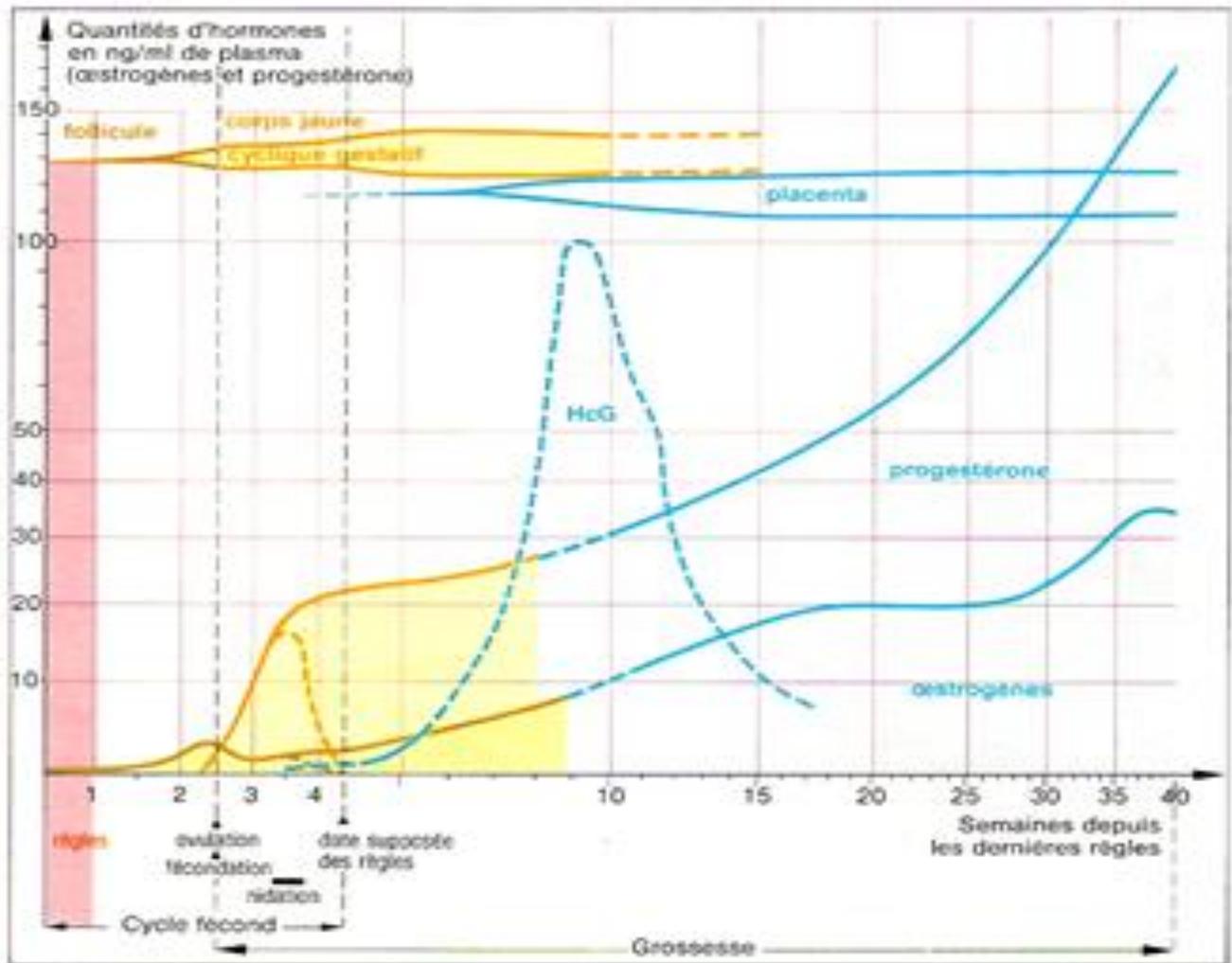
Le placenta, par son trophoblaste, est le lieu de synthèse de substances qui assurent sa propre croissance, mais également de plusieurs hormones jouant un rôle essentiel dans le bon déroulement de la grossesse.

En effet, le placenta réalise la sécrétion très précoce de l'hormone gonadotrophine chorionique (HCG) décelable dès le 12<sup>ème</sup> jour de la fécondation.

Ensuite, l'hormone placentaire lactogène qui favorise en particulier la maturation des glandes mammaires.

Enfin, il participe à une production progressive et considérable d'œstrogènes et de progestérone.

.....  
 .....  
 Le placenta va prendre ainsi le relais du corps jaune (doc. 6).



### Document 6:

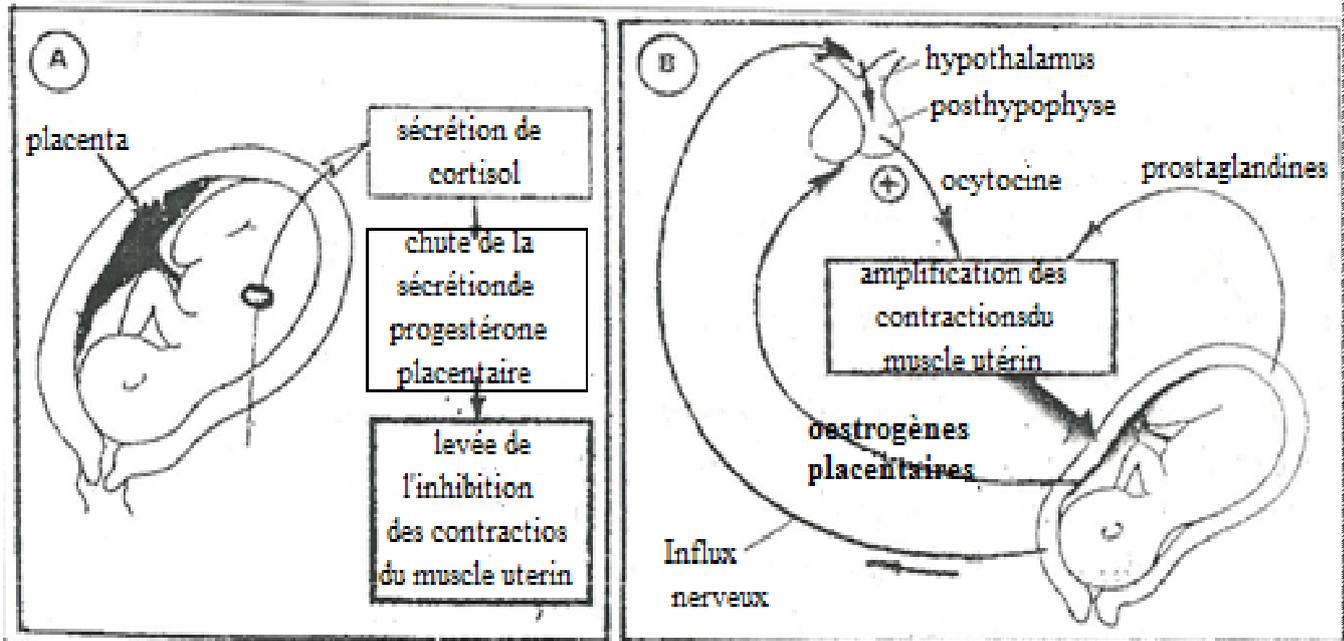
## II. L'accouchement

Bloquées pendant toute la durée de la gestation par le taux de progestérone sanguine, les contractions du myomètre reprennent durant l'accouchement et seront à l'origine de l'expulsion de l'enfant puis du placenta (la délivrance).

Cette reprise de l'activité du muscle utérin vers la fin du 6<sup>ème</sup> mois est le résultat d'un déséquilibre hormonal qui met fin à la période de gestation. En effet, sous l'action de l'ACTH hypophysaire (*Adreno CorticoTropic Hormone*), les glandes corticosurrénales du fœtus augmentent nettement leurs sécrétions. Le cortisol sécrété modifie l'activité endocrine du placenta qui diminue sa sécrétion de progestérone, ce qui libère le muscle utérin et sa sécrétion d'œstrogène augmente.

Une fois déclenchée, l'activité contractile du muscle utérin est exagérée par deux mécanismes principaux :

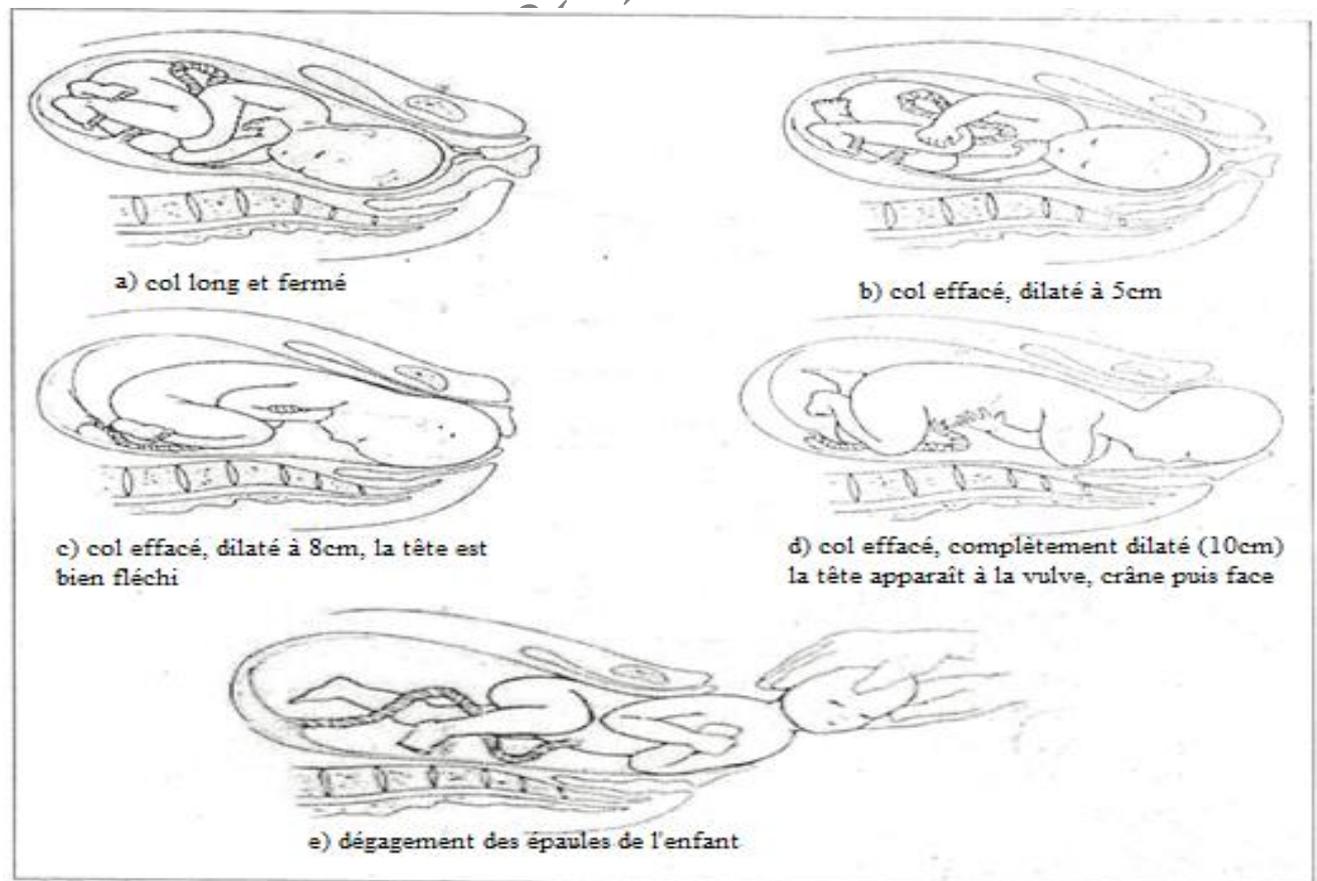
- ↳ l'ocytocine sécrétée par la post-hypophyse sous l'action de l'augmentation des œstrogènes placentaires et d'un influx nerveux d'origine utérine.
- ↳ La prostaglandine (principal facteur responsable de la contraction utérine) sécrétée par l'utérus gravidide lui-même, est le principal facteur responsable de l'exagération de la contractilité du muscle utérin.

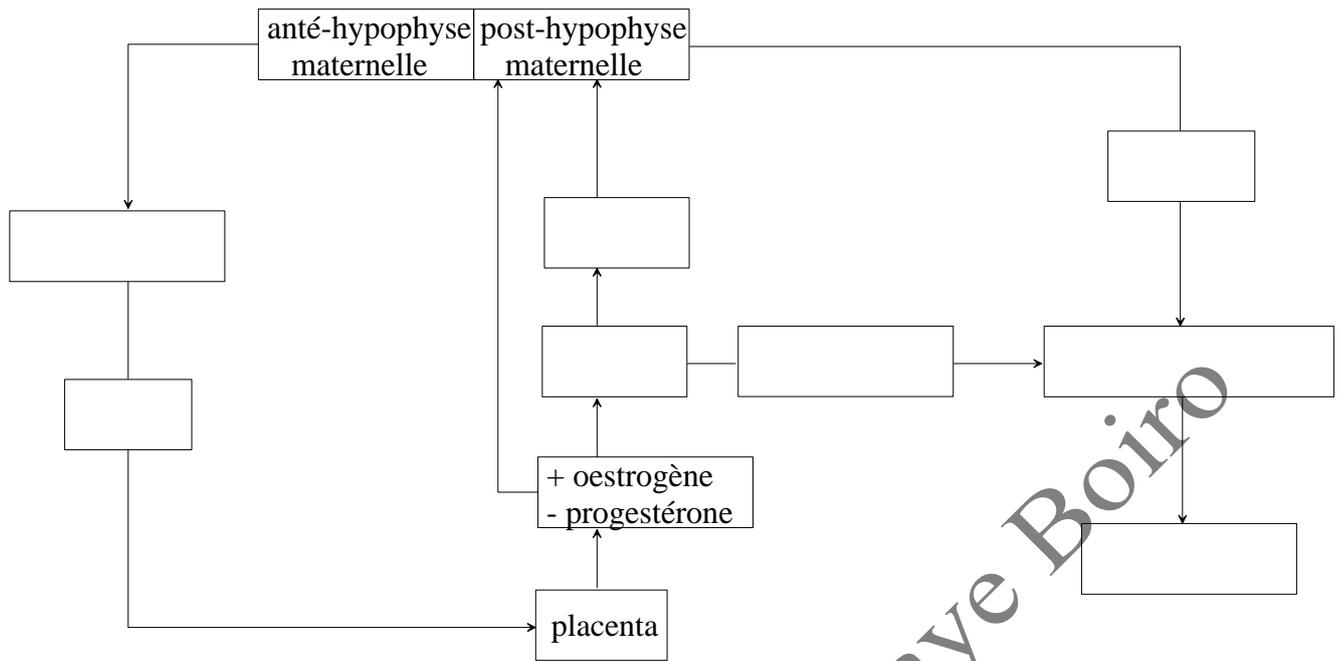


Ces contractions de plus en plus amplifiées provoquent la dilatation du col de l'utérus ; ce qui entraîne la rupture de la membrane amniotique (**rupture de la poche des eaux**). Ensuite, il y a expulsion du foetus suivie de la séparation totale du placenta de la paroi utérine (**la délivrance**)

.....

.....



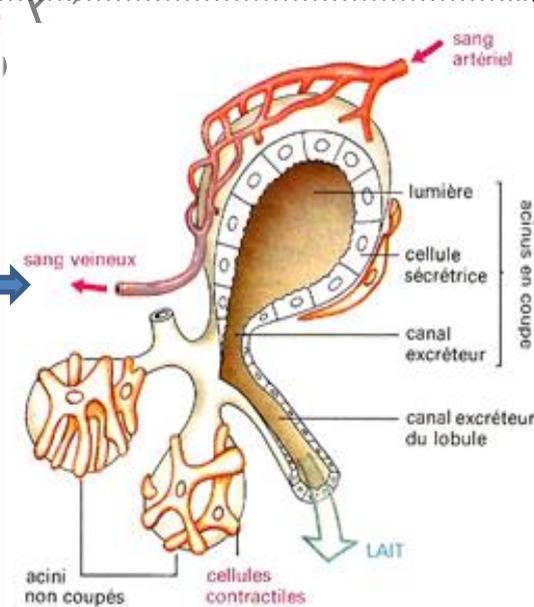
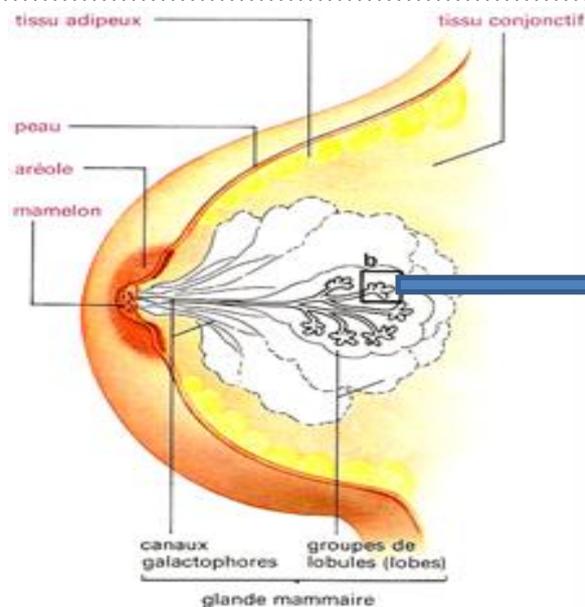


**Mécanisme contrôlant la libération et l'amplification des contractions utérine lors de l'accouchement.**

**III. La lactation**

La sécrétion lactée a lieu dans les glandes mammaires organisées en lobules (ensemble d'alvéoles ou acini) et richement vascularisées. C'est au cours de la gestation que la glande mammaire atteint son développement maximum. ....

(doc.7).



**Document 7a:**

**Document 7b:**

**A- La montée laiteuse**

Jusqu'à la naissance, le taux de progestérone sanguine bloque la sécrétion de la prolactine hypophysaire et par conséquent la production lactée. A la naissance, la chute du taux de progestérone et le pic d'œstrogènes déclenchent une sécrétion de prolactine qui provoque la sécrétion de lait qui s'accumule dans la lumière des acini : .....

Le lait sécrété les premiers jours qui suivent l'accouchement est particulièrement riche en protéines : .....

### B- L'entretien de la lactation

La suppression d'une tétée entraîne une réduction de la production de lait, .....

En fait, la succion stimule mécaniquement les récepteurs sensoriels des mamelons qui traduisent cette stimulation en message nerveux. Ce dernier arrive au niveau de l'hypothalamus : .....

Il inhibe, d'une part, les neurones hypothalamiques qui freinent la production de la prolactine par l'anté-hypophyse et, d'autre part, excite les neurones producteurs de l'ocytocine au niveau de la post-hypophyse.

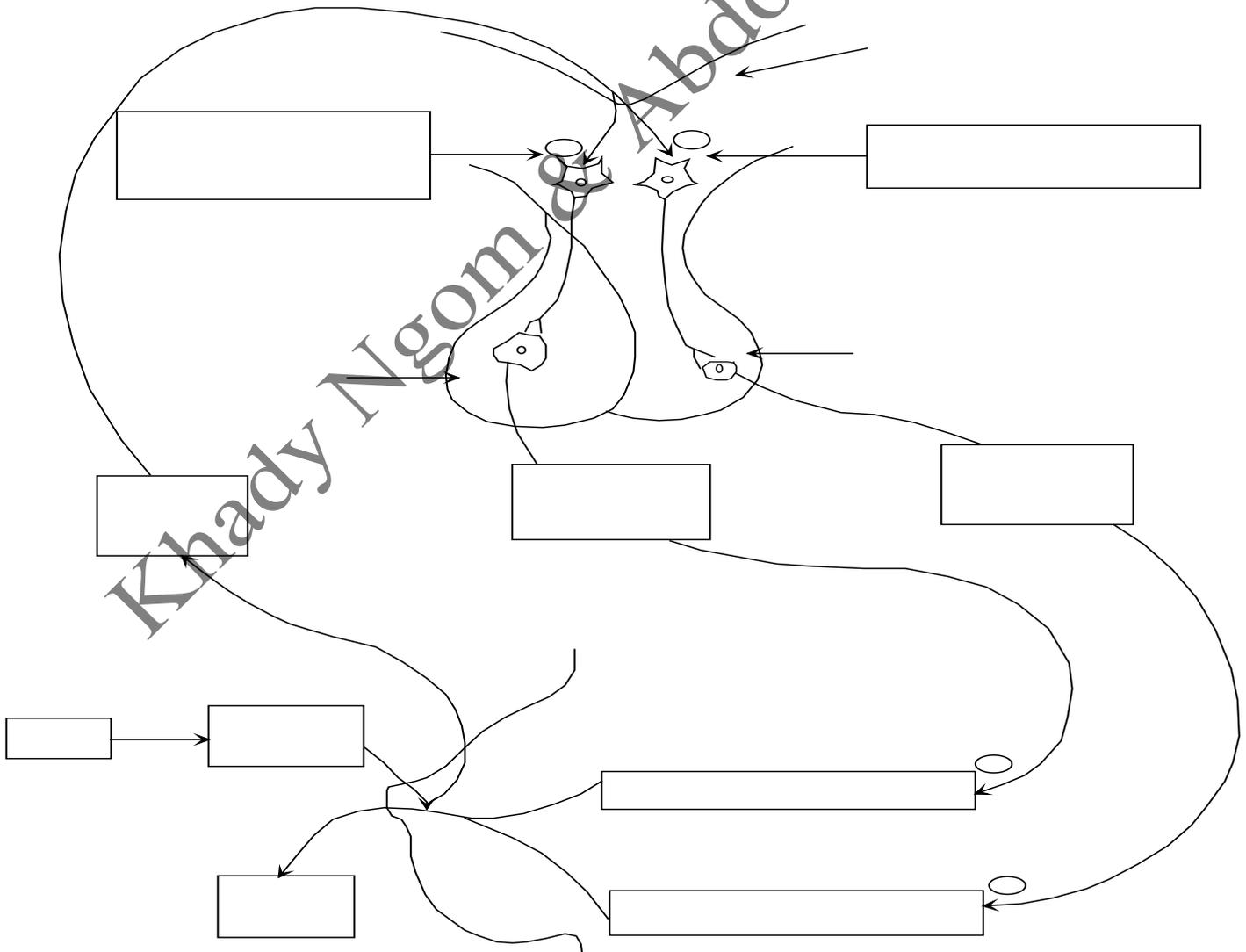
En conséquence, l'anté-hypophyse sécrète davantage de prolactine et la post-hypophyse libère de l'ocytocine (doc. 8).

Ces deux hormones cheminent par voie sanguine et arrivent au niveau des mamelons :

- ❖ .....
- ❖ .....

#### Remarque

La sécrétion d'ocytocine est sensible à bien d'autres influences: la vue de l'enfant et ses cris peuvent stimuler la décharge de lait, l'angoisse au contraire peut la bloquer.



Document 8:

# Leçon 19: QUELQUES METHODES CONTRACEPTIVES

## Introduction

.....

.....

.....

### I. Les méthodes de contraception naturelle

.....

.....

#### 1) La méthode des coïts interrompus

Il consiste à retirer le pénis avant l'éjaculation du sperme dans le vagin.

#### 2) L'abstinence périodique

C'est l'absence de rapports sexuels pendant une période supposée fertile : .....

.....

#### 3) La méthode des températures

Pendant la phase folliculaire, la température reste en général au-dessous de 37°C. Après l'ovulation, la température remonte légèrement au-delà de 37°C et se maintient ensuite en plateau pendant toute la phase lutéinique jusqu'aux règles suivantes. La remontée de la température est due à l'action hyperthermisante de la progestérone.

### II. Les méthodes de contraception mécanique

#### 1) Le préservatif

Cette méthode vise à empêcher la rencontre des gamètes ..... coiffant le pénis ou ..... obstruant le col utérin. Ces dispositifs constituent une barrière empêchant le franchissement du col de l'utérus par les spermatozoïdes. Par ailleurs, l'efficacité du diaphragme est accrue par l'emploi d'une gelée spermicide placée dans le vagin.

#### 2) Le stérilet

C'est un petit objet en cuivre ou en plastique de forme variable (anneau, spirale, double S, ...) inséré dans la lumière utérine. Il semble empêcher la nidation des embryons, mais contrairement à ce qu'indique son nom, il ne stérilise pas car après son enlèvement, une nouvelle procréation est possible.

### III. Les méthodes de contraception orale

Les méthodes de contraception orale sont beaucoup utilisées aujourd'hui. ....

.....

.....

#### 1) La pilule combinée

Elle contient un mélange d'œstrogènes et de progestérone. Elle est prise pendant 21 jours puis un arrêt de 7 jours permet le retour des règles. Cette pilule agit par rétrocontrôle négatif sur le complexe hypothalamo-hypophysaire. Ainsi, les œstrogènes à dose suffisante inhibent la sécrétion de FSH et empêchent la maturation folliculaire, alors que la progestérone à dose suffisante empêche la sécrétion de LH et bloque l'ovulation.

#### 2) La méthode séquentielle

L'administration d'un œstrogène seul pendant 10 à 15 jours puis associé d'un progestatif pendant 6 à 11 jours, exerce un rétrocontrôle négatif sur le complexe hypothalamo-hypophysaire.

#### 3) La micro-pilule

Elle est constituée d'un progestatif à faible dose prise en continu même durant les règles, ou en forte dose par injection trimestrielle. Elle agit uniquement au niveau utérin mais n'empêche pas l'ovulation.

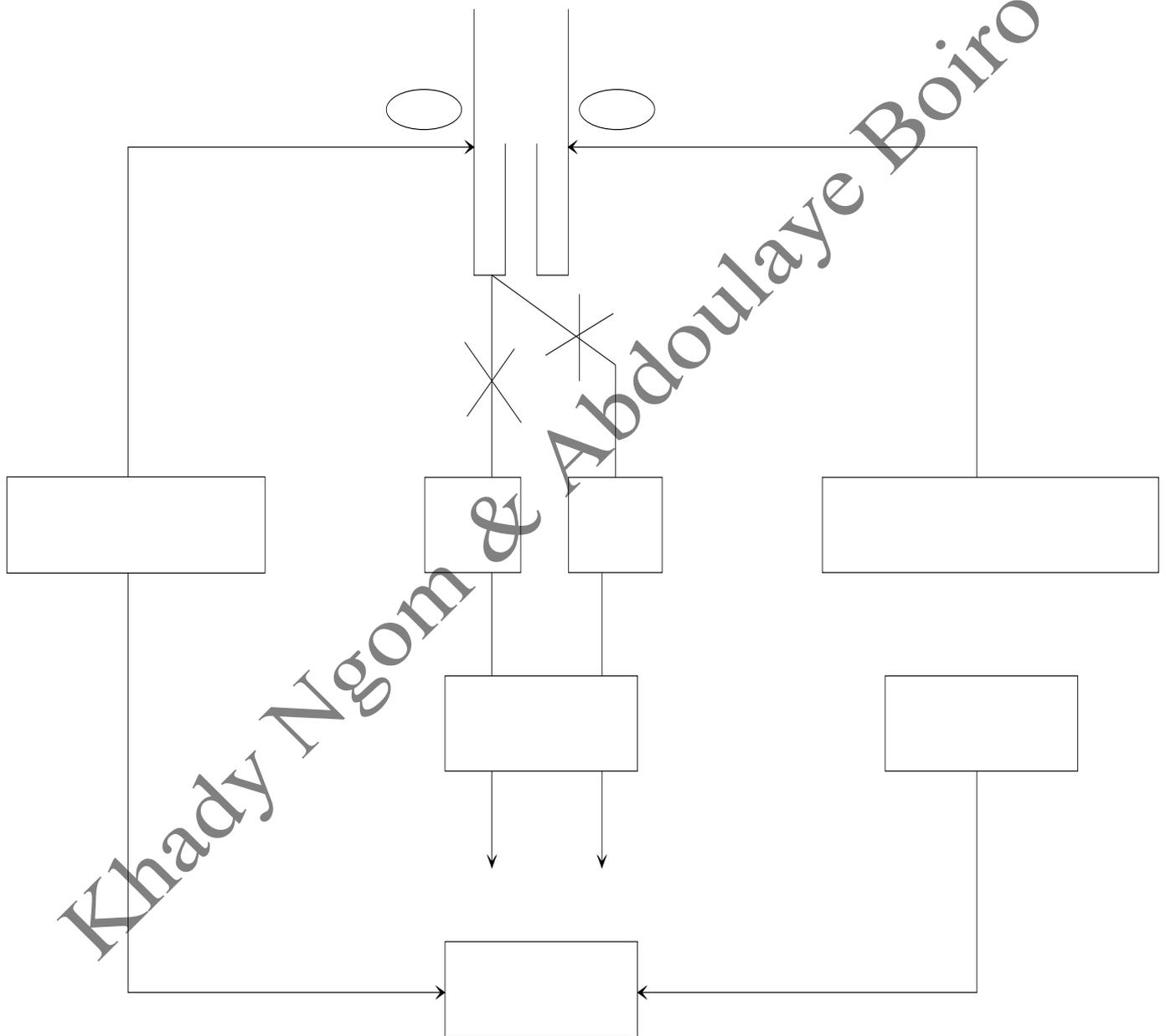
#### 4) La pilule du lendemain

.....

.....

.....  
 .....  
 Elle est constituée de fortes doses d'œstrogènes et prise, pendant 5 jours, moins de 72 heures après un rapport sexuel supposé fécondant. Elle exerce une action anti-nidatoire.

Remarque  
 .....  
 .....



**Figure :** .....

**Conclusion**  
 .....  
 .....

## THEME 10 : REPRODUCTION CHEZ LES SPERMAPHYTES

### Leçon 20 : REPRODUCTION CHEZ LES SPERMAPHYTES

#### INTRODUCTION :

Les spermaphytes sont des plantes à fleurs constitués par les gymnospermes (l'ovule est nu) et les angiospermes (ovule est couvert). Leur appareil reproducteur est constitué par la fleur qui après fécondation donnera le fruit avec sa graine.

#### I- L'ORGANISATION GENERALE DE LA FLEUR D'ANGIOSPERMES

La fleur est portée par un axe dressé, le **pédoncule**, terminé par un renflement, le **réceptacle** qui porte les pièces florales. Ces pièces florales peuvent être stériles ou fertiles.

##### I-1. Les pièces stériles

Elles sont constituées par:

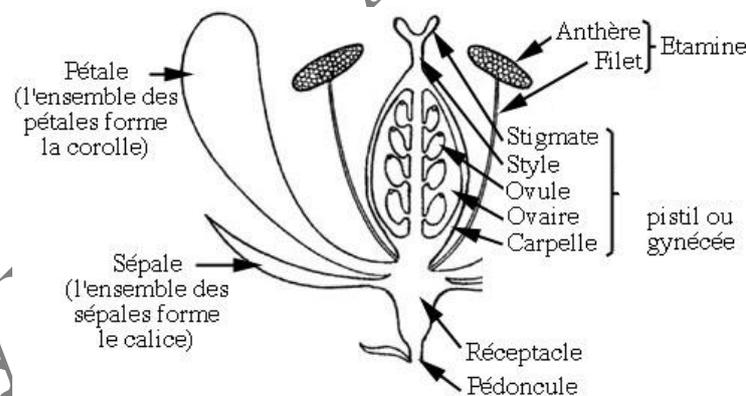
- Les **sépales** généralement de couleur verte et dont l'ensemble forme le **calice**.
- Les **pétales** de couleurs variables et dont l'ensemble forme la **corolle**.

##### I-2. Les pièces fertiles

Les pièces fertiles sont les **étamines** et le **pistil** ou **gynécée**.

- L'**étamine** est l'organe reproducteur mâle de la fleur, il est constituée d'un **filet** au bout duquel se trouve l'**anthère**. L'ensemble des étamines formé l'**androcée**.
- Le **pistil** ou **gynécée** est l'organe reproducteur femelle, il est constitué du **stigmate**, du **style** et de l'**ovaire** dans lequel se trouvent les **ovules**. L'**ovaire** est constitué par un ensemble de **carpelles**.

NB : Les fleurs possédant des organes mâles et femelles sont dites **hermaphrodites** ou **bisexuées**, alors que celles qui ne possèdent qu'un sexe sont dites **unisexuées**.



Organisation générale de la fleur

#### II. ETUDE DES ORGANES REPRODUCTEURS ET FORMATION DES GAMETES

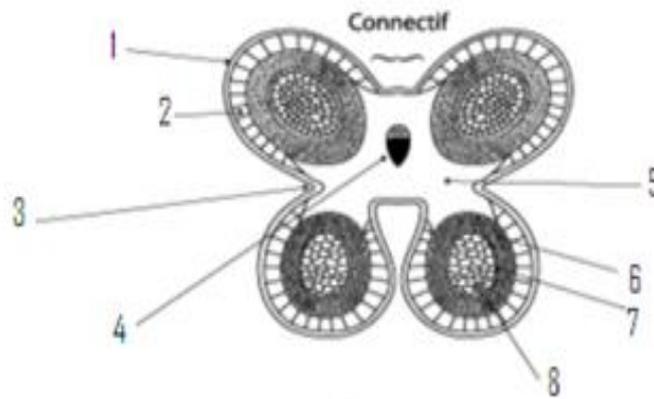
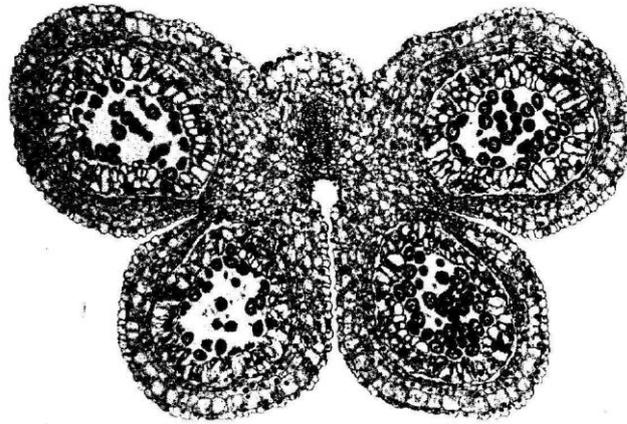
##### II-1. Les organes reproducteurs mâles : les étamines

###### II-1.1. Structure des anthères et des grains de pollen

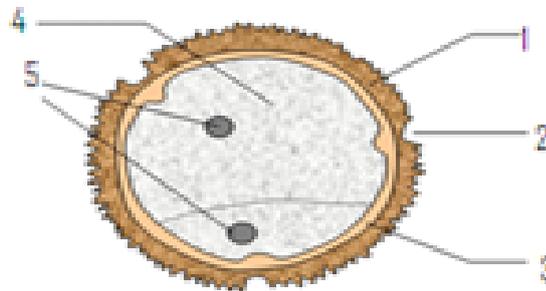
L'étamine est constituée d'une anthère et d'un filet. L'anthère présente un **parenchyme**, des **faisceaux conducteurs** et **4 sacs polliniques** ou **sporangies** (contenant les **grains de pollen**) entourés de l'extérieur vers l'intérieur d'une **assise mécanique**, d'une **assise nourricière** et d'un **épiderme**.

Dans les sacs polliniques se trouvent des grains de pollen constitués de deux cellules, une **cellule reproductrice** ou **génératrice** (de petite taille et à noyau allongé) et une **cellule végétative** (de grande taille et à noyau arrondi). Le grain de pollen est délimité par deux membranes:

- L'**exine**, membrane externe dure, ornementée, avec des pores et parfois des épines.
- L'**intine**, membrane interne mince et souple.



Document 1:



Document 2:

## II-1-2. Formation de l'anthere et des grains de pollen

L'observation de coupes d'anthers jeunes et mûres permet de suivre la formation des grains de pollen et des parois de l'anthere.

### ✓ Formation des cellules mères des grains de pollen et de la paroi de l'anthere

La jeune anthere présente **4 angles**, au niveau de chaque angle, de grandes cellules se divisent et se différencient. La cellule la plus interne se divise pour donner les **cellules mères des grains de pollen** et la cellule la plus externe se divise pour donner les **assises de la paroi de l'anthere** qui sont :

- L'**assise mécanique** discontinue au niveau des fentes de déhiscence, intervient lors de la déhiscence pour libérer les grains de pollen mûrs.
- L'**assise nourricière** servant de nourriture aux grains de pollen, disparaît par la suite. Sa disparition entraîne une fusion des deux **sacs polliniques** du même côté pour former une **loge**.

### ✓ Evolution des cellules mères des grains de pollen

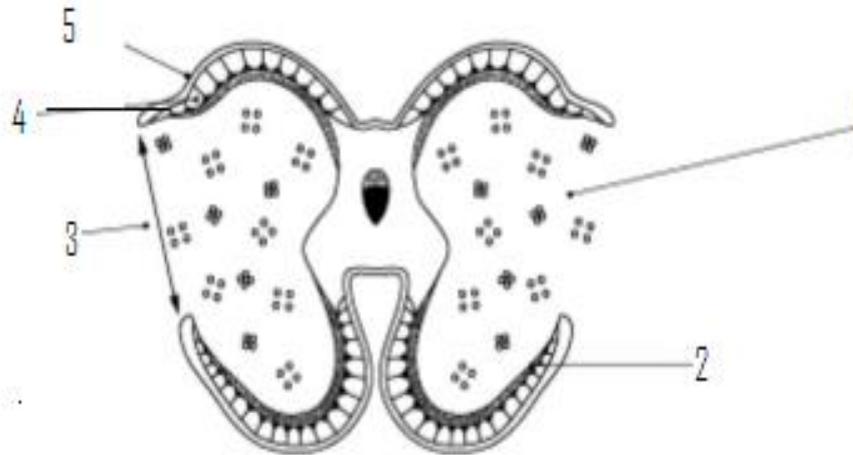
Les **cellules mères** des grains de pollen sont **diploïdes** ( $2n$  chromosomes). Elles subissent une **méiose** et donnent 4 **microspores haploïdes** ( $n$  chromosomes). Ces **microspores** sont regroupées par la paroi de la cellule mère et forment des **tétrades (4 microspores)**.

Chaque **microspore** élabore son **exine** et son **intine**. Le noyau se divise pour donner la **cellule reproductrice** et la **cellule végétative** (la **cellule reproductrice** sera par la suite incluse dans la cellule végétative).

La paroi qui unissait les **tétrades** s'hydrolyse et libère dans le sac pollinique les microspores devenus **grains de pollen**.

### ✓ Libération du grain de pollen par déhiscence

A la maturité les cellules de l'**assise mécanique** perdent de l'eau et se rétractent provoquant ainsi une rupture de la **fente de déhiscence** qui ouvre les **loges polliniques** et libère ainsi les grains de pollen.

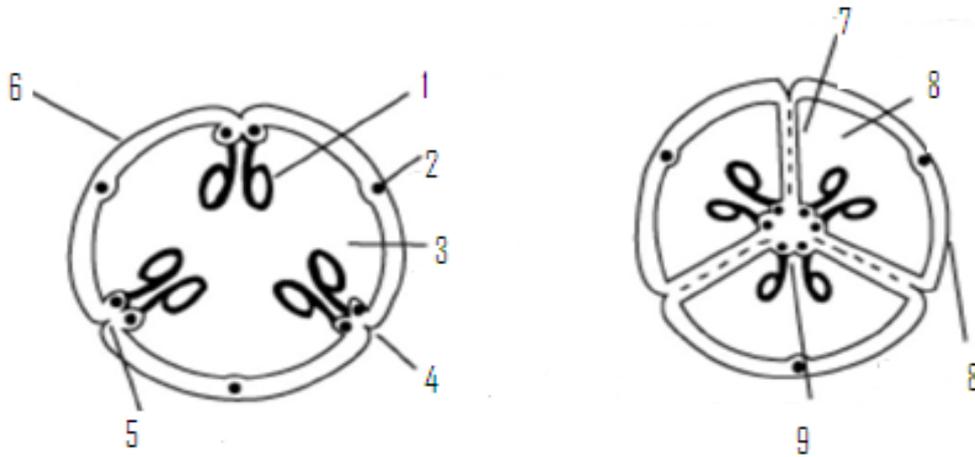
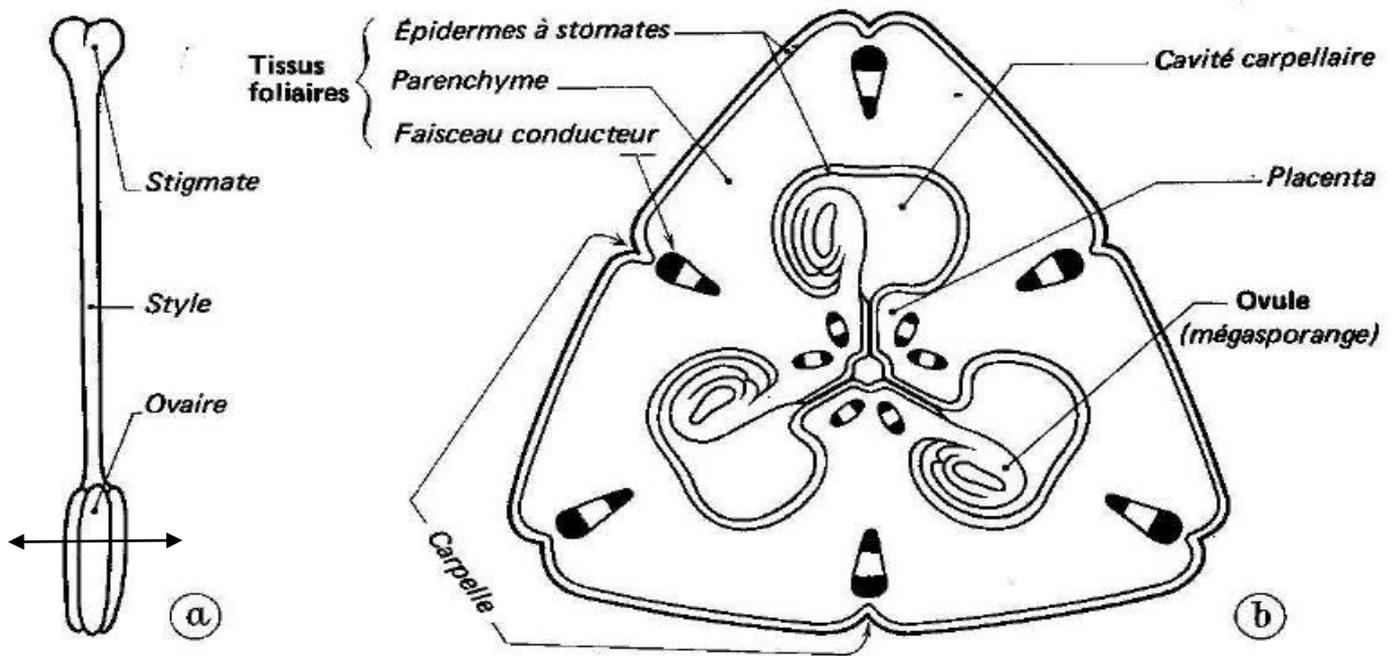


Document 3 :

## II-2. Les organes reproducteurs femelles : le pistil ou le gynécée

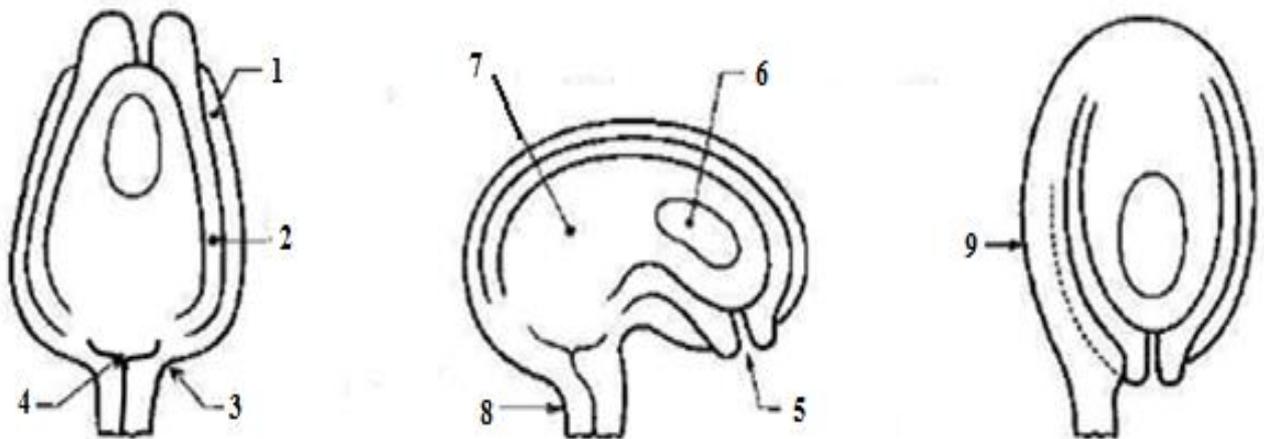
### II-2-1. Structure du gynécée ou pistil

Il est constitué du stigmate qui est relié à l'ovaire par le style. L'ovaire est formé d'un ou de plusieurs **carpelles** soudés (3 carpelles chez le Lis) contenant les **ovules**. Chaque **ovule** est relié au carpelle par un **placenta** sur lequel se fixe le **funicule**. Si l'**ovule** se fixe au centre de l'ovaire, c'est la **placentation axiale**, s'il se fixe sur les parois de l'ovaire c'est la **placentation pariétale**.

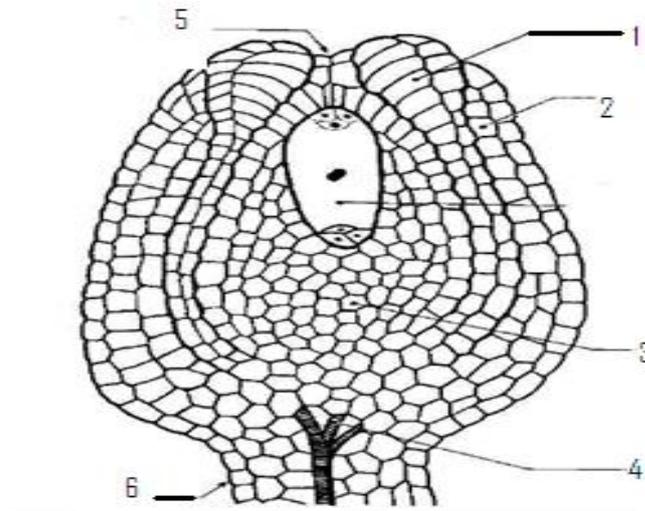


**Document 4 :**

L'intérieur de l'ovule présente un tissu, le **nucelle** qui est recouvert d'un ou de deux **téguments** (primine et secondine). Sur le bout opposé à la **chalaze**, les téguments laissent un petit orifice, le **micropyle**. Dans le **nucelle** et vers le **micropyle** se trouve le **sac embryonnaire**. L'ovule peut présenter plusieurs formes : **orthotrope**, **campylotrope** et **anatropes**. Chez les ovules **anatropes** on note l'apparition du **raphé**.



**Document 5 :**

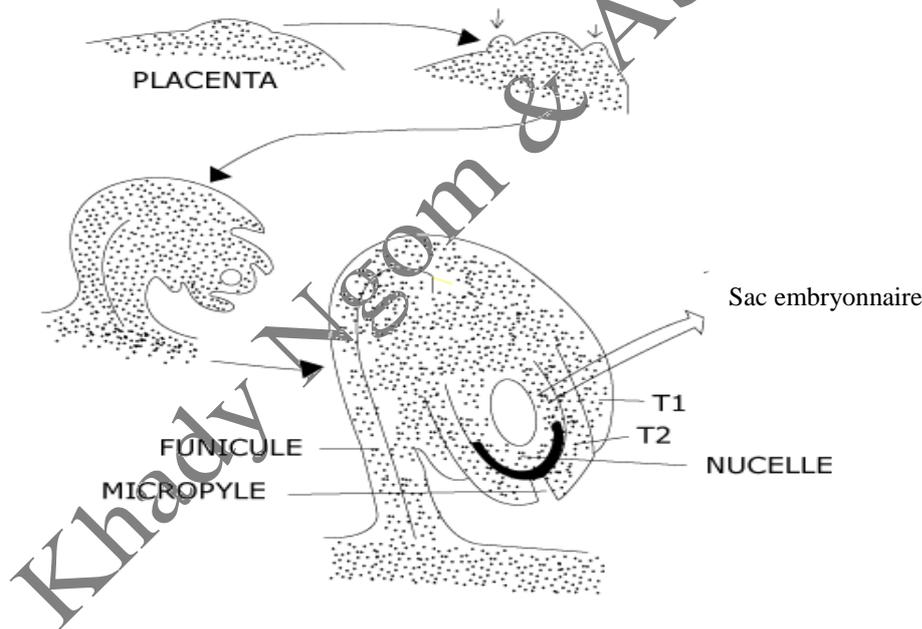


Document 6 :

## II-2-2. Formation de l'ovule et du sac embryonnaire

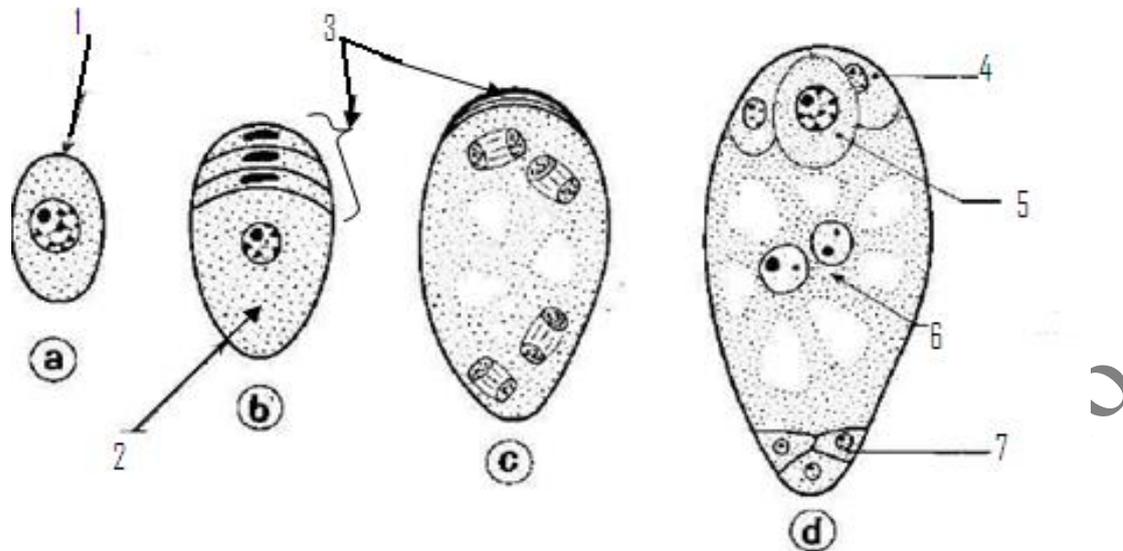
### ✓ Formation de l'ovule

L'**ovule** se forme à partir d'une prolifération locale du **placenta**. Cette partie se développe en forme de **mamelon** représentant le **nucelle**. Deux **bourrelets** se développent ensuite et recouvrent progressivement le nucelle, ce sont les **deux téguments**.



### ✓ Formation du sac embryonnaire

Lors du développement du **nucelle**, une cellule se différencie par sa grosseur et son contenu, c'est la **cellule mère du sac embryonnaire**. Elle subit une méiose pour donner 4 **macrospores** ou **mégaspore** haploïdes. Les trois dégèrent et celui qui survit augmente de taille et son noyau subit **3 mitoses** successives pour donner **8 noyaux**. Le cytoplasme produit ensuite une membrane qui délimite vers le pôle micropylaire une **oosphère** encadrée de deux **synergides**, vers le pôle chalazien 3 **antipodes** et au centre une cellule constituée de 2 noyaux, les **noyaux polaires** ou **noyaux du sac embryonnaire** (qui fusionneront pour donner un noyau diploïde, le **noyau central**).



Document 6 :

### III. LA FECONDATION

Elle passe par plusieurs étapes : la **pollinisation**, la **germination du grain de pollen** et la **double fécondation**.

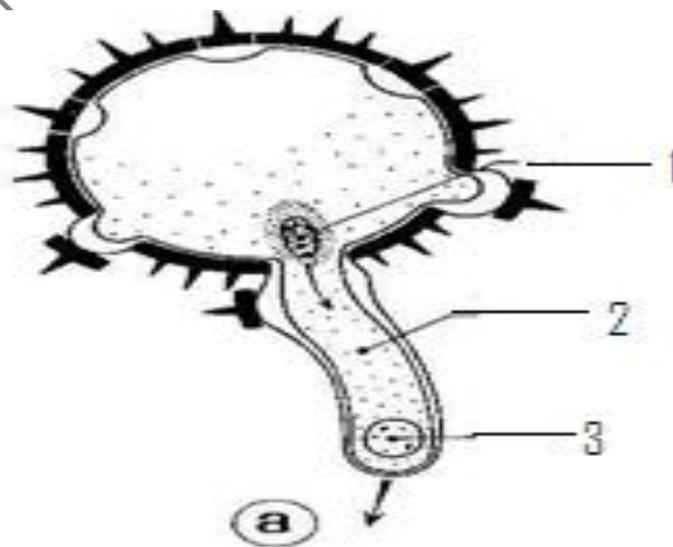
#### III-1. La pollinisation

C'est le transport passif du grain de pollen de l'anthere jusqu'au stigmate. Le stigmate le retient grâce à son aspect **gluant** et à ses **papilles**. Elle est **directe** quand le pollen provient de la même fleur ou **croisée** quand le pollen vient d'une autre fleur. Le transport du pollen est généralement assuré par le vent (**anémogamie**), les insectes (**entomogamie**) ou l'eau (**hydrogamie**).

#### III-2. Germination du grain de pollen et croissance du tube pollinique

##### III-2-1. Germination du grain de pollen

Le **grain de pollen** posé sur le stigmate absorbe de l'eau par osmose et se gonfle. Sous l'effet de la pression due à la turgescence, l'**intine** et une partie du cytoplasme de la cellule végétale font saillie au niveau des pores de l'**exine** et donnent un **tube pollinique**, c'est le début de la germination.

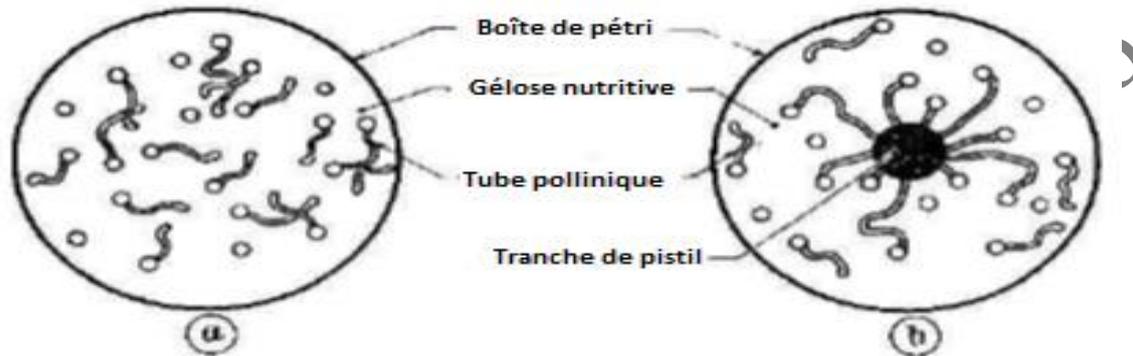


Document 7 :

### III-2-2. Croissance du tube pollinique

- Orientation du tube pollinique
- ✓ Expérience

Saupoudrons du pollen sur deux milieux nutritifs gélosés, dont l'un contient un stigmate. On constate après quelques heures que dans le milieu sans stigmate les tubes polliniques se développent dans tous les sens, alors que dans le milieu présentant un stigmate, les tubes polliniques se dirigent vers le stigmate.



#### ✓ Interprétation

.....

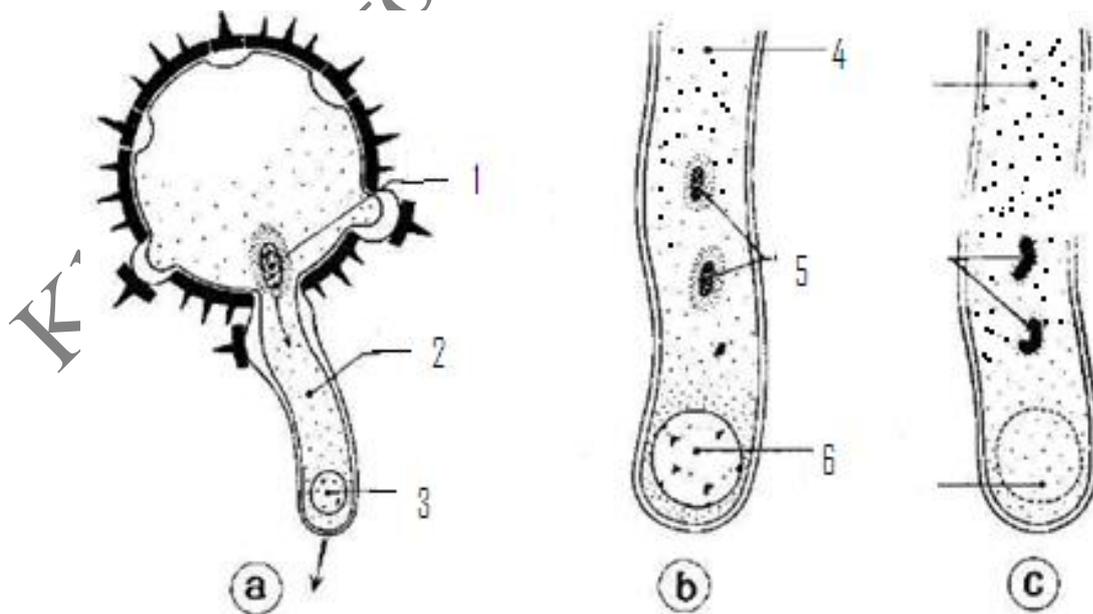
.....

.....

.....

#### ➤ Croissance du tube pollinique

Lors de sa croissance, le **tube pollinique** pénètre dans le **stigmate**, passe par les voies remplies de sécrétion du **style**, la paroi de l'ovaire et atteint le **micropyle** de l'ovule. Cette croissance est favorisée par les réserves de la cellule végétale et les substances du style.

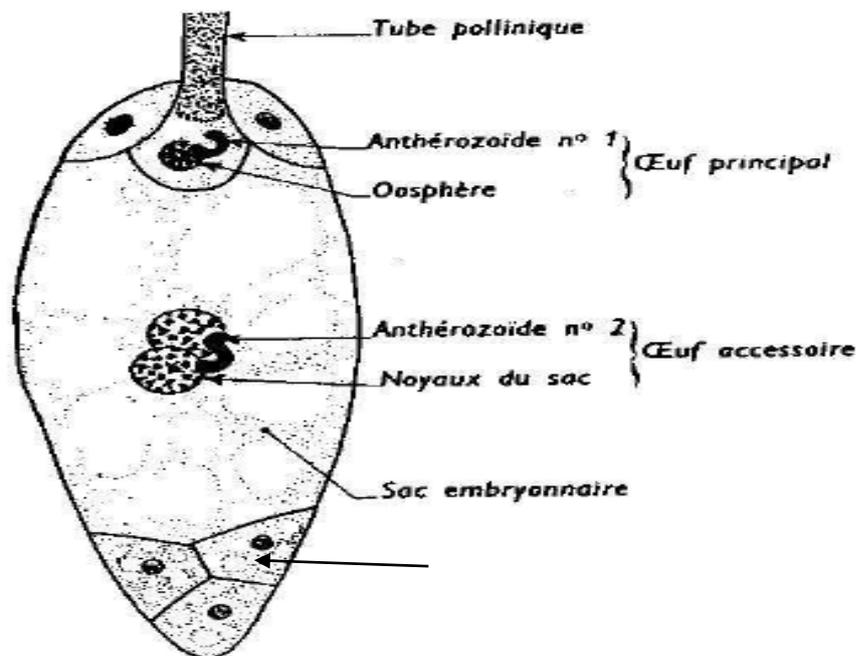


Document 8 :

### III-3. La double fécondation

Au début de la germination le noyau de la **cellule végétale** se place à l'extrémité du tube pollinique (il dégénérera à la fin de la croissance du tube pollinique), il sera suivi par la **cellule génératrice** qui subit une mitose pour donner 2 **gamètes mâles (anthérozoïdes ou spermatozoïdes)** plus ou moins spiralés. Quand le tube pollinique atteint le sac embryonnaire, un des spermatozoïdes fusionne avec l'**oosphère** pour donner l'**œuf principal** ou **œuf embryon** (diploïde,  $2n$ ), l'autre spermatozoïde fusionne avec le noyau de la **cellule centrale** pour donner l'**œuf accessoire** ou **œuf albumen** (triploïde,  $3n$ ).

Donc il y a une **double fécondation** qui est caractéristique des **spermaphytes**

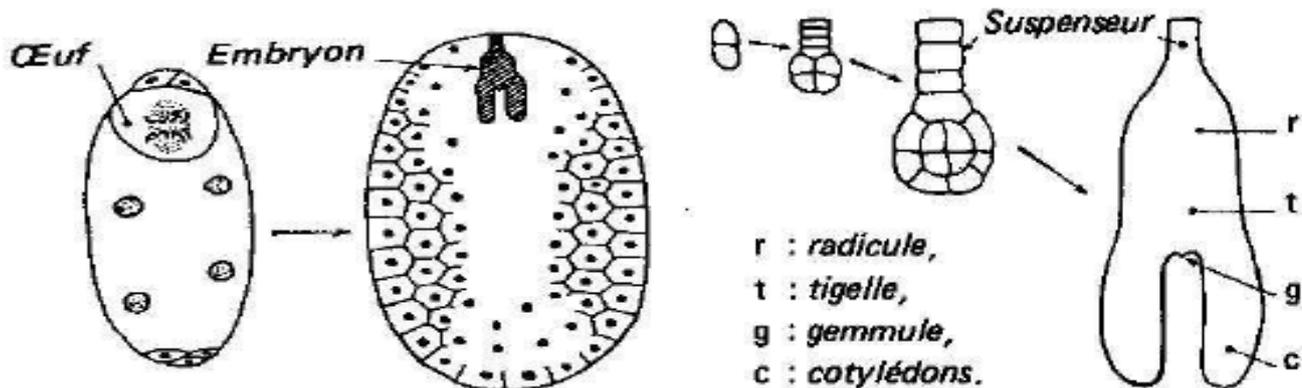


## IV. MECANISMES DE FORMATION DE LA GRAINE ET DU FRUIT

### IV-1. Formation de la graine

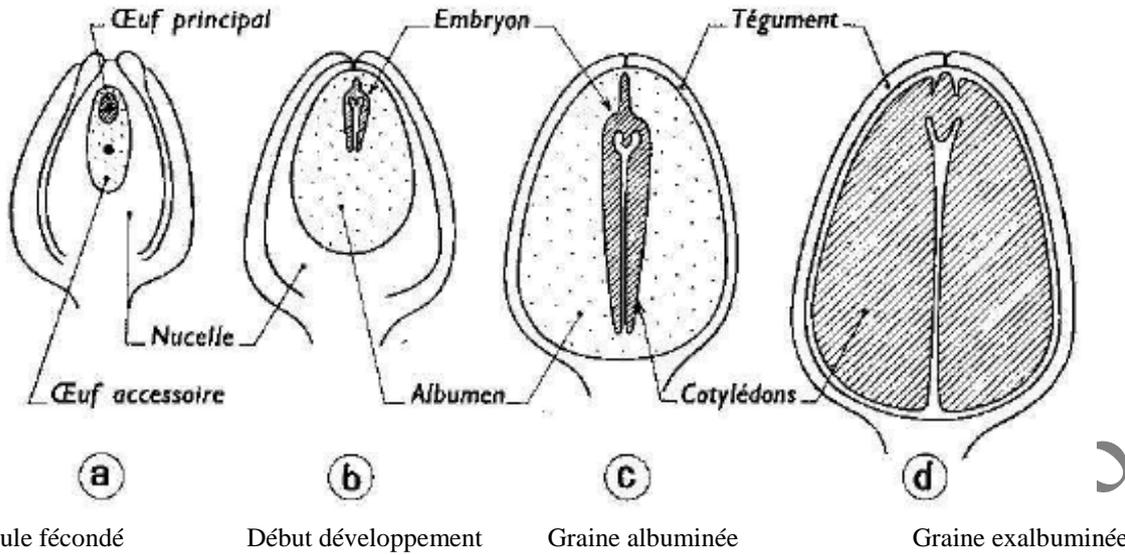
La transformation de l'ovule fécondé se fait en trois temps :

- L'**œuf accessoire** se divise plusieurs fois et rapidement pour donner un tissu de réserve, l'**albumen** qui s'agrandit en digérant le **nucelle**.
- L'**œuf embryon** se divise plusieurs fois pour donner l'**embryon** ou la **plantule** (radicule, tigelle et gemmule) et les **cotylédons**.
- Lorsque le fruit est mure, le développement de la graine s'arrête, elle se déshydrate et entre en vie ralentie. Les téguments deviennent épais et résistants. Selon la localisation des substances de réserve, nous avons des **graines sans albumen** ou **exalbuminées** (réserves dans les cotylédons) et des **graines à albumen** (réserves dans l'albumen).

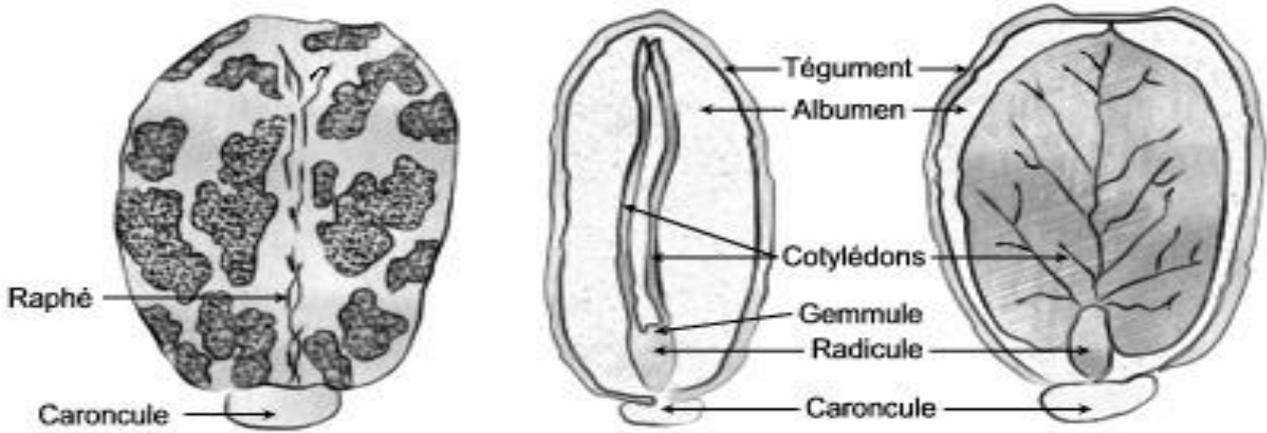


Développement albumen

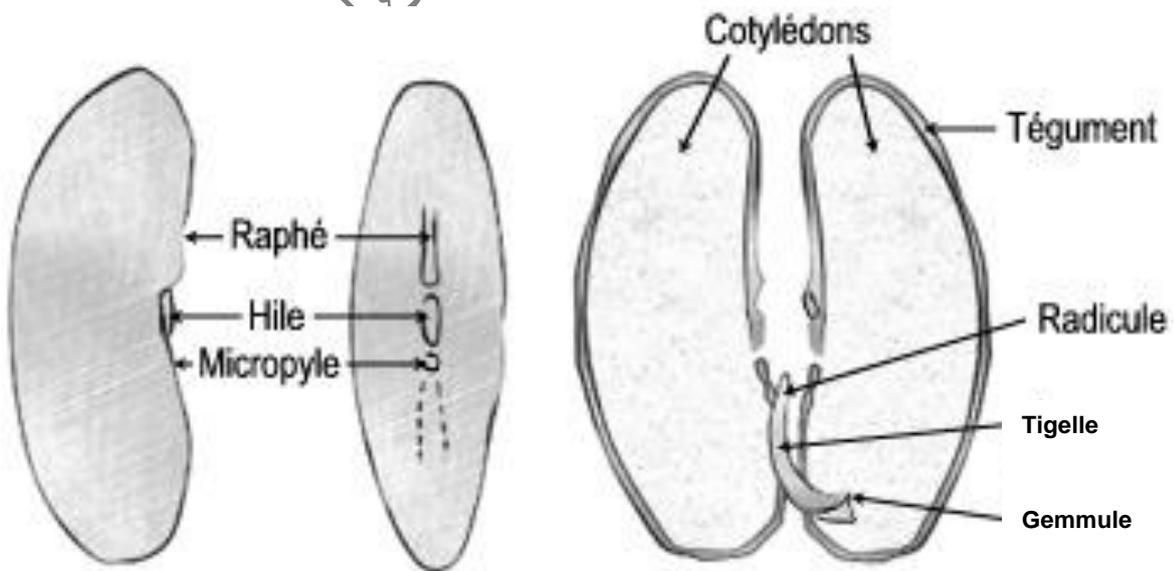
Développement embryon



**Développement de la graine**



**Graine albuminée de Ricin**

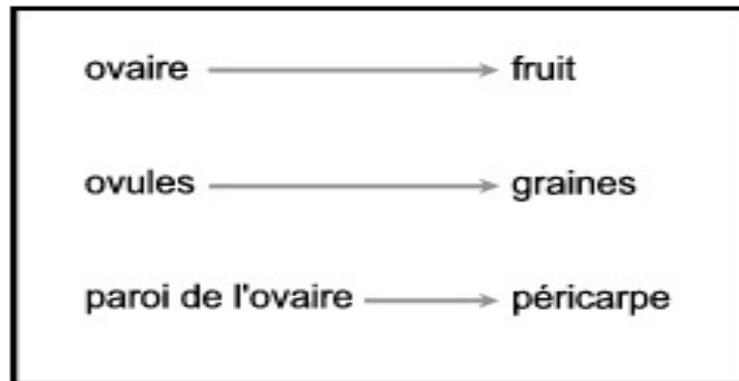


**Graine albuminée d'haricot**

## IV-2. Formation du fruit

Les fruits ne sont produits que chez les **angiospermes** et sont issus du développement de l'**ovule** (qui donne la **graine**) et des **parois de l'ovaire** (qui donne le **péricarpe** chargé de substances sucrées chez les fruits charnus).

Chez les **gymnospermes** il n'y a qu'une **graine nue** issue du développement de l'ovule.



## V. GERMINATION

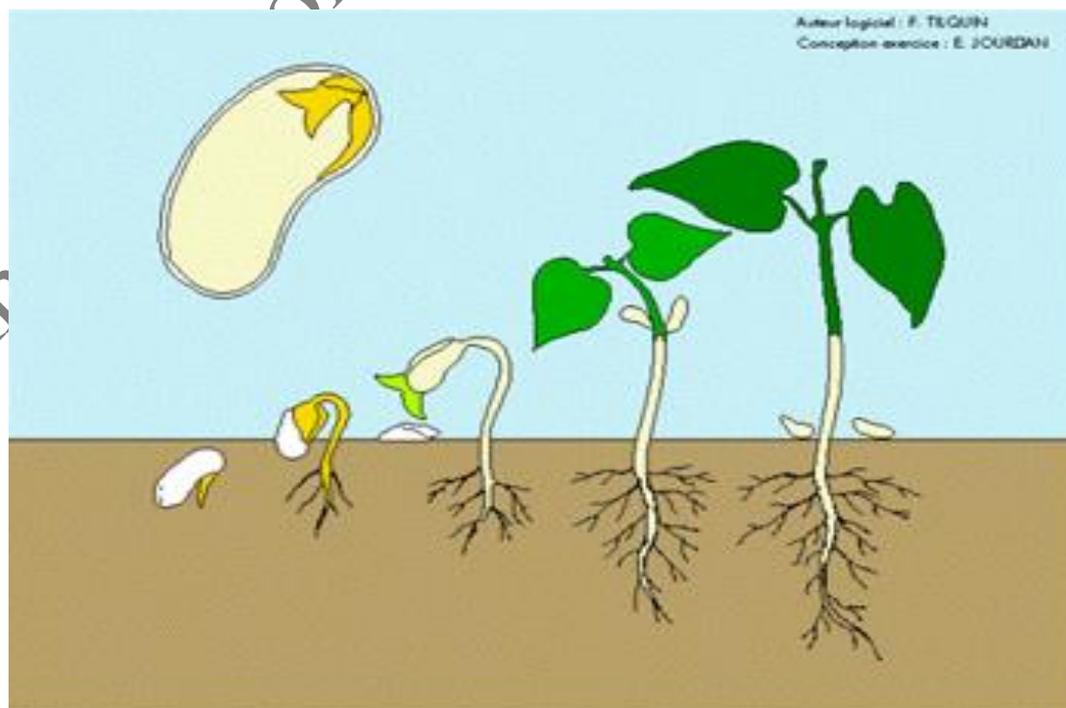
### V-1. Conditions de la germination

Pour germer la graine doit remplir des conditions internes, c'est-à-dire être saine, mûre, pas trop vieille. Elle doit également être mise dans des conditions externes favorables, car elle a besoin d'eau (pas trop), de l'oxygène et une température idéale.

### V-2. Manifestations de la germination

#### ✓ Manifestations morphologiques

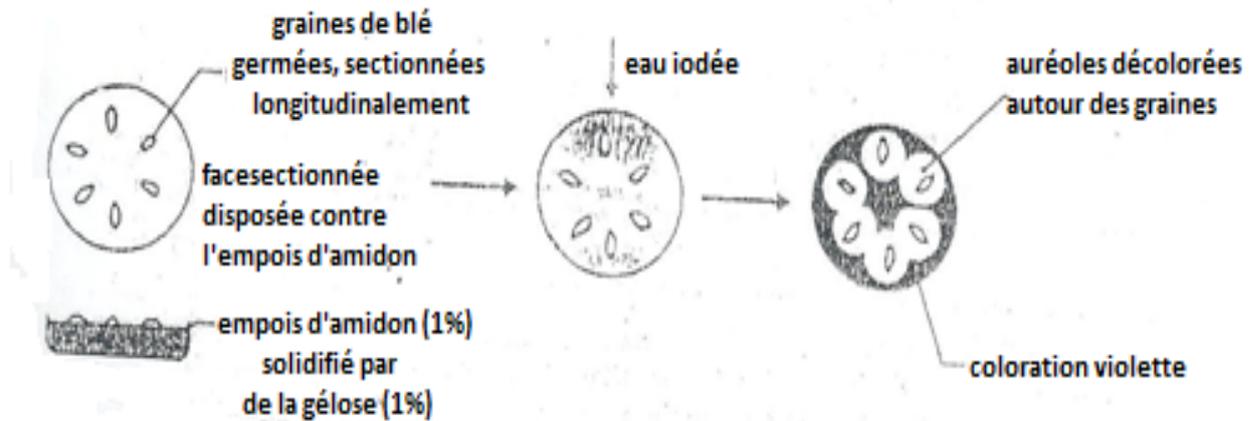
En présence d'eau, la graine semée absorbe de l'eau et se gonfle. Son **tégument** se fend, la **radicule** se développe et s'enfonce dans le sol. La **tigelle** en particulier l'**hypocotyle**, s'allonge vers le haut entraînant les cotylédons, c'est « la levée » de la graine, qui est **épigée** chez le niébé et l'arachide, contrairement à la germination **hypogée** où l'**hypocotyle** ne s'allonge pas et les cotylédons restent dans le sol. Les cotylédons s'ouvrent, la seconde partie de la tigelle (l'**épicotyle**) se développe en même temps que les premières feuilles qui verdissent au contact de la lumière. Les cotylédons vont ensuite perdre leur volume, verdir, flétrir et tomber.



Document 9:

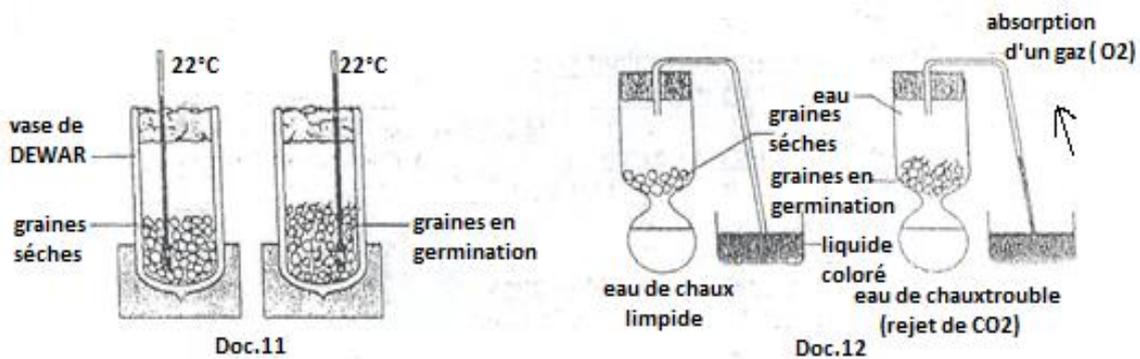
✓ **Manifestations physiologiques**

**Expérience 1** : Protocole expérimental et résultats



**Document 10:**

**Expérience 2** : Protocole expérimental et résultats



**Exploitation :**

**Doc.10** : .....

.....

.....

**Doc.11 et 12** : .....

.....

.....

.....

.....

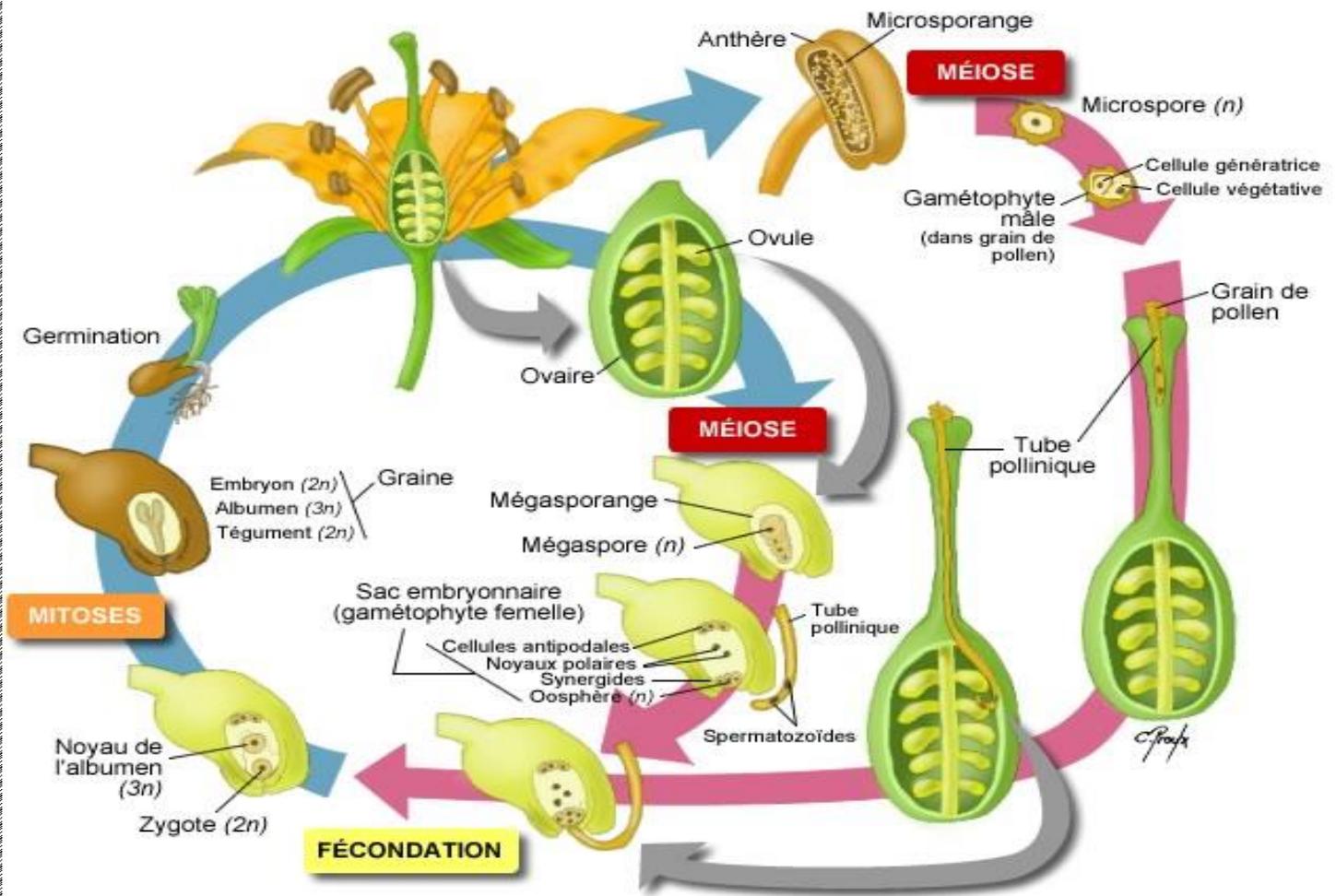
**SYNTHESE :**

La germination d'une graine est un **retour à la vie active** caractérisé par :

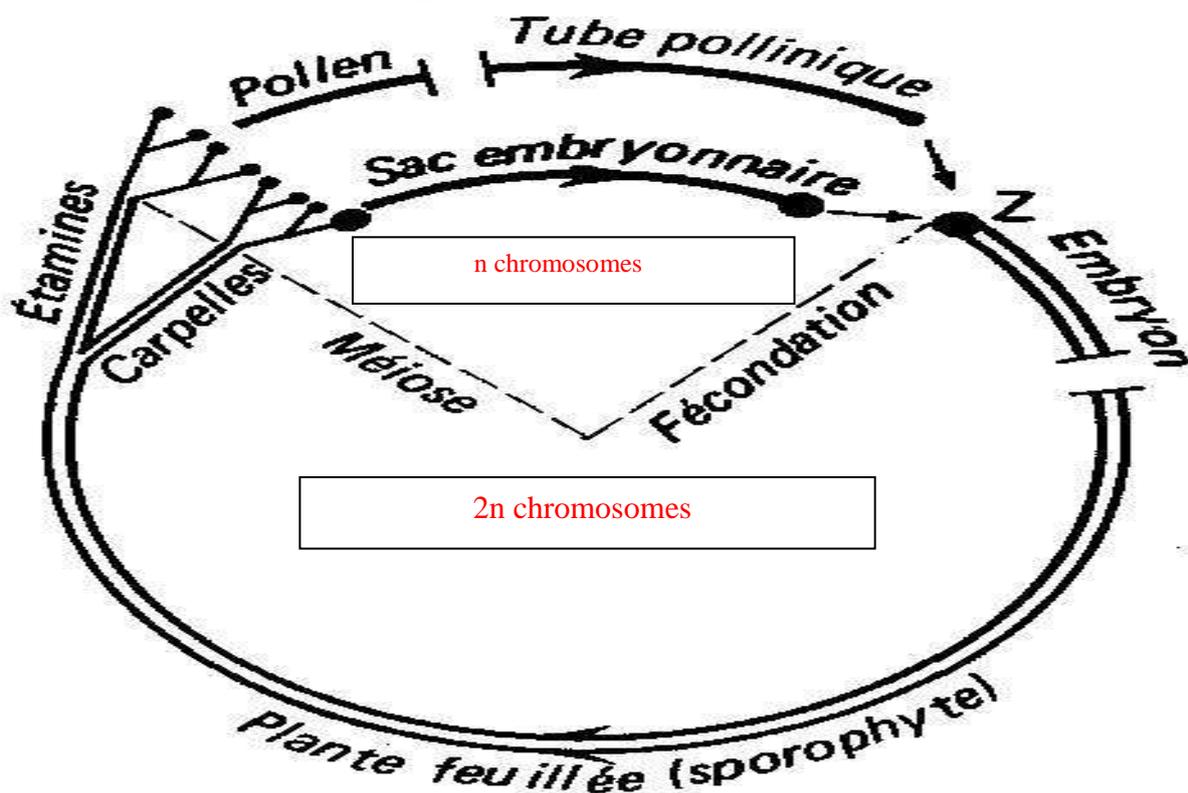
- **Une vie hétérotrophe** d'abord avec les réactions biochimiques de respiration et d'utilisation des réserves en hydrolysant grâce à des enzymes.
- **Une vie autotrophe** après mise en place des racines et des premières feuilles chlorophylliennes grâce au phénomène de la photosynthèse.

## VI. CYCLE DE DEVELOPPEMENT ET CYCLE CHROMOSOMIQUE

### VI-1. Cycle de développement



### VI-2. Cycle chromosomique



## 5<sup>ème</sup> PARTIE: HEREDITE

### THEME 11: HEREDITE GENETIQUE

#### Leçon 21: LES LOIS STATISTIQUES DE LA TRANSMISSION DES CARACTERES HEREDITAIRES: LES LOIS DE MENDEL

##### I. LE MONOHYBRIDISME

C'est le croisement entre deux individus de même espèce différents par un seul caractère

Exemple : le maïs

##### 1.1 Notion de lignée pure

On sème des grains de maïs de couleur jaune. On obtient des plantes qu'on croise entre elles, si après plusieurs croisements, les fructifications ne donnent que des grains jaunes, on en conclut que les grains parentaux étaient des lignées pures.

De même, si les grains noirs ne donnent que des grains noirs, on a une lignée pure de maïs à couleur noire.

.....

.....

.....

.....

##### 1.2 Expériences de croisements ou hybridation

On étudie le caractère couleur jaune ou noir du grain, on vérifie bien que les grains appartiennent à des lignées pures pour ce caractère. Les caractères jaune et noir qui s'excluent mutuellement constituent un couple de caractères.

- a. On sème des grains noirs et des grains jaunes (parents) : lorsque les parents deviennent adultes, on les croise.

Résultats : on obtient après fructification, des épis dont les grains constituent la première génération  $F_1$ , et on remarque que tous les grains sont noirs et semblables à l'un des parents. Le caractère jaune semble avoir disparu.

.....

.....

- b. On sème les grains noirs de la  $F_1$ , et on obtient des épis dont les grains représentent la deuxième génération  $F_2$ .

Résultats : Tous les épis portent côte à côte des grains noirs et des grains jaunes. Le caractère jaune disparu en  $F_1$  est réapparu en  $F_2$ , donc la génération  $F_1$ , contrairement au parent noir, ne constituait pas une lignée, elle est faite d'individus hybrides.

.....

.....

- c. Résultats numériques : Le comptage des grains par épi donne le tableau suivant :

	Grains noirs	Grains jaunes
1 <sup>er</sup> épi	232 (75,6%)	75 (24,4%)
2 <sup>ème</sup> épi	190 (73,9%)	67 (26,1%)
3 <sup>ème</sup> épi	135 (76,3%)	42 (23,7%)
Total des 3 épis	557 (75,2%)	184 (24,8%)
Total des 8 épis	1936 (74,98%)	646 (25,02%)

d. Résultats statistiques : A partir des résultats numériques, calculons les proportions statistiques de deux types de grains :

- Chaque épi possède donc sensiblement 75% de noirs et 25% de jaunes, ce qui correspond aux proportions  $\frac{3}{4}$  et  $\frac{1}{4}$ .
- Plus le nombre de grains examinés est grand, plus on se rapproche des proportions  $\frac{3}{4}$  et  $\frac{1}{4}$ .

e. On sème tous les grains de  $F_2$ , et les plantes obtenues sont croisées entre elles, les épis obtenus faisant partie de la  $F_3$  sont de deux sortes :

- Certains portent uniquement des grains noirs : les grains noirs qui sont à l'origine de ces épis sont des lignées pures.
- D'autres portent  $\frac{3}{4}$  de noirs et  $\frac{1}{4}$  de jaunes : les grains qui sont à l'origine de ces épis sont des hybrides et non des lignées pures.

### 1.3 Interprétation factorielle des résultats

L'hybride s'écrit alors  $\frac{N}{j}$ .

L'existence en  $F_2$  d'individus à caractère récessif montre que N et j, présents conjointement dans l'hybride  $F_1$ , ont été dissociés au cours de la gaméto-genèse et sont passés isolément dans les gamètes :

Chaque hybride donne deux catégories de gamètes (en quantité statistiquement égale : 50%) et portant soit N, soit j, mais jamais les deux simultanément : les gamètes ne sont jamais hybrides, mais pures,

#### Phénotype-Génotype

- Les grains noirs (hybrides comme race pures) ont le même aspect, on dit qu'ils ont le même phénotype noir (symbolisé [N]). Pour les grains jaunes, le phénotype est [j].
- Mais parmi les noirs, les races pures ne renferment que l'allèle N, alors que les hybrides ont l'allèle N et l'allèle j. On dit que race pure noire et race pure hybride n'ont pas le même génotype ou potentialité héréditaire.

Remarque : Le phénotype ou aspect extérieur d'un individu dépend surtout de son patrimoine héréditaire ou génotype, mais également de l'environnement (climat, alimentation, ...).

⇒ Au moment de la fécondation, un gamète mâle N aura autant de chance de rencontrer un gamète femelle N ou j et inversement pour le gamète femelle. Il y aura donc quatre combinaisons possibles également probables.

⇒ Pratiquement, on construit un tableau à double entrée appelé échiquier de croisement :

Parents :

Phénotypes :

Génotypes :

Gamètes :

$F_1$

Gamètes :

F<sub>2</sub> : échiquier de croisement

gamètes mâles		
gamètes femelles		

- ✓ Proportion statistique des phénotypes obtenus :      et
- ✓ On appelle homozygote, tout individu qui ne possède qu'un allèle du caractère :  
.....
- ✓ On appelle hétérozygote, tout individu qui possède les deux allèles du caractère :  
.....

#### 1.4 Notion de test-cross (ou croisement-test)

Il sert à déterminer le génotype d'un individu de phénotype connu (individu testé). Pour cela, on le croise avec un individu homozygote récessif (individu testeur). Ainsi, le parent homozygote ne fournit qu'une seule catégorie de gamètes et comme ces gamètes ne portent que l'allèle récessif, le phénotype des descendants sera uniquement déterminé par l'allèle fourni par l'individu à tester.

Remarque : Dans un test-cross, si le testeur est le propre parent du testé, on parle de back-cross ou croisement retour.

Exemple : Un croisement chez le maïs a donné les résultats suivants.

Parents :  $\frac{N}{N}$  et  $\frac{j}{j}$

Gamètes Parents :  $\underline{N}$  ;  $\underline{j}$ .

F<sub>1</sub> :  $\frac{N}{j}$  soit 100% [N]

F<sub>2</sub> :  $\frac{3}{4}[N]$  et  $\frac{1}{4}[j]$

Les grains noirs de F<sub>2</sub> sont-ils hybrides, comme ceux de F<sub>1</sub>, ou de race pure, comme ceux des parents noirs ?

.....

.....

.....

1er cas : grain noir à tester X testeur

.....

gamètes du testé	
gamètes du testeur	

Résultats:.....

Conclusion :

.....

.....

.....

2ème cas : grain noir à tester X testeur

.....

gamètes du testé		
gamètes du testeur		

Résultats : .....de grains jaunes et ..... de grains noirs.

Conclusion : .....

.....

.....

Exemple : Chez la Belle de nuit

Si on croise une lignée pure à fleurs rouges avec une lignée pure à fleurs blanches, on obtient à la  $F_1$  100% de plantes à fleurs roses.

Si on croise les individus de la  $F_1$  entre eux, on obtient la  $F_2$  composée de plantes à fleurs blanches, rouges et roses dans les proportions suivantes :

- ↪ 25%, soit  $\frac{1}{4}$  de plantes à fleurs rouges ;
  - ↪ 50%, soit  $\frac{1}{2}$  de plantes à fleurs roses ;
  - ↪ 25%, soit  $\frac{1}{4}$  de plantes à fleurs blanches
- .....
- .....

Interprétation des résultats

.....

Parents :

Gamètes parents :

$F_1$  :

Gamètes  $F_1$  :

$F_2$  : échiquier de croisement

gamètes femelles	gamètes mâles		

Décompte:.....

.....

Remarque : .....

.....

## II. LE DIHYBRIDISME

C'est le croisement entre deux individus de même espèce, différents par deux caractères choisis.

### 2.1 Les travaux de Mendel

Il utilise deux races pures de pois, différentes de deux caractères : la forme de la graine (lisse ou ridée) et la couleur de la graine (jaune ou verte).

Il croise ainsi des pois à graines lisses et jaunes avec des pois à graines ridées et vertes. A la  $F_1$ , il obtient 100% d'individus à graines lisses et jaunes.

Il croise les individus de la  $F_1$  et obtient la  $F_2$  composée de :

- ✓ 9/16 de graines lisses et jaunes ;
- ✓ 3/16 de graines lisses et vertes ;
- ✓ 3/16 de graines ridées et jaunes ;
- ✓ 1/16 de graines ridées et vertes.

Ces proportions sont constantes, et plus le nombre de graines examinées est grand, plus on s'en approche : .....

## 2.2 Interprétation factorielle

Il y a deux caractères :

- ☞ la forme des graines : .....
- ☞ la couleur des graines : .....

Parents :

Génotypes :

Gamètes :

F<sub>1</sub> :

- a. **Première hypothèse** : F<sub>1</sub> fournit deux types de gamètes LJ et rv.

gamètes mâles	<u>LJ</u>	<u>rv</u>
gamètes femelles		
<u>LJ</u>		
<u>rv</u>		

Résultat :  $\frac{3}{4}$  [LJ] et  $\frac{1}{4}$  [rv]

Conclusion : .....

- b. **Deuxième hypothèse** : F<sub>1</sub> fournit tous les types de gamètes possibles.

F<sub>1</sub> :  $\frac{L}{r} \frac{J}{v}$  → gamètes possibles LJ ; Lv ; rJ et rv.

Dans cette hypothèse, les allèles se séparent indépendamment les uns des autres lors de la formation des gamètes, c'est-à-dire un allèle d'un couple se combine avec l'un ou l'autre allèle de l'autre couple : .....

gamètes mâles	<u>LJ</u>	<u>Lv</u>	<u>rJ</u>	<u>rv</u>
gamètes femelles				
<u>LJ</u>				
<u>Lv</u>				
<u>rJ</u>				
<u>rv</u>				

Résultat : Décompte des proportions phénotypiques.

Génotypes	Phénotypes	Proportions	
		génotypiques	phénotypiques
$\frac{L}{\underline{L}} \frac{J}{\underline{j}}$ $\frac{L}{\underline{L}} \frac{J}{\underline{v}}$ $\frac{L}{\underline{L}} \frac{J}{\underline{j}}$ $\frac{L}{\underline{L}} \frac{J}{\underline{v}}$ $\frac{r}{\underline{r}} \frac{J}{\underline{j}}$ $\frac{L}{\underline{L}} \frac{J}{\underline{v}}$ $\frac{r}{\underline{r}} \frac{J}{\underline{j}}$	[LJ]		
$\frac{L}{\underline{L}} \frac{v}{\underline{v}}$ $\frac{L}{\underline{L}} \frac{v}{\underline{v}}$ $\frac{r}{\underline{r}} \frac{v}{\underline{v}}$	[Lv]		
$\frac{r}{\underline{r}} \frac{J}{\underline{j}}$ $\frac{r}{\underline{r}} \frac{J}{\underline{j}}$ $\frac{r}{\underline{r}} \frac{J}{\underline{v}}$	[rJ]		
$\frac{r}{\underline{r}} \frac{v}{\underline{v}}$ $\frac{r}{\underline{r}} \frac{v}{\underline{v}}$	[rv]		

Conclusion : .....

.....

### 2.3 Croisement test ou test-cross

Soit un individu de la F<sub>2</sub> de phénotype [LJ], on veut connaître quel est son génotype. Pour cela, on le croise avec le parent homozygote double récessif ( $\frac{r}{\underline{r}} \frac{v}{\underline{v}}$ ).

Cas de génotypes possibles : 1°)  $\frac{L}{\underline{L}} \frac{J}{\underline{j}}$  2°)  $\frac{L}{\underline{L}} \frac{J}{\underline{v}}$  3°)  $\frac{L}{\underline{r}} \frac{J}{\underline{j}}$  4°)  $\frac{L}{\underline{r}} \frac{J}{\underline{v}}$

1er cas: .....

2ème cas: .....

gamètes du testé	$\frac{L}{\underline{L}}$	$\frac{v}{\underline{v}}$
gamètes du testeur		
$\frac{r}{\underline{r}}$		

Décompte: .....

3ème cas:

gamètes du testé	$\frac{L}{\underline{L}}$	$\frac{r}{\underline{r}}$
gamètes du testeur		
$\frac{r}{\underline{r}}$		

Décompte : .....

4ème cas:

gamètes du testé gamètes du testeur	<u>L</u> <u>J</u>	<u>L</u> <u>v</u>	<u>r</u> <u>J</u>	<u>r</u> <u>v</u>
<u>r</u> <u>v</u>				

Décompte :

.....

.....

.....

Remarque sur la F<sub>2</sub> :

$\frac{L}{L} \frac{v}{v}$  et  $\frac{r}{r} \frac{J}{J}$  sont des homozygotes pour les deux caractères, elles constituent des lignées pures nouvelles qui ont été créés. Cette propriété est largement utilisée en agriculture et en élevage pour créer des lignées pures associant plusieurs caractères avantageux.

**Exemple** : association d'une vache laitière avec une vache de chair.

$\frac{L}{L} \frac{J}{j}$ ,  $\frac{L}{l} \frac{J}{J}$ ,  $\frac{r}{r} \frac{J}{j}$  et  $\frac{L}{l} \frac{v}{v}$  sont hétérozygotes pour un caractère, et homozygotes pour l'autre, ils sont monohétérozygotes.

$\frac{L}{l} \frac{J}{j}$  est par contre est dihéterozygote.

### III. LES LOIS DE MENDEL

1<sup>ère</sup> loi : .....

.....

.....

2<sup>ème</sup> loi : .....

.....

.....

.....

3<sup>ème</sup> loi : .....

.....

.....

.....



- ❖ Il existe de nombreuses races de drosophiles issues de mutations spontanées ou provoquées par rayons X.

### 1. Interprétation du monohybridisme

#### a. Morgan croise deux races pures de drosophiles :

Un mâle de type sauvage (plus fréquent) à ailes normale avec une femelle de type muté (plus rare, provenant de la mutation du type sauvage) à ailes vestigiales.

#### Résultats

- ☞ A la F<sub>1</sub>, tous les individus sont de type sauvage (ailes normales) ;
- ☞ A la F<sub>2</sub>, on a  $\frac{3}{4}$  de type sauvage et  $\frac{1}{4}$  de type muté, donc à ailes vestigiales.

#### b. Hypothèse de Morgan

.....

.....

.....

#### c. Vérification

Soit vg, l'allèle qui détermine la forme vestigiale (mutée) ;  
Soit vg<sup>+</sup>, l'allèle qui détermine la forme normale (sauvage).

En F<sub>1</sub>, on a 100% [vg<sup>+</sup>]

Parents :

Phénotype :

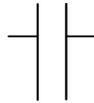
Genotype :



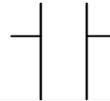
Gamètes P :



F<sub>1</sub> :



Gamètes F<sub>1</sub> :



F<sub>2</sub> :

		gamètes mâles	
gamètes femelles			

Décompte :

Conclusion : .....

.....

.....

.....

### 2. Interprétation du dihybridisme

#### a. Morgan croise deux races pures de drosophiles

Un mâle de phénotype sauvage à ailes normales et corps gris avec une femelle de phénotype muté à ailes vestigiales et corps ébène.

### Résultats :

F<sub>1</sub> : toutes les drosophiles sont de phénotype sauvage.

F<sub>2</sub> : 9/16 de drosophiles à ailes normales et corps gris ;  
 3/16 de drosophiles à ailes normales et corps ébène  
 3/16 de drosophiles à ailes vestigiales et corps gris ;  
 1/16 de drosophiles à ailes vestigiales et corps ébène.

### b. Hypothèse

.....

.....

.....

### c. Vérification

Soit vg, l'allèle qui détermine la forme vestigiale des ailes ;

Soit vg<sup>+</sup>, l'allèle qui détermine la forme normale des ailes ;

Soit eb, l'allèle qui détermine la couleur ébène du corps ;

Soit eb<sup>+</sup>, l'allèle qui détermine la couleur grise du corps.

Parents

Phénotypes :

Génotypes :

Gamètes P :

F<sub>1</sub> :

Gamètes F<sub>1</sub> :

F<sub>2</sub> :

gamètes femelles \ gamètes mâles	vg <sup>+</sup> eb <sup>+</sup>	vg <sup>+</sup> eb	vg <sup>-</sup> eb <sup>+</sup>	vg <sup>-</sup> eb
vg <sup>+</sup> eb <sup>+</sup>	vg <sup>+</sup> eb <sup>+</sup> / vg <sup>+</sup> eb <sup>+</sup>	vg <sup>+</sup> eb <sup>+</sup> / vg <sup>+</sup> eb	vg <sup>+</sup> eb <sup>+</sup> / vg <sup>-</sup> eb <sup>+</sup>	vg <sup>+</sup> eb <sup>+</sup> / vg <sup>-</sup> eb
vg <sup>+</sup> eb	vg <sup>+</sup> eb <sup>+</sup> / vg <sup>+</sup> eb	vg <sup>+</sup> eb <sup>+</sup> / vg <sup>+</sup> eb	vg <sup>+</sup> eb <sup>+</sup> / vg <sup>-</sup> eb	vg <sup>+</sup> eb <sup>+</sup> / vg <sup>-</sup> eb
vg <sup>-</sup> eb <sup>+</sup>	vg <sup>+</sup> eb <sup>+</sup> / vg <sup>-</sup> eb <sup>+</sup>	vg <sup>+</sup> eb <sup>+</sup> / vg <sup>-</sup> eb <sup>+</sup>	vg <sup>+</sup> eb <sup>+</sup> / vg <sup>-</sup> eb <sup>+</sup>	vg <sup>+</sup> eb <sup>+</sup> / vg <sup>-</sup> eb <sup>+</sup>
vg <sup>-</sup> eb	vg <sup>+</sup> eb <sup>+</sup> / vg <sup>-</sup> eb	vg <sup>+</sup> eb <sup>+</sup> / vg <sup>-</sup> eb	vg <sup>+</sup> eb <sup>+</sup> / vg <sup>-</sup> eb	vg <sup>+</sup> eb <sup>+</sup> / vg <sup>-</sup> eb

Décompte :

## Conclusions

.....

.....

.....

.....

### III. VERIFICATION DE L'HYPOTHESE CHROMOSOMIQUE

#### 1. Hérité lié au sexe (exception à la première loi de Mendel)

##### a. Les chromosomes de la drosophile

Si on bloque la division d'une cellule de la drosophile en métaphase par la colchicine, on peut alors fixer tous les chromosomes qui sont situés dans le même plan en plaque équatoriale, on peut ainsi les fixer, les grouper par paires homologues et dresser la carte d'identité chromosomique de l'espèce appelée caryotype.

Résultats : (voir fig. ci-dessous)

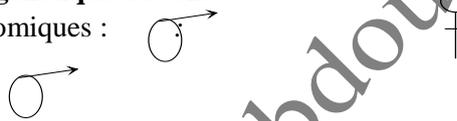


Figure : Caryotype de la drosophile

##### b. Détermination génétique du sexe

Formules ou garnitures chromosomiques :

Gamètes : ♀



Descendance :

Conclusion :

.....

##### c. Etude d'un cas d'hérité lié au sexe

###### Remarque

Le chromosome X porte un certain nombre de caractères, il y en a peu sur le chromosome Y (hors programme).

###### Expérience 1

On croise deux drosophiles de race pure : un mâle aux yeux blancs avec une femelle aux yeux rouges.

###### Résultats

- ✓ En F<sub>1</sub>, on a 100% de drosophiles aux yeux rouges (mâles et femelles).
- ✓ En F<sub>2</sub>, on obtient  $\frac{3}{4}$  de drosophiles aux yeux rouges, et  $\frac{1}{4}$  de drosophiles aux yeux blancs.

###### Expérience 2

On réalise le croisement réciproque, entre une femelle aux yeux blancs et un mâle aux yeux rouges (ex : fig.)

###### Résultats

- ✓ En F<sub>1</sub>, on a 50% de mâles aux yeux rouges ;  
50% de femelles aux yeux blancs.
- ✓ En F<sub>2</sub>, on a 25% de mâles aux yeux blancs ;  
25% de mâles aux yeux rouges ;  
25% de femelles aux yeux rouges ;  
25% de femelles aux yeux blancs.

**Interprétation****🍏 Au premier croisement**

On obtient 100% de drosophiles aux yeux rouges,

.....

.....

.....

Parents :

Gamètes P :

F1 :

Gamètes F1 :

F2 :

gamètes mâles		
gamètes femelles		

**Décompte des phénotypes obtenus :****🍏 Au deuxième croisement**

Les parents de lignées pures, la F1 devrait être uniforme ce qui n'est pas le cas ici car le phénotype des mâles est différent du phénotype des femelles. C'est une exception à la 1ère loi de Mendel. C'est probablement une hérédité liée au sexe. Le caractère couleur des yeux est porté par le chromosome X.

Parents :

Gamètes F :

F1 :

Gamètes F1 :

F2 :

gamètes mâles		
gamètes femelles		

**Décompte des phénotypes obtenus :****Conclusion :**



gamètes mâles		
gamètes femelles		

### Décompte des phénotypes

#### ⇒ Conclusion

.....

.....

.....

#### ⇒ Test-cross : entre un mâle de F<sub>1</sub> et une femelle [vg eb].

F<sub>1</sub> : ♂ :                      ×                      ♀ :

Gamètes :                      ;                      et

Phénotypes :

gamètes du testeur	gamètes du testé		

### Décompte des phénotypes :

#### b. Exception à la liaison absolue entre caractères : le crossing-over

#### ⇒ Les travaux de Morgan (voir fig. 6)

Le test-cross entre une femelle de F<sub>1</sub> et un mâle [eb vg] donne les résultats suivants :

☞ Types parentaux : 41,5% de [eb+ vg+] } **Types parentaux :**  
 ☞ Types parentaux : 41,5% de [eb vg]

☞ Types recombinés : 8,5% [eb vg+] } **Types recombinés :**  
 ☞ Types recombinés : 8,5% [eb+ vg]

⇒ **Analyse des résultats**

.....  
.....  
.....  
.....

⇒ **Hypothèse**

⇒ **Interprétation**

**Remarque**

En comparant les résultats des deux test-cross, on se rend compte qu'ils sont différents : chez le mâle de la drosophile le linkage est absolu, chez la femelle le linkage est partiel et il y a des possibilités de crossing-over.

#### **IV. INTERET DES REMANIEMENTS CHROMOSOMIQUES : CONSTRUCTION DES CARTES CHROMOSOMIQUES FACTORIELLES**

##### **1. Notes préliminaires**

Quand deux gènes sont liés sur un même chromosome, plus ils sont éloignés, plus il y a des chances de crossing-over, c'est – à dire que des chiasmats passent entre l'emplacement (locus) occupé par les gènes. Plus ils sont rapprochés, moins ils sont remaniés.

Donc la fréquence de recombinaison est directement proportionnelle à la distance entre gènes.

On pose 1% de recombinaison veut dire que les deux gènes sont séparés par une distance de 1 centimorgan (cM).

##### **2. Application**

###### **a. Etablissement d'une carte factorielle de 3 gènes à partir du dihybridisme**

###### **Exercice**

On croise des drosophiles femelles hétérozygotes pour les deux gènes récessifs eb (corps noir) et vg (ailes vestigiales), avec des mâles au corps noirs et aux corps ailes vestigiales. La descendance comprend :

- ✓ 410 individus de type sauvage pour les caractères ; [eb+ Vg+] ↔ 41%
- ✓ 420 individus de phénotype muté pour les deux caractères ; [eb Vg] ↔ 42%
- ✓ 80 individus aux ailes vestigiales et au corps de type sauvage ; [eb+ Vg] ↔ 8%
- ✓ 90 individus aux ailes de type sauvage et au corps noir. [eb Vg+] ↔ 9%

- 1) Expliquer ces résultats. Que peut-on dire des gènes *eb* et *vg* ?
- 2) Sachant que le pourcentage de recombinaisons entre *eb* (corps noir) et *bw* (œil brun) est de 45% et qu'il est de 28% entre les gènes *vg* (ailes vestigiales) et *bw* (œil brun), établir la carte factorielle pour les gènes *eb*, *bw* et *vg*.

**Résolution :**

- 1) .....
- 2) .....

**b. Etablissement d'une carte factorielle de 3 gènes à partir du trihybridisme****Exercice**

On sait que chez la drosophile, les gènes *A*, *B*, *C* sont liés. Un back-cross, effectué entre une femelle de phénotype  $[ABC]$  et de génotype  $ABC/abc$  et un mâle récessif de génotype  $abc/abc$ , donne les différents phénotypes théoriquement possibles ci-dessous :

$$[ABC]=962$$

$$[ABc]=87$$

$$[abc]=990$$

$$[abC]=65$$

$$[Abc]=156$$

$$[AbC]=11$$

$$[aBC]=161$$

$$[aBc]=8$$

- 1) Expliquer ces résultats
- 2) Etablir la carte factorielle des gènes liés

**Résolution :**

- 1) .....

- 2) *Etablissement de la carte factorielle*

*Distance (AB)*

Distance (BC)

Distance (AC)

Echelle :

### Conclusion

.....  
.....  
.....  
.....

### V. NOTION DE GENE

L'observation microscopique de chromosomes géants de drosophile montre une succession de bandes claires et sombres. Les bandes sombres sont riches en ADN et correspondent à des emplacements de gènes ou locus.

Chaque gène est un fragment d'ADN qui gouverne la synthèse d'enzymes déterminées ainsi que des protéines déterminées, ce qui entraîne la réalisation de caractères déterminés.

Les gènes sont donc des unités indivisibles dont l'activité est responsable des caractères observables des organismes. Les chromosomes peuvent être considérés comme une sorte de chapelet de gènes.

## Thème 12 : L'HEREDITE CHEZ L'ESPECE HUMAINE

### Leçon 24 : L'hérédité chez l'espèce humaine

#### I. LES PROBLEMES DE LA GENETIQUE HUMAINE

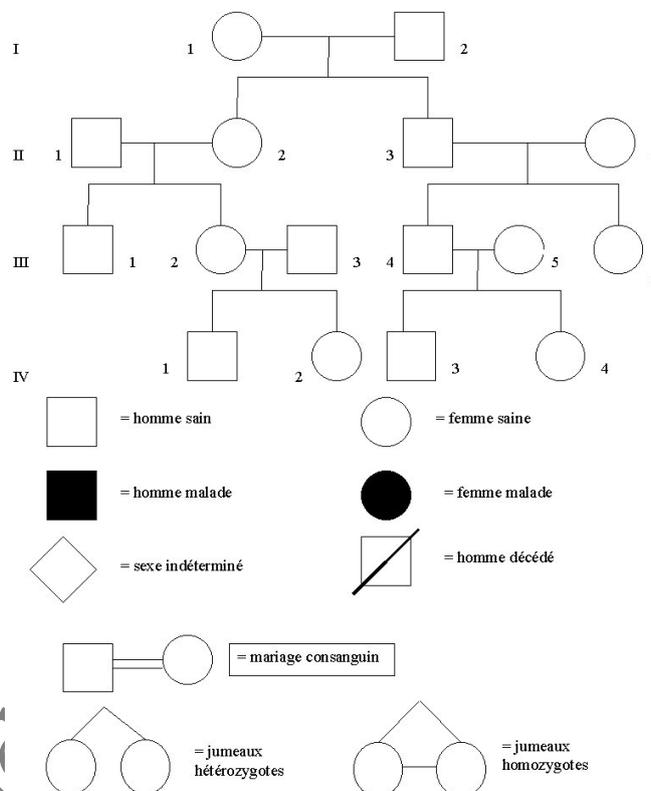
L'étude de la transmission des caractères chez l'homme est rendue difficile car :

- L'homme ne peut être considéré comme un matériel expérimental ;
- Le nombre élevé de chromosomes :  $2n = 46$  ;
- La durée d'une génération humaine est longue (environ 25 ans) ;
- La fécondité est faible, à chaque génération, le nombre d'enfants est limité (1 ou 2 et rarement plus).

#### II. LES METHODES D'ETUDE

L'étude de l'hérédité est surtout fondée sur l'analyse d'arbres généalogiques ou pédigrées, où se succèdent les individus d'une famille avec tous les événements importants (mariages, naissances, décès et causes, caractéristiques marquants de chaque membre, etc.).

- ❖ On numérote les différentes générations de haut en bas (I, II, III, ...),
- ❖ On numérote les individus de chaque génération de gauche à droite,
- ❖ Certaines informations sont données comme sur la figure ci-dessous.



#### III. QUELQUES EXEMPLES DE TRANSMISSION DE CARACTERES HEREDITAIRES

##### III-1. Cas d'hérédité transmis par des autosomes

##### III-1-1. L'albinisme

On le rencontre dans le règne animal. L'albinisme est dû à l'absence d'un pigment noir, la mélanine, sur la peau et les cheveux. Les réactions chimiques qui conduisent à sa synthèse sont bloquées par l'absence d'une enzyme.

**Exercice :** Le pédigrée ci-dessous est celui de la transmission de l'albinisme. En vous basant sur les informations fournies par ce pédigrée :

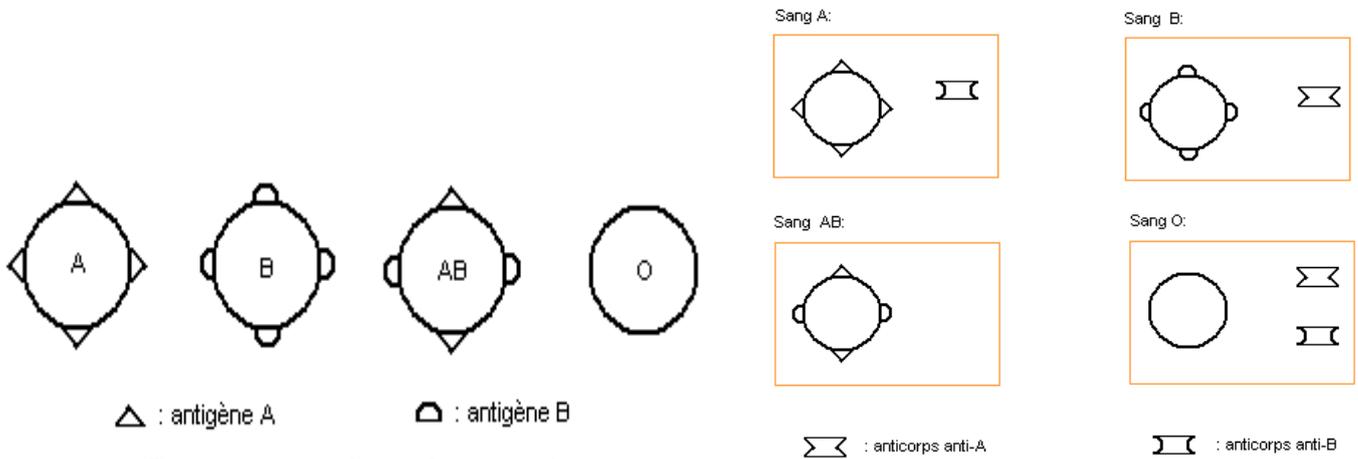
- 1- Dites si le caractère lié à l'albinisme est dominant ou récessif. Justifiez votre réponse.
- 2- Donnez le génotype des parents II-2 et II-3. Justifiez votre réponse.
- 3- Quel est le génotype des individus III-2, III-3 et III-4 ?



**III-1-2. Les groupes sanguins**

**III-1-2-1. Le système A B O**

Les hématies présentent sur leur membrane des antigènes ou agglutinogènes et des anticorps ou agglutinines. Les antigènes portés donnent leur nom au groupe sanguin (A, B, AB ou O). Chaque groupe sanguin possède dans son plasma un ou deux types anticorps comme l'indique ce tableau.



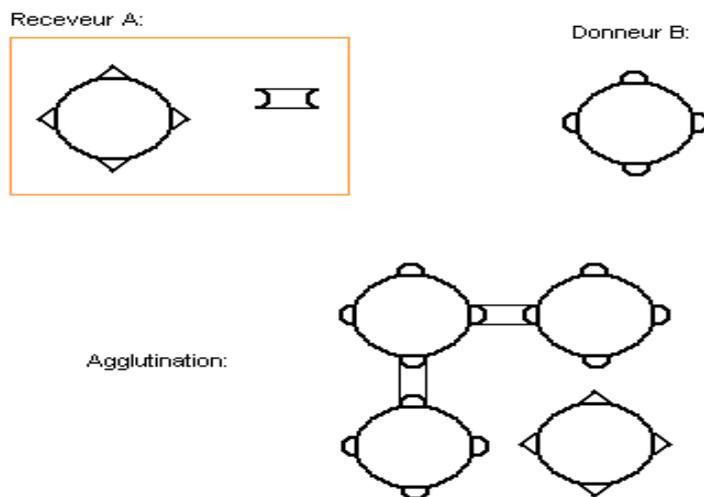
**Groupes sanguins et leurs antigènes**

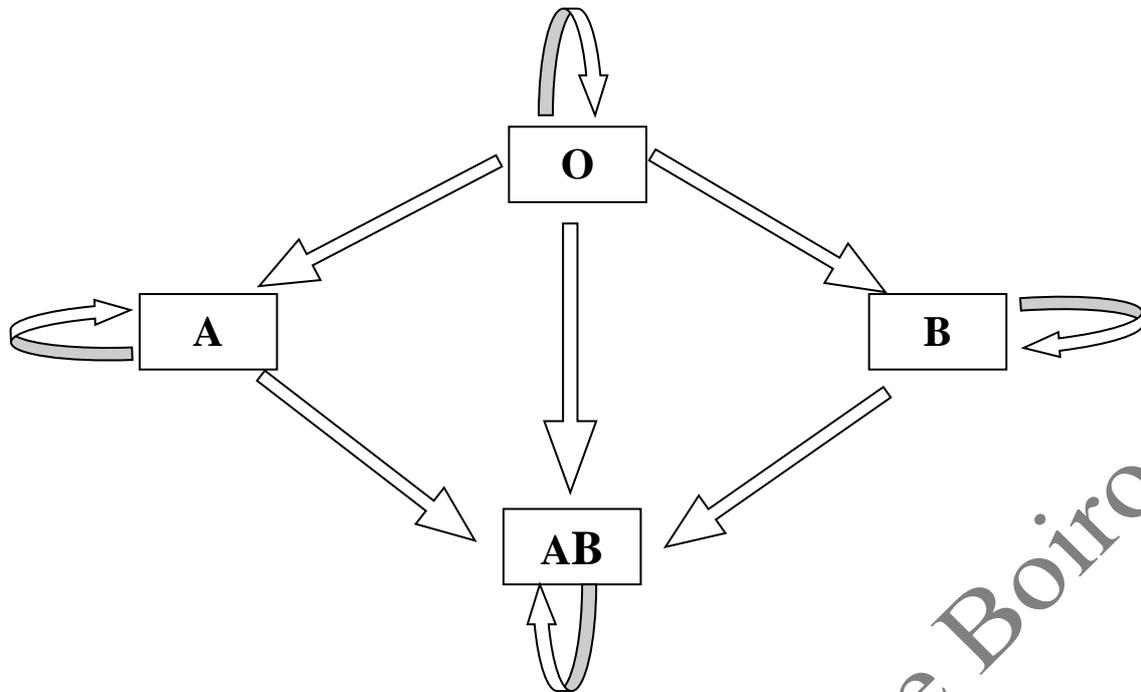
**Groupes sanguins et leurs anticorps**

**Tableau récapitulatif des groupes sanguins des antigènes et de leurs anticorps.**

Groupes sanguins	Agglutinogènes (antigènes)	Agglutinines (anticorps)
A		
B		
AB		
O		

Un mélange entre de sang entre A et B donnera une agglutination. Il en est de même pour A ou B ou AB qui donne à O.





### Schéma de la transfusion sanguine

NB : O est le donneur universel, alors qu'AB est le receveur universel.

Les groupes sanguins sont déterminés par trois gènes dont les allèles sont A, B et O. Les allèles A et B sont codominants, O est récessif vis-à-vis de A et B.

- Génotypes possibles

Phénotypes	Génotypes possibles
[A]	
[B]	
[AB]	
[O]	

### III-1-2-2. Le facteur rhesus

C'est un groupe sanguin qui se superpose aux autres, il est reconnu pour la première fois chez le singe Macaque rhesus. Un sujet est  $Rh^+$  s'il renferme l'antigène rhesus, sinon il est dit  $Rh^-$ . La présence de cet antigène est commandée par un gène dont les allèles sont  $Rh^+$  et  $Rh^-$ . L'allèle  $Rh^+$  est dominant sur l'allèle  $Rh^-$  qui est récessif.

La transfusion de sang  $Rh^+$  dans le sang d'un individu  $Rh^-$  provoque chez ce dernier la synthèse d'anticorps anti-rhésus, qui à la prochaine transfusion ou à la prochaine grossesse chez la femme, va déclencher l'agglutination des hématies, d'où accident mortel.

- Génotypes possibles

Phénotypes	Génotypes possibles
$Rh^+$	
$Rh^-$	

NB : Un individu du groupe A ayant le facteur rhesus sera dit  $A^+$ , s'il ne l'a pas il sera dit  $A^-$ .

### III-2. Cas d'hérédité lié au sexe

#### III-2-1. Les chromosomes humains

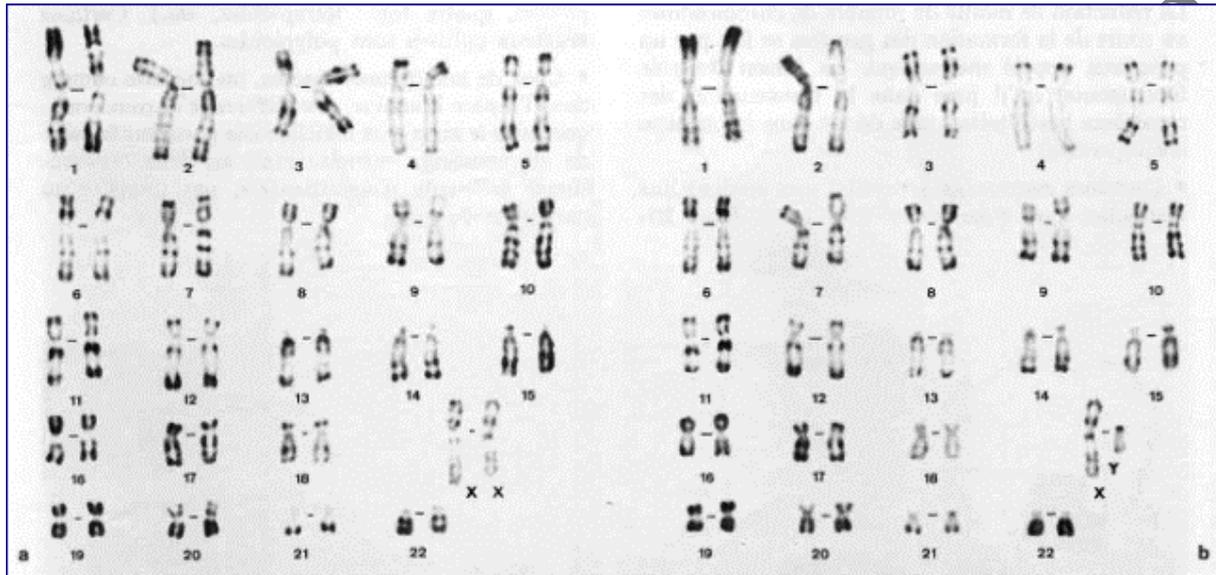
##### III-2-1-1. Technique d'étude

Bloquons la division d'une cellule humaine en métaphase en la mettant dans de la colchicine. On peut ensuite fixer tous les chromosomes situés sur la plaque équatoriale, les grouper par paires homologues et dresser le caryotype de l'espèce.

##### III-2-1-2. Le caryotype humain

Il est constitué de 46 chromosomes, dont :

- Chez la femme :  $2n = 44 A + XX$  ; l'ovule a :  $n = 22 A + X$
- Chez l'homme :  $2n = 44 A + XY$  ; le spermatozoïde a :  $n = 22 A + X$  ou  $n = 22 A + Y$



Caryotype femelle

Caryotype mâle

#### III-2-2. Transmission du daltonisme et de l'hémophilie

##### ➤ Le daltonisme

C'est une maladie de la vision des couleurs. Les personnes qui en sont atteintes confondent les couleurs.

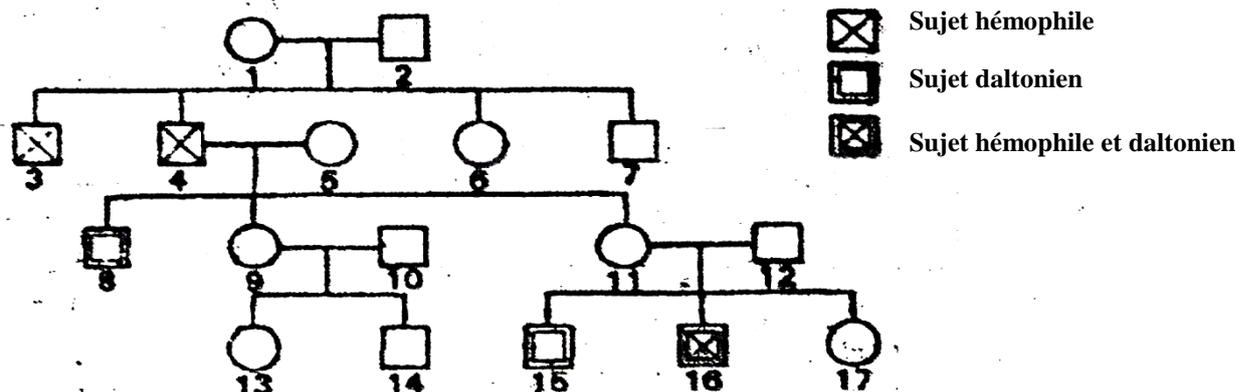
##### ➤ L'hémophilie

C'est un défaut de coagulation du sang qui se transmet selon le même mode que le daltonisme.

- Exercice : L'arbre généalogique ci-dessous se rapporte à la transmission de deux maladies héréditaires, le daltonisme et l'hémophilie.

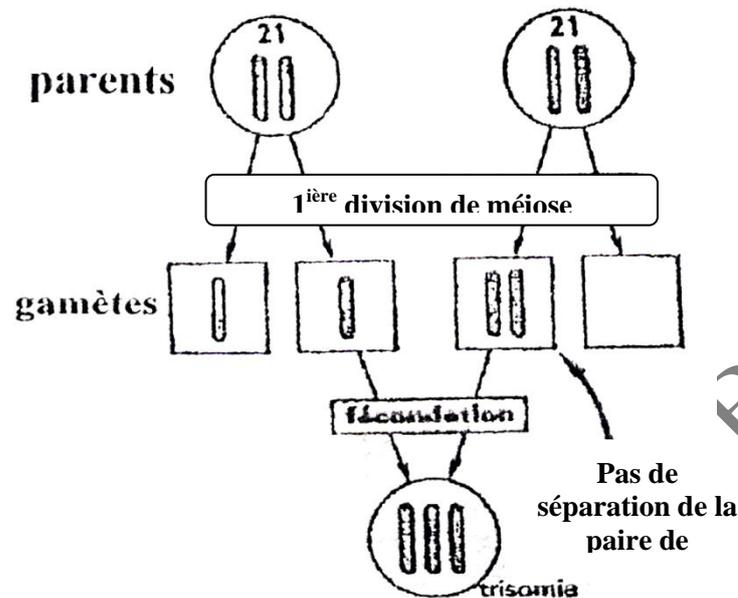
Interprétez-le

- ☞ En précisant si les gènes responsables sont dominants ou récessifs.
- ☞ Donnez les génotypes des individus 4 et 7 ; 5 et 8.
- ☞ Expliquez la survenue de la maladie de l'individu 16, après avoir déterminé le génotype de l'individu 11.



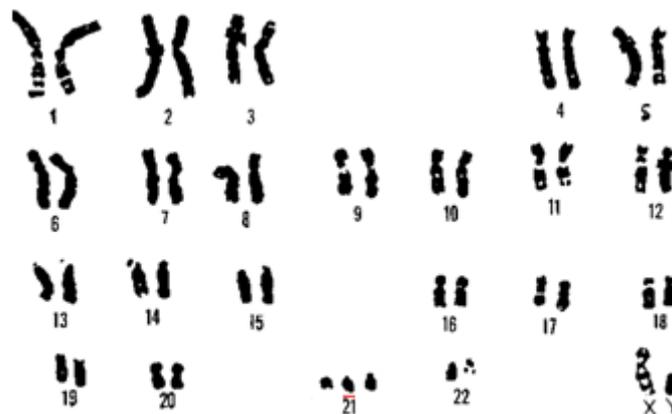


Ici, seul l'enfant a un caryotype anormal avec 3 chromosomes 21 : c'est le cas de trisomie 21 libre. On ne peut donc parler de transmission héréditaire.  
NB : Elle a plus de chance de se produire si la mère est âgée.



- 2<sup>ème</sup> cas : la trisomie 21 avec transmission

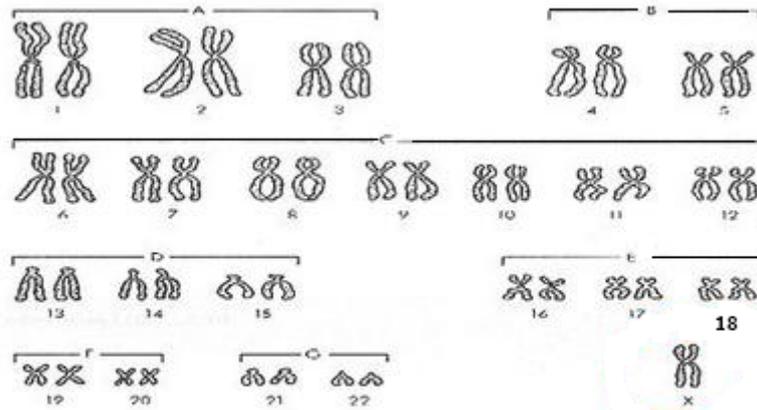
Dans ce cas un des parents a un caryotype à un des chromosomes 14 s'accroche à un des chromosomes 21 pour former 3 chromosomes 21, on dit qu'il y a une translocation. Cette translocation est dite équilibrée, car elle n'entraîne aucune perturbation au niveau du phénotype de ce parent. Mais l'enfant présente un caryotype anormal avec deux chromosomes 21 et un chromosome transloqué 14. Il est atteint de trisomie 21. On peut dire qu'il y a transmission héréditaire.



Caryotype d'un mongole

- Le syndrome de Turner ou syndrome haplo-X

Il affecte des sujets féminins, qui ont un seul chromosome X ( $2n = 44A + X$ ). Elles sont de petite taille, stériles et les caractères sexuels secondaires peu ou pas développés.

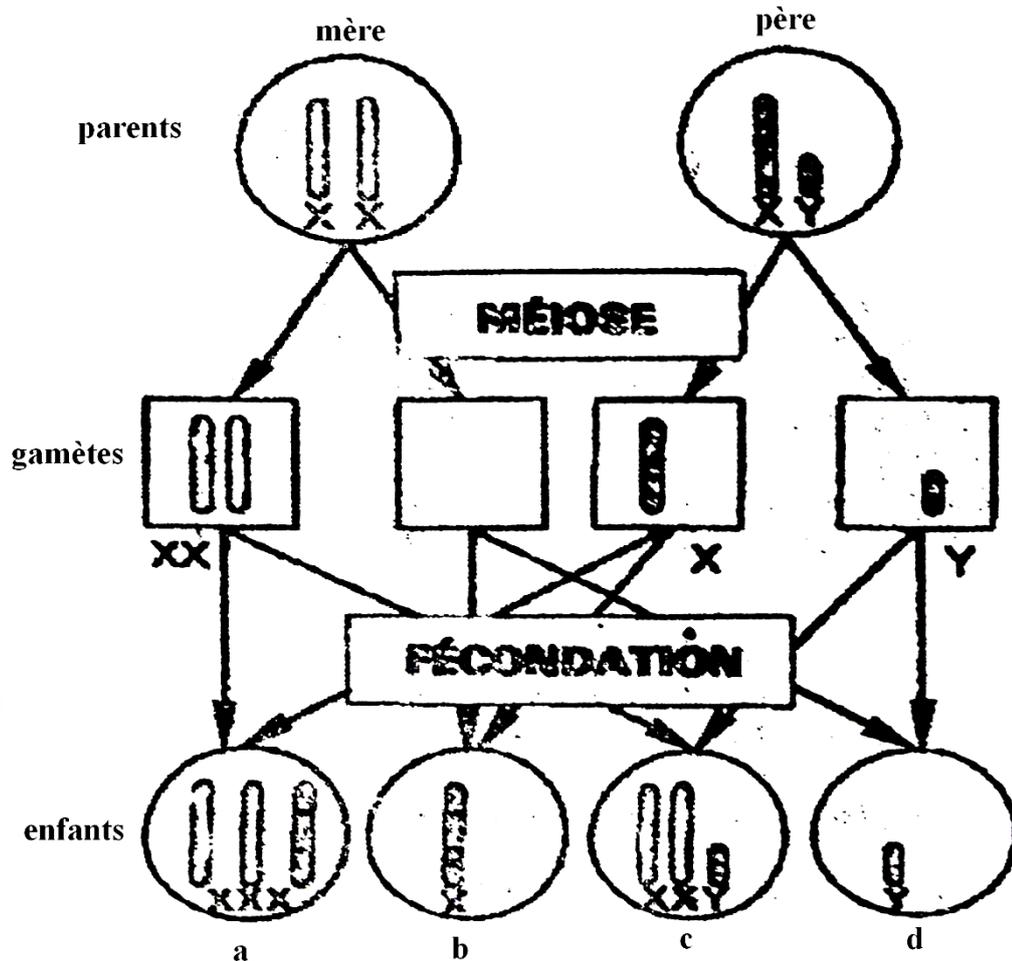


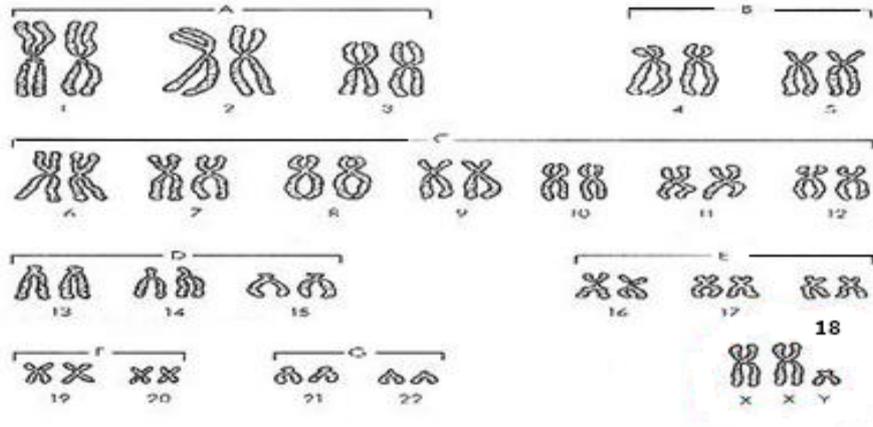
Caryotype d'une personne atteinte du syndrome de Turner

➤ **Le syndrome de Klinefelter**

Il affecte des sujets masculins, qui ont un chromosome X en plus ( $2n = 44 A + XXY$ ). Ils présentent à la fois des caractères sexuels secondaires de type masculin (grande taille, épaules larges, ...) et de type féminin (hanches larges, ...), ils sont stériles et présentent de graves déficiences mentales.

Ce syndrome est dû à la non séparation des chromosomes X de la mère lors de la méiose.





Caryotype d'une personne atteinte du syndrome de Klinefelter

- La perte d'un fragment de chromosome ou délétion

Certaines maladies sont liées à la perte d'un fragment de chromosome ou délétion qui se traduit différemment selon le chromosome affecté :

**Exemple 1 :** la délétion de bras court du chromosome 18 entraîne des anomalies oculaires, des malformations du visage et un retard mental.

**Exemple 2 :** la délétion du bras court du chromosome 5 entraîne une débilité mentale importante et des malformations du larynx. Le malade émet des sortes de miaulements (« maladie des cris du chat »).



Caryotype d'une personne atteinte de la « maladie des cris du chat »

### III-2-4. Gène létal

Un allèle est dit létal (mortel) lorsque les individus homozygotes pour cet allèle ne sont pas viables.

En  $F_2$ , la disparition d'un quart ( $1/4$ ) des individus transforme le rapport ( $3/4 - 1/4$ ) en ( $2/3 - 1/3$ ).

Ce fait peut être aisément vérifié :

- ⇒ Chez les oiseaux : (exemple canaris huppés, poulet à crête rose, ...),  $1/4$  des œufs couvés ne se développent pas.
- ⇒ Chez les mammifères : (exemple la souris jaune), on retrouve dans l'utérus de la femelle gravide les fœtus non viables prévus par la théorie.
- ⇒ Dans l'espèce humaine : le gène responsable de l'hémophilie est létal, c'est pourquoi l'hémophilie ne s'observe jamais chez la femme (mortel à l'état homozygote).