Cours préparé par : AMEDEKAGNA Mawuli, AMEDZONOU Hubert, ESSIOMLE Agbéko, KEPOMEY Koffi, KOMI-AYEH Kokuvi

Classe : TD

Programme des S.V.T

Classe : TD
Durée : 6h/semaine.

I- **La cellule et quelques aspects de la biologie cellulaire.**

1- Organisation de la cellule.
2- Biologie cellulaire.
3- Les divisions cellulaires (mitose et méiose).

II- **Reproduction des êtres vivants.**

1- Gamétogenèse et fécondation.
2- Reproduction chez les mammifères.
3- Reproduction chez les spermaphytes.

III- **Génétique.**

1- Introduction à la génétique.
2- Les lois de la transmission des caractères héréditaires.
3- L'hérédité humaine.
4- Les étapes récentes de la génétique.

IV- **Physiologie.**

1- Organisation générale du système nerveux des mammifères.
2- Tissu nerveux et ses propriétés.
3- Rôle du système nerveux dans le comportement moteur d'un animal.
4- Le muscle strié squelettique.
5- L'activité cardiaque.
6- L'œil et la vision.
7- Les relations hormonales.
8- Le sang et le milieu intérieur.

CPLA

ORGANISATION GENERALE DE LA CELLULE

Les objectifs pédagogiques

A la fin de ce cours, l'élève doit être capable de :

1- Définir une cellule.

2- Comparer un microscope optique et un microscope électronique.

3- Identifier les organites cellulaires, réaliser le schéma de leur ultrastructure et dire leurs rôles.

4- Comparer une cellule animale et une cellule végétale vues aux microscopes optiques et électroniques.

5- Localiser les acides nucléiques dans la cellule (ADN et ARN).

6- Identifier leur structure

7- Donner leur rôle

8- Comparer l'ADN et l'ARN.

9- Décrire le mécanisme de la protéosynthèse.

10- *Réaliser une corrélation fonctionnelle entre les organites cellulaires.*

11- Décrire les types de mutations et leurs conséquences

Introduction

Une cellule est une unité structurale et fonctionnelle de tout être vivant. Elle est capable d'accomplir toutes les fonctions liées à la vie telles que : la reproduction, la respiration la digestion, l'excrétion etc.

Son existence fut ignorée depuis longtemps à cause de sa petite taille invisible à l'œil nu. Elle fut découverte en 1665 par **Robert HOOKE.**

On distingue les cellules animales et les cellules végétales. Ces cellules peuvent vibre à l'état isolé et constituent dans ce cas des organismes unicellulaires appelés protozoaires chez les animaux (paramécie, amibe) ou protophyte chez les végétaux (champignon unicellulaire). Elles peuvent vivre groupées et constituent dans ce cas des organismes pluricellulaires appelés métazoaires chez les animaux et métaphytes chez les végétaux.

La cytologie est la science qui étudie les cellules. Cette étude nécessite des techniques appropriées.

I- Les méthodes d'étude de la cellule.

1.1. Les appareils d'observation

L'étude des cellules nécessite l'utilisation d'appareils pouvant les agrandir : les microscopes. On distingue deux types de microscope :

- Les microscopes optiques ou photoniques ;
- Les microscopes électroniques.

Chaque type de microscope présente des caractéristiques :

	Microscope optique	Microscope électronique
Source d'énergie	Photons de la lumière	Electrons
Grossissements	4 à 1500X	1000 à 1 000 000 X
Avantages	- Observation des cellules vivantes et entières. - utilisation des colorants.	Observation des détails des structures vivantes.
Inconvénients	Observation limitée de la cellule.	- Observation faite sur des cellules tuées par les électrons. - apparition des structures artificielles

$$\text{Grossissement} = \frac{\text{Longueur agrandie}}{\text{Longueur réelle}}$$

Longueur agrandie= longueur du segment de l'échelle graphique
Longueur réelle= chiffre accompagnant l'échelle graphique

1.2. Les techniques de préparation de la cellule.

- la coloration,

Elle consiste à réaliser le montage de matériel à observer (cellule, tissu) dans une solution d'un composé chimique appelé colorant qui réagi de manière sélective avec des molécules déterminées de la matière cellulaire.
La coloration a pour but de faire apparaitre d'éventuelle structure qui ne serait visible sans cette opération.

Exemple de colorant

Confer tableau

NB : il existe des colorants vitaux utilisés pour l'observation vitale. Exemple : le rouge neutre dilué, le bleu de crésyl, le bleu de méthylène.

- la fixation

Elle consiste à tuer la cellule et à conserver sa structure cellulaire et l'autoradiographie.

Les plus utilisés sont : l'eau iodée, le formol, le tétroxyde d'osmium. Acide osmique, le chloroforme, l'alcool, acide picrique. Certains fixateurs sont également des colorants. Exemple le lugol

- L'autoradiographie : elle consiste à traiter un tissu avec une substance marquée par un élément radioactif et à suivre l'évolution de la radioactivité dans ce tissu.

Exemple : On marque les acides aminés pour suivre le trajet de la synthèse des protéines
le carbone pour détecter les composés glucidiques
le sodium pour déterminer la perméabilité membranaire

CPLA

- Le fractionnement cellulaire

Elle consiste à broyer les cellules et à soumettre le broyat à une ultra centrifugation différentielle ce qui permet de séparer les constituants cellulaires catégorie par catégorie.

II- Observation des cellules au microscope optique : la microscopie photonique

Cette observation s'effectue aussi bien sur les cellules animales que sur les cellules végétales.

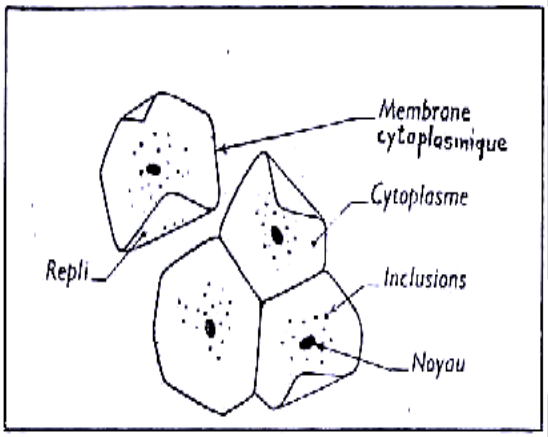
2.1. Observation des cellules animales.

a) les cellules de l'épithélium buccal.

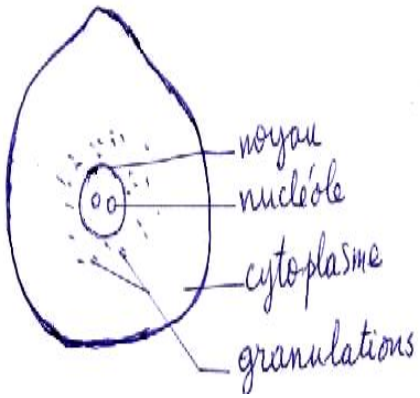
On racle doucement la face interne de la joue avec de l'ongle propre. Le produit obtenu est monté entre lame et lamelle dans une goutte d'eau au microscope.

-Sans coloration, on observe des éléments incolores, isolés ou groupés. Chaque élément est une cellule renfermant une membrane plasmique, un cytoplasme et un noyau.

-Après coloration au bleu de méthylène, on distingue dans le noyau un ou des nucléoles et le cytoplasme contient de nombreuses granulations



Cellules de l'épithélium buccal sans coloration



Cellules de l'épithélium buccal colorées au bleu de méthylène

b) Les cellules sanguines.

Pour observer les cellules du sang, on réalise un frottis sanguin.

- Réalisation d'un frottis sanguin.

Pour réaliser un frottis sanguin, on dépose une goutte de sang sur une lame puis on l'étale à l'aide d'une lamelle et enfin on la laisse sécher.

- Observation du frottis sanguin d'un mammifère.

  - Sans coloration : on observe des cellules colorées en rouge (GR) sans noyau (anuclée)
  - Avec coloration : On utilise comme colorant le bleu de méthylène qui colore le noyau en bleu ou GIEMSA qui colore le noyau en violet.

L'observation montre trois types de cellule :

- Les hématies : assure le transport des gaz respiratoires

- Les leucocytes On distingue trois types de leucocytes :

✓ Les lymphocytes : ils ont un noyau arrondi et un cytoplasme réduit ;

✓ Les monocytes : ils un noyau incurvé et un cytoplasme clair.

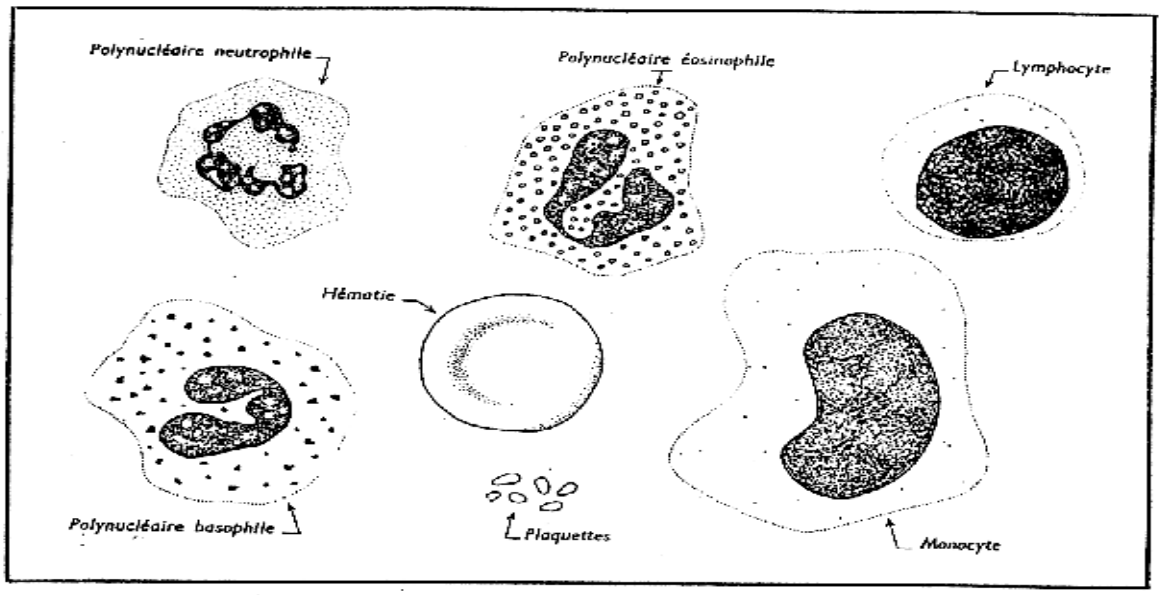
✓ Les polynucléaires : ils ont un noyau lobé et un cytoplasme granuleux. Il existe trois types de polynucléaires : les polynucléaires neutrophiles, éosinophiles et basophiles.

Les leucocytes interviennent dans la défense de l'organisme contre la pénétration des microbes.

- Les plaquettes sanguines ou globulins : ce sont des cellules anucléées, très petites et souvent rassemblées en amas.

Les globulins interviennent dans la coagulation du sang.

Remarque : L'observation du sang des batraciens montre les mêmes cellules sanguines que celle des mammifères sauf que les hématies des batraciens sont nucléées.



Les cellules sanguines

c) Observation d'une unicellulaire: La paramécie.

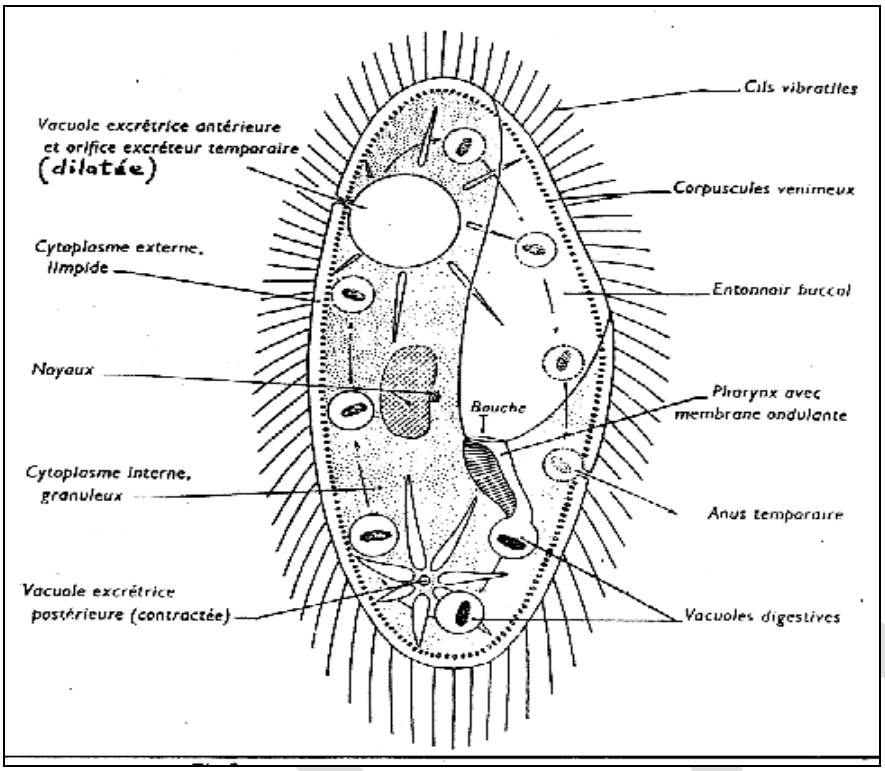
On dépose une goutte d'eau d'infusion de débris végétaux entre lame et lamelle qu'on monte au microscope.

- Sans coloration, on observe des cellules ovoïdes qui se déplacent dans le milieu. Chaque cellule est une paramécie. Au fort grossissement, chaque paramécie comporte une membrane plasmique qui présente une dépression latérale appelée entonnoir buccal. Cette membrane délimite un cytoplasme renfermant deux types de vacuoles : les vacuoles digestives et les vacuoles pulsatiles.
- Après coloration au rouge neutre, les vacuoles digestives se colorent en rouge et sont animés d'un mouvement de cyclose.

Les vacuoles digestives assurent la digestion tandis que les vacuoles pulsatiles jouent un rôle osmorégulateur.

- Après coloration à l'eau iodée, on observe des cils vibratiles au tour de la membrane plasmique et des réserves de glycogène colorées en brun acajou dans le cytoplasme. Ils assurent le déplacement
- Après coloration au vert de méthyle acétique, on observe deux noyaux colorés en vert : un plus petit appelé micronucleus et l'autre plus gros appelé macronucléus.

Rôle du macronucléus et micronucléus



La paramécie

d) les Rhizopodes

ce sont des protozoaires d'eau douce. Ils se déplacent par pseudopode

cf schéma de l'amibe

2.2. Observation des cellules végétales.

a) Les cellules épidermiques d'un bulbe d'oignon.

On détache des fragments d'épiderme d'un bulbe d'oignon sur la face interne d'une écaille. Chaque fragment est monté entre lame et lamelle dans une solution après coloration ou non.

- Sans coloration

➢ Au faible grossissement dans une solution de Ringer, on observe au microscope, de petites cellules polyédriques, plus longues que larges et accolées les unes aux autres. A l'intérieur de chaque cellule, on trouve une zone réfringente : c'est le noyau.

➢ Au fort grossissement dans une solution de Ringer, on remarque une cloison d'épaisseur uniforme sépare les cellules : c'est la paroi cellulosique. Le noyau est délimité par une membrane nucléaire et contient un ou des nucléoles.

- Avec coloration

➢ Au fort grossissement après coloration au rouge neutre, on observe au centre de chaque cellule, de grosse cavité appelée vacuole colorée en rouge. Le cytoplasme périphérique contient de nombreuses granulations.

➢ Au fort grossissement après coloration à l'eau iodée, on observe dans le cytoplasme de chaque cellule des mitochondries et des gouttelettes d'huile.

➢ Au fort grossissement et après séjour dans une solution hypertonique (solution de saccharose à 40%) et dans une solution de rouge neutre, les vacuoles des cellules se rétrécissent ce qui provoque le décollement de la membrane plasmique de la paroi.

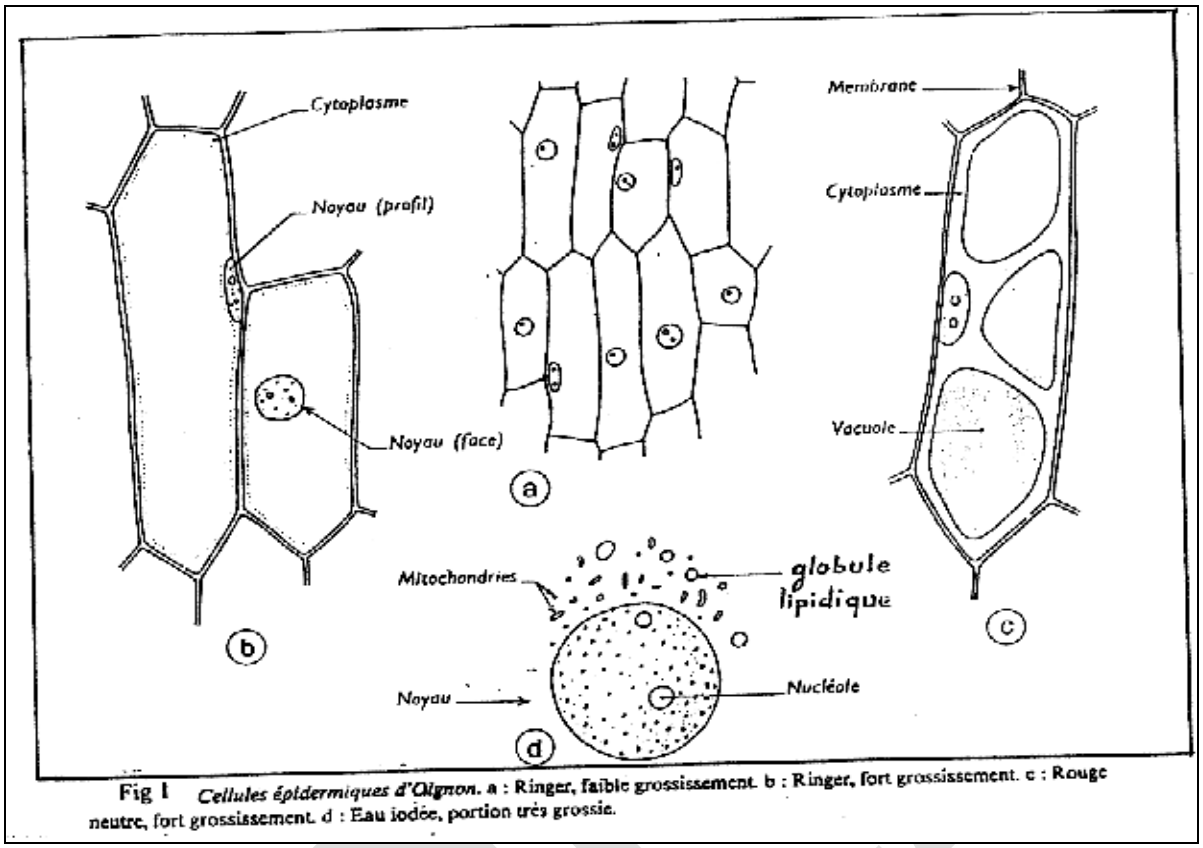


Fig 1 *Cellules épidermiques d'Oignon.* a : Ringer, faible grossissement. b : Ringer, fort grossissement. c : Rouge neutre, fort grossissement. d : Eau iodée, portion très grossie.

b) les cellules d'une jeune feuille d'élodée.

On monte un fragment d'une jeune feuille d'élodée entre lame et lamelle dans une solution de Ringer ou eau distillée. Au microscope, on observe dans le cytoplasme des cellules, des corpuscules ovoïdes colorés en vert : ce sont des chloroplastes. Ces derniers sont animés d'un mouvement de cyclose dans le cytoplasme.

c) Les cellules de la pulpe de banane mure.

Un fragment de pulpe de banane mure est monté entre lame et lamelle dans une goutte d'eau iodée. Au microscope, on observe dans les cellules de gros grains allongés colorés en bleu violet : ce sont des amyloplastes contenant des grains d'amidon.

d) Les cellules de la pulpe de tomate.

Un fragment de pulpe de tomate mure est monté entre lame et lamelle au microscope dans une goutte d'eau. On observe des cellules isolées sphériques ou ovoïde. Dans le cytoplasme on observe des chromoplastes. Chaque chromoplaste renferme des grains ou aiguilles rouges de lycopène.

Chloroplaste, amyloplaste et chromoplaste sont des plastes qui sont spécifiques aux cellules végétales.

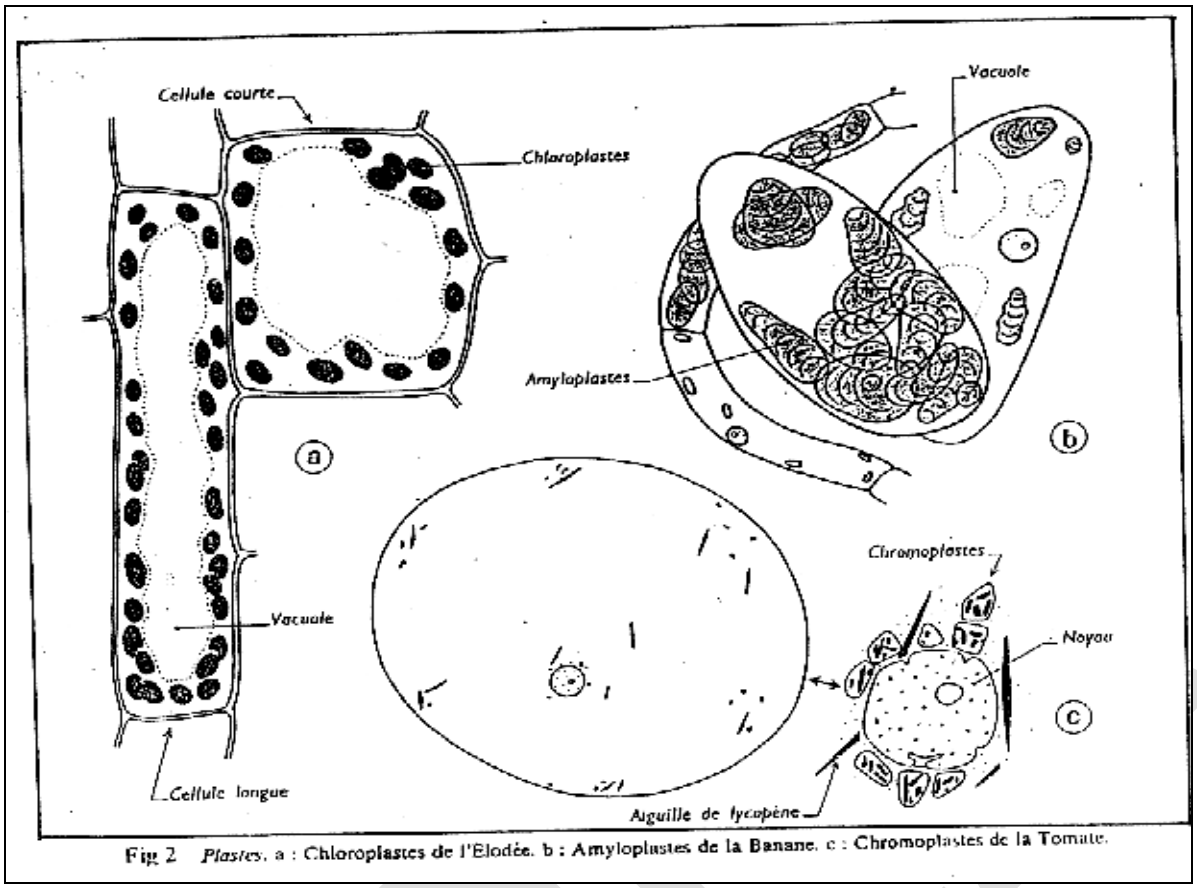


Fig 2 *Plastes*. a : Chloroplastes de l'Elodée. b : Amyloplastes de la Banane. c : Chromoplastes de la Tomate.

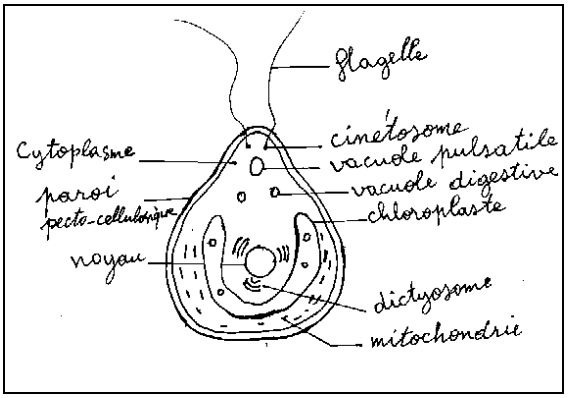
2.3. Autres constituants cellulaires.

Des techniques particulières ont permis d'observer dans les cellules animales d'autres constituants tels que : les mitochondries, le centrosome (spécifique aux cellules animales) et les dictyosomes.

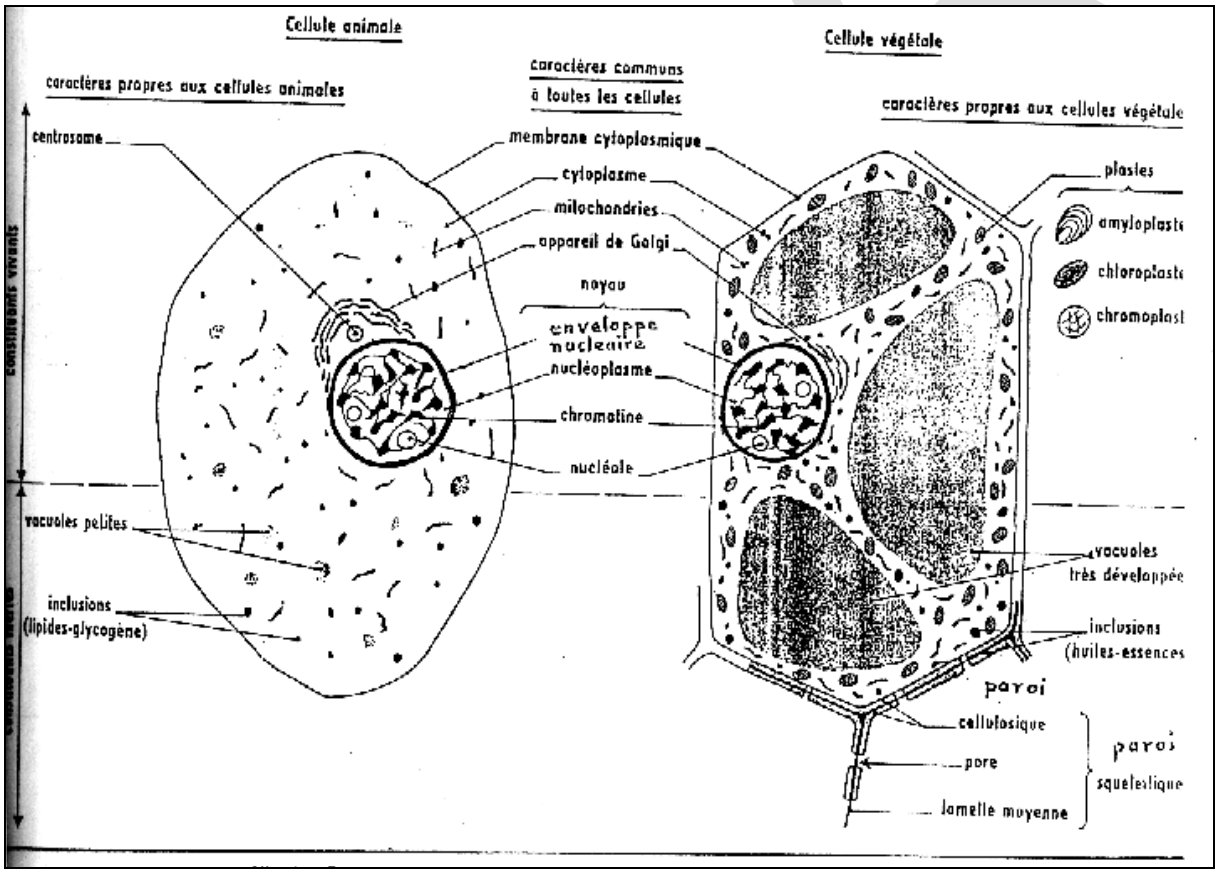
2 .4. Comparaison entre cellule animale et végétale vues au microscope optique.

Cette comparaison est contenue dans le tableau suivant :

Remarque : Observation de chlamydomonas.
Chlamydomonas est une algue verte unicellulaire qui vit dans les eaux douces où il nage grâce à ces flagelles. Son observation au microscope montre : une paroi délimitant un cytoplasme dans lequel on trouve des chloroplastes, un cinétosome, les vacuoles digestives et pulsatiles, des dictyosomes. Le noyau contient un ou des nucléoles. La membrane plasmique porte des flagelles qui permettent à l'algue de se déplacer
Le chlamydomonas de même que l'Euglène appartiennent à la fois au règne animale (à cause de ses flagelles élaborés à base des centrosomes) et au règne végétal (à cause de la paroi et du chloroplaste). Ils appartiennent tous à la catégorie des protistes.



		Cellule animale	Cellule végétale
Points communs		Membrane plasmique, cytoplasme, mitochondries,	
Particularités	Paroi	Absente	Présente
	Vacuoles	Petites et nombreuses	Grosses et peu nombreuses
	Plastes	Absentes	présentes
	Inclusions	Lipides – glycogène	Huile-essences
	Centrosome	Présente	Absente



Comparaison entre une cellule animale et une cellule végétale toutes vues au microscope optique.

III- Observation des cellules au microscope électronique : Ultrastructure et rôle des constituants cellulaires.

Le microscope électronique donne une structure détaillée des cellules et de ces constituants. Cette structure détaillée obtenue est appelée une ultra structure. L'image obtenue à l'aide d'un microscope électronique s'appelle une électronographie.

.3.*1. La membrane plasmique et la paroi cellulosique*

a- La membrane plasmique

La membrane plasmique apparait au microscope électronique constituée de trois couches : deux couches sombres séparées par une couche claire. Il existe deux structures d'interprétation de la membrane plasmique : la structure lamellaire et la structure en mosaïque fluide.

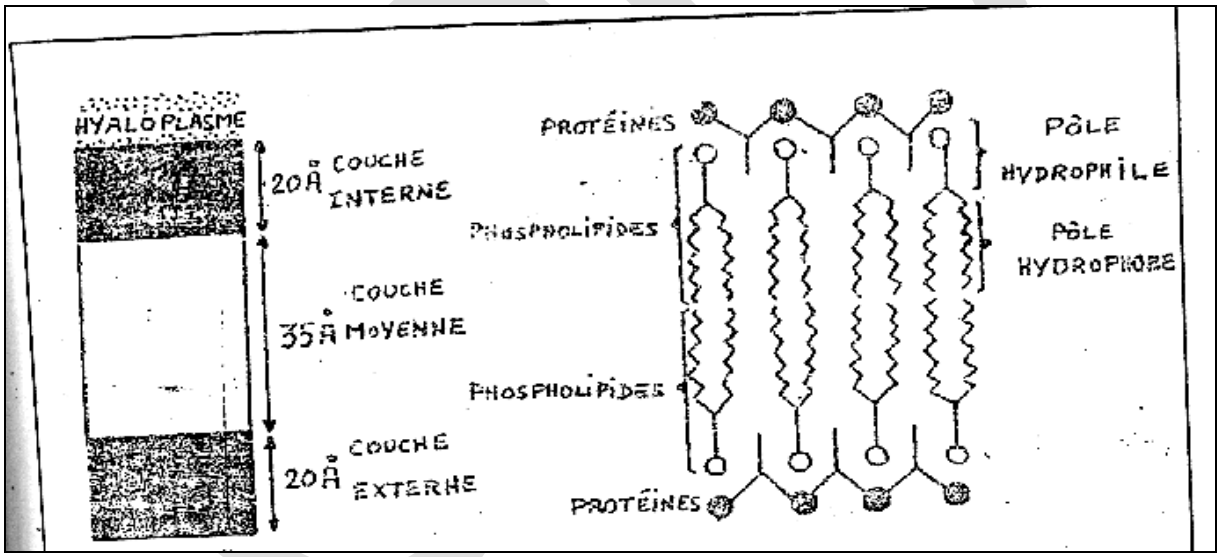
a_1- La structure lamellaire.

Elle est proposée par Davson et Danielli. Selon ces auteurs, la membrane plasmique est de nature lipoprotéique. Les lipides de la membrane plasmique sont des phospholipides dont chacun a deux pôles : un pôle hydrophile (qui a de l'affinité pour l'eau) et un pôle hydrophobe (qui n'a pas de l'affinité pour l'eau). Ces phospholipides sont disposés en deux couches. Les pôles hydrophiles forment avec les protéines les deux couches sombres et les pôles hydrophobes forment la couche claire.

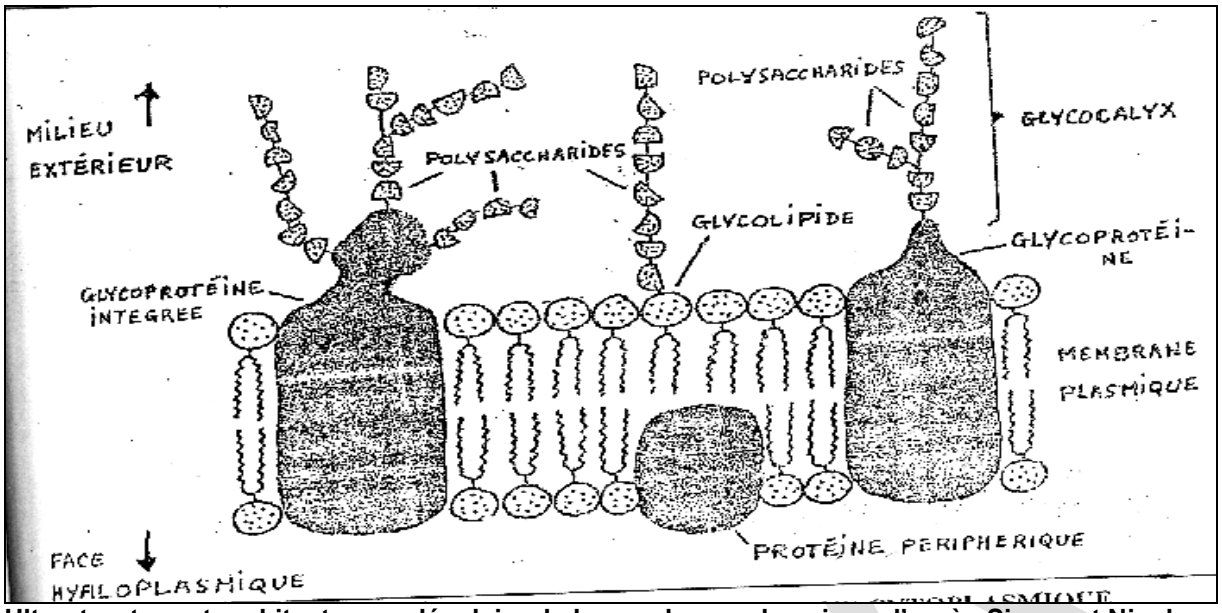
Cette structure n'est pas en accord avec le rôle de la membrane plasmique.

a_2- Structure en mosaïque fluide.

Elle est l'œuvre de Singer et Nicolson. Selon ces auteurs, la membrane plasmique est constituée de lipoprotéines dont les phospholipides sont disposés en deux couches. Dans ces deux couches, on trouve des protéines qui peuvent se déformer, ce qui donne une fluidité à la membrane. Les protéines de la membrane plasmique sont des glycoprotéines qui sont soit intégrées, soit situées à la périphérie de la double couche lipidique.



Ultrastructure et architecture moléculaire de la membrane plasmique d'après Davson et Danielli.



Ultrastructure et architecture moléculaire de la membrane plasmique d'après Singer et Nicolson.

a_3- Les différenciations de la membrane plasmique.

On distingue :

- Les engrenages : ce sont des replis sinueux de la membrane plasmique.
- Les desmosomes : ce sont des épaississements des membranes émettant des faisceaux de tonofibrilles.
- Jonctions serrées : interruption de la lame intermédiaire entre deux membranes plasmiques de deux cellules voisines.
- Microvillosités : replis de la membrane plasmique à un pôle de la cellule en vue d'augmenter l'étendue de la surface d'échanges.
- Espace intermembranaire : présence de la lame intermédiaire.
- Les cils, les flagelles, la phagocytose et la pinocytose sont aussi des différenciations de la membrane plasmique. (confer figure de la page 14).

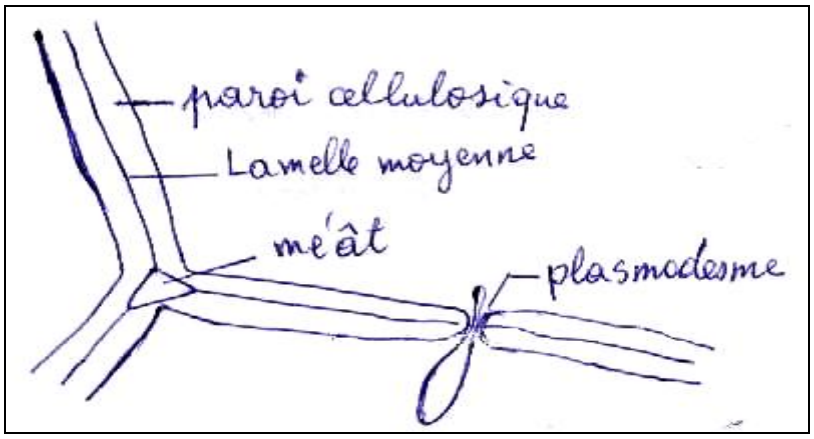
a_4- Rôle de la membrane plasmique.

Le rôle essentiel de la membrane plasmique est le contrôle des échanges cellulaires. Elle intervient aussi dans l'élaboration du sillon de division lors des divisions cellulaires chez les cellules animales. Elle participe aux liaisons intercellulaires et à l'élaboration de réticulum endoplasmique.

b- La paroi pecto-cellulosique.

b_1. Ultrastructure.

Elle est spécifique aux cellules végétales et est constituée de pectine et de cellulose d'où le nom pecto-cellulosique. Cette paroi est percée de fins canaux nommés plasmodesmes par lesquels deux cellules voisines sont en continuité.



Ultrastructure de la paroi pecto-cellulosique.

b_2. Rôle.

La paroi protège les cellules végétales contre l'éclatement. Elle assure la liaison entre deux cellules voisines. Elle intervient dans l'élaboration du phragmoplaste lors de la division cellulaire.

3.2. Le cytoplasme.

Il est formé d'une substance fondamentale appelée hyaloplasme dans lequel baignent les organites cellulaires. Cytoplasme = hyaloplasme + organite cellulaires. Il est le siège des réactions biochimiques de la cellule

a- Les réticulums endoplasmiques.

a_1 _ Ultrastructure.

Ils sont formés de saccules anastomosés. Certains saccules peuvent être isolés. Il existe deux sortes de réticulums endoplasmiques :

- Le réticulum endoplasmique granuleux ou réticulum endoplasmique rugueux ou ergastoplasme : Il porte des ribosomes à la surface des saccules. Il est souvent en relation avec la membrane nucléaire.
- Le réticulum endoplasmique lisse ou réticulum endoplasmique agranulaire : il ne prote pas de ribosomes à la surface des saccules.

a_2- Rôle.

L'ergastoplasme est le siège de la synthèse des protéines et de leur transport.

Le réticulum endoplasmique lisse participe à la synthèse des stérols et du glycogène.

b- Les ribosomes.

b_1- Ultrastructure.

Ce sont des granules denses constituées d'ARN ribosomial et de protéines. Un ribosome est formé de deux sous-unités : une petite sous-unité et une grosse sous-unité. La petite sous – unité comporte un site de liaison à l'ARNm. La grosse sous-unité comporte deux sites de fixation des ARNt : un site P et un site A.

b_2- Rôle.

Les ribosomes assurent la protéosynthèse.

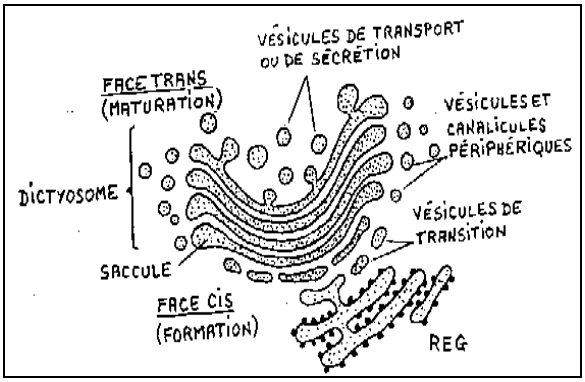
c- L'appareil de golgi.

c_1 : Ultrastructure.

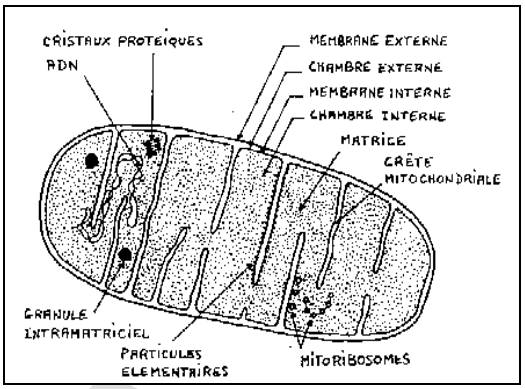
C'est l'ensemble des dictyosomes d'une cellule. Un dictyosome est un empilement de saccules lisses à bords épais. Ces bords bourgeonnent des vésicules de sécrétions ou grains de zymogène.

c_2 : Rôle.

L'appareil de golgi est le lieu de stockage, d'emballage et de transport des produits de synthèse.



Dictyosome et Ergastoplame



Ultrastructure d'une mitochondrie.

d- Les mitochondries.

d_1 : Ultrastructure.

Une mitochondrie est un organite sphérique entouré de deux membranes : une membrane externe et une membrane interne. La membrane interne émet des crêtes qui sont plus ou moins perpendiculaires au grand axe de l'organite. L'intérieur de la mitochondrie encore appelé matrice mitochondriale contient un fragment d'ADN, des cristaux protéiques, des mitoribosomes et des granules interstitielles.

d_2 : Rôle.

Les mitochondries sont le siège des oxydations cellulaires. Elles fournissent de l'énergie à la cellule sous forme d'ATP.

e- Les plastes.

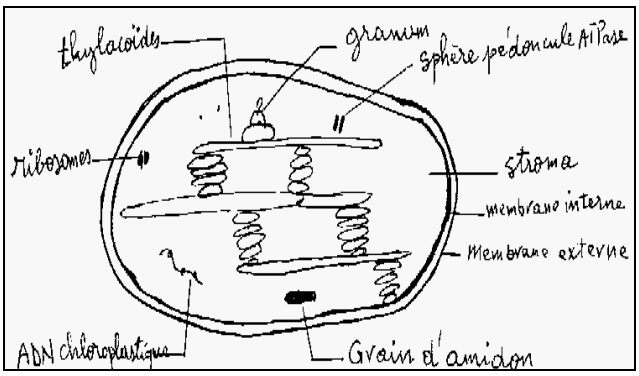
e_1 : Ultrastructure.

Ce sont des organites spécifiques aux cellules végétales. Parmi les plastes on note les chloroplastes.

Les chloroplastes sont des organites sphériques entourés de deux membranes : une membrane interne et une membrane externe. La membrane interne délimite un stroma dans lequel on trouve des lamelles ou thylacoïdes qui sont plus ou moins parallèles au grand axe de l'organite. Entre deux lamelles consécutives, on trouve un empilement de saccules formant un granum. Le stroma renferme également des ribosomes, l'ADN chloroplastique et des grains d'amidon.

e_2 : Rôle.

Les chloroplastes assurent la photosynthèse.



Ultrastructure d'un chloroplaste

f- Le centrosome.

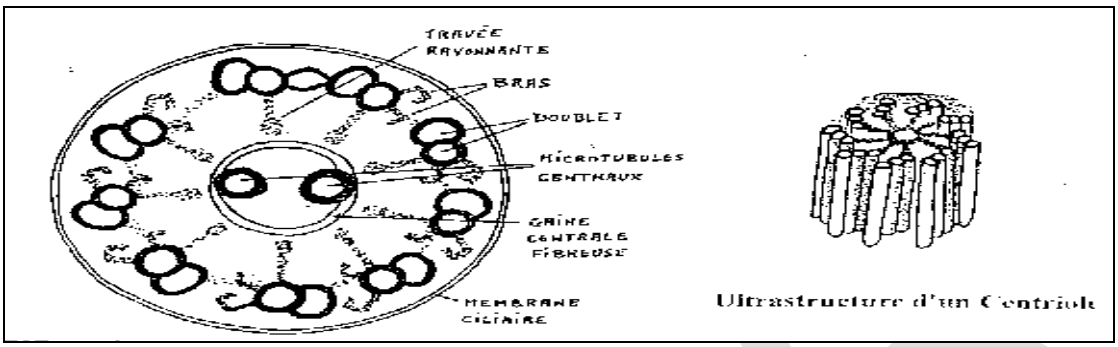
f_1 : Ultrastructure.

Il est spécifique aux cellules animales et aux végétaux inférieurs. Il est constitué de deux centrioles disposés perpendiculairement entre eux. Chaque centriole est un cylindre formé de neuf microtubules triples. Les cils et

les flagelles ont une structure comparable à celle des centrioles mais ils ont neuf microtubules doubles auxquelles s'ajoutent deux microtubules centraux.

f_2 : Rôle.

Les centrioles forment les asters au cours des divisions cellulaires. Ils sont également à l'origine des cils et des flagelles qui assurent la locomotion des cellules.



g- Les vacuoles.

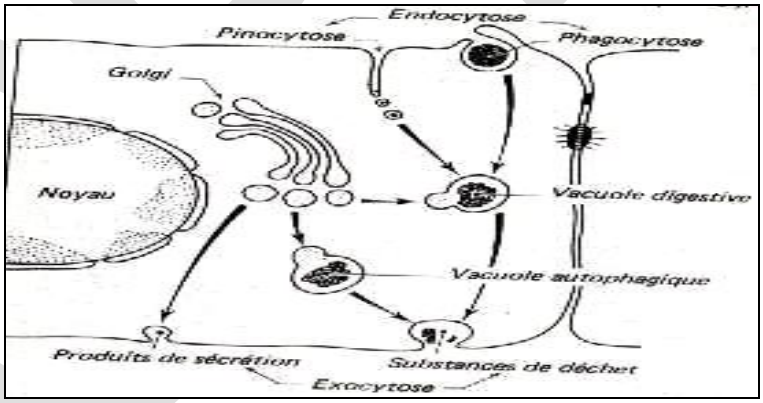
Ce sont des poches délimitées par une membrane simple et contenant de l'eau et des substances dissoutes. Elles proviennent de la dilatation des réticulums lisses.

Rôle : Les vacuoles sont responsables de la turgescence et de la plasmolyse cellulaire.

h- Les lysosomes.

Ce sont des vacuoles renfermant des enzymes digestives.

Rôle : Les lysosomes assurent la digestion des substances ingérées par phagocytose, par pinocytose de même que les organites usés.

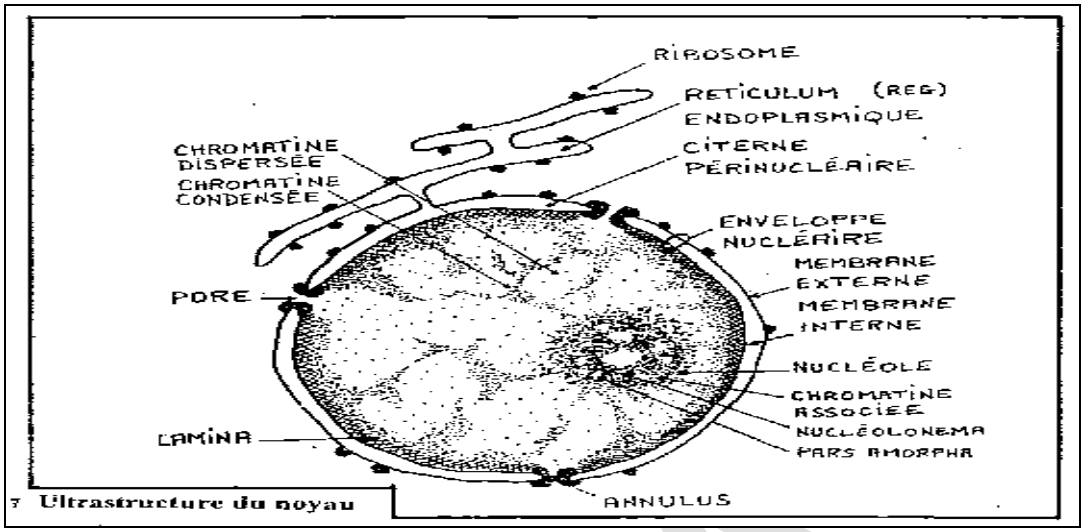


Phénomène de phagocytose et de pinocytose

3.3. Le noyau.

a- Ultrastructure.

Le noyau est entouré par une membrane nucléaire qui est interrompue à des endroits par des pores nucléaires. Cette membrane est formée de deux feuillets : le feuillet interne et le feuillet externe. Le feuillet externe est souvent en relation avec l'ergastoplasme. Le feuillet interne délimite un nucléoplasme contenant de la chromatine et du (ou des) nucléole (s). Les chromatines s'organisent pour former des chromosomes.



Ultrastructure du noyau en relation avec l'ergastoplasme

b- Rôle du noyau.

Le noyau est l'organe de vie de la cellule. Il joue un rôle dans la nutrition, différenciation et dans la transmission des caractères héréditaires.

b_1 : Rôle de nutrition et différenciation.

- Expérience de mérotomie et de transplantation.

On sectionne une amibe en deux portions : une portion nucléée et une portion anucléée. La portion nucléée survie et est capable de régénérer la partie manquante. La portion anucléée dégénère.

Lorsqu'on introduit dans la portion anucléée le noyau d'une autre amibe, cette portion régénère aussi une autre amibe.

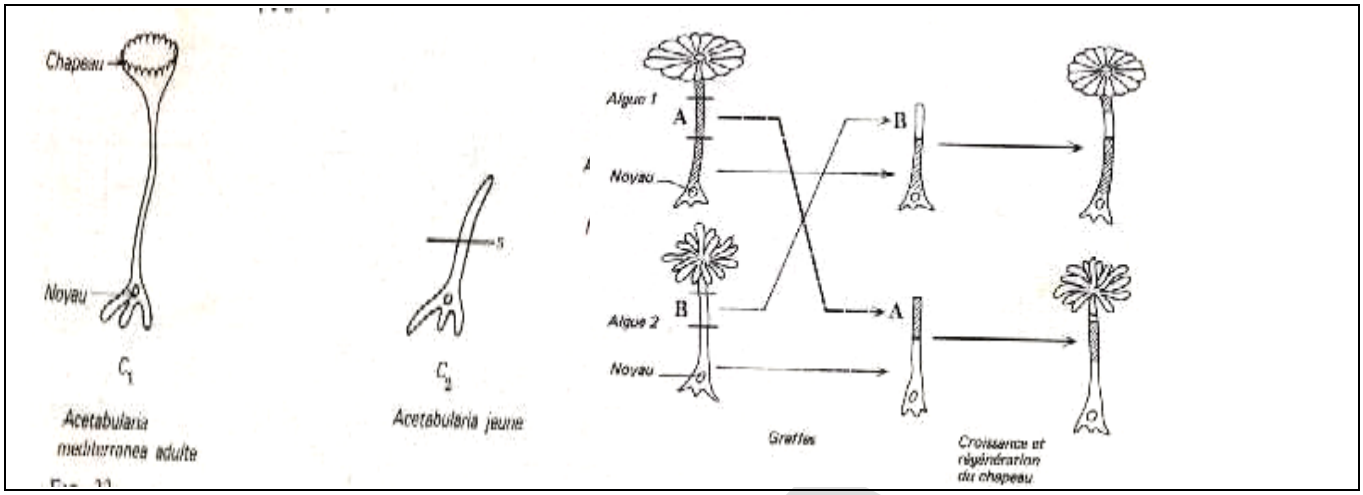
- Interprétation : La régénération de la partie manquante est due à la synthèse des substances indispensables à l'élaboration de la partie manquante grâce au noyau. Le noyau joue donc un rôle dans la nutrition et dans différenciation. Il est alors l'organe de vie

b_2 : Rôle dans la transmission des caractères héréditaires

- **Expérience sur les acétabulaires.**

Les acétabulaires sont des algues marines unicellulaires. Il existe deux types d'acétabulaires : <u>acétabularia méditerranéa</u> qui a un chapeau lisse et <u>acétabularia crénulata</u> qui a un chapeau crénelé.

- On sectionne le pédicelle de chaque type d'acétabulaire. On obtient ainsi deux portions : une portion nucléée (les pieds), et une portion anucléée. On constate que les portions nucléées régénèrent les chapeaux correspondants. Les portions anucléées dégénèrent. Ceci confirme encore le rôle trophique du noyau.



Expérience sur les acétabulaires

- On transfert le noyau d'un pied méditerranea dans un pied crénulata. De même, le noyau du pied crénulata est transféré dans un pied méditerranea. On constate que le pied méditerranea contenant un noyau crénulata élabore un chapeau crénulata. De même, le pied crénulata contenant un noyau méditerranea élabore un chapeau méditerranea. L'information nécessaire à l'élaboration du chapeau est contenue dans le noyau. Le noyau détient donc des informations indispensables à l'élaboration du chapeau : il joue ainsi un rôle morphogénétique.

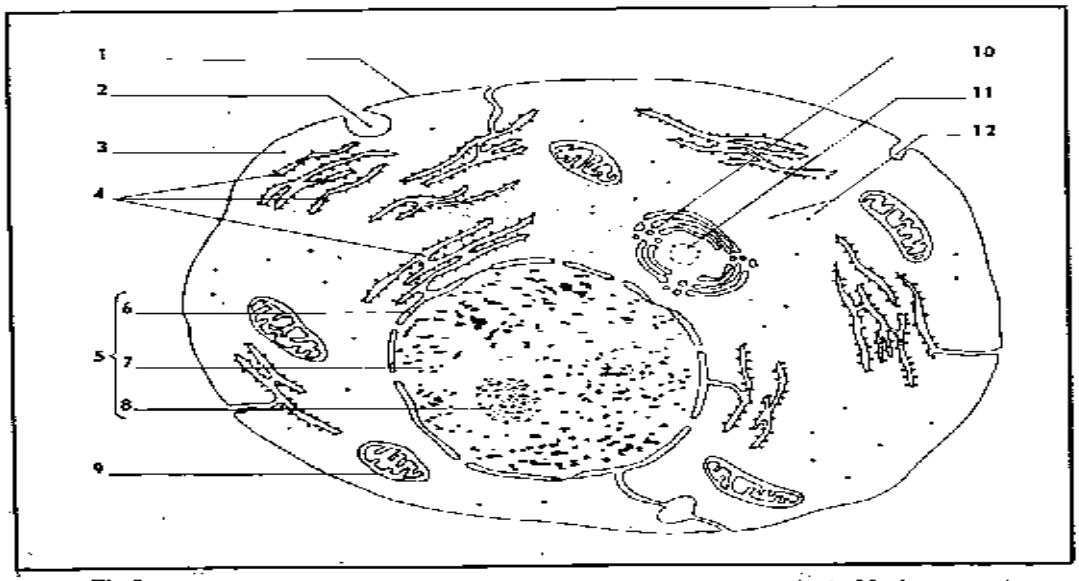


Fig 8 *Schéma d'ensemble de l'ultrastructure cellulaire d'une cellule animale. 1. Membrane cytoplasmique. 2. Vacuole de pinocytose. 3. Hyaloplasme. 4. Ergastoplasme. 5. Noyau. 6. Membrane nucléaire. 7. Nucléoplasme et chromatine. 8. Nucléole. 9. Mitochondrie. 10. Appareil de Golgi. 11. Centriole. 12. Ribosomes libres.*

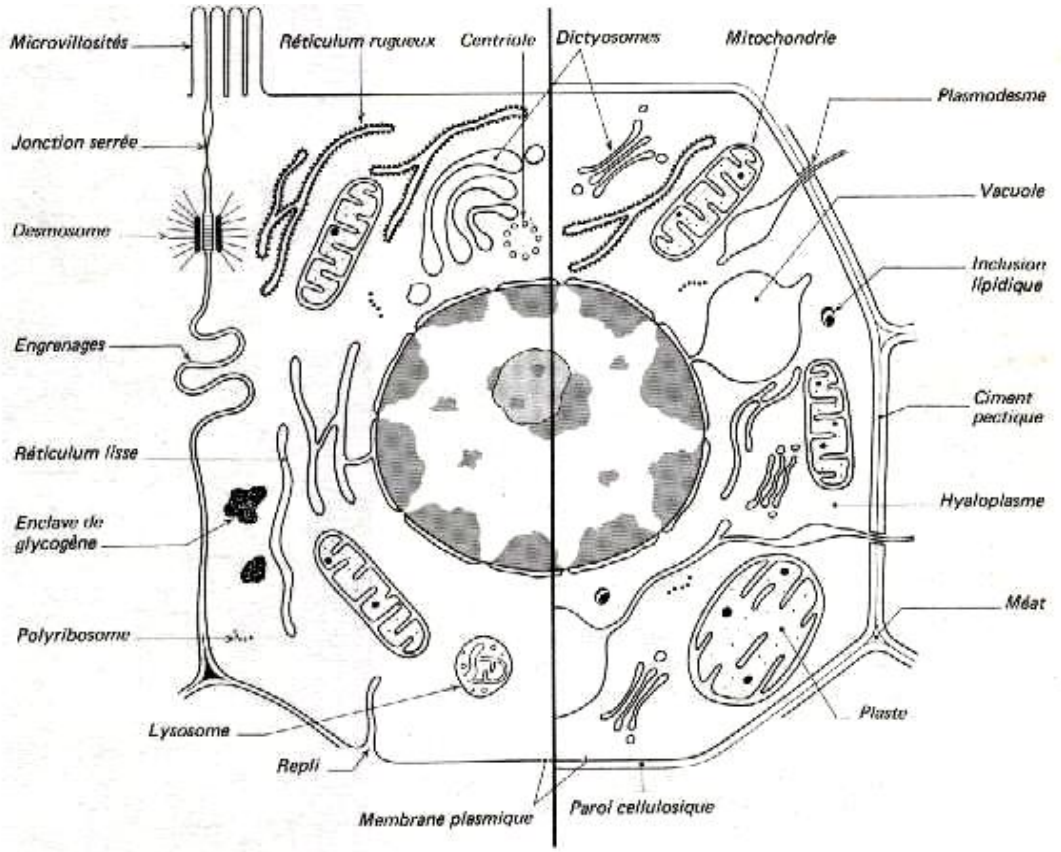


FIG. 21. — *Schéma général de la structure cellulaire : cellule animale à gauche, cellule végétale à droite.* Sur le noyau, on portera les légendes : enveloppe nucléaire avec pores, nucléoplasme avec euchromatine, amas de métachromatine, nucléole.

IV- Etude de la cellule du point de vue biochimique.

La cellule renferme des constituants importants appelés des nucléoprotéines. Ces derniers sont formés d'acides nucléiques associés aux protéines.

Il existe deux types d'acides nucléiques :

- L'ADN : Acide Désoxyribonucléique.
- L'ARN : Acide Ribonucléique.

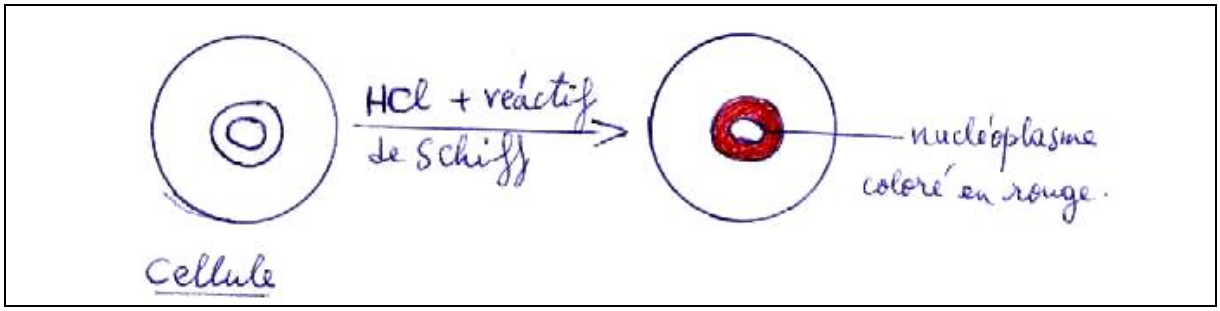
4.1. Localisation des acides nucléiques.

Pour localiser les acides nucléiques dans une cellule, on utilise deux techniques de coloration : la technique de Feulgen et la technique de Brachet.

a- La technique de Feulgen.

Elle permet de localiser l'ADN seul dans la cellule.

Elle consiste à hydrolyser partiellement la molécule d'ADN d'une cellule en traitant cette dernière avec de l'acide chlorhydrique dilué. La cellule ainsi traitée est placée dans le réactif de schiff (fusine décolorée par le dioxyde de soufre). On constate que le nucléoplasme de la cellule se colore en rouge. Comme le réactif de schiff se colore en rouge en présence des fonctions aldéhydiques d'un désoxyribose, alors on conclut que l'ADN est localisé dans le nucléoplasme plus précisément dans la chromatine du noyau.



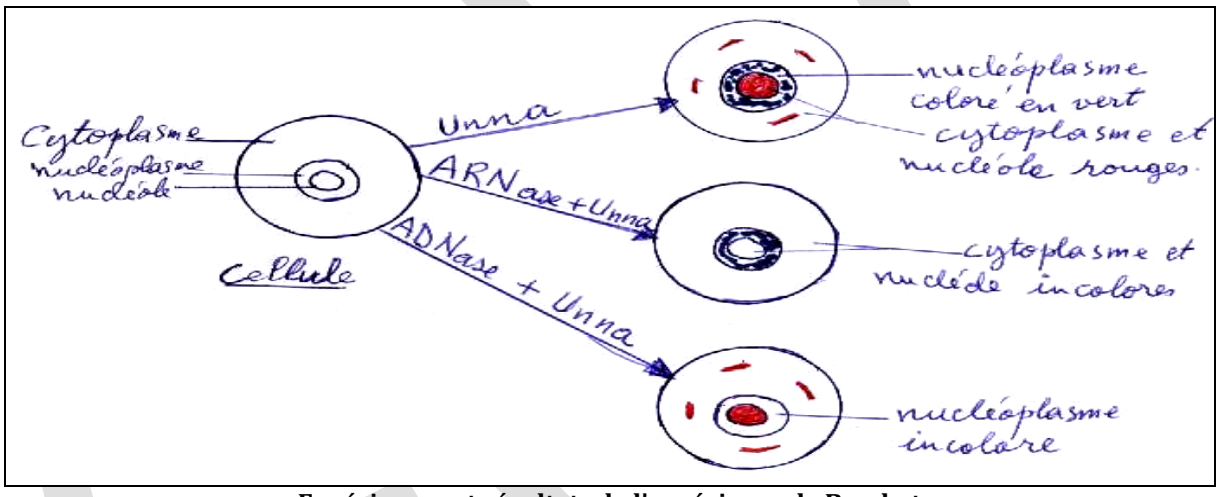
Expérience de Feulgen

b- La technique de Brachet.

Elle permet de localiser l'ADN et l'ARN dans une cellule.

Elle consiste à traiter un tissu avec un mélange de deux colorants : le vert de méthyle et la pyronine. Ce mélange de colorant est encore appelé colorant de unna pappenhein. Deux autres tissus de la même espèce sont préalablement traités l'un à l'ADN ase (enzyme qui hydrolyse l'ADN) et l'autre à la RNA ase (enzyme qui hydrolyse l'ARN) avant d'être soumis à l'action du mélange de deux colorants.

On observe les colorations suivantes :



Expériences et résultats de l'expérience de Brachet

Sachant que le vert de méthyle colore l'ADN en vert et que la pyronine colore l'ARN en rouge, alors on conclut que : l'ADN est localisée dans la chromatine et que l'ARN est localisé dans le cytoplasme et dans le nucléole.

4.2. Composition chimique des acides nucléiques.

a- L'ADN.

Les constituants chimiques de l'ADN sont :

- L'acide phosphorique (H_3PO_4).
- Le désoxyribose qui est un pentose ($C_5H_{10}O_4$).
- Les bases azotées qui sont de deux types :
  - Les bases puriques : Adénine (A) et Guanine (G).
  - Les bases pyrimidiques : Thymine (T) et Cytosine (C).

b- L'ARN.

Les constituants de l'ARN sont :

- L'acide phosphorique (H_3PO_4).
- Le ribose qui est un pentose ($C_5H_{10}O_5$).
- Les bases azotées qui sont de deux types :
  - Les bases puriques : Adénine (A) et Guanine (G).
  - Les bases pyrimidiques : Uracile (U) et Cytosine (C).

Remarque : La thymine est une base azotée spécifique à l'ADN alors que l'uracile est spécifique à l'ARN.

L'ensemble formé par une base azotée et un sucre s'appelle un nucléoside.

Exemple : A + sucre = adénosine ; guanosine ; cytidine ; uridine ; thymidine.

A + sucre + acide phosphorique = adénosine monophosphate.

A + sucre + 3 acides phosphoriques = adénosine triphosphate (ATP).

L'ensemble formé par une base azotée, un sucre et l'acide phosphorique s'appelle un nucléotide.

4.3. Structure des acides nucléiques.

a- Structure de l'ADN.

En 1950 Chargaff montre que dans une molécule d'ADN les quantités de thymine (T) et d'Adénine (A) sont égales de même que les quantités de guanine et de cytosine d'où la relation : $\frac{A}{T} = \frac{G}{C} = \frac{A+G}{T+C} = 1$.

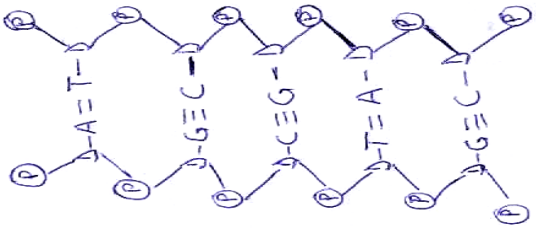
Cependant il a constaté que $\frac{A+T}{G+C} = k$

(k est la même pour les individus d'une même espèce mais diffère d'une espèce à une autre)

En 1953 Watson et Crick ont proposé un modèle d'ADN formé de deux brins ou montant se reliant entre eux par des liaisons transversales (liaisons hydrogènes) établit entre les bases azotées de deux nucléotides placés face à face. La molécule d'ADN est donc bicaténaire. Chaque chaîne est formée d'une suite ordonnée de nucléotides.. Ces liaisons hydrogènes s'établissent entre des bases azotées qui sont complémentaires entre elles. Ainsi, dans une molécule d'ADN, la thymine est toujours liée à l'adénine par une double liaison hydrogène ; de même, la guanine est toujours liée à la cytosine par une triple liaison hydrogène.



Schéma de l'ADN



Structure de l'ADN.

c- Structure de l'ARN.

La molécule d'ARN est formée d'une seule chaîne : c'est une molécule monocaténaire. Elle a une structure en hélice simple.

L'ARN se forme à partir de la transcription du brin codant de l'ADN.

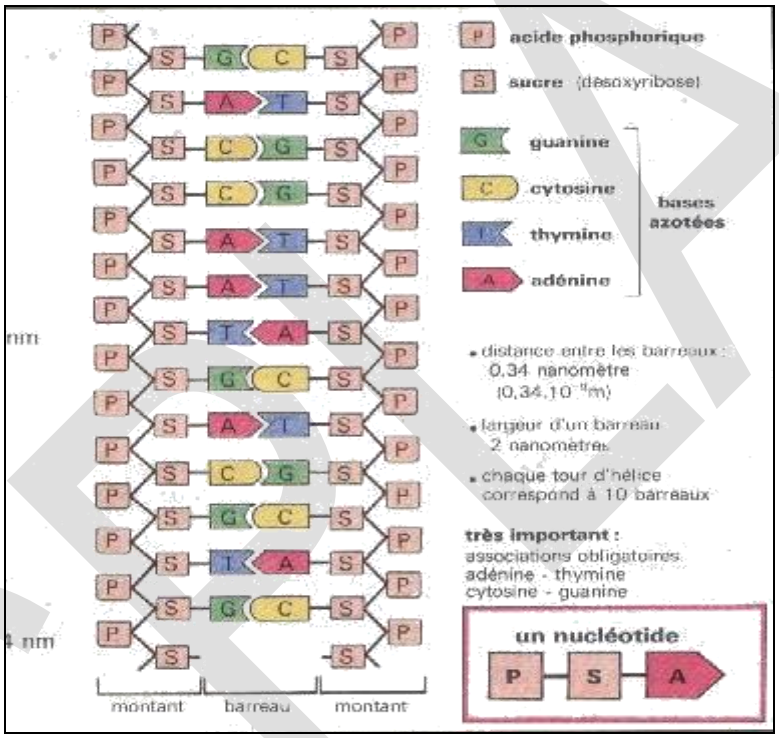
Il existe trois types d'ARN :

- L'ARNr (ARN ribosomal) qui forme avec les protéines les ribosomes.
- L'ARNm (ARN messager) qui apporte l'information génétique nécessaire à la synthèse de la protéine dans le cytoplasme.
- L'ARNt (ARN de transfert) qui transporte et positionne les acides animés au moment de la traduction.

4°) Comparaison entre l'ADN et l'ARN.

	Composition chimique				Mise en évidence	Structure	Localisation	Rôles
	Acide	Sucres	Bases azotées					
ADN	Phosphorique	Désoxyribose	A G	**T** C	Techniques de Feulgen et de Brachet	Hélice double	Chromatine	Transmission des caractères héréditaires.
ARN	Phosphorique	Ribose	A G	**U** C	Technique de Brachet	Hélice simple	Nucléole et cytoplasme	Synthèse des protéines

Tableau comparatif entre l'ADN et l'ARN.



Structure de l'ADN en double hélice

5- Propriétés des acides nucléiques

5-1-La réplication de l'ADN.

La réplication de l'ADN est l'ensemble de mécanisme aboutissant à la synthèse des molécules d'ADN identiques à la molécule parentale.

La molécule d'ADN a deux propriétés : l'autoreproduction et le support du matériel génétique.

L'autoreproduction ou la réplication de l'ADN a été mise en évidence grâce aux travaux de Méselson et Stahl.

- Expérience de MESELSON et STHAL (1958).

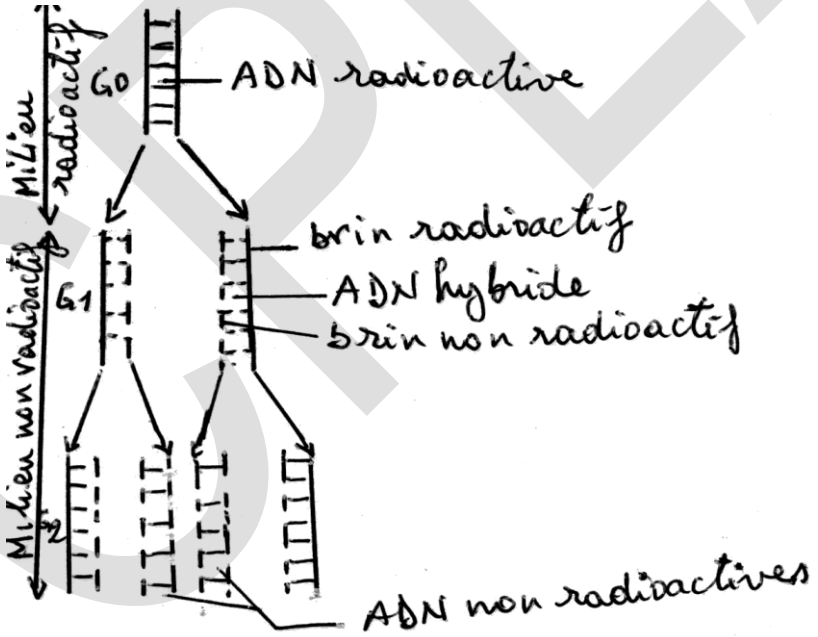
Des bactéries (colibacilles) sont cultivées sur un milieu contenant du chlorure d'ammonium, seule source des bactéries.

Dans un premier temps, les bactéries sont en présence des chlorures d'ammonium radioactifs (à azote radioactif lourd ^{15}N). Après plusieurs générations, on obtient des bactéries dont l'ADN est radioactif (ADN lourd). Ses bactéries à ADN lourd constituent une génération G_O, que l'on transfert dans un autre milieu dont le chlorure d'ammonium est à azote normal ^{14}N (non radioactif). Ces bactéries se multiplient et on obtient des

générations successives G_1 ; G_2 G_3, dont on mesure la radioactivité et la densité. Les résultats sont consignés dans le tableau ci-après.

Generation	G_o	G_1	G_2	G_3
Milieu de culture	^{14}N	^{14}N	^{14}N	^{14}N
Observation	ADN lourd et radioactif d= 1,724	100% ADN hybride et radioactif d= 1,717	-50% ADN hybride et radioactif -50%ADN normal léger non radioactif d= 1,710	-25%ADN hybride radioactif.-75% ADN normal non radioactif.

A la génération G_1 on a des molécules d'ADN hybride mais radioactif comme de la génération o. de la génération 1 à 3 le pourcentage d'ADN hybride a diminué de moitié d'une génération à l'autre. Alors que l'ADN léger non radioactif est apparu en génération 2 et le pourcentage a augmenté de génération 2 à 3. Ces résultats indiquent que les bactéries utilisent de l'atome du milieu pour produire leurs molécules d'ADN. Dans chaque nouvelle molécules fille d'ADN produite est conservé un ancien brin de la molécule mère dont elle est issue, c'est ce qui explique les proportions d'ADN obtenu hybride et léger de génération 0 à3 de même que l'évolution de leur radioactivité.



- Mécanisme de réplication(ou duplication).

La synthèse de l'ADN, réplication ou duplication est assurée par une enzyme appelée ADN polymérase. L'ADN polymérase provoque la séparation deux brins de la molécule mais par rupture des liaisons hydrogène reliant les deux bases azotées (phénomène de dégradation). Au même moment elle réalise l'association de nucléotides dont les bases azotées sont rigoureusement complémentaires de celle de nucléotides de chacun des anciens

brins. Ainsi dans chaque nouvelle molécule fille, un ancien brin de la molécule mère est conservé. Ce phénomène est qualifié de semi-conservatif.

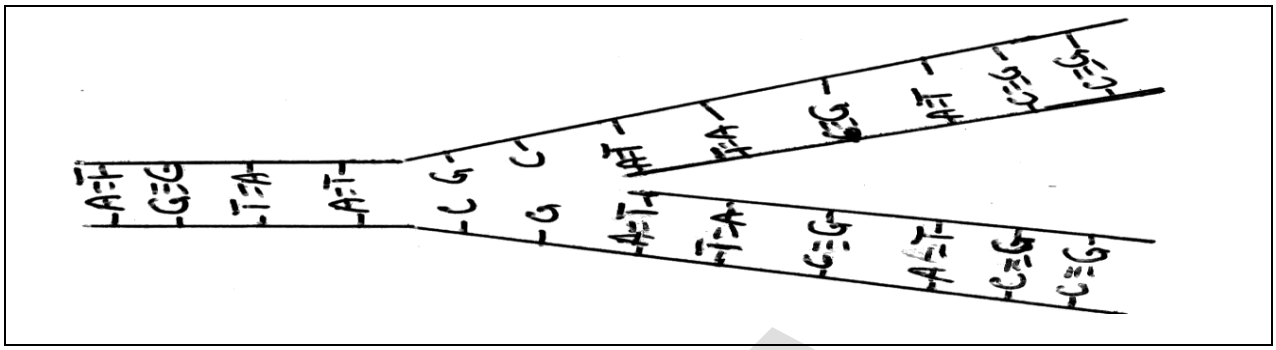
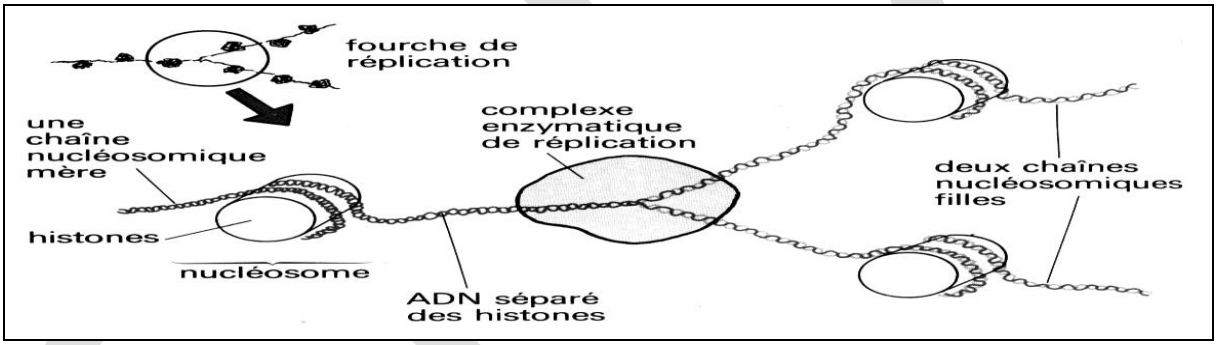
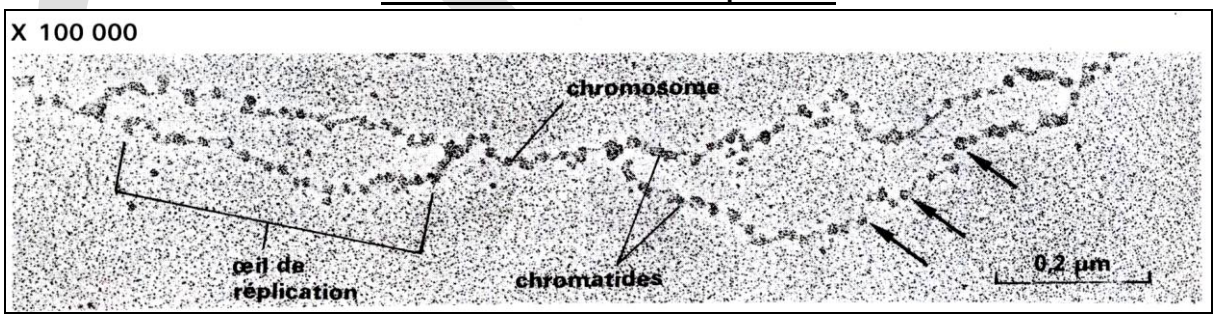


Schéma montrant la réplication de l'ADN

Remarque : La réplication ne s'effectue pas obligatoirement d'une extrémité à l'autre de la macromolécule. Elle se produit à des endroits où la molécule s'ouvre (se dégrafe). Chaque zone d'ouverture est appelé un œil de réplication.



Formation de fourche de réplication



Formation des yeux de réplication chez les eucaryotes

6- Quelques problèmes liés à la réplication de l'ADN.

Au cours de la réplication de l'ADN, il peut se une modification d'un ou des nucléotides de l'ADN. Cette modification qui ne touche qu'au plus un codon est appelée une mutation. Il existe plusieurs sortes de mutations parmi lesquelles on a :

- Les mutations faux-sens : ce sont des mutations qui échangent un codon spécifiant un acide aminé contre un codon spécifiant un autre acide aminé.
- Les mutations ponctuelles : ce sont des mutations portant sur un seul nucléotide. Il existe quatre types de mutations ponctuelles :

- La substitution : c'est le remplacement d'un nucléotide par un autre.
- L'insertion : c'est l'introduction d'un nucléotide supplémentaire.
- La délétion : c'est la perte d'un nucléotide.
- L'inversion : c'est le retournement d'un triplet de nucléotide.

Type de mutation	ARNm correspondant au gène normal + protéine synthétisée	ARNm correspondant au gène muté + protéine synthétisée
Substitution (remplacement d'un couple de nucléotides par un autre)	CCA – G**A**G – ACU Pro – **Glu** – Thr	CCA – G**U**G – ACU Pro – **Val** – Thr
Inversion (retournement d'un triplet)	UUC – **UGG** – GCU Phé – **Try** – Ala	UUC – **GGU** – GCU Phé – **Gly** – Ala
Délétion (perte d'un couple de nucléotides)	UAC – **A**CC – ACG – A (perte) Tyr – **Thr** – **Thr**	UAC – CCA – CGA Tyr – **Pro** – **Arg**
Insertion (introduction d'un couple supplémentaire de nucléotides)	UAC – ACC – ACG Tyr – **Thr** – **Thr**	UAC – **G**AC – CAC – G (ajout) Tyr – **Asp** – **His**

7- Support du matériel génétique

Confer rôle du noyau

8- Rôle des acides nucléiques : La protéosynthèse.

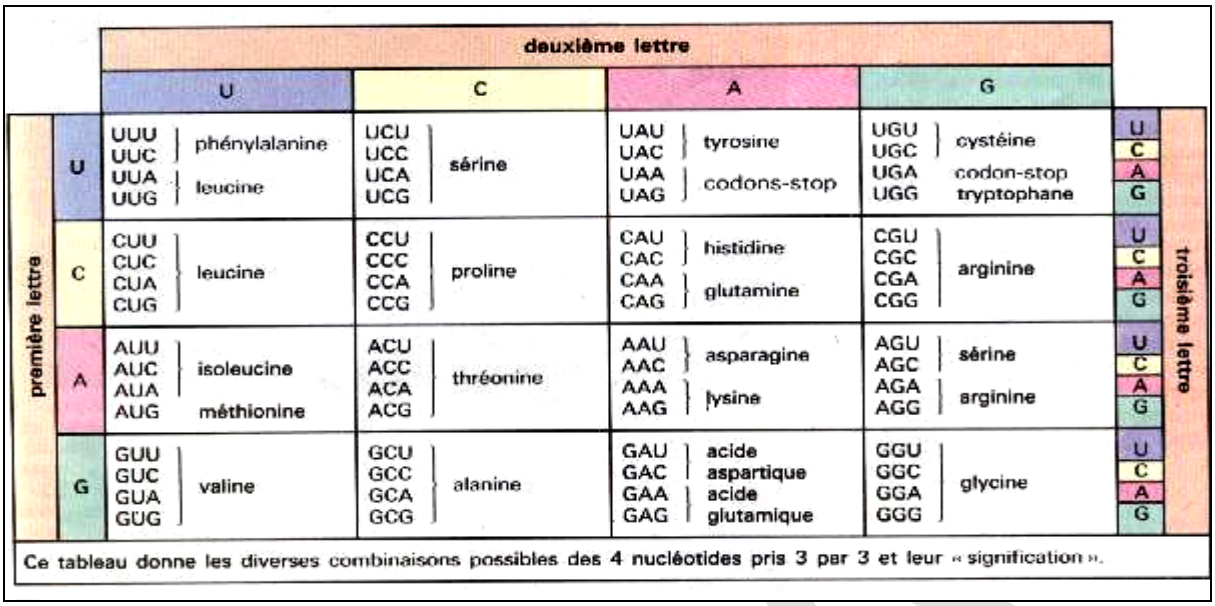
Pour effectuer la protéosynthèse, la cellule utilise un langage génétique appelé code génétique.

8-1-Le code génétique.

C'est un système de correspondance entre la séquence de l'ARNm et les acides aminés.

L'ARNm est constitué de quatre nucléotides. Il existe au total vingt acides aminés. Pour obtenir ces vingt acides animés à partir des quatre nucléotides de l'ARN, il faut regrouper ces quatre nucléotides trois par trois c'est-à-dire $4^3 = 64$. Chaque triplet de nucléotide s'appelle un codon. Parmi les 64 codons, 61 désignent les vingt acides aminés. Les trois codons restant ne désignent aucun acide aminé et sont appelés des codons stop ou des codons non sens : UAA ; UAG ; UGA. Parmi les 61 codons qui désignent les acides aminés, plusieurs codons peuvent désigner un même acide aminé : on dit que le code génétique est redondant. Exemples : CCU ; CCA ; CCG et CCC désignent tous l'arginine. GUA ; GUG ; GUC ; GUU désignent tous la valine.

Le code génétique est le même chez tous les êtres vivants : on dit que le code génétique est universel. Mais il existe des exceptions notamment chez les bactéries.



première lettre	deuxième lettre : U	deuxième lettre : C	deuxième lettre : A	deuxième lettre : G	troisième lettre
U	UUU, UUC : phénylalanine ; UUA, UUG : leucine	UCU, UCC, UCA, UCG : sérine	UAU, UAC : tyrosine ; UAA, UAG : codons-stop	UGU, UGC : cystéine ; UGA : codon-stop ; UGG : tryptophane	U C A G
C	CUU, CUC, CUA, CUG : leucine	CCU, CCC, CCA, CCG : proline	CAU, CAC : histidine ; CAA, CAG : glutamine	CGU, CGC, CGA, CGG : arginine	U C A G
A	AUU, AUC, AUA : isoleucine ; AUG : méthionine	ACU, ACC, ACA, ACG : thréonine	AAU, AAC : asparagine ; AAA, AAG : lysine	AGU, AGC : sérine ; AGA, AGG : arginine	U C A G
G	GUU, GUC, GUA, GUG : valine	GCU, GCC, GCA, GCG : alanine	GAU, GAC : acide aspartique ; GAA, GAG : acide glutamique	GGU, GGC, GGA, GGG : glycine	U C A G

Ce tableau donne les diverses combinaisons possibles des 4 nucléotides pris 3 par 3 et leur « signification ».

Le code génétique

Première position	Deuxième position U	Deuxième position C	Deuxième position A	Deuxième position G	Troisième position
	Phe	Ser	Tyr	Cys	U
	Phe	Ser	Tyr	Cys	C
U	Leu	Ser	.	.	A
	Leu	Ser	.	Trp	G
	Leu	Pro	His	Arg	U
	Leu	Pro	His	Arg	C
C	Leu	Pro	Gln	Arg	A
	Leu	Pro	Gln	Arg	G
	Ileu	Thr	Asn	Ser	U
	Ileu	Thr	Asn	Ser	C
A	Ileu	Thr	Lys	Arg	A
	Met	Thr	Lys	Arg	G
	Val	Ala	Asp	Gly	U
	Val	Ala	Asp	Gly	C
G	Val	Ala	Glu	Gly	A
	Val	Ala	Glu	Gly	G

Code génétique (deuxième présentation)

9- Les étapes de la protéosynthèse.

La protéosynthèse se déroule en deux phases : la transcription et la traduction.

b_1- La transcription.

La transcription est l'élaboration de l'ARNm à partir du brin codant (brin transcrit ou brin informatif) de l'ADN. Elle a lieu dans le noyau.

La traduction débute par une ouverture de la double chaîne d'ADN par rupture des liaisons hydrogènes. Les nucléotides libres et complémentaires se positionnent en face des nucléotides du brin codant d'ADN. Une enzyme, l'ARN polymérase assemble ces nucléotides libres en une chaîne d'ARNm.

b_2 : La traduction.

La traduction est l'élaboration d'une chaîne polypeptidique à partir de l'ARNm. Elle a lieu dans le cytoplasme. La traduction se déroule en trois étapes : **l'initiation, l'élongation et la terminaison**.

α- L'initiation.

C'est le début de l'élaboration de la chaîne polypeptidique.

L'initiation débute par une fixation de la petite sous-unité ribosomale sur l'ARNm et le positionnement du premier ARNt portant le premier acide aminé (la méthionine) en face du premier codon de l'ARNm appelé codon initiateur (AUG).

La fin de l'initiation est marquée par la fixation de la grosse sous-unité ribosomale sur le complexe formé de telle sorte que le premier ARNt soit dans le site P de la grosse sous-unité ribosomale et que le site A soit libre.

β- L'élongation.

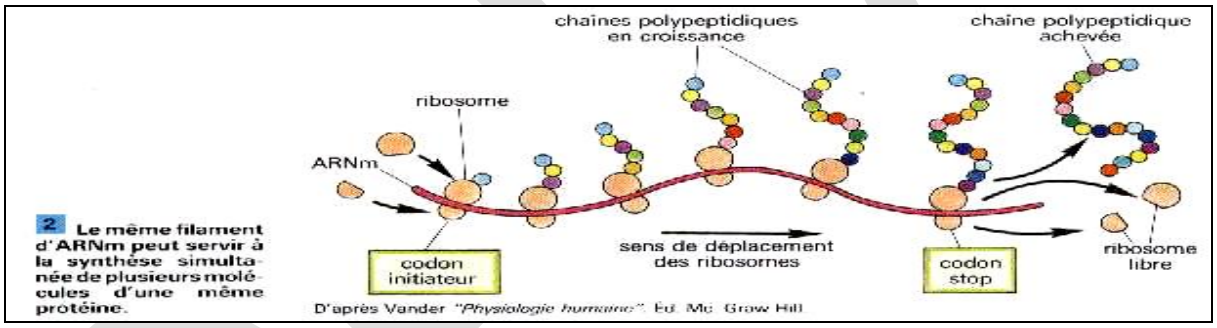
C'est l'allongement de la chaîne polypeptidique.

Un deuxième ARNt portant le deuxième acide aminé, se positionne dans le site A de la grosse sous-unité ribosomale. Il s'établit une liaison peptidique entre le premier acide aminé et le deuxième grâce à une enzyme peptide synthétase. Le ribosome glisse d'un pas appelé translocation, ce qui entraîne la sortie du premier ARNt. Dès lors, le deuxième ARNt portant le dipeptide, se retrouve dans le site P et le site A redevient à nouveau libre. Un troisième ARNt portant le troisième acide aminé se positionne dans le site A et ainsi de suite jusqu'à la synthèse de polypeptide.

γ- La terminaison.

C'est la fin de la synthèse du polypeptide.

Elle survient lorsque le ribosome rencontre un codon stop. Ceci provoque la dissociation du complexe ARNm-polypeptide- ARNt-ribosome et c'est la fin de la synthèse.



Lecture simultanée d'un même ARNm par plusieurs ribosomes

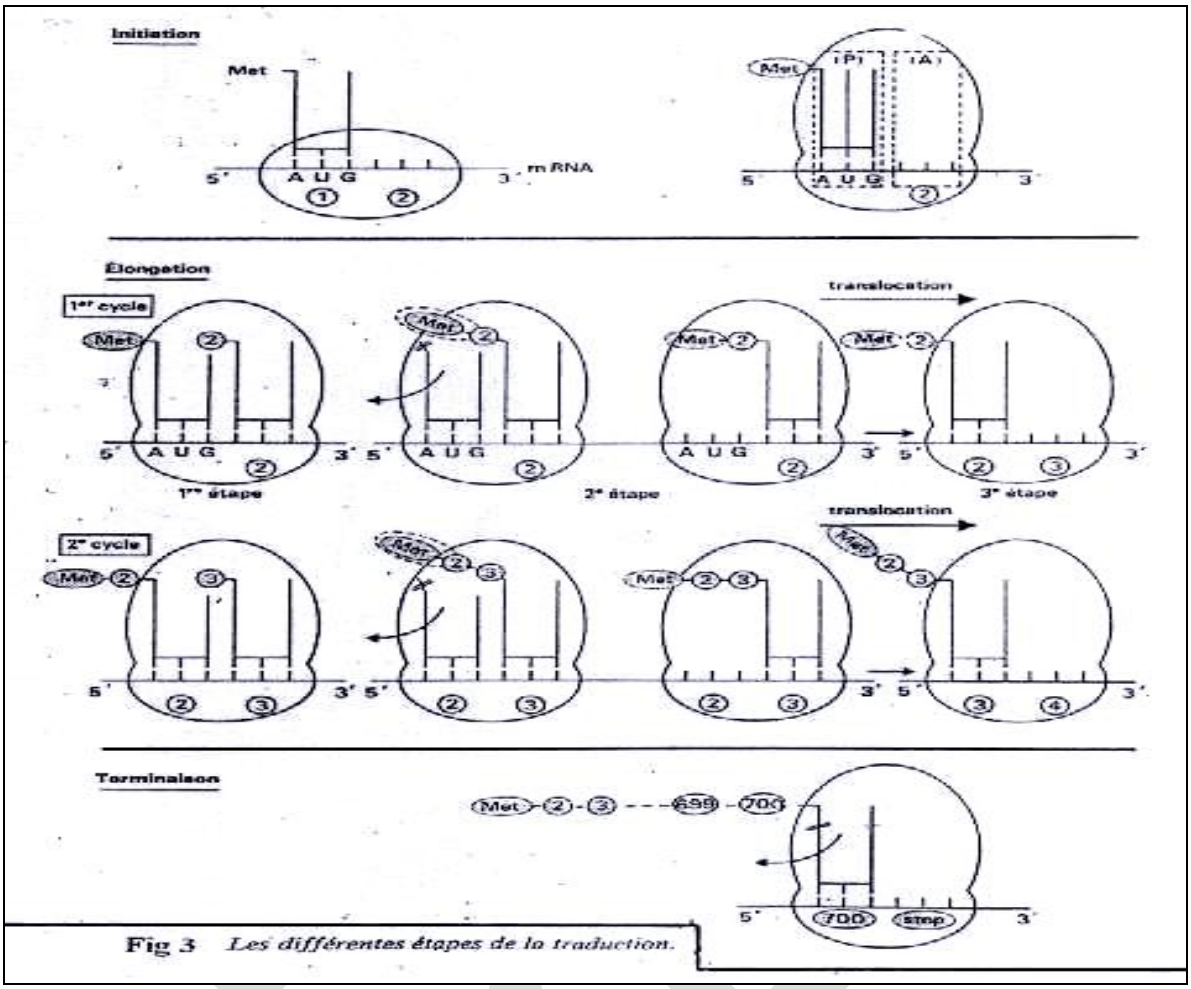


Fig 3 *Les différentes étapes de la traduction.*

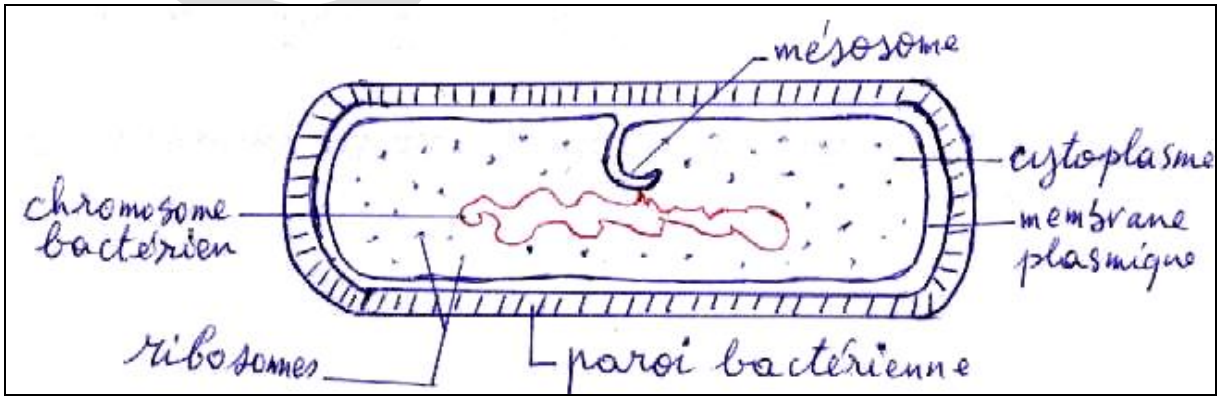
Les étapes de la traduction

3. Unité d'organisation cellulaire.

Toutes les cellules présentent un même plan d'organisation à savoir : une membrane plasmique délimitant un cytoplasme dans lequel on trouve des organites cellulaires et un noyau. Il existe donc une unité de plan d'organisation de la cellule. Néanmoins, il existe des exceptions comme :

Les procaryotes qui n'ont pas une membrane nucléaire. L'appareil nucléaire est résumé à un filament d'ADN accroché à la membrane plasmique. C'est le cas des bactéries.

Les virus qui sont constitués d'acides nucléiques et de protéines.



Structure d'une bactérie

4. Comparaison d'une cellule à une usine.

Une usine est une structure permettant la transformation des matières premières en produits finis. Le travail y est parfaitement programmé. La synthèse protéique illustre la notion d'usine. L'ordre de la synthèse protéique est donné par le noyau sous forme d'ARNm. Les matières premières (acides aminés) sont apportées par le sang. Les ARNt transportent les acides aminés et les positionnent au moment de la synthèse protéique. Les ribosomes assemblent ces acides aminés pour former la protéine. La protéine élaborée est injectée dans le réticulum et transportée dans le golgi là où s'effectue sa maturation, son étiquetage et son exportation sous forme de grains de sécrétion. L'énergie nécessaire à ces opérations est fournie par les mitochondries. L'activité d'une cellule est donc comparable à celle d'une usine dont le fonctionnement est parfaitement régulé.

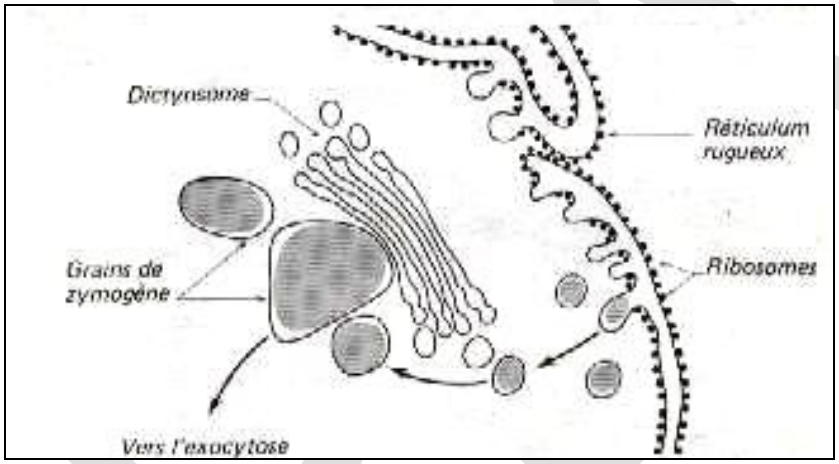


Schéma montrant les relations fonctionnelles entre les organites

BIOLOGIE CELLULAIRE

Les objectifs pédagogiques

A la fin de ce cours, l'élève doit être capable de :

1- Définir l'échange cellulaire.

2- Maitriser les principes de l'osmose et de la dialyse (échange d'eau et de solutés).

3- Faire la différence entre l'osmose et la dialyse.

4- Décrire les principes de plasmolyse et de déplasmolyse.

5- Dégager les types de transport de l'eau et des solutés

6- Décrire les différents types de perméabilités.

Introduction

La biologie cellulaire s'étudie selon trois aspects : les mouvements cellulaires, les échanges cellulaires et le métabolisme cellulaire.

A- Les mouvements cellulaires.

Ils regroupent les mouvements externes et internes

1- Les mouvements externes

- Mouvements ondulatoires : ce sont des déplacements à l'aide des flagelles. Exemples : Les spermatozoïdes, chlamydomonas.

- Les mouvements ciliaires : ce sont les déplacements effectués à base des cils. Exemple : la paramécie.

- Les mouvements amiboïdes : ce sont des déplacements à l'aide des prolongements cytoplasmiques appelés pseudopodes. Exemples : amibes, les leucocytes.

2- Les mouvements internes

- La cyclose : c'est un déplacement passif et orienté des organites cellulaires grâce aux courants cytoplasmiques.

B- Les échanges cellulaires.

Un échange cellulaire est le passage de l'eau (osmose) et des substances dissoutes (dialyse) à travers une membrane plasmique.

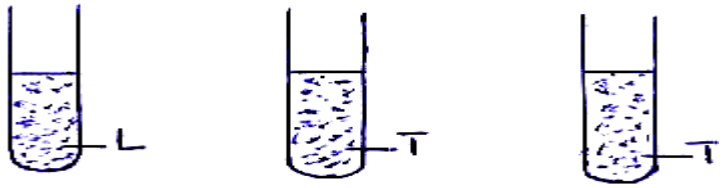
I- Les échanges d'eau

1- Chez la cellule animale

- Expérience :

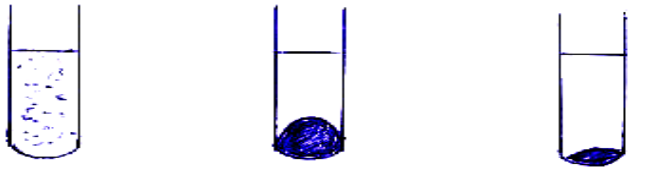
On dispose de trois tubes à essais T1, T2 et T3 contenant respectivement de l'eau distillée, une solution de NaCl à9g/l et une solution de NaCl à 15g/l. On ajoute au contenu de chaque tube, une goutte de sang oxalaté de mammifère (pour empêcher la coagulation du sang).

- **Observation :**



Eau distillée T1 | Eau + NaCl à 9g/l T2 | Eau + NaCl à 20g/l T3

Aspects après agitation



Aspects au repos



Invisible | Normal | crénelé

Aspects des hématies au microscope

NB : L= limpide ; T = trouble.

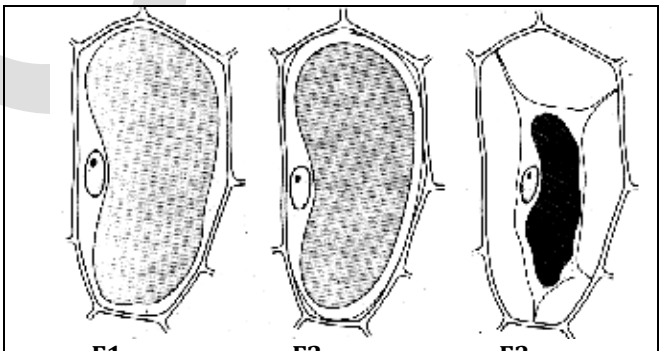
- **Interprétation :** les hématies contenues dans l'eau distillée sont invisibles car elles ont absorbé de l'eau jusqu'à s'éclater en libérant leur hémoglobine : c'est l'hémolyse. Les hématies contenues dans la solution de NaCl à 9g/l ont un aspect normal car elles n'ont ni absorbé ni gagné de l'eau. Cette solution est donc isotonique au contenu des hématies : c'est l'isotonie. Les hématies placées dans la solution de NaCl à 15g/l ont un aspect crénelé car elles ont perdu de l'eau : c'est la plasmolyse. La solution de NaCl à 15g/l est hypertonique par rapport au contenu des hématies.
- **Conclusion :** Les cellules animales échangent de l'eau avec leur milieu extérieur.

2- Chez la cellule végétale

Expérience :

On dispose de trois fragments de choux rouge (F_1, F_2 et F_3) qu'on place respectivement dans l'eau distillée, une solution de saccharose à 20% et une solution de saccharose à 40%. Ces trois fragments sont ensuite montés entre lame et lamelle au microscope.

- **Observations :**



F1 Eau distillée | **F2** sacch. à 20% | **F3** sacch. à 40%

Les cellules du fragment placé dans l'eau distillée montrent de grosses vacuoles. Les cellules du fragment placé dans la solution de saccharose à 20% présentent des vacuoles normales. Celles du fragment placé dans la solution de saccharose à 40% ont des vacuoles petites et fortement colorées.

- **Interprétation :**

Les cellules du fragment placé dans l'eau distillée ont absorbé de l'eau et sont turgescentes. Les cellules du fragment placé dans la solution de saccharose à 20% n'ont ni absorbé ni gagné de l'eau : c'est l'isotonie. Les cellules du fragment placé dans la solution de saccharose à 40% ont perdu de l'eau et sont donc plasmolysées.

a- Notions de plasmolyse et de déplasmolyse.

Si on place des cellules normales dans un milieu hypertonique, elles se plasmolysent.
Si ces cellules plasmolysées sont transférées dans un milieu hypotonique, elles redeviennent turgescentes : c'est la déplasmolyse provoquée.
Si des cellules végétales plasmolysées sont maintenues dans le même milieu hypertonique pendant un certains temps, elles redeviennent turgescentes : c'est la déplasmolyse spontanée.

- La plasmolyse est le phénomène au cours duquel une cellule perd de l'eau lorsqu'elle est placée dans un milieu hypertonique.
- La déplasmolyse est le phénomène au cours du quel une cellule plasmolysée redeviennent turgescente.
- La déplasmolyse provoquée est le phénomène au cours duquel une cellule plasmolysée redevient turgescente lorsqu'elle est transférée dans un milieu hypotonique. La déplasmolyse provoquée est due à une réabsorption d'eau par les cellules plasmolysées.
- La déplasmolyse spontanée est un phénomène au cours du quel une cellule plasmolysée redevient turgescente dans son milieu de plasmolyse. La déplasmolyse spontanée est due soit à l'entrée du soluté dans la cellule, soit à la synthèse d'une substance par la cellule, soit à l'hydrolyse d'une substance présente dans la cellule et tout ceci pour rendre le milieu intracellulaire hypertonique, ce qui entraine une réabsorption d'eau.

3- Détermination de la pression osmotique

La pression osmotique est la force exercée par l'eau sur la membrane cytoplasmique. Le phénomène osmotique se manifeste par une pression osmotique qui est donnée par la relation suivante :

$$\mathbf{Po = \prod = i\,R\,n\,T} \textit{ ou } \mathbf{Po = \prod = i\,R\,\frac{C}{M}\,T}$$

Po = ∏ : pression osmotique en Atm.
i = coefficient d'ionisation du soluté.
in = osmolarité (en osmol /l).

Exemples : si le soluté est un composé organique (glucides, lipides, protides), i = 1.
Si le soluté est du NaCl : i = 2.
Si le soluté est $CaCl_2$: i = 3.
R = constante de proportionnalité : R = 0, 082.
n = concentration molaire du soluté : en mol/l.
C = concentration massique du soluté : en g/l.ou en %o
M = masse molaire du soluté : en g/mol.
T = température absolue : en °K (°C + 273).

C- Echange de substances dissoutes : la dialyse.

La dialyse est le passage des solutés à travers une membrane perméable.

I- Les perméabilités.

Il existe quatre types de perméabilités : perméabilités orientée, sélective, différentielle et l'hémi-perméabilité.

1- La perméabilité orientée ou perméabilité à sens unique.

C'est le passage d'un soluté à travers une membrane plasmique dans un seul sens.
Exemple : On monte un fragment d'épiderme d'oignon dans une solution de rouge neutre à 0,5g/l. les vacuoles des cellules se colorent en rouge. Lorsqu'on transfert ce fragment dans un milieu ne contenant pas du rouge neutre, on constate que les vacuoles des cellules ne se décolorent jamais. Donc le rouge neutre rentre dans la cellule et ne ressort plus : c'est une perméabilité orientée.

2- La perméabilité différentielle.

C'est le passage de plusieurs solutés de même concentration molaire et à la même température à travers une membrane perméable à des vitesses différentes.

Exemple : Lorsqu'on place des cellules dans une solution formée de glucose et de fructose, on constate que le glucose entre dans la cellule plus vite que le fructose pourtant les deux solutés ont la même masse molaire.

3- La perméabilité sélective.

Elle se caractérise par une aptitude de la membrane à se laisser traverser par certaine substance et à s'opposer à d'autre

Exemple : Lorsqu'on place des cellules dans une solution formée de glucose et de saccharose, on constate que seul le glucose traverse la membrane perméable pour rentrer dans la cellule.

4- L'hémi-perméabilité ou perméabilité à l'eau.

C'est le passage de l'eau seule à travers une membrane perméable.

II- Les modes de transports de solutés.

Le transport des solutés à travers la membrane plasmique s'effectue selon trois modes : Le transport passif et le transport actif

1- Le transport passif.

C'est un transport de soluté d'un milieu hypertonique vers un milieu hypotonique. Ce transport s'effectue suivant le sens du gradient de concentration. Il ne nécessite de dépenses d'énergie. On distingue deux types de transport passif : le transport passif simple et le transport passif facilité

a- Le transport passif simple

Il résulte de l'agitation moléculaire. La vitesse de diffusion dépend de la taille des molécules. Elle est d'autant plus grande que les molécules sont plus petites.

b- Le transport passif facilité.

Il nécessite un transporteur membranaire appelé perméase qui sont des protéines. Ce transport s'effectue en trois étapes :

- Formation d'un complexe perméase-molécule à transporter
- Translocation de complexe à travers la membrane
- Dissociation du complexe et libération de la molécule transportée suivi du retour du transporteur à son état initial.

2- Le transport actif.

C'est un transport qui s'effectue dans le sens contraire du gradient de concentration c'est-à-dire le soluté est transporté d'un milieu hypotonique vers un milieu hypertonique. Ce transport nécessite un transporteur et une dépense d'énergie sous forme d'ATP.

Le transport actif permet aux cellules de s'adapter à leur milieu de vie et d'absorber des substances indispensables à leur métabolisme ou d'accumuler des substances de réserve dans les organes.

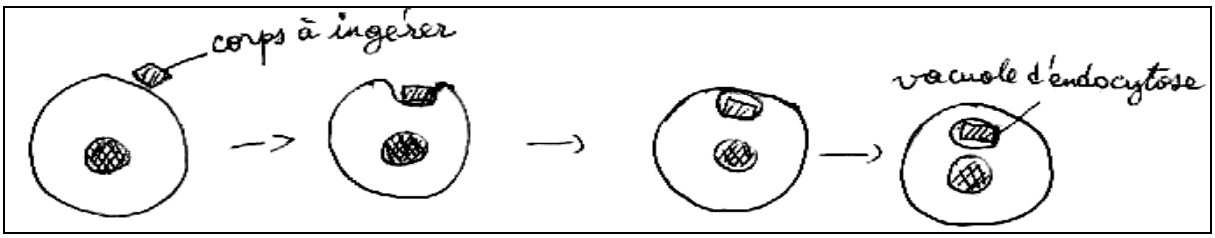
III- Transport de particules non solubles

1- L'endocytose.

C'est la déformation de la membrane plasmique et du cytoplasme cellulaire pour faire rentrer une substance dans la cellule. Selon le type de substance ingérée, on distingue deux types d'endocytose :

- la phagocytose : la substance à ingérer est solide.
- la pinocytose : la substance à ingérer est un liquide.

L'endocytose débute par une invagination de la membrane plasmique et se termine par une vacuole d'endocytose.

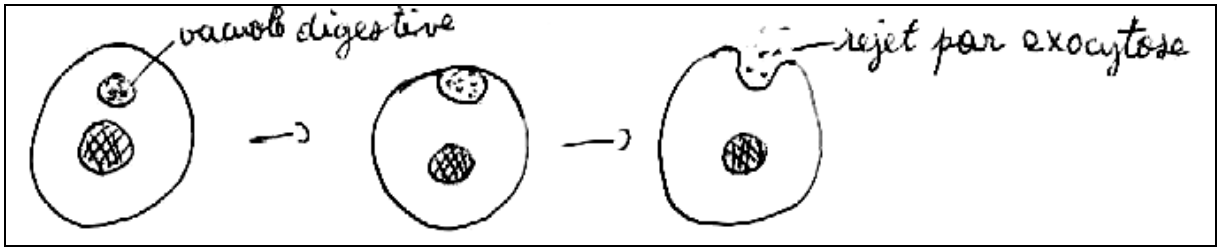


Les étapes d'endocytose

3- L'exocytose.

C'est la déformation de la membrane plasmique et du cytoplasme cellulaire pour faire ressortir une substance de la cellule.

La substance contenue dans une vacuole se positionne contre la membrane cellulaire. On assiste ensuite à une fusion de la vacuole avec la membrane plasmique et un rejet de la substance en dehors de la cellule.



Les étapes d'exocytose

CPLA

LA DIVISION CELLULAIRE CONFORME:LA MITOSE

Les objectifs pédagogiques

A la fin de ce cours, l'élève doit être capable de :

1- Définir la mitose

2- Décrire les différentes phases des divisions cellulaires.

3- Construire, analyser et interpréter le graphe d'évolution de la quantité d'ADN au cours de la mitose.

4- Décrire la méthode de détermination de caryotype d'une espèce

5- Définir et analyser un caryotype.

6- Schématiser un chromosome

7- Définir le cycle cellulaire

8- Citer les inhibiteurs de la mitose

Introduction

La mitose est une division cellulaire au cours de laquelle une cellule mère se divise pour donner deux cellules filles ayant chacune le même nombre de chromosome que la cellule mère.

I- Matériels d'étude et méthode

Pour observer la mitose au microscope, on utilise comme matériels biologiques les cellules œufs (mitose animale) ou les méristèmes ou les extrémités des racines ou des bourgeons (mitose végétale).Ces cellules sont préalablement colorées par le carmin acétique bouillant ou vert de méthyl acétique.

II- Les phases de la mitose.

La mitose se déroule en quatre phases : la prophase, la métaphase, l'anaphase et la télophase.

- Cas des cellules animales

1°) La prophase.

Elle est caractérisée par :

- Le gonflement du noyau de la cellule,
- La transformation de la chromatine en chromosomes
- La disparition des nucléoles,
- Le dédoublement du centrosome en deux centrioles fils et leur migration vers les pôles opposés de la cellule pour constituer des asters ;
- L'édification d'un fuseau de fibres (fuseau achromatiques) entre les deux asters
- Disparition de la membrane nucléaire ; les chromosomes fissurés (formés de deux chromatides) se fixent sur les fibres du fuseau achromatique par leur centromère.

2°) La métaphase.

Les chromosomes se positionnent dans le plan équatorial du fuseau avec leurs centromères alignés dans ce plan équatorial. Ils forment ainsi une plaque équatoriale en vue de profil ou une couronne équatoriale en vue face.

NB : c'est à cette phase que les chromosomes sont bien visibles et bien fissurés (constitué de deux chromatides)

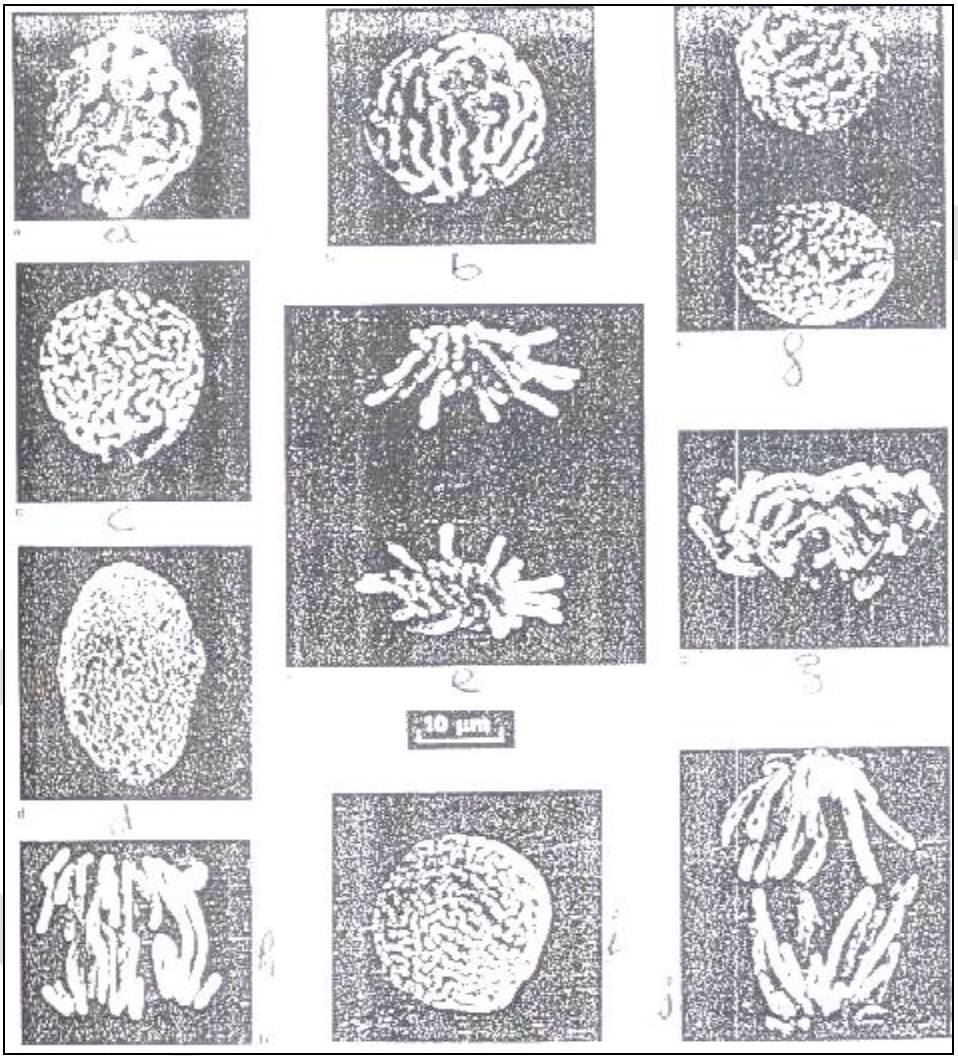
3°) L'anaphase.

Il ya clivage de centromères et migration des chromatides ou chromosomes à une chromatide vers les pôles du fuseau. Cette migration des chromosomes est encore appelée une ascension polaire des chromosomes.

4°) La télophase.

- Despiralisation (décondensation) des chromosomes avec perte de leur individualité
- Disparition des asters pour reconstituer le centrosome et du fuseau
- Réapparition de la membrane nucléaire et des nucléoles
- Invagination de la membrane plasmique qui scinde le cytoplasme en deux cellules filles

NB une mitose complète réalise la division du noyau (caryocinèse) et celle du cytoplasme (cytodiérèse)



<u>Les phases de la mitose placées dans le désordre. *</u>

<u>Classement</u> : d, i, c, b, a, g, h, j, e, f.

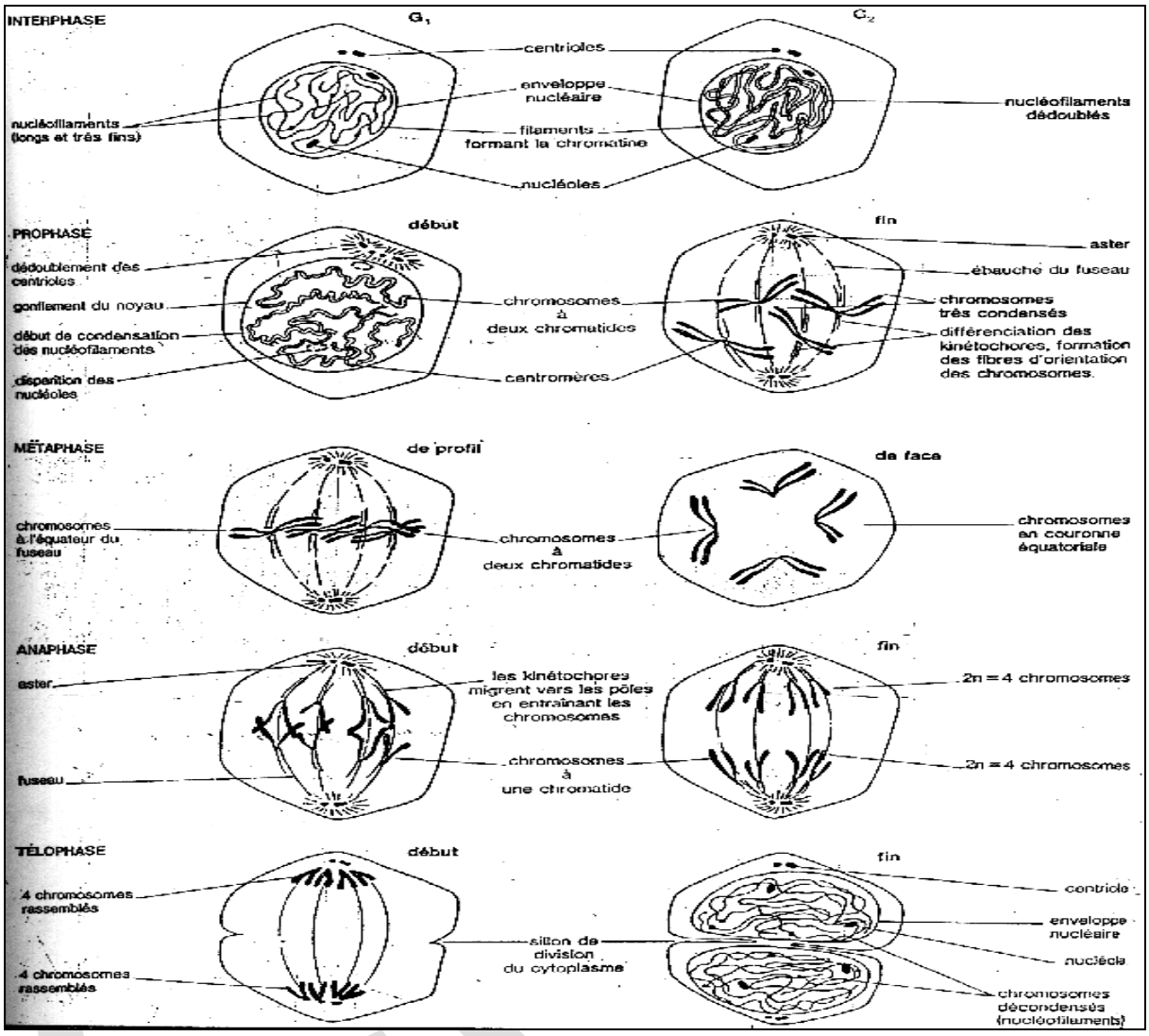
(d, i, c, b, a) = prophase (g) = métaphase (h, j, e) = anaphase (e, f) = télophase

- Cas de cellules végétales

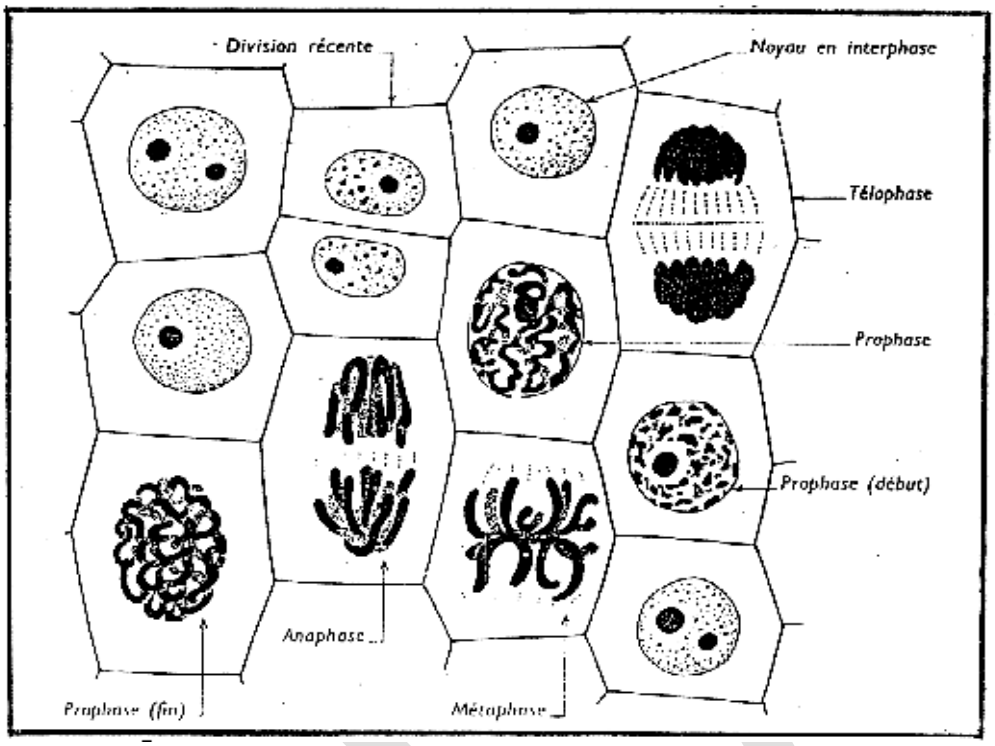
La mitose se déroule dans son ensemble de la même façon que dans la cellule animale. Cependant on note deux différences :

- L'absence de centrosome dans la cellule végétale entraîne une absence d'aster qui sont remplacés des calottes polaires (condensation du cytoplasme)

- A la télophase il se met en place dans le plan médian une sorte de paroi cellulosique appelé phragmoplaste résultant de la condensation des dictyosomes de l'appareil de golgi.



Les étapes de la mitose dans une cellule animale à 4 chromosomes (2n = 4)



Les étapes de la mitose dans une cellule végétale

NB : L'interphase précède la mitose. Elle n'est pas une phase de la mitose mais c'est à l'interphase que la cellule se prépare à entrer en division. Ceci pour deux raisons : maintien de la quantité d'ADN et Maintien de l'intégrité du message ADN. L'ensemble formé par l'interphase et la mitose constitue le cycle cellulaire.

La prophase est la phase la plus longue et la métaphase la plus courte.

Les types de cellules : certaines cellules spécialisée, n'entre plus en division et elles sont appelée des cellules spécialisées. C'est le cas de : spermatozoïdes, ovule, cellules nerveuses, hématies etc. Par contre, d'autres cellules ont un pouvoir de division élevé. C'est le cas des cellules méristématiques, des cellules œufs.

III- Rôle de la mitose.

La mitose assure :

- La multiplication des cellules chez les organismes pluricellulaires.
- Le remplacement des cellules usées ou mortes.
- La reproduction conforme des cellules.
- La croissance des organismes pluricellulaires.

IV- Déterminisme des mitoses (régulation du cycle cellulaire)

Le cycle cellulaire est influencé par plusieurs facteurs aussi bien internes qu'externes.

1- Les facteurs internes.

- Le rapport nucléo plasmatique (RNP) : c'est le volume du noyau par rapport au volume du cytoplasme. RNP = Vn / Vc avec Vn = volume du noyau et Vc = volume du cytoplasme. En effet, une cellule qui est régulièrement amputée de son cytoplasme ne se met jamais en division. Lorsque RNP augmente, la cellule se met en division.
- Les facteurs cytoplasmiques : Il existe certains facteurs cytoplasmiques qui seraient à l'origine du déclenchement de la division cellulaire. En effet, si on fusionne deux cellules dont les durées de cycle cellulaire sont différentes, c'est la cellule à cycle court qui impose son rythme de division c'est-à-dire que lorsque la cellule à cycle court se met en division, la deuxième cellule à cycle long entre aussi en division au même moment.

2- Les facteurs externes.

Ce sont des agents du milieu capable d'influencer la mitose. Il peut s'agir de la température, des rayonnements, des substances chimiques qui peuvent ralentir ou activer les divisions.

V- Les inhibiteurs de la mitose et leur intérêt

- Les substances inhibitrices de la division cellulaire : c'est le cas de la colchicine qui bloque la mitose à la métaphase en inhibant la formation du fuseau de division et le clivage des centromères. La mitomycine elle autre inhibe la réplication de l'ADN à la phase S.

Ces inhibiteurs luttent contre la prolifération des cellules cancéreuses, permet la détermination du caryotype et l'obtention de cellules polyploïdes

VI- Les chromosomes

1- Méthode d'étude d'un chromosome (réalisation d'un caryotype : cas de l'espèce humaine)

Le caryotype est l'ensemble des chromosomes contenu dans une cellule

a- prélèvement des cellules.

On réalise habituellement une ponction de sang d'une veine ou on prélève des cellules dans le liquide amniotique. On sépare dans le cas de la ponction du sang les hématies et on récupère les leucocytes.

b-Mise en culture.

Les leucocytes sont placés dans un milieu de culture à 37°C pendant trois jours en présence des substances qui activent la mitose. Exemple : la phytohémagglutinine (PHA) accélère la mitose, c'est une protéine végétale.

c-Blocage de la mitose.

On ajoute de la colchicine au milieu de culture. Ce poison inhibe la formation du fuseau de division et bloque ainsi la migration anaphasique des chromosomes fils. Les cellules en division sont bloquées en métaphase.

d-Choc hypotonique.

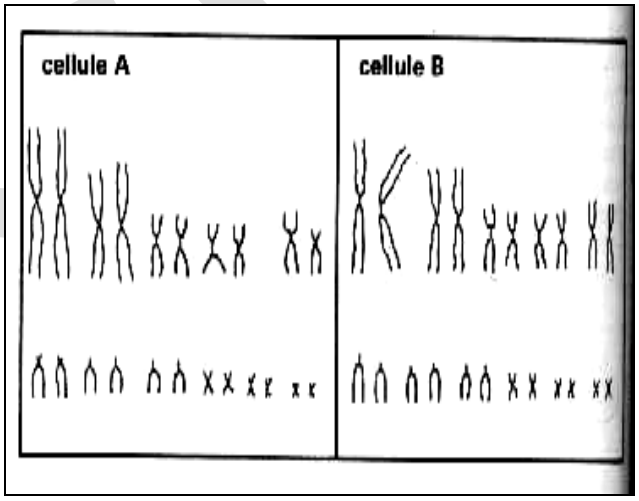
Placée dans un sérum dilué (milieu hypotonique)la cellules se gorge d'eau, s'éclate et les chromosomes métaphasique se dispersent.

e-Fixation et coloration

les chromosomes sont fixés et ensuite colorés par des substances utilisés pour colorer le noyau. Ils apparaissent comme une suite de bande sombre et de bande claire.

f- Mise en place du caryotype.

On photographie l'ensemble des chromosomes d'une seule cellule. Les clichés sont agrandis et on découpe les chromosomes une à une puis on les classe selon plusieurs critères : la taille, bande, place du centromère. Le document obtenu est appelé caryotype ou garniture chromosomique de l'espèce.



Exemples de caryotypes (caryotype des drosophiles)

2- Nombre de chromosomes.

Le nombre de chromosome est constant et caractéristique de l'espèce. La formule chromosomique d'une espèce est conventionnellement exprimée par 2n (2 est la parité et n désigne le nombre de paire de chromosome). Les chromosomes d'une même paire sont des chromosomes homologues.

Règne animal	Règne végétal
Ascaris : 2n=4	Pois : 2n=14
Drosophile : 2n=8	Ails, oignon : 2n=16
Homme : 2n=46	Mais : 2n=20

On qualifie de cellule diploïde celle possédant des 2n chromosomes. Les cellules haploïdes en possèdent n chromosome(les gamètes, quelques algues et champignons).

Remarques : chez la plupart des espèces pour l'un des sexes une paire de chromosomes est constitués de chromosomes non identiques : ce sont des hétérochromosomes ou chromosomes sexuels ou gonosome. Ces gonosomes interviennent dans la détermination du sexe.

Exemples : Chez l'homme on a 22 paires de chromosomes homologues ou autosomes et une paire de gonosome qui est XY, mais chez la femme les deux chromosomes de la 23ème paire sont aussi identique et sont notés XX.

La formule chromosomique est la suivante :

Chez la femme nous avons 44 autosomes + XX.

Chez l'homme nous avons 44 autosomes + XY.

3- La forme.

Les chromosomes ont généralement une forme en bâtonnet mais peuvent prendre d'autres formes surtout au cours de la mitose. Ils présentent une constriction primaire appelée centromère mais les séparant en deux bras. Selon la longueur relative des bras et la position du centromère, on distingue plusieurs types de chromosomes : les chromosomes en bâtonnet, les chromosomes en V et les chromosomes punctiformes.

Structure d'un chromosome métaphasique et prophasique

CPLA

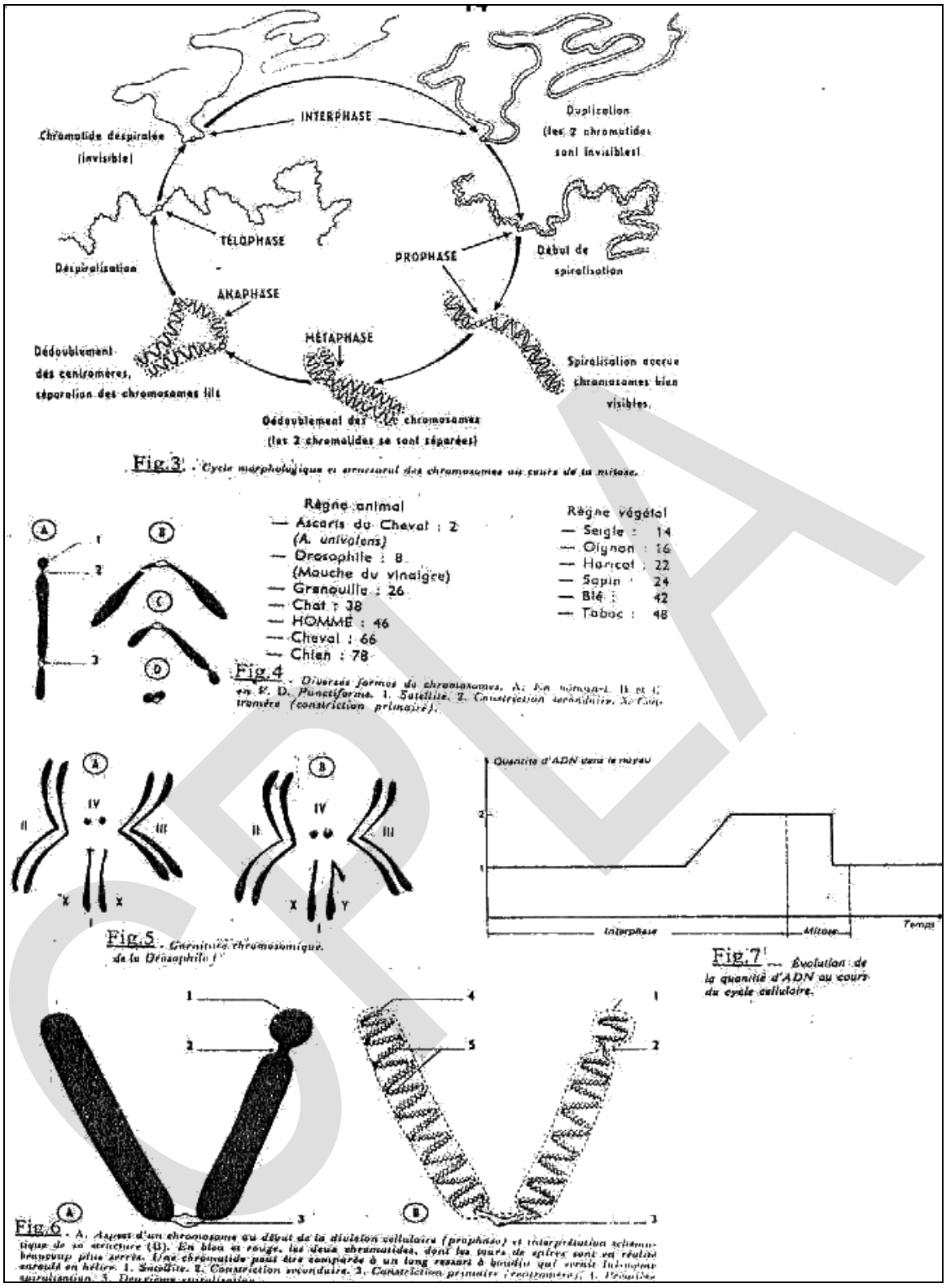


Fig.3 - *Cycle morphologique et structural des chromosomes au cours de la mitose.*

Règne animal
- Ascaris du Cheval : 2 (*A. univalens*)
- Drosophile : 8 (Mouche du vinaigre)
- Grenouille : 26
- Chat : 38
- HOMME : 46
- Cheval : 66
- Chien : 78

Règne végétal
- Seigle : 14
- Oignon : 16
- Haricot : 22
- Sapin : 24
- Blé : 42
- Tabac : 48

Fig.4 - *Diverses formes de chromosomes. A, En bâtonnet. B et C, en V. D, Punctiforme. 1, Satellite. 2, Constriction secondaire. 3, Constriction primaire (constriction primaire).*

Fig.5 - *Garniture chromosomique de la Drosophile ♂*

Fig.7 - *Evolution de la quantité d'ADN au cours du cycle cellulaire.*

Fig.6 - *A, Aspect d'un chromosome au début de la division cellulaire (prophase) et interprétation schématique de sa structure (B). En bleu et rouge, les deux chromatides, dont les tours de spires sont en réalité beaucoup plus serrés. L'une chromatide peut être comparée à un long ressort à boudin qui serait lui-même enroulé en hélice. 1, Satellite. 2, Constriction secondaire. 3, Constriction primaire (centromère). 4, Déspiralisation. 5, Deuxième enroulement.*

VII- Notion de cycle cellulaire.

1°) Définition.

Un cycle cellulaire est un ensemble de phénomène comportant une interphase et une mitose suivante.

2°) L'interphase.

C'est une phase qui sépare deux divisions successives. C'est aussi une phase qui précède une division cellulaire.

L'interphase comporte trois phases :

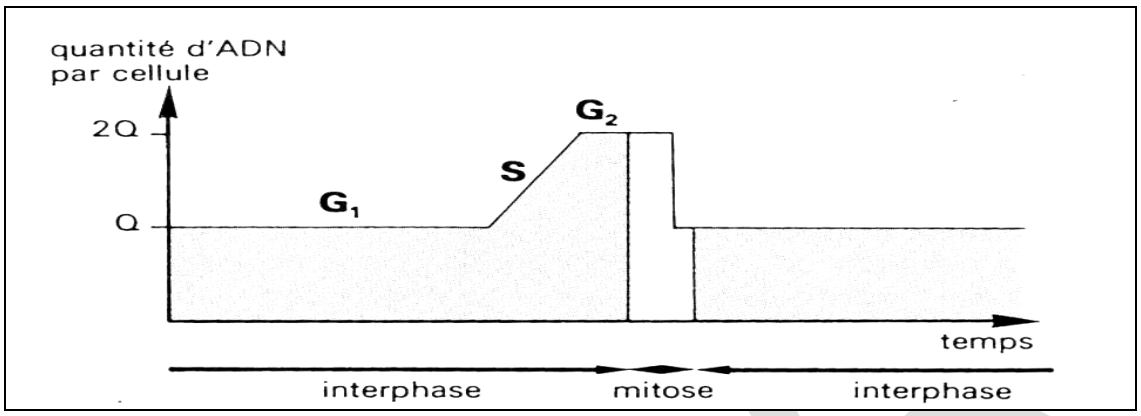
La phase G1 (vient du mot Gap qui signifie lacune): c'est une phase au cours de laquelle la cellule élabore ses composés cytoplasmiques.

La phase S : c'est la phase de synthèse d'ADN encore appelée réplication de l'ADN. A la fin de cette phase, la quantité d'ADN double : c'est la duplication.

- La phase G2 : c'est une nouvelle phase de synthèse des composés cytoplasmique (protéine pour l'élaboration de fuseau achromatique)

3°) Evolution de la quantité d'ADN au cours d'un cycle cellulaire.

Considérons une cellule diploïde dont la quantité d'ADN initiale dans son noyau est de 2Q. On suit l'évolution de cette quantité d'ADN dans la cellule au cours du temps et lors d'un cycle cellulaire. Les données obtenues permettent de tracer une courbe d'évolution de la quantité d'ADN au cours du temps.



Courbe d'évolution de la quantité d'ADN en fonction du temps.

a- Analyse de la courbe.
A t = 0, la quantité d'ADN initiale est égale 2Q.
Entre to et t1, cette quantité d'ADN reste contant et égale à 2Q.
Entre t1 et t2, cette quantité d'ADN double en passant de 2Q à 4Q.
Entre t2 et t3, la quantité d'ADN reste constante et égale à 4Q.
Entre t3 et t4, la quantité d'ADN diminue de moitié en passant de 4Q à 2Q.
A u delà de t4, cette quantité d'ADN reste constante et égale à 2Q.
b- Interprétation.
- A to, la quantité d'ADN 2Q correspond à la quantité d'ADN initiale.
- Entre to et t1, cette quantité d'ADN correspond à la phase G1 qui est la phase de synthèse des composés cytoplasmiques. La cellule est à 2n chromosome à raison d'une chromatide par chromosome.
- Entre t1 et t2, on a la phase S qui est la phase de synthèse d'ADN. Pendant cette phase, chaque chromatide élabore son homologue et à la fin chaque chromosome est à deux chromatides mais la cellule est toujours à 2n chromosome.
- Entre t2 et t3, on a les phases : G2, phase de synthèse des composés cytoplasmiques ; la prophase et la métaphase de la mitose. Durant ces trois phases, la cellule est toujours à 2n chromosomes à raison de deux chromatides par chromosome.

Entre t3 e t4, on a l'anaphase. La cellule est à 2x2n chromosomes à raison d'une chromatide par chromosome.
- A t4, correspond la télophase. Chaque cellule fille est à 2n chromosomes à raison d'une chromatide par chromosome.

Conclusion
La division cellulaire est un phénomène universel qui assure la transmission intégrale de l'information génétique contenue dans les chromosomes. Elle aboutit à la formation de deux cellules filles possédant deux lots de chromosomes identiques, ce qui a pour conséquence le maintien de la formule chromosomique.

GAMETOGENESE ET FECONDATION

Les objectifs pédagogiques.

A la fin de ce cours, l'élève doit être capable de :

1- *Définir gamète, gamétogénèse, méiose, ovogénèse et spermatogénèse*
2- *Décrire les différentes étapes de la méiose*
3- *Identifier les gamètes mâles et les gamètes femelles.*
4- *Citer les caractères des gamètes et dire leurs rôles.*
5- *Réaliser les schémas des différents gamètes.*
6- *Expliquer le mécanisme de la formation des gamètes.*
7- *Identifier les différentes phases de la fécondation.*
8- *Réaliser les cycles de reproduction et les qualifier.*
9- *Dire l'importance de la gamétogenèse et de la fécondation.*

La gamétogenèse est un processus au cours duquel les gamètes ou cellules reproductrices sont élaborés.
La fécondation est l'union entre un gamète mâle et un gamète femelle pour donner un œuf ou zygote.

I- Les gamètes.

Les gamètes sont encore appelées les cellules reproductrices et sont de deux sortes : les gamètes mâles et les gamètes femelles. Ces deux types de gamètes existent aussi bien chez les animaux que chez les végétaux.

A- Les gamètes chez les animaux.

1°) Les gamètes mâles.

Les gamètes mâles des animaux sont appelés les spermatozoïdes

a- Observation des spermatozoïdes.

L'observation d'une goutte de sperme au microscope optique montre des éléments en forme de têtards : ce sont les spermatozoïdes.

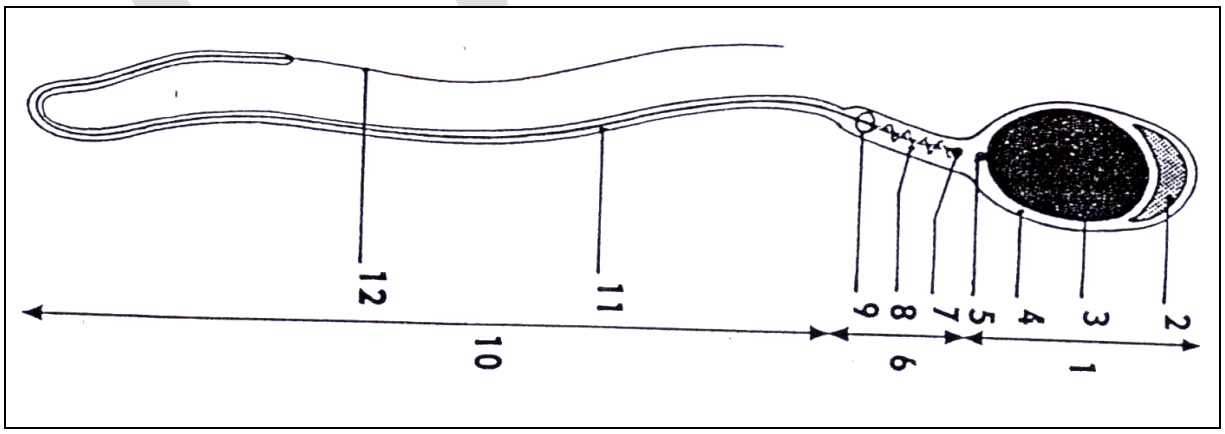
b- Ultrastructure d'un spermatozoïde.

L'observation d'un spermatozoïde au microscope électronique montre qu'il est constitué de trois parties essentielles: la tête, la pièce intermédiaire et la queue.

- La tête: Elle comprend vers l'avant une coiffe appelée l'acrosome en arrière duquel on trouve un noyau dense et un centriole proximal. L'acrosome contient une enzyme appelée l'acrosime qui digère la membrane ovulaire lors de la fécondation.

- La pièce intermédiaire : Elle débute par le centriole distal et se termine par un anneau. Entre le centriole distal et l'anneau, on trouve une hélice de mitochondries.

- La queue: Elle est constituée par un flagelle qui assure la locomotion des spermatozoïdes. Elle contient beaucoup de reserves nutritives.

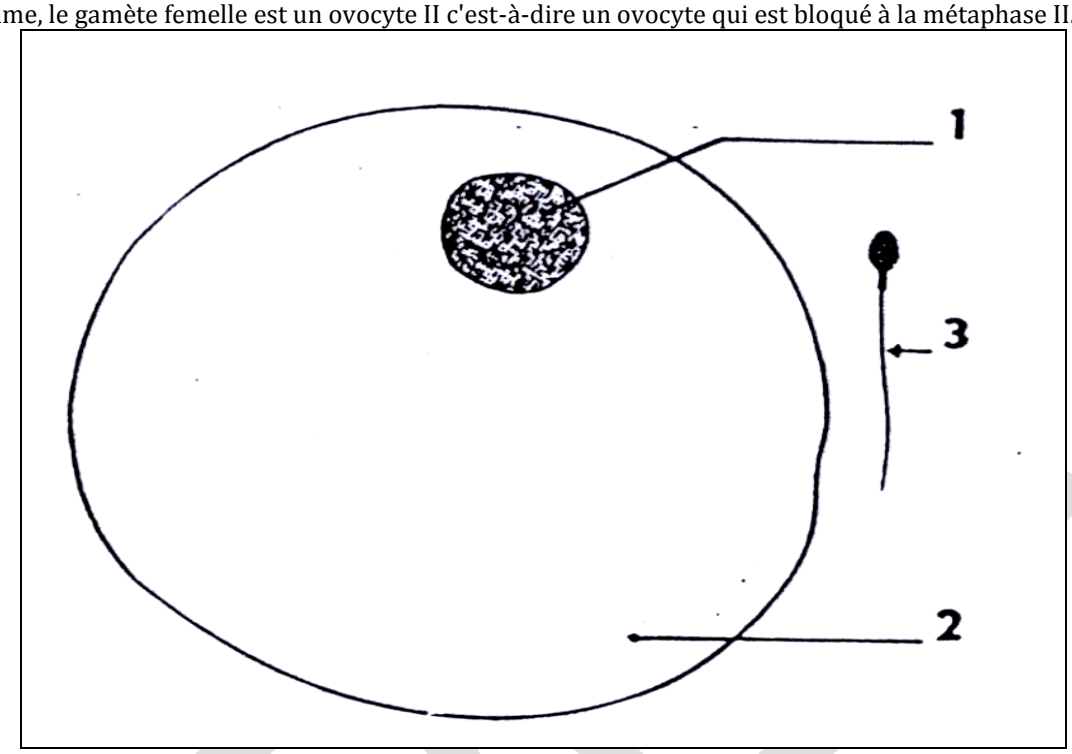


Structure d'un spermatozoïde : 1 : tête 2 : acrosome 3 : noyau 4 : cytoplasme 5 : centriole proximal 6 : pièce intermédiaire 7 : centriole distal 8 : mitochondrie 9 : anneau 10 : flagelle 11 : partie principale 12 : partie terminale.

2°) Les gamètes femelles.

Les gamètes femelles sont communément appelés les ovules.

a- L'observation des ovules de l'oursin.
L'observation au microscope d'une gelée orange provenant de l'ovaire d'un oursin, montre des cellules arrondies de 100µm de diamètre : ce sont les ovules.
b- Ultrastructure des ovules.
Un ovule est une cellule arrondie entourée par une membrane plasmique et dont le cytoplasme est rempli de réserves nutritives ou vitellus.
Chez la femme, le gamète femelle est un ovocyte II c'est-à-dire un ovocyte qui est bloqué à la métaphase II.



Ovule et spermatozoïde d'oursin : 1 : noyau de l'ovule 2 : cytoplasme, 3 : spermatozoïde.

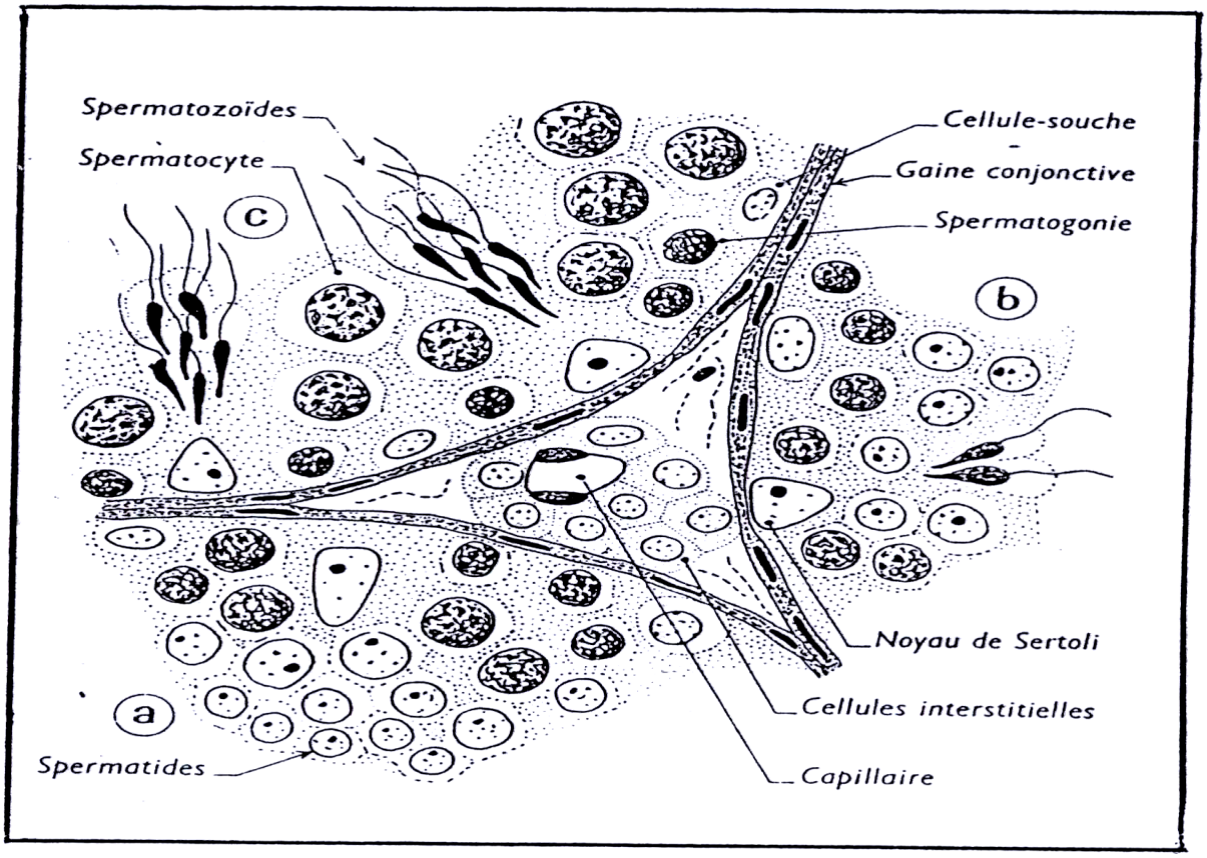
B- Les gamètes chez les végétaux.
Les gamètes mâles des végétaux sont appelés des anthérozoïdes ou spermatozoïdes. Ils sont produits soit par les gamétocytes, soit par les gamétophytes.
Les gamètes femelles des végétaux sont appelés oosphères et sont produits par les gamétophytes ou les gamétocystes.

II- La gamétogenèse.
C'est un processus par lequel les gamètes sont élaborés.
La gamétogenèse regroupe : la spermatogenèse et l'ovogenèse.
A- La spermatogenèse.
C'est la formation des gamètes mâles. Elle a lieu dans les tubes séminifères des testicules. Elle se déroule en quatre phases : les phases de multiplication, d'accroissement, de maturation et de différenciation.
1°) La phase de multiplication.
C'est une phase au cours de la quelle les cellules souches ou gonocytes à 2n chromosomes se multiplient par mitose pour donner des spermatogonies à 2n chromosomes. Le phénomène essentiel qui a lieu à cette phase est la mitose.
2°) La phase d'accroissement.
Chaque spermatogonie à 2 n chromosomes accumule des réserves nutritives, augmente de taille et de vient un spermatocyte I ou spermatocyte de premier ordre à 2 n chromosomes. Le phénomène essentiel qui a lieu à cette phase est l'augmentation de tailles.
3°) La phase de maturation.
Chaque spermatocyte I subit une division réductionnelle pour donner deux spermatocytes II à n chromosomes chacun. Chaque spermatocyte II subiet une division équationnelle pour donner deux spermatides haploïdes. Le phénomène essentiel qui a lieu à cette phase est la méiose.
4°) La phase de différenciation.
C'est une phase au cours de laquelle les spermatides subissent une transformation morphologique pour devenir les spermatozoïdes : c'est la spermiogenèse. Elle est caractérisée par :

- La formation de l'acrosome à partir de la fusion des vésicules golgiennes.
- La condensation du noyau ;
- Le regroupement des mitochondries en hélice pour former la pièce intermédiaire.
- La séparation des centrioles du centrosome pour former un centriole proximal et un centriole distal.
- La formation du flagelle à partir du centriole distal.

- L'élimination d'une bonne partie du cytoplasme de la cellule pour former le spermatozoïde.

Le phénomène essentiel qui a lieu à cette phase est la spermiogenèse.



Testicule de souris : coupe partielle de trois tubes séminifères. En a, les spermatozoïdes sont jeunes. En b, la transformation est amorcée. En c, les spermatozoïdes sont rassemblés en « bouquet ».

B- L'ovogenèse.

C'est la formation des gamètes femelles. Elle a lieu dans les ovaires et se déroule en quatre phases comme la spermatogenèse.

1°) La phase de multiplication.

Les cellules mères des ovules appelées les ovogonies ou gonocytes à 2n chromosomes se multiplient par mitose pour donner d'autres ovogonies à 2 n chromosomes. Le phénomène essentiel qui à lieu à cette phase est la mitose.

2°) La phase d'accroissement.

Chaque ovogonie à 2 n chromosomes accumule de réserves, augmente de taille et devient un spermatocyte I à 2 n chromosomes. Le phénomène essentiel qui a lieu à cette phase est l'augmentation de taille.

3°) La phase de maturation.

Chaque ovocyte I subit une division réductionnelle pour donner deux cellules filles de taille inégale : une grosse cellule qui est l'ovocyte II à n chromosomes et une cellule de petite taille appelées premier globule polaire (GP_1) aussi à n chromosomes. Cette différence de taille est due à une inégale répartition du cytoplasme entre les deux cellules filles et à un fuseau de division excentrique.

L'ovocyte II subit une division équationnelle pour un ovotide et un deuxième globule polaire (GP_2). Le phénomène essentiel qui a lieu à cette phase est la méiose.

NB : Chez la femme, l'ovocyte II entre en division équationnelle mais reste bloqué à la métaphase II, jusqu'à la ponte : c'est pourquoi le gamète de la femme est l'ovocyte II.

4°) La phase de différenciation.

Elle est caractérisée par la transformation de l'ovotide en ovule. Cette phase est inexistante chez la femme.

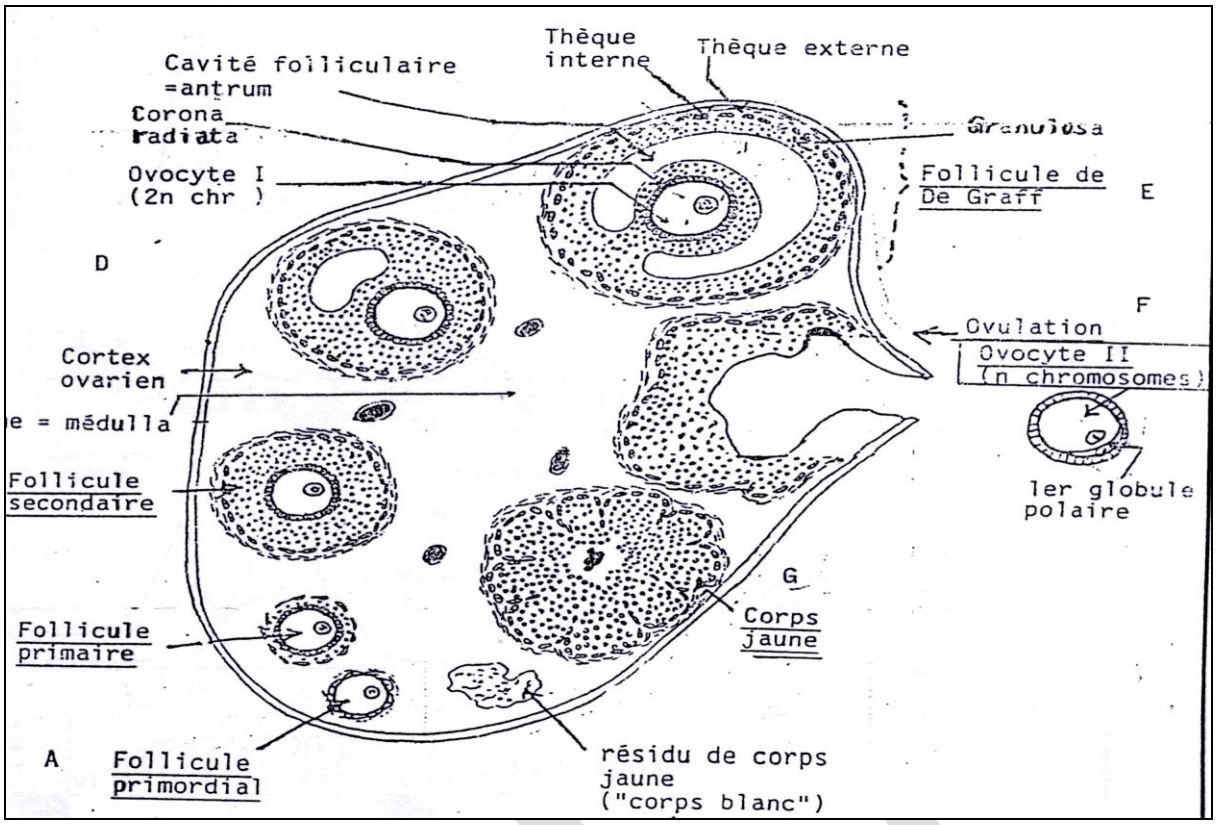
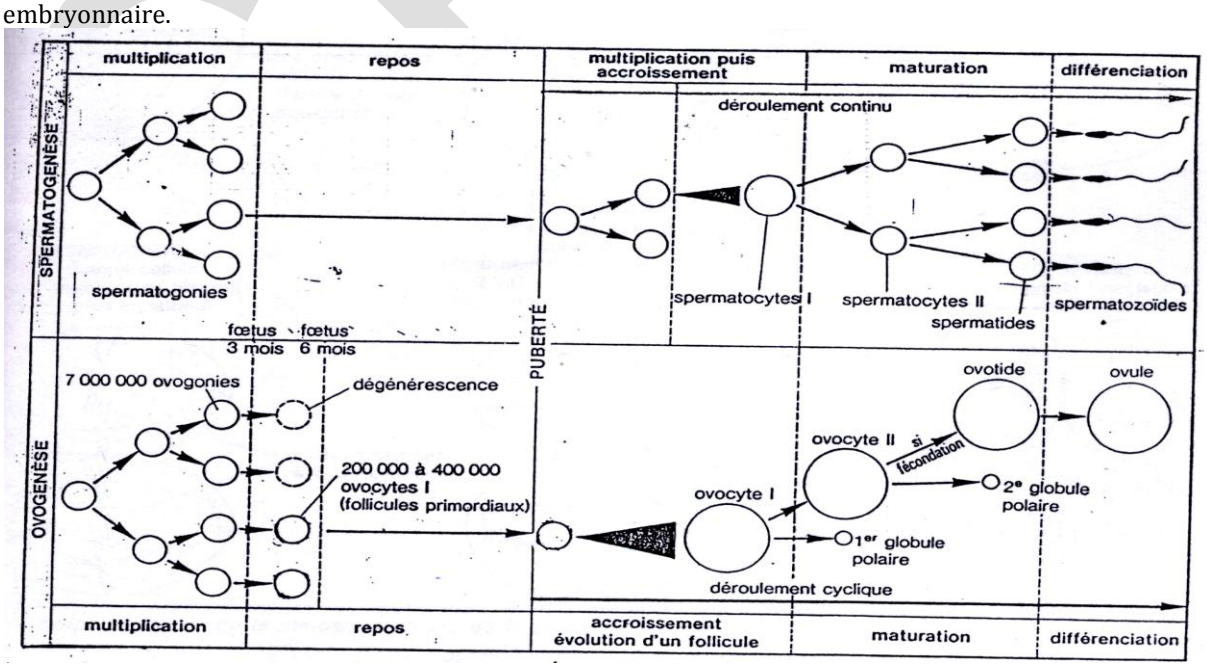


Schéma des différents stades évolutifs du follicule ovarien. A; B ; C ; D ; E : phase folliculaire, F : ovulation, G : phase lutéinique.

C- Comparaison entre la spermatogenèse et l'ovogenèse.

Points communs : Les deux phénomènes se déroulent dans les gonades en quatre phases. Ils conduisent tous à la formation des gamètes haploïdes.

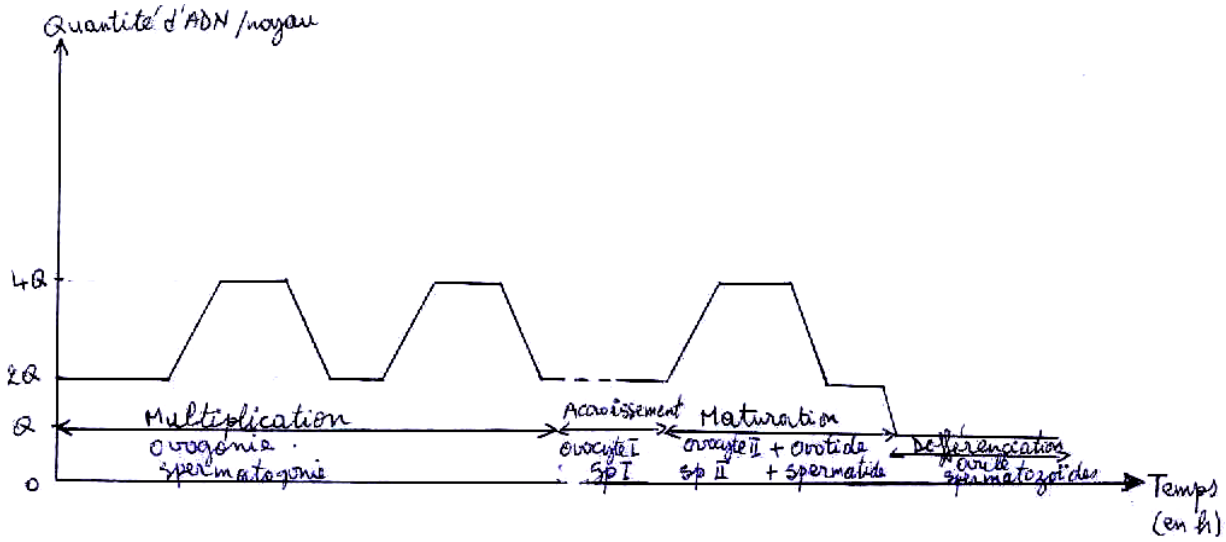
Différences : la spermatogenèse conduit à la formation de quatre spermatozoïdes à partir d'une spermatogonie alors que l'ovogenèse conduit à la formation d'un ovule à partir d'une ovogonie. L'ors de l'ovogenèse, il ya formation des globules polaires, ce qui n'est pas le cas en spermatogenèse. La spermatogenèse est un phénomène continu alors que l'ovogenèse est un phénomène discontinu. La spermatogenèse débute dès la puberté alors que l'ovogenèse débute dès la vie embryonnaire.



Schémas comparatifs entre spermatogenèse et ovogenèse.

D- Evolution de la quantité d'ADN au cours de la gamétogenèse.

On considère une cellule mère des gamètes dont la quantité d'ADN initiale est égale à 2Q. On suit l'évolution de cette quantité d'ADN au cours temps et lors de la gamétogenèse. On obtient le graphe suivant :



Courbe d'évolution de la quantité d'ADN en fonction du temps.

III- La fécondation.

La fécondation est l'union entre un gamète mâle et un gamète femelle pour donner un œuf ou zygote. La fécondation peut-être interne ou externe.

A- **Les étapes de la fécondation.**

La fécondation se déroule en six phases : phases d'attraction, de la danse des gamètes, de pénétration et d'activation de l'ovule, de formation des pronucléus, de rapprochement des pronucléus et de caryogamie.

1°) La phase d'attraction des spermatozoïdes par l'ovule.

L'ovule élabore une substance appelée fertilisine ou gamone qui attire les spermatozoïdes dans leur déplacement : on parle d'un chimiotactisme positif.

2°) Phase de la danse des gamètes.

Les spermatozoïdes arrivent au contacte de l'ovule et tourbillonnent au tour de ce dernier : c'est la danse des gamètes.

3°) Phases de pénétration d'un spermatozoïde dans l'ovule et d'activation de l'ovule.

Le cytoplasme ovulaire se soulève en un point pour former un cône d'attraction ou cône de fécondation. L'acrosome du spermatozoïde s'ouvre et libère son enzyme qui digère la membrane de l'ovule. Il ya fusion entre la membrane du spermatozoïde et celle de l'ovule pour former un tube de pénétration. Le noyau du spermatozoïde ainsi que son centriole proximal passe à travers ce tube et tombe dans le cytoplasme de l'ovule.

Cette pénétration d'un spermatozoïde dans l'ovule entraine une activation de cette dernière caractérisée par :

- Une formation de la membrane de fécondation ;
- Formation d'un liquide péri ovulaire ou périvitellin entre les deux membranes. Ce liquide ainsi que la membrane de fécondation permet d'empêcher une pénétration ultérieure d'autres spermatozoïdes dans l'ovule fécondé.
- Augmentation de l'intensité respiratoire.

4°) Phase de formation des pronucléus.

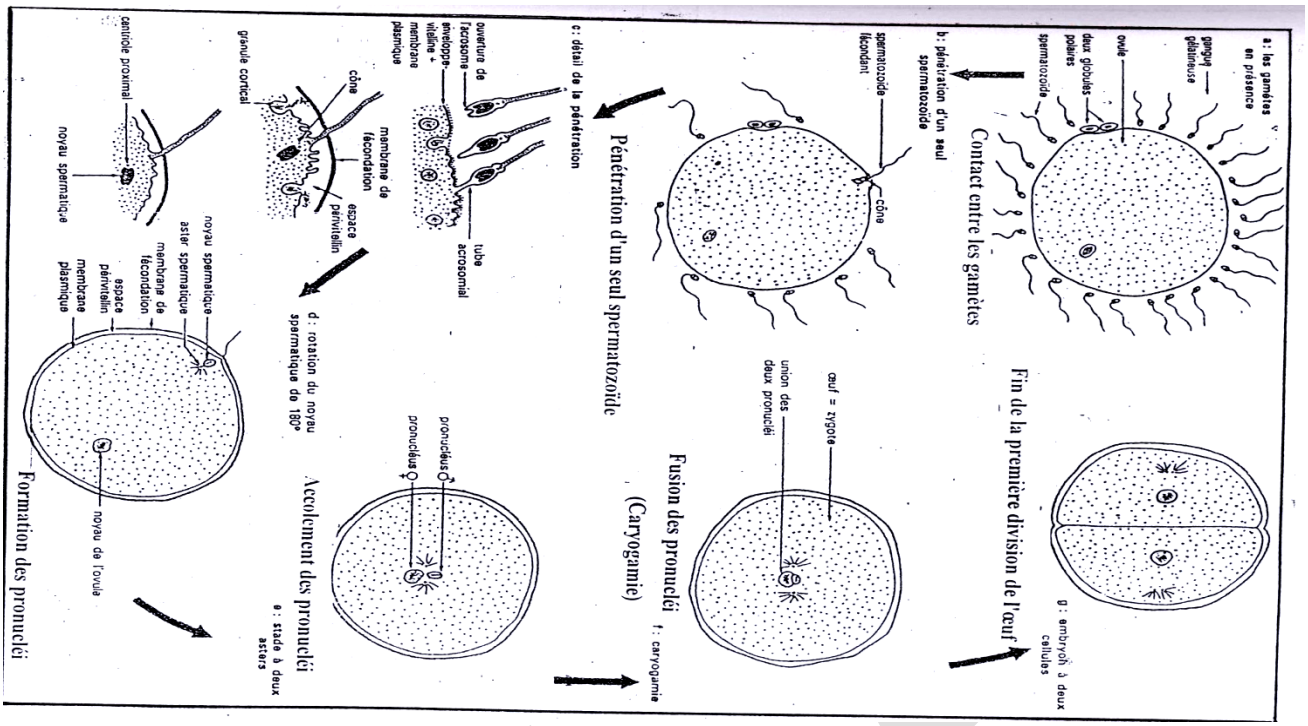
Les noyaux des spermatozoïdes et de l'ovule gonflent et prennent respectivement les noms de pronucléus mâle et pronucléus femelle.

5°) Phases de rapprochement des pronucléus.

Le pronucléus mâle ainsi que son centriole proximal subit une rotation de 180°, ce qui permet le rapprochement des deux pronucléus.

6°) Phase de caryogamie.

Le centriole proximal du spermatozoïde se transforme en aster spermatique qui se dédouble. Il se forme un fuseau de division entre ces deux asters. C'est alors qu'on assiste à une fusion des deux pronucléus : c'est la caryogamie ou amphimixie. A la suite de cette fusion, on obtient une cellule œuf qui subit immédiatement sa première division mitotique pour donner deux cellules filles. Cette division se poursuit jusqu'à l'obtention d'un individu nouveau.



Principales étapes de la fécondation chez l'oursin.

B- **Facteurs agissant sur la fécondation.**

La rencontre entre un gamète mâle et un gamète femelle dépend de plusieurs facteurs aussi bien internes qu'externes. Parmi ces facteurs, on a : la durée de vie des gamètes, la mobilité des gamètes et la concentration du sperme.

1°) La durée de vie des gamètes.

Chez les mammifères, la durée de vie des spermatozoïdes varie de quelques heures à quelques jours lorsqu'ils sont libérés dans les voies génitales femelles. Par exemple elle est de trois à quatre jours chez l'homme et de six heures chez la souris.

Le gamète femelle a aussi une durée de vie limitée après l'ovulation. Par exemple, elle est de 24h chez la femme et de 3 à 4h chez la jument.

2°) La mobilité des gamètes.

Les gamètes mâles sont en général mobiles et flagellés alors que les gamètes femelles sont en général immobiles et non flagellés mais il peut y avoir des exceptions. Chez l'homme, lorsque les spermatozoïdes sont peu mobiles, l'individu souffre d'asthénospermie.

3°) La concentration du sperme.

Pour que la fécondation ait lieu, il faut que la concentration du sperme c'est-à-dire le taux de spermatozoïde dans le sperme atteint une certaine valeur seuil. Chez l'homme, cette valeur seuil est comprise entre 30 et 120 millions par centimètre cube (cm^3).

Lorsqu'une concentration est en dessous du seuil, l'individu souffre d'oligospermie. Lorsque cette concentration est nulle, on parle d'azoospermie.

C- **Les formes de fécondation.**

Il existe quatre formes de fécondation :

- L'oogamie : c'est une forme de fécondation caractérisée par des gamètes mâles plus petits et plus mobiles et des gamètes femelles plus gros et immobiles.
- L'isogamie : les gamètes mâles et femelles sont mobiles et de même formes.
- L'anisogamie ou hétérogamie : les deux gamètes sont tous mobiles mais n'ont pas la même forme. Les gamètes mâles sont petits alors que les gamètes femelles sont gros.
- La cystogamie : il n'y a pas de gamètes différenciés mais le rôle du gamète est joué par des organismes vivants. C'est le cas de la spirogyre.

D- **Importance de la fécondation.**

La fécondation permet de rétablir le nombre de chromosomes à 2n dans les cellules œufs. Elle assure la pérennité de l'espèce. Elle permet l'apparition des individus nouveaux et uniques.

IV- Cycle de reproduction.

A- Généralités.

Le cycle de reproduction regroupe le cycle de développement et le cycle chromosomique. Le cycle de reproduction est une série de formes qui se succèdent dans la vie d'un être vivant depuis qu'il est œuf et jusqu'à ce qu'il donne lui-même un œuf.

Le cycle chromosomique est la variation du nombre de chromosomes des formes d'un être vivant au cours de son cycle de développement. Dans un cycle chromosomique, on note deux phénomènes essentiels : la méiose et la fécondation. En fonction du nombre d'organismes vivants présents dans un cycle de même que leurs garnitures chromosomiques, on distingue trois qualificatifs de cycles chromosomiques :

- Cycle diplophasique ou diplobiontique : c'est un cycle dans lequel on ne trouve qu'un ou des organismes vivants à 2n chromosomes.
- Cycle haplophasique : c'est un cycle dans lequel on ne trouve qu'un ou des organismes vivants à n chromosomes.
- Haplodiplophasique : c'est un cycle dans lequel on trouve à la fois des organismes vivants à 2n chromosomes et des organismes vivants à n chromosomes.

B- Quelques termes liés à la reproduction chez les végétaux.

Il s'agit : des gamétophytes, les gamétocystes, les sporophytes et les sporocystes.

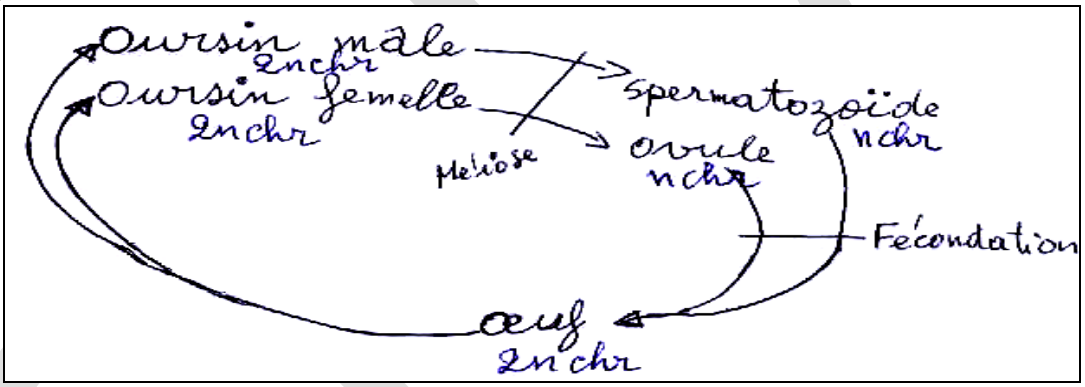
- Un gamétophyte est un organisme qui produit les gamètes mâles et femelles. Si cet organisme ne produit que des gamètes mâles il est appelé un gamétophyte mâle. S'il ne produit que des gamètes femelles, il est appelé un gamétophyte femelle.
- Un gamétocyte est organe ou une cellule qui produit les gamètes. On distingue le gamétocyte mâle et gamétocyte femelle.
- Un sporophyte est organisme qui produit les spores.
- Un sporocyste est une cellule ou un organe qui produit les spores.

NB : Les spores sont toujours à n chromosomes.

C- Quelques exemples de cycle de reproduction.

1°) Cycle de reproduction de l'oursin.

Lorsqu'ils arrivent à l'âge adulte, l'oursin mâle produit des gamètes spermatozoïdes et l'oursin femelle produit des ovules. Ces deux gamètes sont libérés dans l'eau de mer. Les spermatozoïdes nagent vers les ovules. Un spermatozoïde s'unit avec un ovule pour donner un œuf. Ce dernier évoluera par division successive pour donner un nouvel oursin.

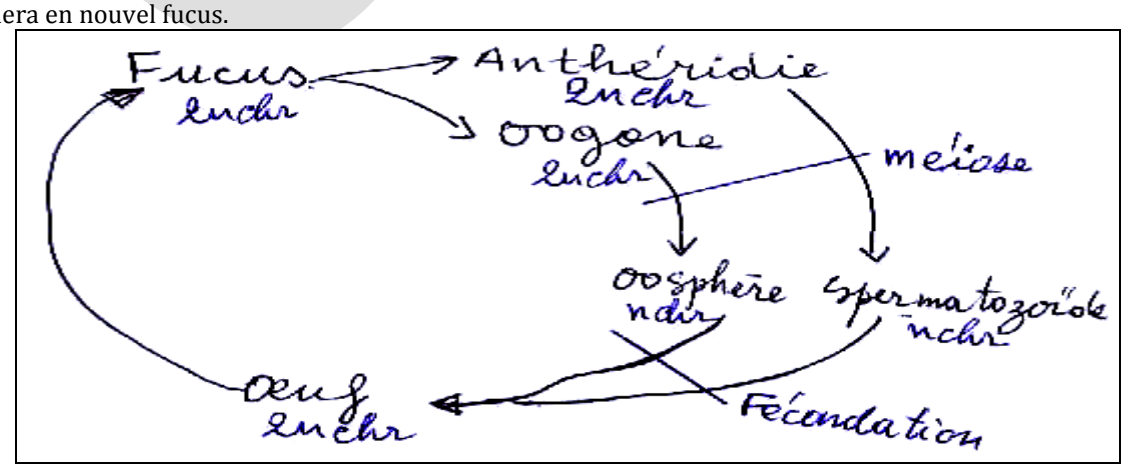


Cycle de reproduction chez l'oursin

Dans ce cycle, il n'existe qu'un seul organisme vivant à 2n chromosomes qui est l'oursin. Donc le cycle est diplophasique.

2°) Cycle de reproduction chez fucus vésiculeux.

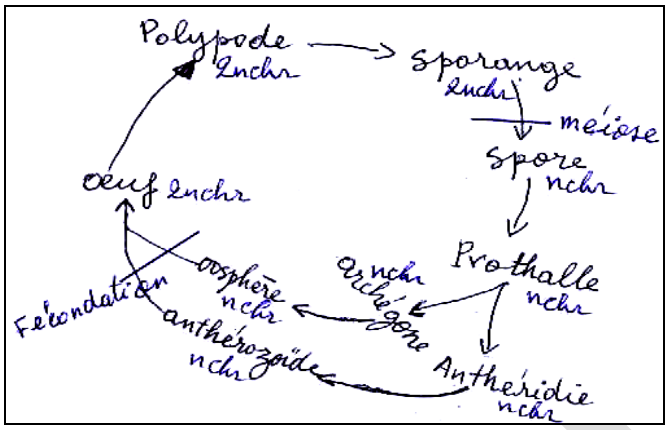
Fucus est une algue brune. A maturité, son thalle porte des renflements dont la coupe montre des cavités ou conceptacles. Ces derniers sont de deux types : les conceptacles mâles renfermant les anthéridies, et les conceptacles femelles contenant des oogones. Chaque anthéridie subit deux divisions successives pour donner des anthérozoïdes. Il en est de même pour l'oogone qui des oosphères. L'union entre un spermatozoïde et une oosphère conduit à un œuf qui évoluera en nouvel fucus.



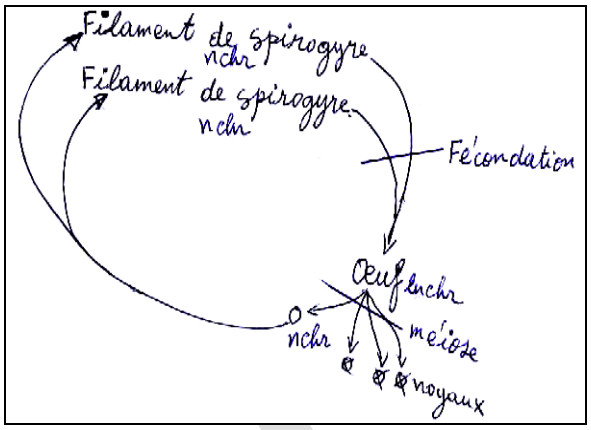
Cycle de reproduction chez fucus vésiculeux

Dans ce cycle, il n'existe qu'un seul organisme vivant à 2n chromosomes et qui est le fucus : donc le cycle est diplophasique.
Remarque : le fucus est un gamétophyte car il produit les gamètes mâle et femelle. L'anthéridie est un gamétocyste mâle. L'oogone est un gamétocyste femelle.

3°) Cycle de reproduction chez le polypode.
Sur la face inférieure des feuilles du polypode, on trouve des sporanges. Les cellules des sporanges subissent deux divisions successives pour donner des spores. Dans un milieu favorable, la spore germe et donne un prothalle qui est un autotrophe. Ce prothalle porte des anthéridies et des archégones. Les anthéridies libèrent à maturité des anthérozoïdes. Il en est de même pour l'archégone qui libère des oosphères. Un anthérozoïde s'unit à une oosphère pour donner un zygote qui évoluera en un nouvel polypode.



Cycle de reproduction chez le polypode



Cycle de reproduction chez la spirogyre

Dans ce cycle, on a deux organismes vivants : un gamétophyte (le prothalle) à n chromosomes et un sporophyte (le polypode) à 2n chromosomes : donc le cycle est haplodiplophasique.

4°) Cycle de reproduction chez la spirogyre.
Dans des conditions défavorables, deux filaments de spirogyre se rapprochent. Il s'établit alors un pont de conjugaison entre ces deux filaments. Le noyau d'une cellule d'un filament passe à travers ce pont et fusionne avec le noyau d'une cellule de l'autre filament. Il se forme alors un œuf dont le noyau subit immédiatement deux divisions successives pour donner quatre noyaux. Parmi ces quatre noyaux, trois dégénèrent. L'œuf à un noyau évoluera pour donner une autre spirogyre lorsque les conditions deviendront favorables.
Ce cycle comporte deux éléments vivants tous à n chromosomes (filaments de spirogyre) : doc le cycle est haplophasique. La particularité au niveau de ce cycle est que les organismes se comportent comme des gamètes.

REPRODUCTION CHEZ LES MAMMIFERES

Les objectifs pédagogiques

A la fin de ce cours, l'élève doit être capable de :

10- Décrire les appareils génitaux mâles et femelles.

11- Identifier et réaliser les schémas annotés des appareils génitaux mâles et femelles.

12- Réalisés les schémas légendés des coupes de testicules et d'ovaires.

13- Décrire les cycles sexuels.

14- Origine et rôle des hormones de la reproduction (GnRH, LH, FSH, œstrogène, progestérone, HCG, prolactine, ocytocine etc..)

15- Connaitre le mécanisme de la fécondation, de la gestation, de la parturition et de la lactation.

La reproduction est la fonction par laquelle les êtres vivants produisent des êtres semblables à eux. Il existe deux types de reproduction :

- la reproduction asexuée qui ne fait pas intervenir les gamètes.
- la reproduction sexuée qui fait intervenir les cellules reproductrices ou gamètes.

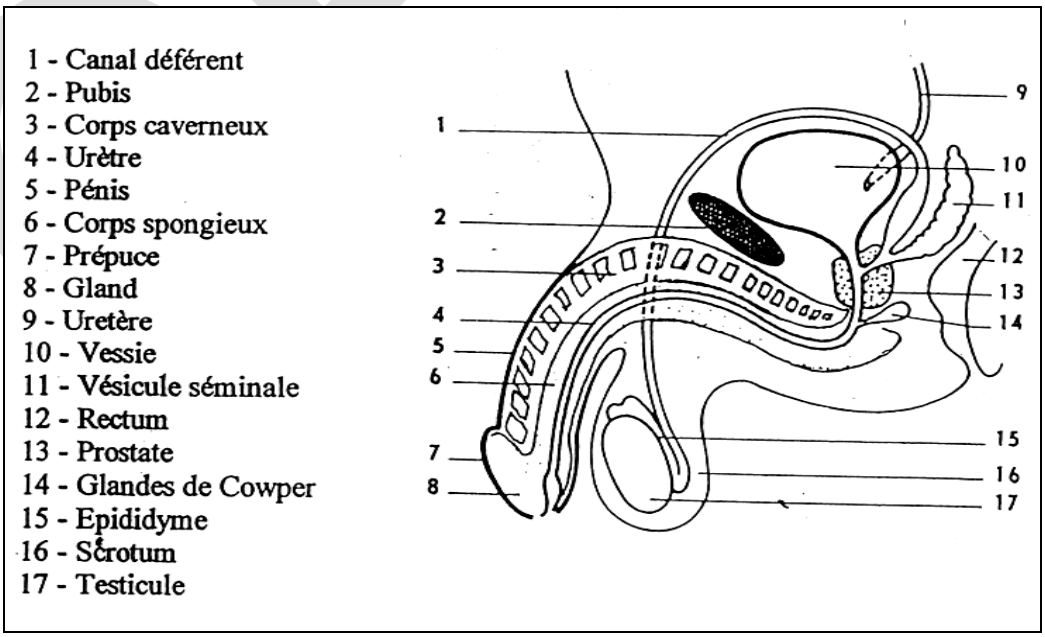
Chez les mammifères, la reproduction sexuée s'effectue grâce aux organes génitaux spécialisés dont ils disposent.

I- Les organes génitaux des mammifères.

Il existe deux types d'organes génitaux : les organes génitaux mâles et les organes génitaux femelles.

A- Les organes génitaux de l'homme.

Il est constitué de deux testicules logés dans un sac appelé scrotum ou bourse. Les testicules sont des gonades mâles. Au bord supérieur de chaque testicule, on a un long canal appelé épididyme qui est le lieu de stockage des spermatozoïdes nouvellement formés. Chaque épididyme est prolongé par un canal déférent ou spermiducte qui débouche dans l'urètre. A l'embouchure des deux carnaux déférents, on trouve des glandes annexes qui sont : les vésicules séminales, la prostate, la glande de Cowper et la glande de Tyson. Ces glandes élaborent le liquide séminal qui forme avec les spermatozoïdes le sperme. L'urètre forme avec les corps caverneux et les corps spongieux le pénis ou la verge.



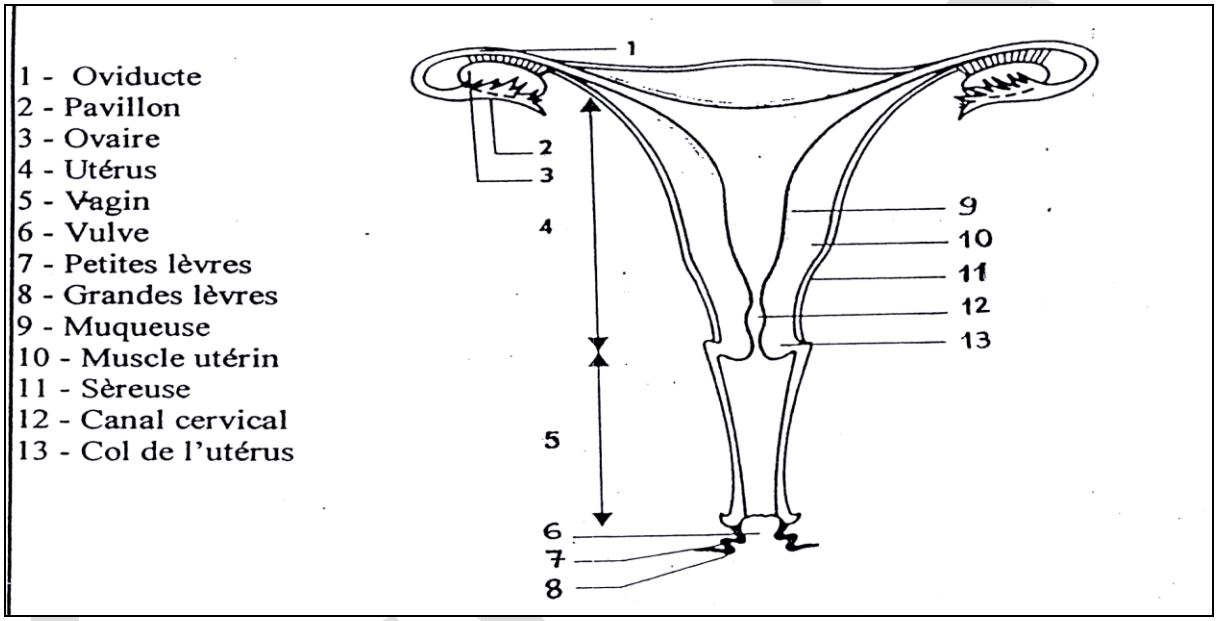
Appareil génital de l'homme

Les corps caverneux et spongieux provoquent l'érection du pénis et l'éjaculation (sortie du sperme du pénis). Le pénis se termine par un gland qui est recouvert d'une membrane appelée prépuce à la naissance.

La circoncision est une pratique qui consiste à faire l'ablation du prépuce. Le pénis est l'organe copulateur.
Remarque : Chez l'homme, l'appareil génital et presque confondu avec l'appareil urinaire, d'où son nom appareil uro-génital.

B- L'appareil génital de la femme.

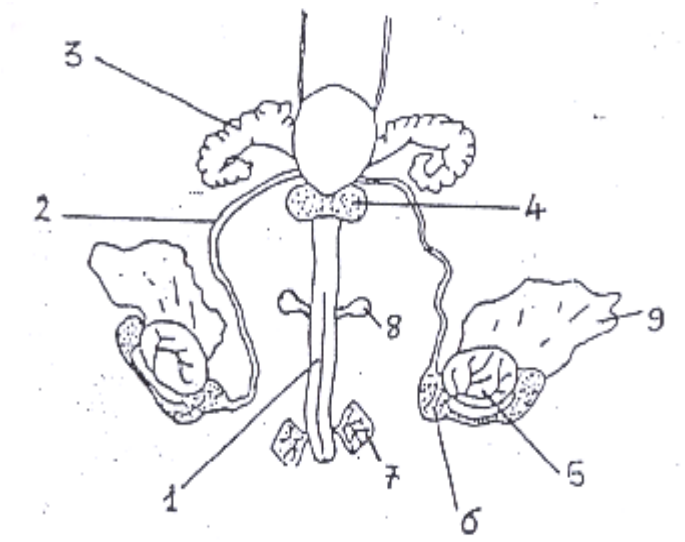
Il comprend deux ovaires qui sont les gonades femelles. Au voisinage de chaque ovaire, on a un pavillon à bord dentelé. Ce pavillon est relié à un conduit appelé oviducte. Pavillon et oviducte constituent la trompe de Fallope. Le pavillon sert à recueillir le gamète femelle pondu par l'ovaire. Les deux oviductes débouchent dans l'utérus unique chez la femme (deux chez la souris femelle). L'utérus de forme triangulaire, débouche par sa partie inférieure appelée col de l'utérus dans le vagin. Le vagin est l'organe copulateur et il est tapissé par une couche d'épithélium. Cette dernière contient des glandes de Bartholin dont les sécrétions favorisent la pénétration. La partie externe de l'organe génital de la femme est la vulve. Cette dernière est formée de petites lèvres, de grandes lèvres et du clitoris. Chez la jeune fille, l'entrée du vagin est partiellement fermée par une membrane souple appelée hymen qui se déchire lors des premiers rapports sexuels, des toilettes intimes ou des activités sportives intenses.
L'excision est une pratique qui consiste à faire l'ablation du clitoris.
L'infibulation est une pratique qui consiste à coudre les petites lèvres.



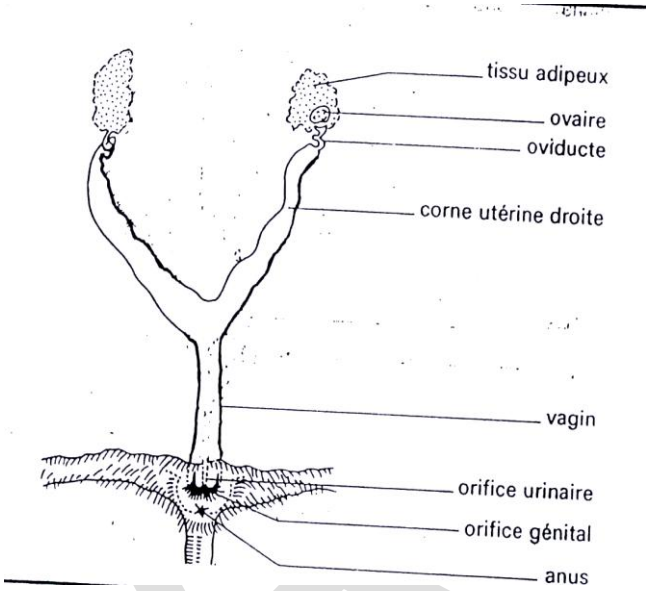
Appareil génital de la femme (vue de face)

Parties des appareils génitaux	Homme	Femme
Gonades	Testicules	Ovaires
Voies génitales	Epididyme	Oviducte ou trompe
	Canal déférent	Utérus
	Urètre	
Glandes annexes	Vésicules séminales	Glandes de Bartholin
	Prostate	
	Glandes de Cowper	
Organes copulateurs	Pénis ou verge	vagin

<u>Comparaison entre l'appareil génital de l'homme et celui de la femme</u>.



Appareil génital d'une souris mâle: 1: pénis 2:canal déférent ou spermiducte 3: vésicule séminale 4: prostate 5: testicule 6: épididyme 7: glande de tyson 8: glande de cowper 9: tissu adipeux



Appareil génital de la souris femelle.

II- Les gonades.

Ce sont les organes reproducteurs. Ils sont de deux types : les gonades mâles ou testicules et les gonades femelles ou ovaires.

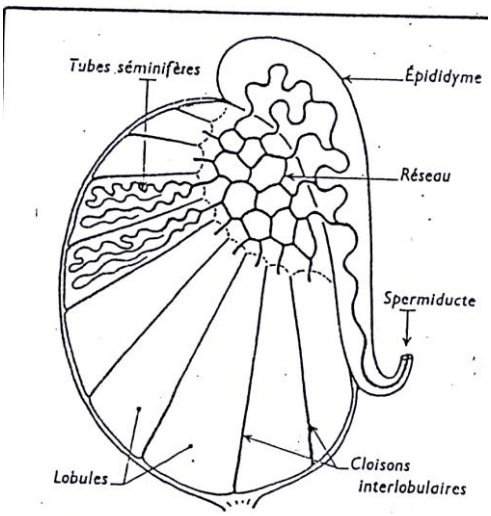
A- Les testicules.

1°) Structure des testicules.

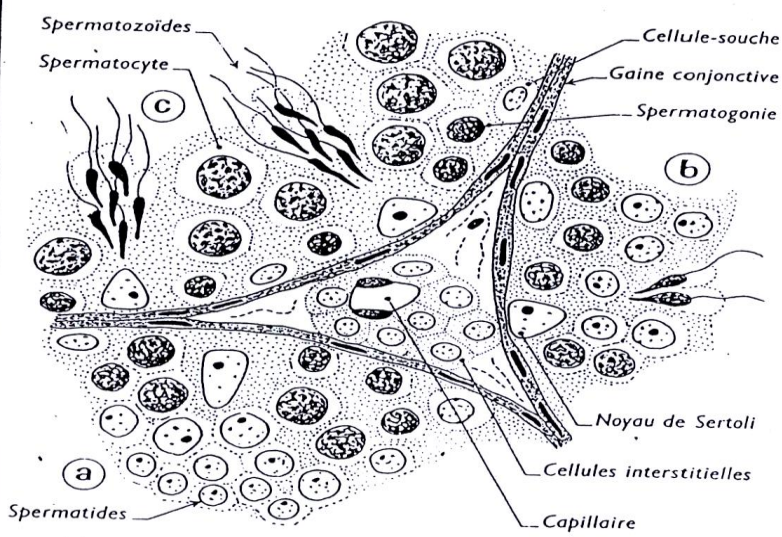
Les testicules sont des glandes ovoïdes logées dans le scrotum. Une coupe longitudinale d'un testicule montre au faible grossissement des lobules dans lesquels on a des tubes séminifères. Chaque tube séminifère est entouré d'une gaine conjonctive. A l'extérieur des tubes séminifères, les gaines conjonctives délimitent une zone souvent triangulaire qui referme : des vaisseaux sanguins et surtout des cellules interstitielles ou cellules de Leydig.

Au fort grossissement, un tube séminifère contient plusieurs cellules réparties de façon concentrique et constituent la lignée germinale ou séminale. Partant de la gaine conjonctive vers la lumière du tube on distingue :

- De petites cellules situées près de la gaine : ce sont des gonocytes. Entre ces gonocytes, on a des cellules allongées à noyaux volumineux qui sont des cellules de sertoli. Les cellules de sertoli coordonnent la spermatogenèse, fournissent des nutriments et des hormones aux cellules germinales, favorisent la libération des spermatozoïdes dans la lumière du tube.
- Des cellules à noyaux volumineux : ce sont des spermatogonies.
- Des cellules plus grosses que les gonies et ayant des noyaux volumineux : ce sont des spermatocytes I.
- De grosses cellules à noyaux volumineux : ce sont les spermatocytes II.
- De petites cellules à cytoplasme réduit et situées près de la lumière du tube : ce sont des spermatides.
- Des cellules allongées, flagellée et situées dans la lumière du tube : ce sont les spermatozoïdes.



Coupe schématique de testicule d'un mammifère



Coupe partielle des tubes séminifères

2°) Fonctions des testicules.

Les spermatozoïdes ont les fonctions suivantes :

- Production des spermatozoïdes par les tubes séminifères.
- Production d'hormones sexuelles mâles appelées androgènes dont la plus connu est la testostérone.

3°) Expériences d'ablation, de greffe des testicules.

L'ablation de testicules ou castration avant la puberté conduit à un individu neutre (individu ayant un organe génital rudimentaire) et à une absence des caractères sexuels secondaires.

La castration après la puberté une régression des caractères sexuels secondaires et des organes génitaux mais la libido persiste, on assiste aussi à une tendance à l'adiposité.

La greffe des testicules à un animal castré entraine la correction des troubles liés à la castration.

4°) Conditions de fonctionnement des testicules.

La spermatogenèse est sensible à l'augmentation de la température. Chez l'homme, la spermatogenèse est continue à partir de la puberté et se poursuit le reste de la vie. La durée de la spermatogenèse est de 74 $\pm$ jours chez l'homme. Les spermatozoïdes produits sont stockés dans l'épididyme et sont émis lors d'une excitation. Cette excitation provoque la contraction de l'épididyme qui chasse les spermatozoïdes dans l'urètre où ils se mélangent aux sécrétions des glandes annexes pour donner le sperme. La sortie du sperme du pénis s'appelle une éjaculation.

5°) Le sperme.

Le sperme est un liquide produit par les glandes reproductrices mâles et qui contiennent les spermatozoïdes.

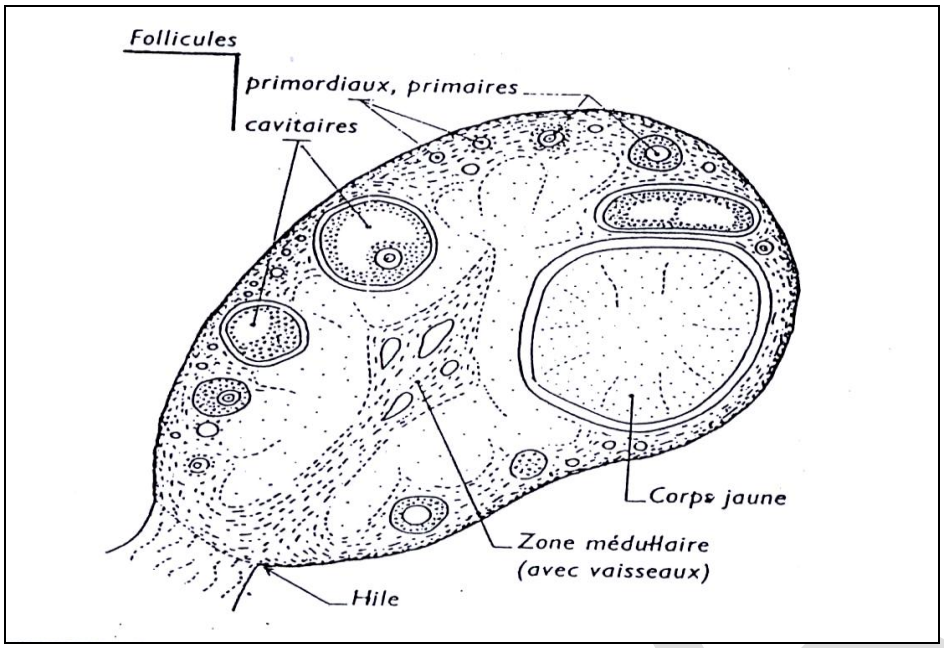
Le sperme est composé de spermatozoïdes (1/10) et du liquide séminal. Le liquide séminal est constitué d'eau, du fructose, de l'acide ascorbique, du citrate et des enzymes. Le volume d'un éjaculat est de 3 à 4 ml et sa concentration normale est de 30 à 100millions de spermatozoïdes par ml.

B- Les ovaires.

1°) Structure des ovaires.

Une coupe faite dans l'ovaire montre deux zones :

- Une zone médullaire constituée de tissus conjonctifs et de vaisseaux sanguins.
- Une zone corticale constituée de cellules de tailles variables qui sont des follicules en différents stades d'évolution.



Coupe d'ovaire de lapine.

2°) L'ovogenèse et la folliculogenèse.

L'ovogenèse est la formation des gamètes femelles.

La folliculogenèse est l'évolution des follicules jusqu'à obtention des follicules mûres.

Chez la femme, l'ovogenèse et la folliculogenèse se déroulent en même temps.

a- Avant la puberté.

L'ovogenèse débute dès la vie embryonnaire par la phase de multiplication pendant laquelle ils se forment plusieurs millions ovogonies. Avant la naissance, certaines ovogonies dégénèrent et on parle d'atrésie. Les ovogonies entrent en phase d'accroissement en augmentant leurs tailles pour devenir les ovocytes I. Les ovocytes I débutent la phase de maturation par la division réductionnelle mais ils restent bloqués à la prophase I jusqu'à la puberté.

b- Après la puberté.

Dès la puberté, les follicules qui renferment les ovocytes I continuent leur croissance au hasard.

Les étapes de la folliculogenèse.

L'évolution des follicules se déroule en cinq étapes : les follicules primordiaux, primaires, secondaires, tertiaires et les follicules mures ou follicules de De Graff.

- Les follicules primordiaux : ils sont formés d'ovocyte I entourés de quelques couches de cellules folliculaires.
- Les follicules primaires : ils sont constitués d'ovocyte I entourés d'une ou de deux couches de cellules folliculaires.
- Les follicules secondaires : les cellules folliculaires forment une couche pleine appelée la granulosa qui est entourée de deux membranes : la thèque interne et la thèque externe. La thèque externe joue un rôle protecteur alors que la thèque interne joue un rôle glandulaire. La granulosa est délimitée vers l'ovocyte par une membrane de Slavjanski. Entre cette membrane et celle de l'ovocyte, on a une zone pellucide. Les follicules secondaires sont encore appelés des follicules pleins.
- Follicule tertiaire ou follicule cavitaire : c'est un follicule dont la granulosa se creuse d'une cavité appelée cavité folliculaire ou antrum. Cette cavité est remplie de liquide folliculaire. Entre l'antrum et la zone pellucide, les cellules folliculaires se spécialisent pour former autour de l'ovocyte une couronne appelée corona radiata.
- Follicule mur ou follicule de De Graff : c'est un follicule dont l'antrum est très développée et qui entoure presque totalement l'ovocyte. L'ovocyte est rattaché à la granulosa par une couche de cellules appelées cumulus oophorus.

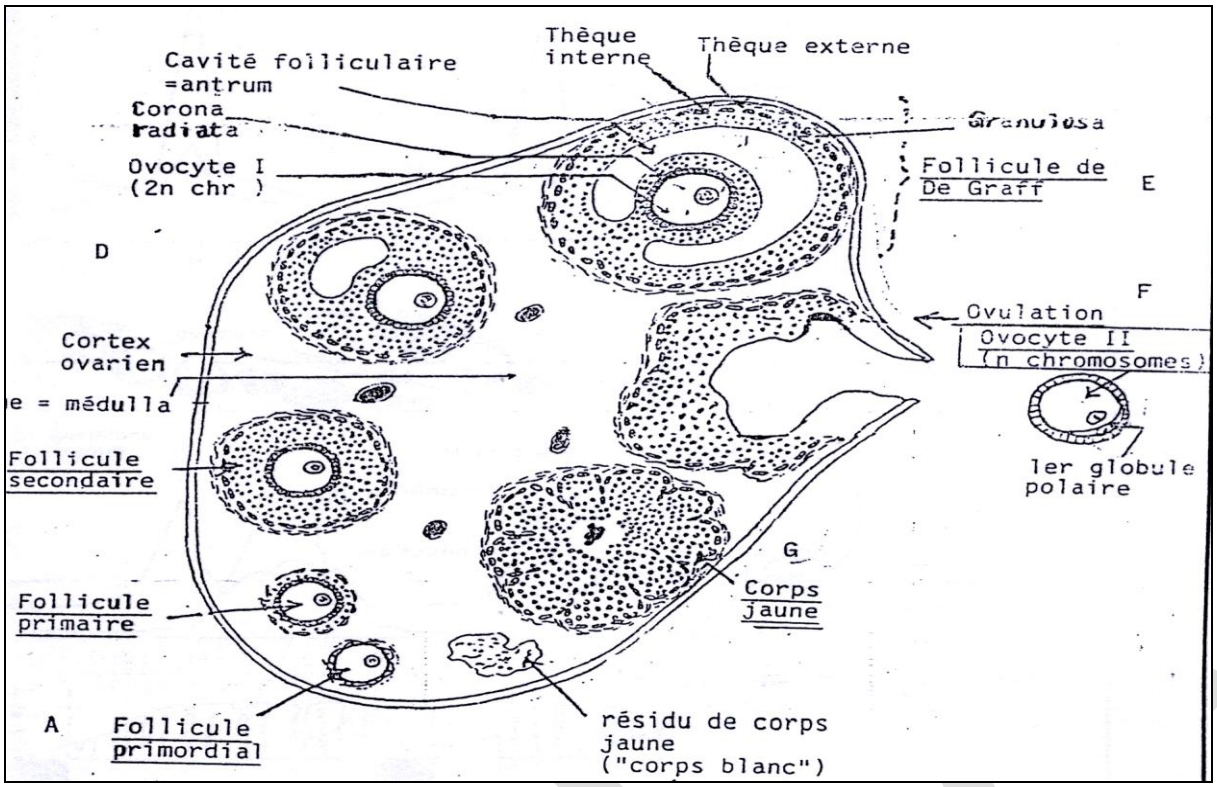
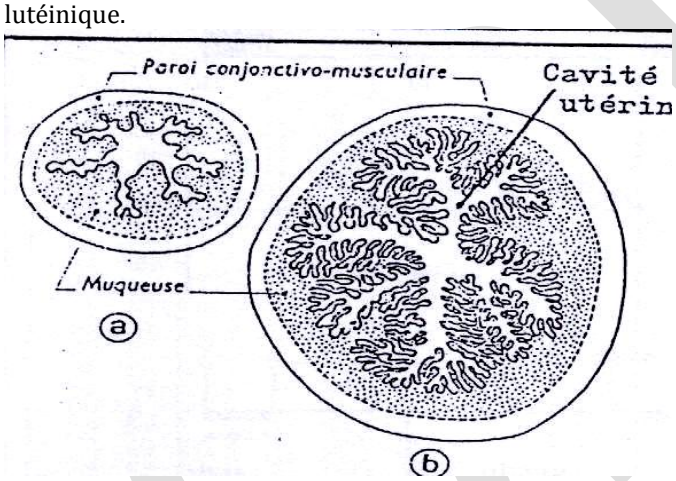
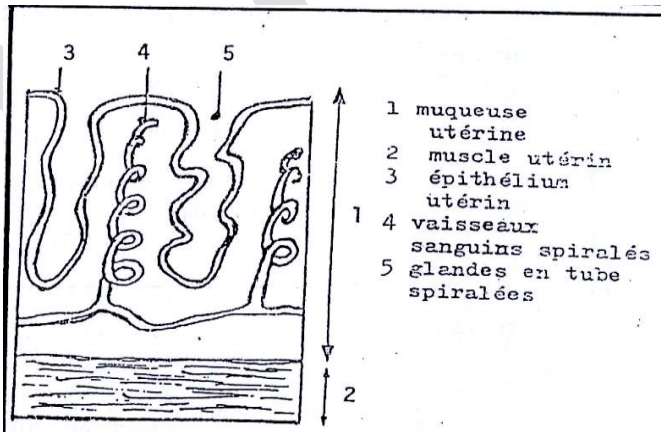


Schéma des différents stades évolutifs du follicule ovarien. A; B ; C ; D ; E : phase folliculaire, F : ovulation, G : phase lutéinique.



Coupe schématique de l'utérus d'une lapine: a: pendant la phase folliculaire b: pendant la phase lutéinique.



Endomètre à la phase lutéinique.

3°) Fonctions de l'ovaire.

L'ovaire a deux fonctions :

- La production des gamètes femelles lors de l'ovogenèse et de la folliculogenèse.
- La production des hormones femelles qui sont : les œstrogènes et la progestérone.

II- Les cycles sexuels des mammifères.

Un cycle sexuel est l'ensemble des modifications qui affectent les organes sexuels et le comportement des mammifères. Il existe quatre cycles sexuels : le cycle ovarien, le cycle utérin, le cycle vaginal et le cycle thermique.

A- Le cycle ovarien.

C'est l'ensemble des modifications périodiques qui affectent les ovaires. Il est encore appelé cycle menstruel chez la femme et cycle œstral chez les autres mammifères. Le cycle ovarien comporte deux phases séparées par une ovulation : une phase pré ovulatoire et une phase post ovulatoire.

1°) La phase pré ovulatoire.

Elle encore appelée phase folliculaire. Elle est caractérisée par le développement des follicules jusqu'à obtention d'un follicule mur. A cette phase, on note aussi la synthèse des œstrogènes par les cellules folliculaires.

2°) L'ovulation.

L'ovulation est l'expulsion d'un gamète femelle par un follicule mur. Elle est due à une rupture du follicule mur. Le gamète femelle libéré est recueilli par le pavillon. L'ovulation est un phénomène spontané chez la femme mais elle est provoquée c'est-à-dire est déclenchée par l'accouplement chez d'autres mammifères comme la lapine. L'ovulation est indiquée par un taux élevé d'une hormone hypophysaire appelée LH dans le sang. Chez la femme, le gamète femelle est un ovocyte II.

3°) Phase post ovulatoire.

Elle est encore appelée phase lutéinique. Elle est caractérisée par une transformation du reste du follicule rompu en corps jaune. Ce dernier produit les œstrogènes de la phase post ovulatoire et la progestérone.

4°) Devenir du follicule mur, du gamète femelle et du corps jaune.

Le follicule mur rompu se transforme en corps jaune.

Le gamète femelle a deux destinées :

- Il dégénère s'il n'est pas fécondé.
- Il devient un œuf s'il est fécondé.

Le corps jaune a aussi deux destinés :

- Il devient un corps blanc ou un corps jaune progestatif s'il le gamète femelle n'est pas fécondé.
- Il devient un corps jaune gravidique si le gamète femelle est fécondé.

B- Le cycle utérin.

C'est l'ensemble des modifications qui affectent l'utérus au cours d'un cycle ovarien.

Pendant la phase pré ovulatoire, on note une prolifération de l'endomètre caractérisée par un épaississement de la paroi de la muqueuse utérine sous l'effet des œstrogènes.

Pendant la phase post ovulatoire la muqueuse utérine continue à proliférer et prend un aspect de dentelle. Cette dentelle utérine renferme des glandes sécrétoires du mucus ou liquide endométrial. La dentelle utérine permet l'implantation de l'œuf en cas de fécondation. En absence de la fécondation on assiste à une destruction de la dentelle utérine, ce qui se traduit par un écoulement de sang mélangé à des tissus endométrial détruits ainsi que l'ovocyte dégénéré hors du vagin appelé la menstruation ou règle. La menstruation est déclenchée par les contractions de l'utérus. Les menstruations durent environ 3 à 5 jours. Et elles cessent lorsque l'endomètre se recouvre d'une nouvelle couche d'épithélium.

Remarques : Par définition, un cycle ovarien commence par le début des menstruations et se termine à la veille des menstruations suivantes. La phase post ovulatoire est rigoureusement constante chez toutes les femmes et est égale à 14 jours, alors que la phase pré ovulatoire varie selon les femmes et définit donc la durée du cycle chez chaque femme.

C- Cycle vaginal.

C'est l'ensemble des modifications qui affectent la muqueuse vaginale au cours d'un cycle ovarien.

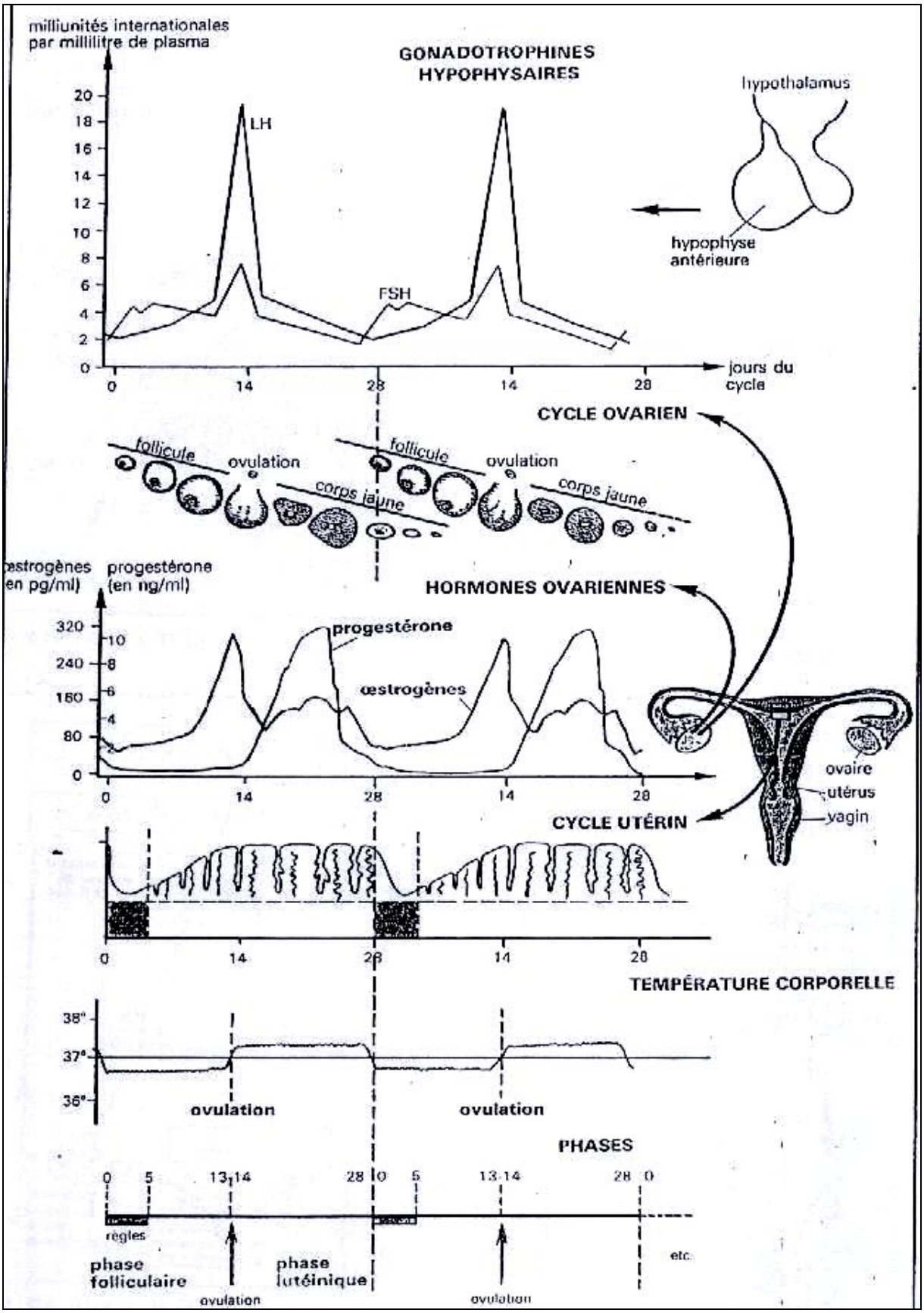
Le cycle vaginal se manifeste pendant la phase pré ovulatoire par un épaississement de l'épithélium vaginal et apparition des cellules kératinisées qui élaborent la kératine. Pendant la phase post ovulatoire, on note la sécrétion d'un mucus et un envahissement du vagin par les leucocytes.

Le cycle vaginal est discret chez la femme mais il est remarquable chez certains mammifères comme la rate.

D- Le cycle thermique.

C'est la variation de la température corporelle au cours d'un cycle ovarien.

La température est relativement basse avant l'ovulation (inférieure à 37°C) mais elle s'élève brusquement de quelques dizaines de degrés pendant l'ovulation et après l'ovulation.



Cycles sexuels chez la femme.

III- Les hormones sexuelles.

Les hormones sexuelles sont des substances élaborées par des organes et déversées dans le sang pour agir sur des organes cibles. Les hormones sexuelles sont des substances élaborées par les organes sexuelles et déversées dans le sang pour agir sur les organes cibles.

Les hormones sexuelles sont de deux types : les hormones sexuelles mâles et femelles.

A- Les hormones sexuelles mâles.

Ce sont les hormones produites par les organes sexuelles mâles, c'est-à-dire les testicules. Les hormones mâles sont désignées sous le nom d'androgènes dont la plus importante est la testostérone. Lees hormones sexuelles mâles sont produites par les cellules interstitielles ou cellules de Leydig.

1. Rôles de la testostérone.

La testostérone stimule la spermatogenèse en agissant sur les cellules de la lignée spermatogénétique.

Elle assure la croissance et le développement des voies génitales et des glandes annexes. Elle est responsable de l'apparition et de l'entretien des caractères sexuels secondaires comme : la voix grave, la poussée des poils au pubis et aux aisselles, la production du sperme etc.

2. Expériences d'ablation et de greffe de testicules.

- L'ablation des testicules ou la castration avant la puberté conduit à un individu neutre est à une absence de caractères sexuels secondaires.
- La castration après la puberté entraine la régression des organes génitaux, l'adiposité (dépôt de graisse sous la peau) mais la libido persiste.
- La greffe de testicules sur un animal castré provoque une réapparition des caractères sexuels secondaires.

B- Les hormones sexuelles femelles.

Ce sont les hormones produites par les organes femelles qui sont les ovaires. Les hormones sexuelles femelles sont de deux types : les œstrogènes et la progestérone.

1°) Les œstrogènes.

Elles sont produites par les cellules folliculaires pendant la phase pré ovulatoire et par le corps jaune pendant la phase post ovulatoire. Elles sont de trois types : l'œstradiol ou la folliculine, l'ostiole et l'œstrone. Elles sont dosées dans l'urine sous forme de phénolstéroïdes.

Fonctions des ostéogènes.

- Elles assurent le maintient des voies génitales fonctionnelles.
- Elles sont responsables de l'apparition des caractères sexuels secondaires tels que : la croissance des seins, chevelures abondantes, la voix fine, le dépôt de graisse au niveau du mont de Venus.
- Un taux élevé d'œstrogène pendant la phase préovulatoire déclenche la production de LH par l'hypophyse antérieure.
- Elle stimule l'utérus pour l'épaississement de la muqueuse utérine et la sécrétion de la glaire cervicale.

2°) La progestérone.

Elle est élaborée par les cellules du cops jaune pendant la phase post ovulatoire. Elle peut être dosée dans les urines sous forme de prégnandiol.

Fonctions de la progestérone.

- Elle assure l'hypertrophie de la muqueuse utérine pour la gestation.
- Elle provoque le développement des glandes mammaires pour la lactation.
- Un taux élevé de progestérone empêche la production des hormones hypophysaires (LH et FSH).

3°) Evolution du taux des hormones sexuelles femelles au cours d'un cycle menstruel.

Lorsqu'on dose les taux d'œstrogène et de progestérone chez une femme au cours d'un cycle menstruel on obtient des valeurs qui permettent de tracer des courbes d'évolution du taux de ces deux hormones.

a- Courbe d'œstrogènes.

La courbe d'œstrogène présente deux pics : un premier pic pendant la phase préovulatoire (310 Pg/ml) et un deuxième pic situé au milieu de la phase post ovulatoire (160 Pg/ml).

L'œstrogène de la phase préovulatoire est élaboré par les cellules folliculaires. L'œstrogène de la phase post ovulatoire est élaboré par les cellules du corps jaune (cellules lutéiniques).

b- Courbe de progestérone.

Pendant la phase préovulatoire, le taux de progestérone est faible. La courbe de progestérone montre un seul pic au milieu de la phase post ovulatoire (11 Pg/ml).

La progestérone est élaborée par les cellules du corps jaune.

Vers la fin du cycle menstruel, les taux d'œstrogène et de progestérone chutent et reviennent à la valeur du début du cycle menstruel. La chute de ces deux taux d'hormones est due à la régression du corps jaune par absence de fécondation de l'ovocyte pondu.

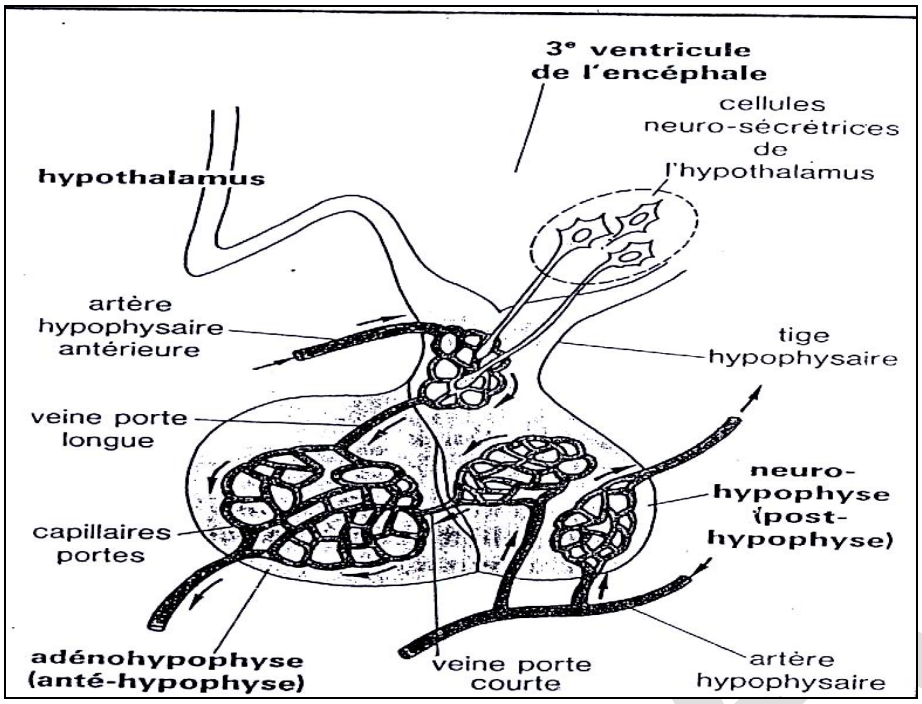
IV- Les hormones hypothalamo - hypophysaires.

Les hormones produites par le complexe hypothalamo – hypophysaire, sont appelées des gonadostimulines ou des gonadotrophines car elles agissent sur les gonades.

L'hypophyse est une glande située à la base du crane et comporte deux parties fonctionnelles :

- L'antéhypophyse ou hypophyse antérieure ou l'adénohypophyse,
- La posthypophyse ou hypophyse postérieure ou la neurohypophyse.

L'hypothalamus est une glande reliée à l'hypophyse par la tige hypophysaire ou tige pituitaire.



Complexe hypothalamo-hypophysaire.

A- Les hormones hypophysaires et leur rôle.

Les hormones hypophysaires qui interviennent dans la reproduction sont produites par l'antéhypophyse et sont au nombre de trois :

- La FSH : c'est la folliculostimuline ou follicule stimulating hormone.
- LH : c'est l'hormone lutéinisante ou lutéinising hormone.
- LTH : c'est la prolactine ou lutéotrophic hormone.

1°) Rôle de la FSH.

a- Chez les mâles.

La FSH active la spermatogenèse en stimulant les cellules de la lignée germinale. Elle intervient également dans le développement des testicules.

b- Chez la femelle.

Elle stimule la croissance et la maturation des follicules. Elle stimule la production d'œstrogène par les cellules folliculaires.

2°) Rôle de la LH.

a- Chez le mâle.

Elle stimule les cellules de Lédig pour la production de la testostérone.

b- Chez la femelle.

Elle déclenche l'ovulation. Elle transforme le follicule mur rompu en corps jaune et stimule ce dernier pour la production d'œstrogène et de progestérone.

3°) Rôle de la prolactine (LTH).

Elle stimule la production du lait chez la femme.

B- Les hormones hypothalamiques.

L'hypothalamus élabore une hormone appelée la GnRH ou Gonadotrophine Realeasing hormone. La GnRH stimule l'adénohypophyse pour la production des hormones antéhypophysaires.

V- Régulation de la sécrétion hormonale.

A- Régulation de la sécrétion des hormones sexuelles femelles.

1°) Influence des hormones hypothalamo-hypophysaires sur les hormones ovariennes.

La production des hormones ovariennes est sous le contrôle des hormones antéhypophysaires.

- L'ablation de l'hypophyse chez une femelle de mammifère entraine l'arrêt du cycle ovarien et l'atrophie des ovaires. L'hypophyse contrôle le fonctionnement des ovaires.
- L'injection des extraits hypophysaires à un mammifère hpophysectomisé entraine la correction des troubles liés à l'hypophysectomie. Les expériences de greffes de tissus hypophaires ou de parabiose donnent les mêmes résultats que ceux d'injection d'extraits hypophysaires. L'hypophyse agit sur les ovaires par voie hormonale. En effet l'hypophyse produit les hormones LH et FSH qui agissent sur les ovaires.
- L'ablation de l'hypothalamus entraine chez une femelle d'un mammifère l'atrophie des ovaires et de l'hypophyse. L'hypothalamus agit sur l'hypophyse par la production de la GnRH.

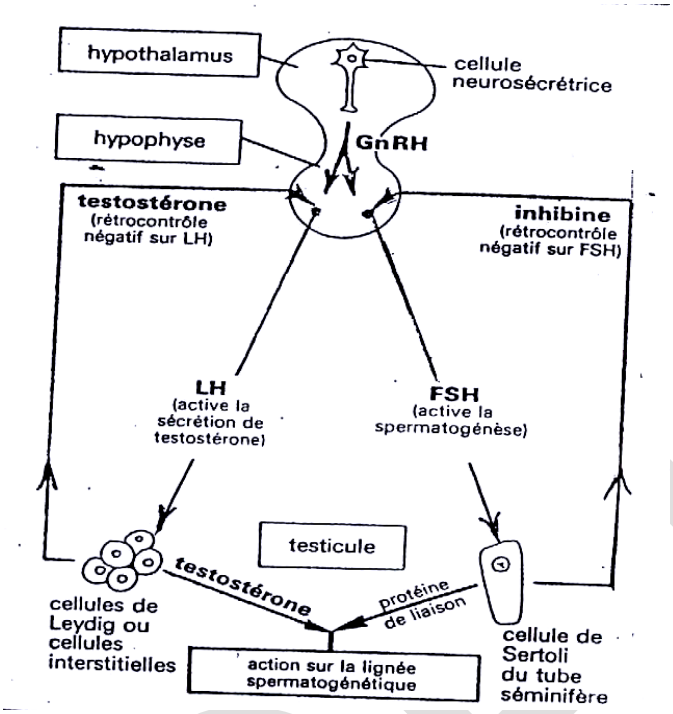
2°) Influence des hormones ovariennes sur le complexe hypothalamo-hypophysaire.

- Un faible taux d'œstrogène dans le sang provoque chez une femelle d'un mammifère une augmentation de production de LH et une diminution de la production de FSH. Un faible taux d'œstrogène exerce un rétrocontrôle ou feed back positif sur la production de LH et un rétrocontrôle négatif sur la production de FSH.
- Un taux élevé d'œstrogène dans le sang entraine une baisse des taux de LH et de FSH. Un taux élevé d'œstrogène entraine un rétrocontrôle négatif sur la production de FSH et de LH.

NB : Les hormones ovariennes n'agissent pas directement sur l'hypophyse antérieure mais sur l'hypothalamus qui ne produit plus la GnRH en cas de rétrocontrôle négatif ou qui produit la GnRH en cas de rétrocontrôle positif.

B- Régulation de la sécrétion des hormones sexuelles mâles.

La production de la testostérone par les cellules de Leydig est sous l'influence des hormones du complexe hypothalamo-hypophysaires. De même, le taux de testostérone dans le sang entraine un rétrocontrôle positif ou négatif sur la production des hormones hypothalamo-hypophysaires.



Régulation de la sécrétion des hormones testiculaires.

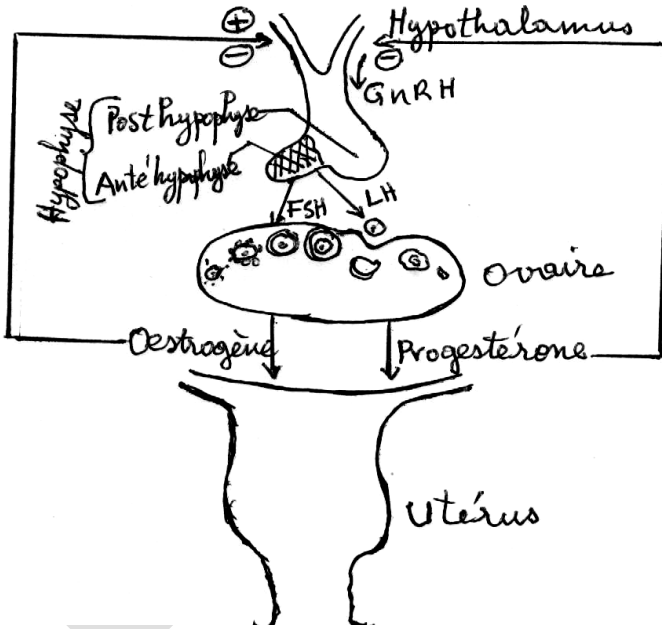


Schéma fonctionnel montrant les relations entre l'hypothalamus, l'hypophyse, les ovaires et l'utérus.

VI- Compléments sur la reproduction.

A reproduction chez les mammifères s'étant sur une période allant de la fécondation à la lactation. Elle regroupe donc : la fécondation, la gestation, l'accouchement et la lactation.

A- La fécondation.

La fécondation est l'union entre un gamète mâle et un gamète femelle pour donner un œuf ou un zygote.

Il existe deux types de fécondation chez les mammifères :

- La fécondation naturelle ou fécondation « in vivo. »

Elle se déroule dans l'organe génital femelle particulièrement dans les trompes de Fallope chez les mammifères. Au cours de cette fécondation, les spermatozoïdes déposés dans le vagin de la femelle migrent vers les trompes. Ces spermatozoïdes acquièrent leur pouvoir fécondant ou la capacitation lors de leur migration. Arrivés au contact de l'ovocyte, un seul spermatozoïde pénètre dans l'ovocyte par l'intermédiaire du cône d'attraction.

- La fécondation artificielle ou fécondation « in vitro. »

Elle a lieu en dehors des voies génitales femelles c'est-à-dire dans des conditions expérimentales.

NB : Après la fécondation artificielle, l'œuf obtenu est implanté dans l'utérus femelle pour la gestation.

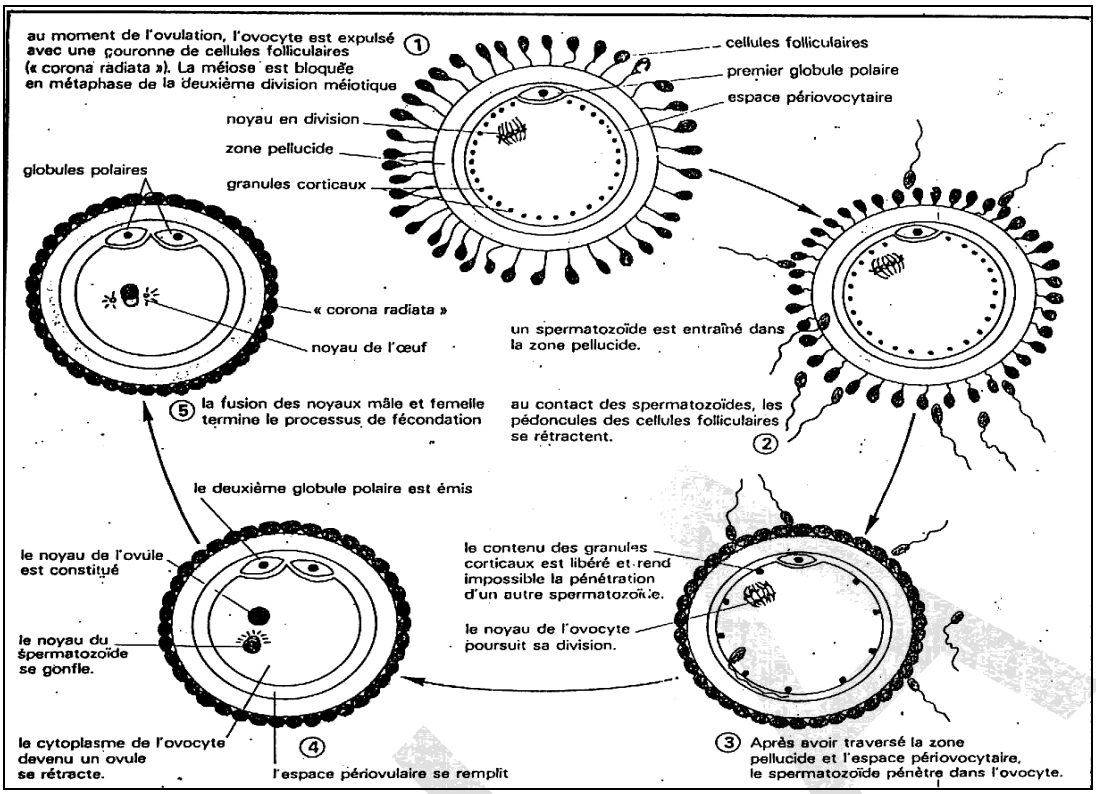


Schéma montrant les étapes de la fécondation chez un mammifère.

B- La gestation ou la grossesse.

La gestation est le développement du l'œuf jusqu'à la veille de l'accouchement. Chez la femme sa durée est de 270 jours soit 9 mois environ.

La gestation se déroule en trois étapes : la segmentation de l'œuf, l'implantation de l'œuf et le développement de l'embryon et de fœtus.

1°) La segmentation de l'œuf.

La segmentation est le processus de division de l'œuf.

Quelques heures après la fécondation, l'œuf subit une première division de mitose donnant ainsi deux cellules filles accolées appelées des blastomères. La division se poursuit et on obtient au 4ème jour des cellules formant une sphère pleine appelée la morula. Au 6è jour, la morula se creuse d'une cavité et prend le nom de blastocyste libre. Le blastocyste produit une hormone appelée HCG (Human Gonado-trophine Chorionique) qui maintient le corps jaune en vie et permet le dépistage précoce des grossesses chez la femme. Certaines cellules du blastocyste regroupées au centre forment le bouton embryonnaire. Les autres cellules de la périphérie forment une couche appelée trophoblaste dont une partie impliquée dans la nidation donne le placenta et l'autre partie devint le chorion.

2°) L'implantation du blastocyste.

La nidation s'effectue grâce à la fusion entre les cellules trophoblastiques et les cellules de la muqueuse utérine. Elle a lieu au 7è jour à compter de la fécondation. A la fin de la nidation, le blastocyste devient un embryon.

3°) Le développement de l'embryon et du fœtus.

Il se forme dans l'embryon un groupe de cellules appelées des feuillets. Au stade de trois feuillets, l'embryon prend le nom de la gastrula. Chaque feuillet se différencie plus tard pour donner un groupe d'organes. Pendant la quatrième, il apparait des membres et des ébauches de nombreux organes. A la fin du troisième mois, tous les organes sont mis en place et la gastrula devient un fœtus. Au 7è mois, le fœtus devient viable.

4°) Les annexes embryonnaires.

Au cours de l'évolution de l'embryon, il se forme des annexes embryonnaires qui sont : le chorion, le placenta, l'amnios et le cordon ombilical.

a- Le placenta.

C'est une masse charnue qui enveloppe le fœtus. Il provient des cellules trophoblastiques.

Le placenta joue plusieurs rôles :

- Il assure les échanges entre le fœtus et le sang maternel. En effet, Il sert de filtre sélectif laissant passer des nutriments et des anticorps vers le fœtus et empêchant les déchets de la mère et ses microbes des substances toxiques etc. Il constitue le lieu d'élimination des déchets métabolique du fœtus.
- Il produit des hormones telles que :

* La HCG (Human Gonado-trophine Chorionique) qui permet le maintien du corps entraînant l'empêchement des menstruations.
* HLP (Hormone Placentaire Lactogène) qui permet la maturation des glandes mammaires.

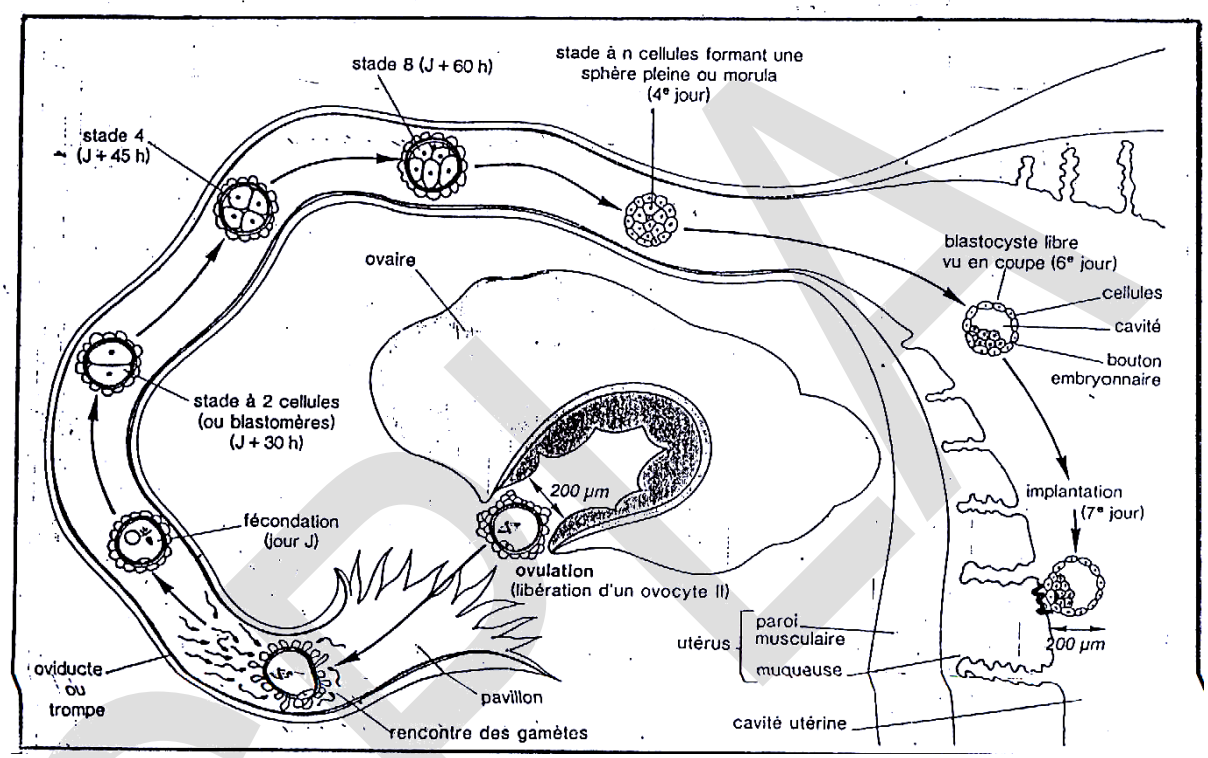
* L'œstrogène et la progestérone qui entraînent le blocage des cycles sexuels et la diminution des contractions de l'utérus.
* GH ou Hormone de croissance qui assure la nutrition et la protection du fœtus.

b- Le chorion et l'amnios.

Le chorion est la membrane externe dans laquelle se développent l'embryon et le fœtus. Il protège l'embryon et le fœtus pendant toute la grossesse et produit le liquide amniotique. Il provient des cellules trophoblastiques.
L'amnios est une mince membrane tapissant le chorion. Il provient du développement du bouton embryonnaire. Il assure aussi la production du liquide amniotique.
Le liquide amniotique protège l'embryon et le fœtus contre les chocs durant la grossesse. Il est aussi un lieu d'échanges. Il lubrifie le canal cervical, ce qui facilite le passage de la tête du fœtus.

c- Le cordon ombilical.

Il relie le fœtus au placenta.

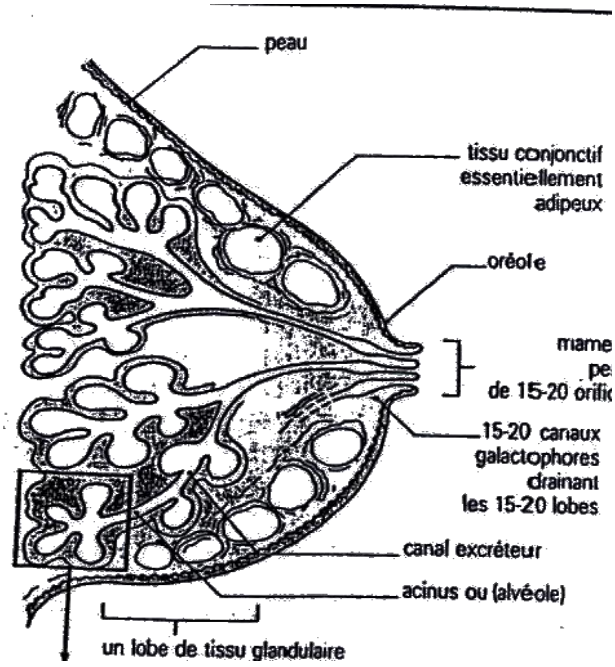


Représentation schématique de l'ovulation à l'implantation.

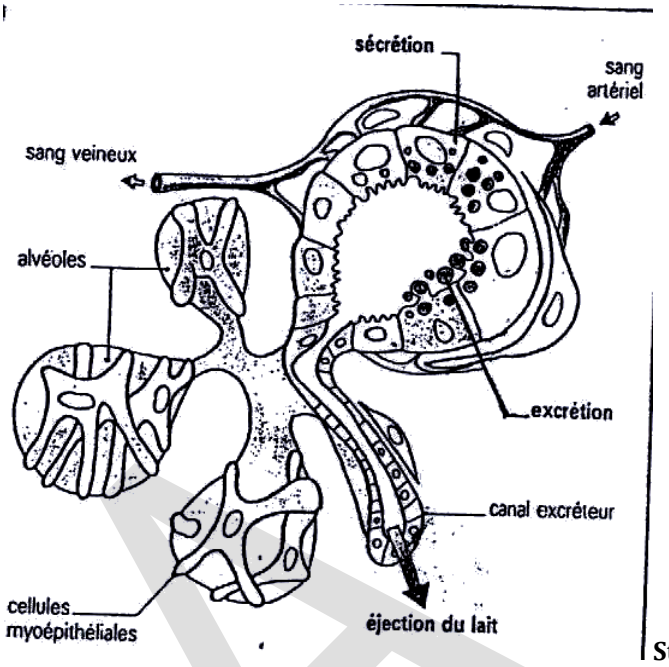
C- La parturition ou l'accouchement.

C'est l'expulsion du nouveau né et du placenta hors des voies génitales femelles.
L'accouchement est déclenché par un déséquilibre hormonal et un phénomène réflexe :
- La production de cortisol par les glandes surrénales du fœtus entraine la chute du taux de progestérone.
- Les annexes embryonnaires produisent une hormone, la prostaglandine qui provoque la chute du taux d'œstrogène et de progestérone. La chute du taux de ces deux hormones entraine la reprise des contractions de l'utérus. Ces premières contractions entraînent un réflexe hypothalamo-hypophysaire qui libère de l'ocytocine, ce qui entraîne la dilatation du col de l'utérus et provoque l'expulsion du fœtus.

L'accouchement se déroule en trois étapes :
- Les contractions utérines : elles ont pour effet d'exercer une pression sur la membrane amniotique qui se rompt et libèrent le liquide amniotique pour faciliter le passage de la tête du fœtus. Le début des contractions utérines constitue le début du travail.
- L'expulsion du fœtus : elle est due à une accentuation des contractions utérines et aux contractions des muscles abdominaux. Elle constitue la deuxième étape du travail.
- La délivrance : c'est l'expulsion du placenta en plus du reste du cordon ombilical et des enveloppes rompues environ 30 min après l'expulsion du fœtus.



Structure du sein en fin de gestation



St ructure d'un groupe d'alvéole

D- La lactation.

C'est l'ensemble des phénomènes qui permettent le déclanchement et l'entretien de la production du lait chez la femelle après l'accouchement.

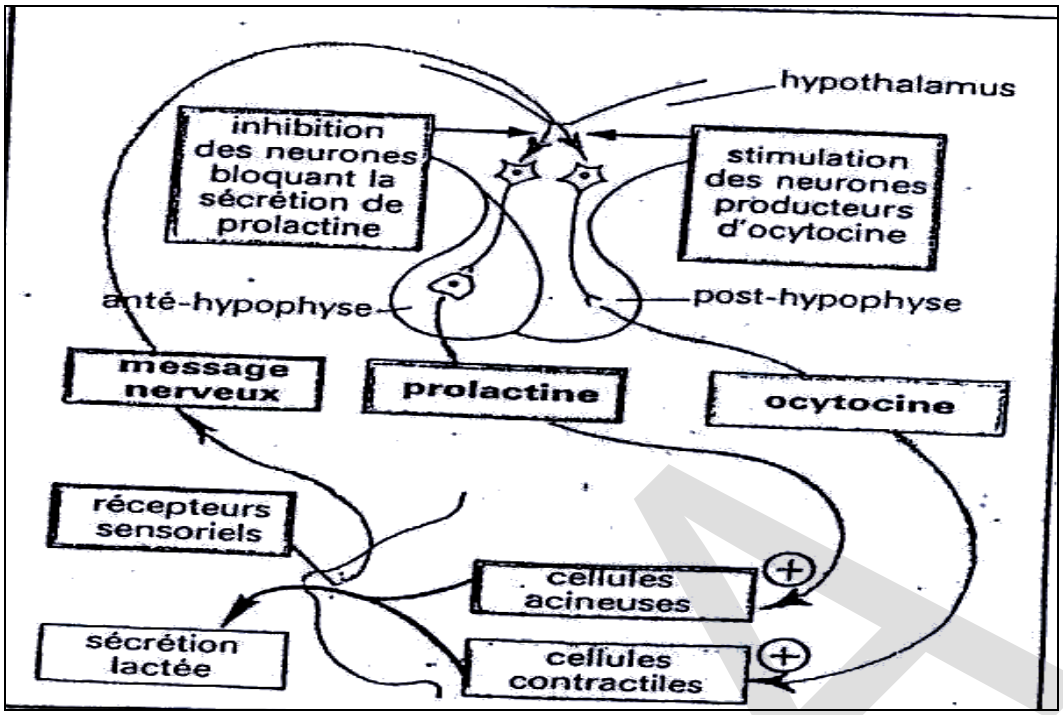
Après la délivrance, l'adénohypophyse produit une grande quantité de prolactine qui déclenche la production du lait à partir des éléments puisés dans le sang. La production du lait est entretenue par les tétées. En effet, la succion exercée par le nouveau né sur le mamelon provoque la naissance d'influx nerveux qui stimule l'hypophyse pour le maintient de la production de la prolactine.

Le premier lait qui s'écoule des mamelons après l'accouchement s'appelle le colostrum qui protège le tube digestif du nouveau-né contre les microbes.

NB : Le sein femelle (les mamelles) est formé de : un tissu adipeux, un tissu conjonctif et tissu glandulaire.

Le tissu glandulaire est constitué de lobule qui est un ensemble d'acini. Un acinus est un petit sac formé de couches de cellules sécrétrices entouré par des cellules contractiles. Le tout est très vascularisé. Le produit de sécrétion est déversé dans des canaux qui se réunissent en canaux galactophores qui s'ouvrent chacun par un orifice au niveau du mamelon.

CPLA



Mécanisme neuro-hormonal de la sécrétion lactée.

VII- Quelques problèmes liés à la reproduction chez l'Homme.

Il peut arriver dans l'espèce humaine quelque problème de reproductions conduisant souvent à la naissance de jumeaux, de frères ou sœurs siamois, d'individus mal formé etc..

On peut avoir de vraies et des faux jumeaux. Pour les vrais jumeaux, ils proviennent d'un seul œuf dont les cellules filles issues de mitoses de cet œuf se séparent, évolue chacune pour donner naissance à un individu. Ces jumeaux sont obligatoirement de mêmes sexes et possèdent de mêmes caractères génétiques.

Parfois, la séparation des cellules filles est male faite et on obtient des individus incomplets ou collés l'un à l'autre à un niveau du corps : ce sont les frères siamois.

Il peut arriver qu'une fille ait plusieurs ovulations pendant un cycle. Si chaque ovocyte est fécondé par un spermatozoïde et que les œufs arrivent dans l'utérus, ils peuvent conduire à plusieurs naissances : on obtient de faux jumeaux qui peuvent être de même sexe ou de sexes différents.

Dans certaines espèces, plusieurs œufs peuvent fusionner pour donner un individu polyploïde appelé chimère.

Chez d'autres espèces encore (abeilles, daphnies…), un gamète femelle peut se comporter comme un œuf (sans fécondation avec un gamète mâle) et donne naissance à un individu : c'est la parthénogenèse.

REPRODUCTION CHEZ LES SPERMAPHYTES

Les objectifs pédagogiques

A la fin de ce cours, l'élève doit être capable de :

16- *Décrire une fleur d'un spermaphyte et en donner un schéma simple.*
17- *Réaliser les schémas de coupes d'anthère et d'ovule.*
18- *Connaitre où et comment se forme un grain de pollen et un sac embryonnaire.*
19- *Décrire les étapes de formation d'un grain de pollen.*
20- *Dire ce qu'est la double fécondation et dire son résultat.*
21- *Décrire les phénomènes morphologiques et physiologiques de la germination d'une graine.*
22- *Reproduire le cycle de reproduction des spermaphytes.*

Les spermaphytes ou phanérogames sont des plantes à fleur. Ils sont disséminés grâce à leurs graines. Leur appareil reproducteur est représenté par la fleur.

Les spermaphytes sont subdivisés en deux sous-embranchements : les gymnospermes (dont les graines sont nues. Exemples : Pin et sapin) et le sous embranchement des angiospermes (dont les graines sont enveloppés dans un fuit) exemple : le manguier, le maïs…

Les angiospermes sont subdivisés en 2 Classes : Les Monocotylédones (plantes à graine à un seul cotylédon ; tige sans branche ; feuilles à nervures parallèles et toutes identiques… exemples : cocotier, maïs…) ; Les Dicotylédones (plantes à graine à deux cotylédons ; tige avec des branches ; racines différenciées en racine principale et secondaires… exemple : haricot, arachide, manguier,…)

I- L'appareil reproducteur : La fleur

A- Structure d'une fleur d'angiosperme.

Elle est reliée à la plante par un pédoncule et comprend 2 types de pièces :

- Les pièces protectrices (stériles) formant le Périanthe composé du calice (formé de sépales généralement verts) et de la corolle (ensemble des pétales souvent colorés et odorants).

- Les pièces reproductrices ou fertiles : ce sont les organes reproducteurs. On distingue :

. L'Androcée : c'est l'organe mâle, c'est l'ensemble des étamines

. Le gynécée ou pistil : organe reproducteur femelle constitué d'un ou de plusieurs carpelles

B- Etude des organes reproducteurs

Ils sont de deux types :

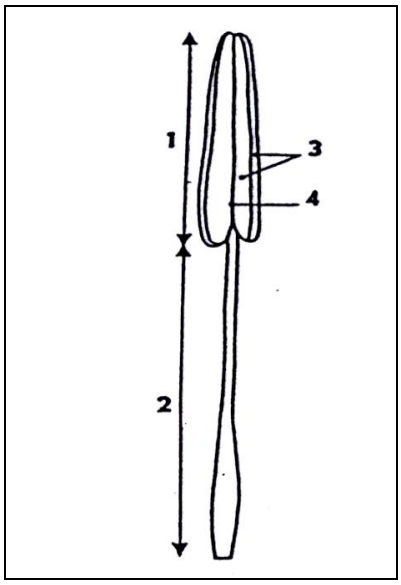
- les étamines ou androcée qui sont des organes reproducteurs mâles.

- Les carpelles qui sont des organes reproducteurs femelles.

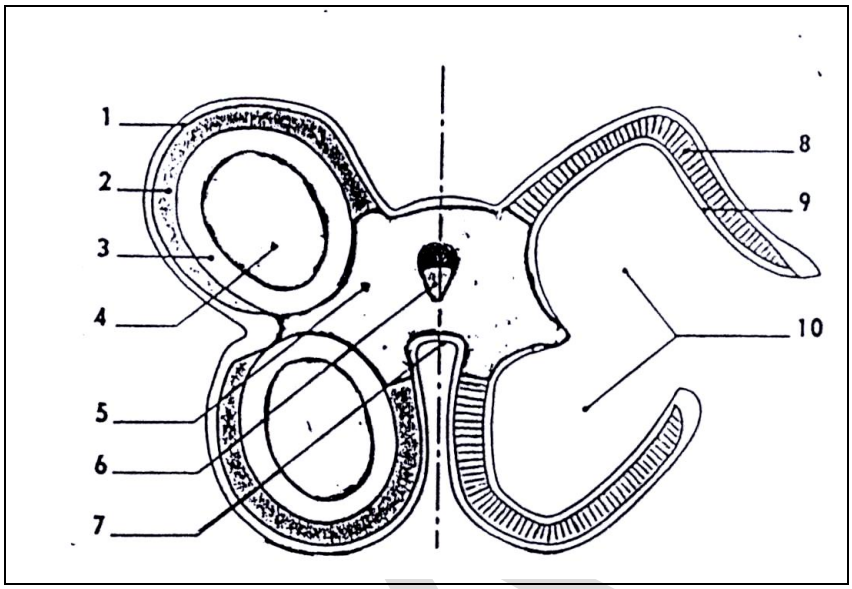
1°) Les étamines.

a- Description.

Une étamine est constituée d'une anthère portée par un filet. L'anthère est formée d'un connectif et de deux loges. Chaque loge est formée de deux sacs polliniques contenant des grains de pollen. A maturité, l'anthère s'ouvre par les fentes de déhiscence pour libérer les grains de pollen.



Etamine de lis. 1. anthère 2. filet 3. sacs polliniques 4. connectif.

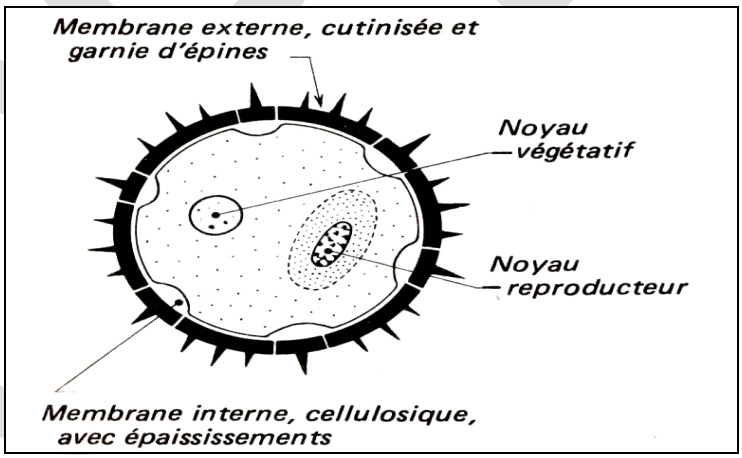


Coupe schématique d'une anthère jeune (moitié gauche) et d'une anthère mure (moitié droite) 1. Epiderme 2. Future assise mécanique 3. Assisse nourricière 4. Cellule mère des grains de pollen 5. Parenchyme 6. Faisceau libéro-ligneux 7. Connectif 8. Assise mécanique 9. Reste de l'assise nourricière 10. Sacs polliniques ouverts.

b- Les grains de pollen.

b1. Ultrastructure d'un grain de pollen.

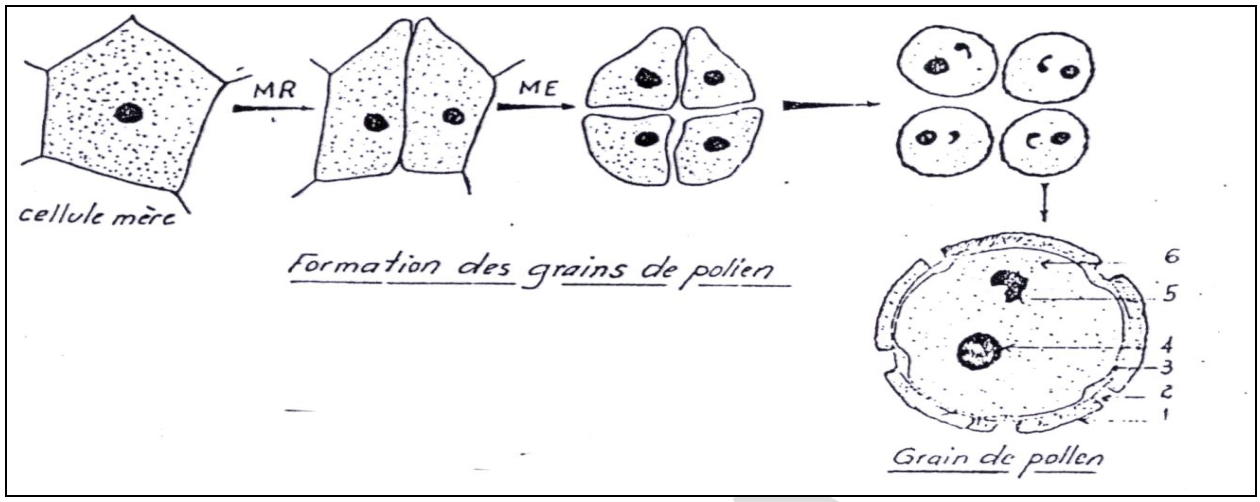
Le grain de pollen est constitué de 2 cellules emboîtées (une reproductrice et une végétative) entourées de 2 membranes : L'exine (membrane externe cutinisée, percée de pores et garnie d'épines) et l'intine (membrane interne cellulosique).



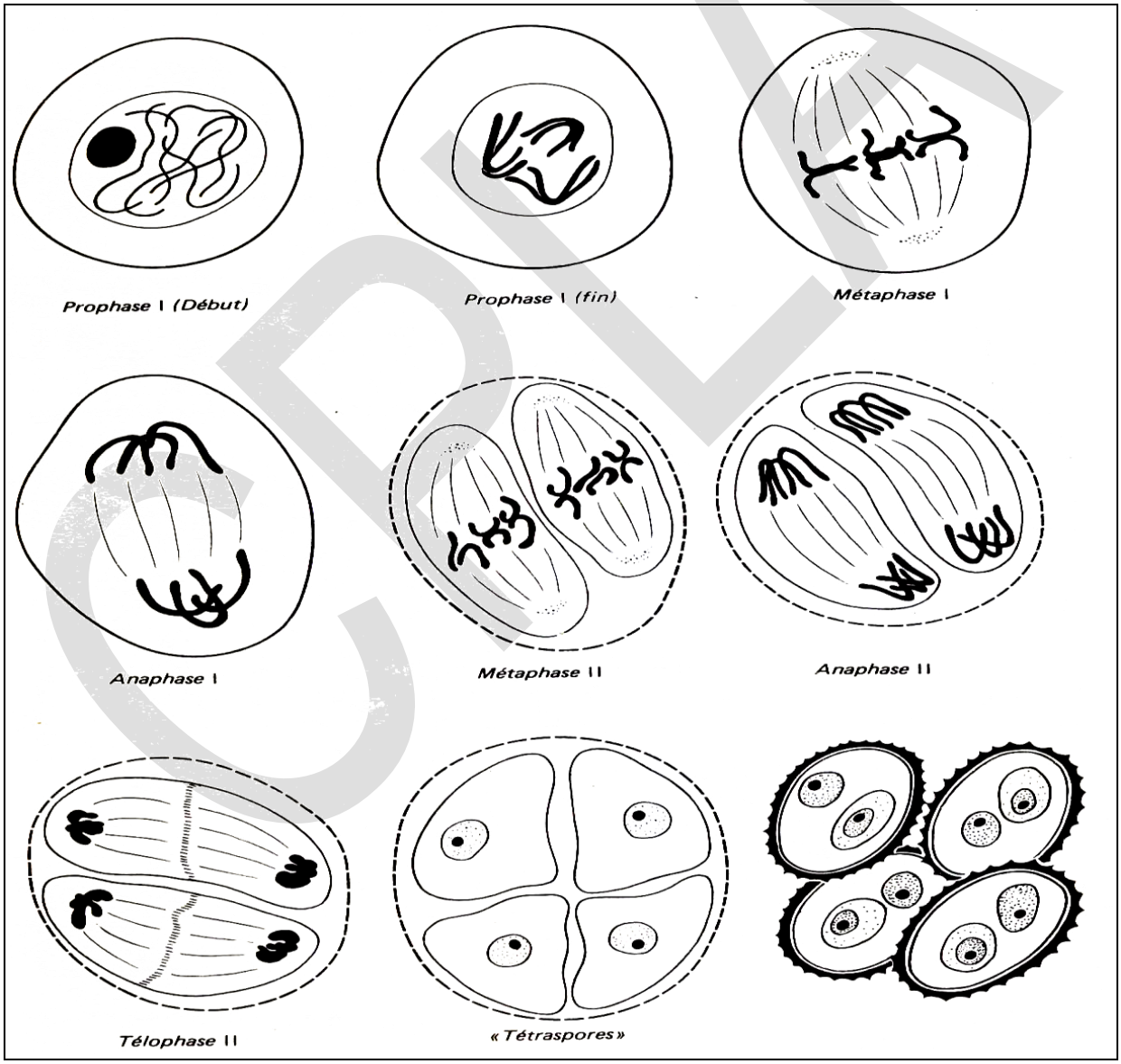
Coupe schématique d'un grain de pollen

b2. Formation des grains de pollen.

A l'origine, une cellule mère de grain de pollen subit une méiose et donne quatre cellules haploïde appelées microspores ou tétraspores. Chaque microspores élabore ses enveloppes (exine et intine) puis subit une mitose simple du noyau (une endomitose) pour donner un grain de pollen à deux noyaux chacun (un noyau végétatif et un noyau reproducteur).



Formation des grains de pollen.

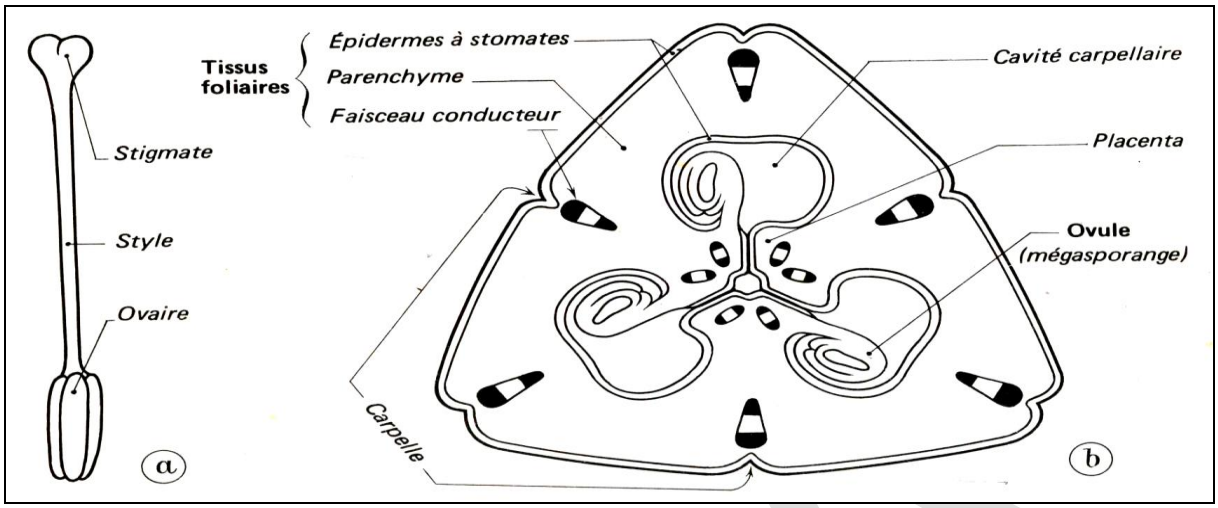


Principales étapes de formation des grains de pollen.

2°) Les carpelles.

a- Description.

Un carpelle ou un pistil constitué de plusieurs carpelles comporte 3 parties : un ovaire (contenant un ou des ovules) surmonté d'un style et un stigmate (élargissement terminal du style).



Pistil de lis. a: Aspect d'ensemble b: Coupe de l'ovaire.

b- L'ovule.

b1. Ultrastructure d'un ovule.

Un ovule comprend un double tégument (un externe appelé primine et l'autre interne appelé secondine) entourant un massif de petites cellules appelé le nucelle dans lequel on trouve le sac embryonnaire qui renferme une grosse cellule à l'état jeune.

On distingue également :

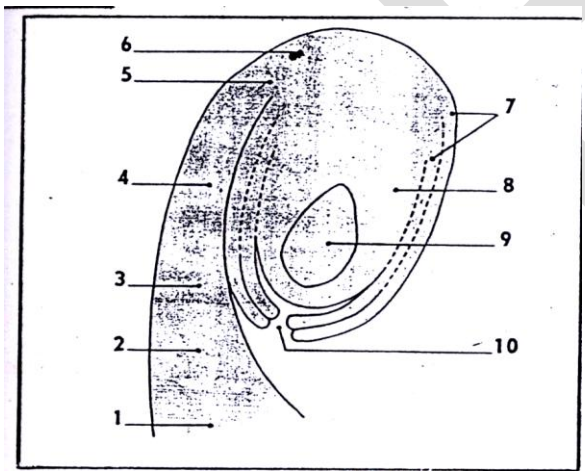
. Le micropyle : orifice laissé par les téguments

. Funicule : masse cellulaire qui unie le placenta à l'ovule

. Le Hile : c'est la zone où le funicule se lie à l'ovule

. Chalaze : c'est le point où le faisceau conducteur venant du placenta entre dans l'ovule.

. Le Raphé : Arête saillante formé par le faisceau conducteur entre le hile et la chalaze.



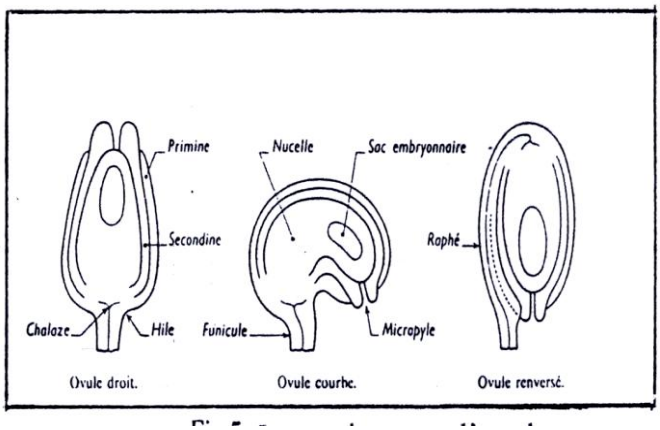


Figure 1Représentation schématique d'un ovule de Lis. **Les trois types d'ovules.**
1. placenta 2.funicule 3. Hile apparent 4. Raphé 5. Hile réel
6. Chalaze 7. Téguments 8. Nucelle 9. Sac embryonnaire
10. Micropyle.

b2. Les types d'ovules.

On distingue trois types d'ovule selon sa forme et la position du hile :

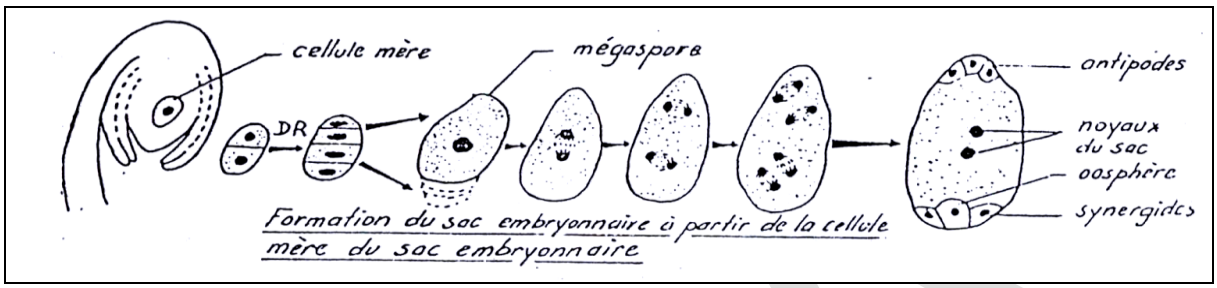
- Ovule orthotrope ou droit : c'est un ovule qui a son hile droit. Exemple : avocatier, maïs
- Ovule campylotrope ou recourbé. Exemple : Haricot, petit pois
- Ovule anatrope ou ovule renversé. Exemple : la plupart des angiospermes.

b3. Formation du sac embryonnaire.

Dans un ovule jeune, la cellule mère du sac embryonnaire (une grosse cellule) subit une méiose et donne 4 cellules haploïdes appelées mégaspore ou macrospore dont 3 dégénèrent. La mégaspore restante augmente de volume puis son noyau subit 3 endomitoses successives. On obtient une cellule volumineuse à 8 noyaux autour desquels se répartit le cytoplasme en 7 cellules comme suit :

- Au pôle micropylaire on trouve l'oosphère entourée par 2 cellules appelées les synergides.
- Au pôle opposé du micropyle, on trouve 3 cellules appelées les antipodes.
- Au centre on trouve une cellule à 2 noyaux appelée cellule du sac.

Remarque : Dans un ovule mûr, le sac embryonnaire contient 8 noyaux répartis dans sept cellules. Le sac embryonnaire renferme le gamète femelle qui est l'oosphère : c'est un gamétophyte femelle.



Formation du sac embryonnaire.

3°) Correspondance entre les organes reproducteurs.

Organes reproducteurs mâles	Organes reproducteurs femelles
Etamine (2n chr)	Carpelles (2n chr)
Sac pollinique (2n chr)	Ovule (2n chr)
Cellule mère des grains de pollen (2n chr)	Cellules mères du sac embryonnaire (2n chr)
Grains de pollen (n chr)	Sac embryonnaire (n chr)
Spermatozoïdes (n chr)	Oosphère (n chr)

II- La fécondation.

Elle se déroule en trois étapes : la pollinisation, la germination des grains de pollen et la double fécondation. Elle permet la formation de la graine et du fruit.

A- La pollinisation.

C'est le transport du grain de pollen jusqu'au stigmate d'une fleur (de la même espèce).

On distingue 2 modes de pollinisation :

. Elle peut être directe (autopollinisation): quand le stigmate est pollinisé par un pollen de la même fleur.

. Elle peut être aussi indirecte (pollinisation croisée) : quand le stigmate est pollinisé par le pollen d'une autre fleur (d'une plante de la même espèce).

Les agents pollinisateurs peuvent être le vent (pollinisation anémophile), les insectes (entomophile), l'eau (hydrophile), les oiseaux (ornithophile), la chauve-souris, l'homme…

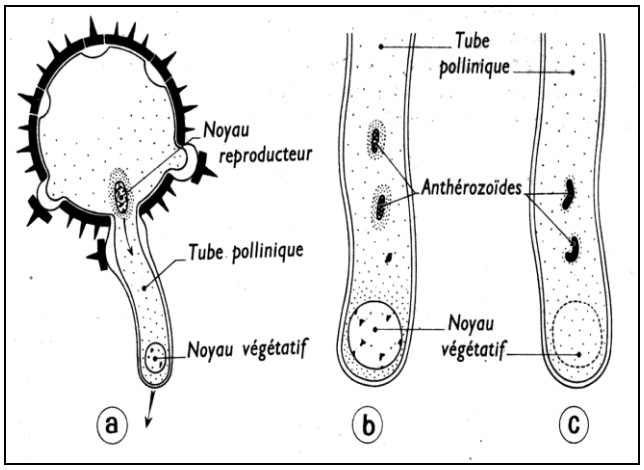
B- La germination des grains de pollen.

1°) Mécanisme de la germination des grains de pollen.

Le pollen déposé sur le stigmate dans de bonnes conditions absorbe de l'eau et passe de la vie ralentie à la vie active. Il germe et émet un tube pollinique qui s'enfonce dans le stigmate et progresse le long du style en direction de l'ovaire par chimiotropisme positif : une substance chimique secrétée par le stigmate attire et oriente le tube pollinique vers lui.

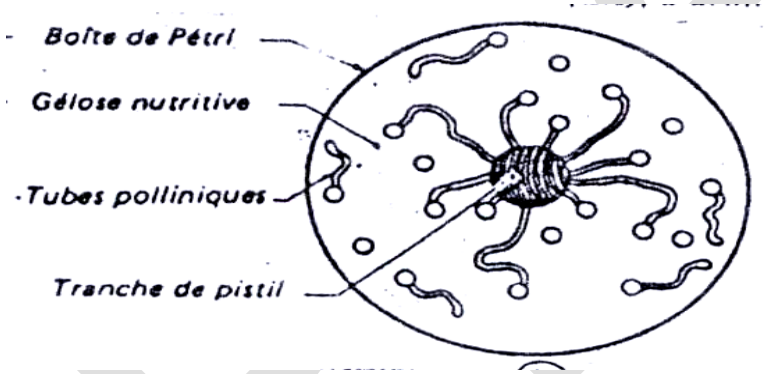
. La croissance du tube pollinique est assurée par le noyau végétatif. Il dégénère à la fin de la croissance.

. Au cours de la croissance du tube le noyau reproducteur subit une mitose et donne deux anthérozoïdes.



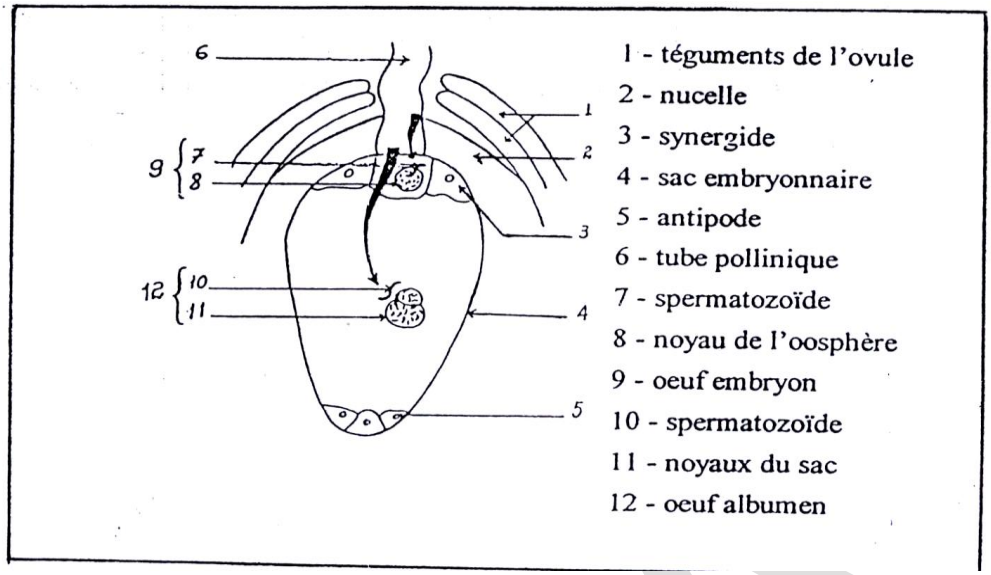
Mécanisme de la formation du tube pollinique.

2°) Mise en évidence de chimiotropisme au cours de la germination des grains de pollen.
-Expériences :
Dans une boîte de pétrie, on saupoudre du pollen (exemple pollen de Lis) à la surface d'un milieu nutritif gélosé dans lequel on a piqué un stigmate de même espèce. Le tout est laissé à 28°C pendant 3heures environ.
- Observations :



Les grains de pollen qui sont proches du stigmate germent en émettant leurs tubes polliniques en direction du stigmate. Les grains de pollen qui sont éloignés du stigmate élaborent quant à eux leurs tubes polliniques en désordre.
- Interprétation :
L'orientation des tubes polliniques vers le stigmate est due à une substance chimique sécrétée par le stigmate, qui attire ces tubes vers lui : On parle de phénomène de chimiotropisme positif.

C- La double fécondation.
Arrivé dans l'ovaire le tube pollinique pénètre dans un ovule par le micropyle s'engage dans le nucelle et se met au contact du sac embryonnaire. Son extrémité s'éclate et les deux anthérozoïdes libérés, passent dans le sac :
. Un anthérozoïde fusionne avec l'oosphère pour donner l'œuf principal diploïde encore appelé œuf embryon ou œuf plantule
. Le deuxième anthérozoïde s'unit au deux noyaux centraux et forme un œuf triploïde (à 3n chromosomes) qui est l'œuf accessoire ou œuf albumen.
Remarques : La double fécondation est caractéristique des angiospermes. Les ovules fécondés se transforment en graines. Le pistil, surtout l'ovaire se transforme en fruit.
Lorsqu'il pleut beaucoup, le milieu stigmatique devient très hydraté. Dans ce cas, les grains de pollen absorbent beaucoup d'eau et finissent par s'éclater, ce qui empêche la fécondation : c'est le phénomène de coulure. Ce phénomène est à l'origine d'une faible production des fruits pendant la saison pluvieuse.



Sac embryonnaire montrant la double fécondation.

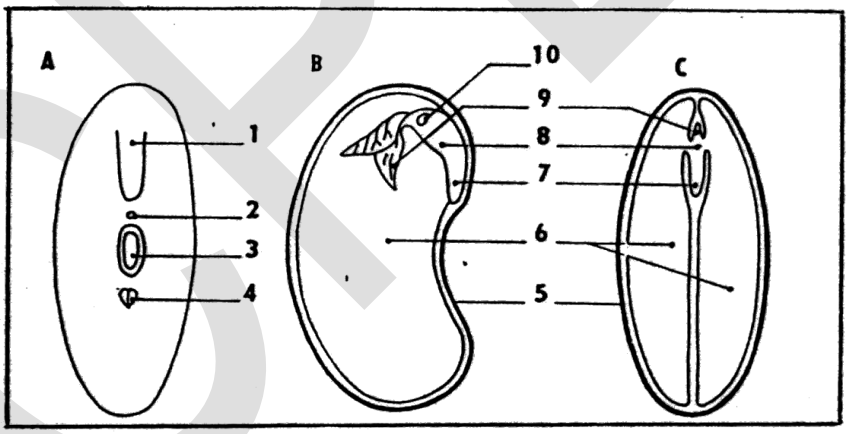
III- La graine

A- Formation et structure de la graine.

La graine provient de la transformation de l'ovule fécondé.

Une graine comporte deux parties principales :

- Une plantule ou embryon provenant de l'évolution de l'œuf embryon. La plantule se différencie en donnant un ou deux cotylédons (selon qu'il s'agit d'une monocotylédone ou d'une dicotylédone). Une plantule comporte une tigelle (futur petite tige), la gemmule (un petit bourgeon terminale) et une radicule (future petite racine).
- L'albumen provenant de l'évolution de l'œuf albumen. L'albumen est un tissu de réserve qui s'accroit aux dépens ou en digérant le nucelle.



La graine du haricot. A: face concave B: graine ouverte C: coupe longitudinale 1. Saillie de la radicule 2. Micropyle 3. Hile 4. Cal

5. Tégument 6. Cotylédons 7. Radicule 8. Tigelle 9. Gemmule 10. Cicatrice du deuxième cotylédon.

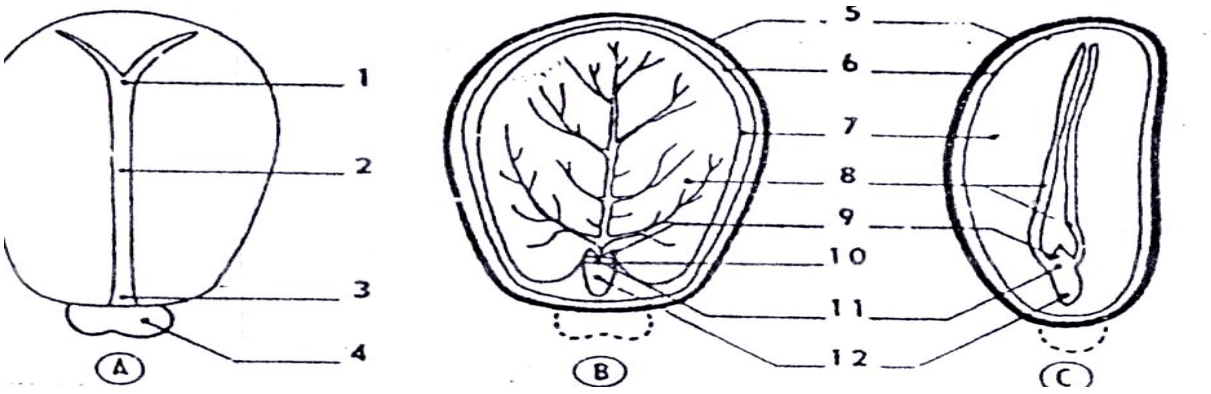
B- Les types de graine.

On distingue alors différents types de graines

. Les graines à albumen ou albuminées : l'albumen persiste et le ou les cotylédons restent minces. Exemples : Blé, Ricin, Maïs

. Les graines sans albumen ou exalbuminées : l'albumen se résorbe et ses réserves s'accumulent dans les cotylédons qui deviennent charnus. Exemple : Haricot.

. Les graines à périsperme : Exceptionnellement chez certaines espèces, le nucelle prolifère dans la graine et le nom de périsperme qui se charge de substances nutritives. Exemple : Nénuphar.



Graine du ricin. A: Face externe plate B: Graine ouverte C : coupe longitudinale 1. Hile réel 2. Raphé 3. Hile apparent 4. Caroncule 5. Tégument externe 6. Tégument interne mince 7. Albumen 8. Cotylédon 9. Gemmule 10. Cicatrice du deuxième cotylédon 11 : tigelle 11. Radicule.

D- **La vie ralentie et la maturation de la graine.** Après sa formation la graine mûrit en se déshydratant fortement, les vacuoles de ses cellules se transforment en grains d'aleurone et la graine passe à l'état de vie ralentie ou la diapause car son métabolisme devient réduit. Les téguments de la graine deviennent épais et résistants et la graine devient mature.

E- Etude comparative de la graine de haricot et celle de maïs.

Graine	Haricot	Maïs
Type d'ovule dont elle provient :	Recourbé	Droit
Nombre de tégument distinct :	1	1
Présence ou absence d'albumen	+	+
Nombre de cotylédons :	2	1
Nature des réserves	Amylacées (amidon+aleurone)	Amylacée (amidon + aleurone)
Aspect des cotylédons	Charnus	En écusson
Type de germination	Epigée : à cotylédons caducs	Hypogée

F- **La germination de la graine.**

La germination est l'ensemble des phénomènes par lesquels l'embryon de la graine passe de la vie ralentie à la vie active.

1°) Les conditions de germination de la graine.

Les conditions de la germination sont de deux types : les conditions externes et internes.

a- Les conditions internes.

Pour germer, une graine :

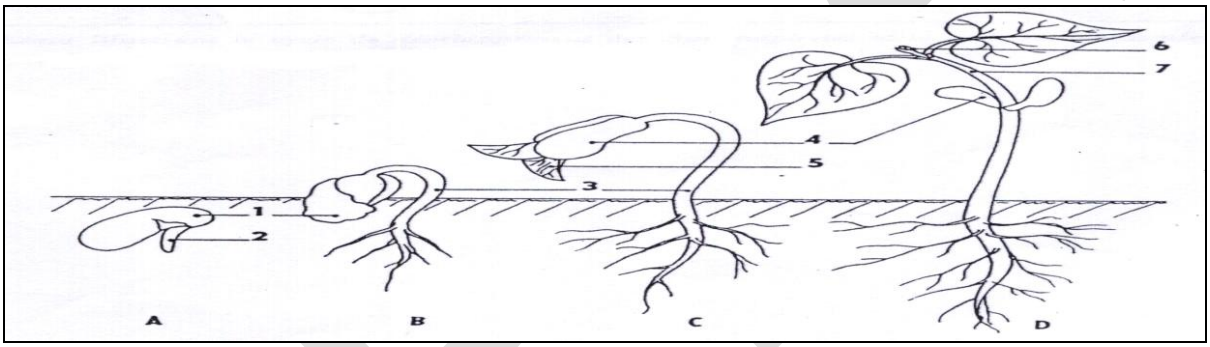
- Doit être mure,
- Doit acquérir son pouvoir germinatif.
- Doit être saine,
- Doit avoir ses téguments perméables à l'eau et à l'air.
- Ne doit pas être trop vieille.

b- Les conditions externes.

Ce sont :

- Une humidité suffisante,
- Un sol aéré et sans inhibiteurs,
- Une température convenable.

2°) Les aspects de la germination.
On distingue les aspects morphologiques et les aspects physiologiques.
a- Les aspects physiologiques de la germination.
La germination de la graine se manifeste physiologiquement par :
- Une absorption d'eau qui entraîne un gonflement de la graine, l'hydratation du cytoplasme et des grains d'aleurone qui redeviennent des vacuoles.
- Une élaboration d'enzymes qui assure la digestion des réserves ; les produits de digestion (glucose, glycérol, acides gras et acides aminés) sont utilisés par la plantule pour sa respiration et sa croissance.
- Une respiration intense qui se manifeste par des échanges gazeux importants
- Un important dégagement de chaleur.
La germination de la graine constitue un réveil physiologique de l'embryon.
b- Les aspects morphologiques de la germination : exemple de la germination de la graine du haricot
La germination est assez rapide chez le haricot et se fait en 4 étapes :
- Les téguments se déchirent, la radicule s'allonge et pénètre ou s'enfonce dans le sol : il s'agit d'un géotropisme positif.
- La tigelle s'allonge et donne le 1er segment de la tige appelé hypocotyle ou axe hypocotylé.
Les cotylédons sont soulevés au-dessus du sol : on dit que graine ''lève''.
Il apparaît des racines secondaires sur la racine principale (radicelles) et sur la base de la tige (racines adventives)
- Les cotylédons s'écartent lentement et la gemmule donne naissance à la partie épicotylée de la tige.
Les 2 premières feuilles (opposées) s'étalent, verdissent et s'accroissent.
- Les cotylédons se flétrissent et tombent, même si la totalité de leurs réserves nutritives n'est pas encore épuisée.

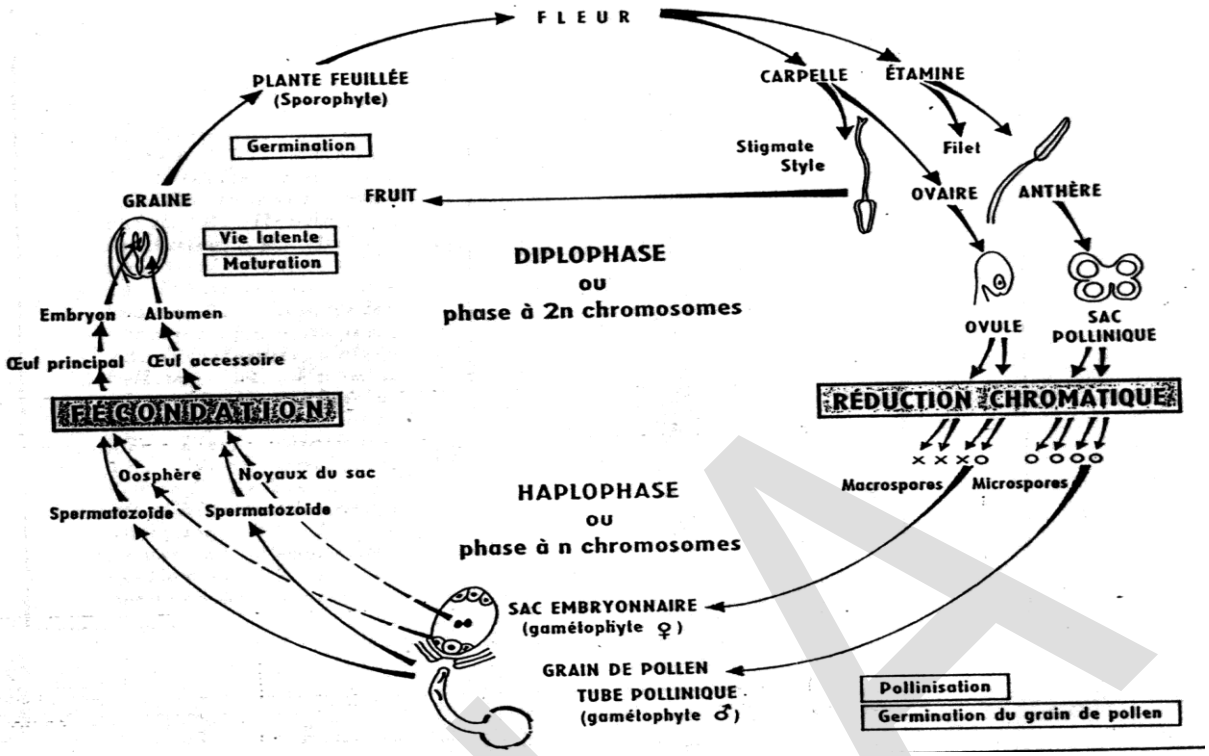


Germination du haricot. A, B, C D: principales étapes. 1. tégument 2. Radicule 3. Tigelle 4. Cotylédon 5. Premières feuilles 6. Bourgeon terminal 7. Axe épicotylé.

NB : Au cours de la germination, la plantule est hétérotrophe et utilise les réserves de la graine. A la fin, la jeune plante bien enracinée et pourvue de chlorophylle (avec l'apparition des premières feuilles à la lumière) devient capable de réaliser la photosynthèse et mène une vie autotrophe.
3°) Les types de germination.
On distingue 2 types de germinations :
- La germination épigée : c'est celle dont les cotylédons sortent de la terre. Exemple : haricot…)
- La germination hypogée : c'est celle dont le cotylédon ne sort pas de la terre. Exemple : le maïs, le mil, le pois)

IV- Cycle de développement des spermaphytes.

Ce cycle de développement est caractérisé par l'alternance des deux phases :
- Une phase diploïde représentée par l'œuf, la graine, la plante feuillée (ou le sporophyte) et la fleur.
- Une phase haploïde représentée par le grain de pollen et le sac embryonnaire qui sont considérés comme les gamétophytes car ils produisent les gamètes (anthérozoïde, oosphère).
Du faite que la phase haploïde est représentée par les gamétophytes et que la phase diploïde est représentée par le sporophyte, le cycle des spermaphytes est qualifiée d'haplodiplophasique.



Cycle de reproduction des spermaphytes. (Cycle haplodiplophasique)

CPLA

LA GENETIQUE

Les objectifs pédagogiques.

A la fin de ce cours, l'élève doit être capable de :

23- Définir la génétique.

24- Connaître et définir toutes les notions de base en génétique.

25- Connaitre les méthodes d'études en génétique.

La génétique est la science qui étudie la transmission des caractères parentaux aux descendants. Cette transmission des caractères parentaux aux descendants s'appelle l'hérédité.
Le fondateur de la génétique est le moine Gregor Mendel. Ses travaux ont été poursuivis et améliorés par l'Américain Thomas Morgan.

I- Définition de quelques termes utilisés en génétique.

- Une espèce : c'est une collection d'individus qui se ressemblent entre eux et qui sont interféconds.
- Une race ou la lignée : c'est une variation de groupes d'individus au sein d'une même espèce. Exemples : race noire, race blanche.

Un individu est considéré comme appartenant à la race pure pour un caractère, si ce caractère se transmet à ces descendants sans modifications de génération en génération.

- Un gène : c'est une séquence de nucléotides consécutifs de l'ADN ou de l'ARN et qui est capable de faire apparaître un caractère chez l'individu qui le porte.
- Un locus : c'est l'emplacement d'un gène sur un chromosome.
- Un allèle : c'est une forme sous laquelle un gène peut se présenter. Un allèle peut-être dominant, récessif, ou codominant.

Un allèle est dit dominant lorsqu'il s'exprime chez les descendants. Un allèle est dit récessif, lorsqu'il ne s'exprime pas dans une descendance ou il ne s'exprime que lorsqu'il est présent en double. Des allèles sont dit codominants lorsqu'ils s'expriment tous à la fois dans une descendance.

- Un génotype : c'est la combinaison des allèles représentant un ou plusieurs gènes.
- Un phénotype : c'est l'ensemble des caractères visibles, palpables d'un individu et qui résulte de l'expression d'un génotype.
- Un homozygote : c'est un individu qui porte des allèles identiques d'un même gène. Un homozygote est aussi un individu de race pure.
- Un hétérozygote : c'est un individu qui porte des allèles différents d'un même gène. Cet individu n'est pas de race pure.
- Un test-cross : c'est un croisement entre un individu de génotype inconnu avec un parent ayant des allèles récessifs.
- Un back-cross : c'est un croisement entre un hybride et l'un de ces parents portant les allèles récessifs d'un ou des gènes.

II- Les méthodes d'études en génétique.

Les études en génétiques sont basées soit sur des croisements soit sur l'analyse des anomalies dans les familles (hérédité humaine). Le croisement tient compte de trois conditions:

- Les parents doivent être de race pure pour le ou les caractères à étudier.
- L'espèce étudiée doit-être prolifique en vue d'une meilleure interprétation. C'est le cas des drosophiles, des pois.
- La durée de reproduction de l'espèce doit être courte.

LES LOIS STATISTIQUES DE LA TRANSMISSION DES CARACTERES HEREDITAIRES

Les objectifs pédagogiques.

A la fin de ce cours, l'élève doit être capable de :

1- *Connaître les conventions d'écriture en génétique.*
2- *Connaître et appliquer les lois de Mendel.*
3- *Connaitre les limites des lois de Mendel.*
4- *Interpréter les résultats des croisements en génétiques*
5- *Etablir la carte factorielle des gènes situés sur le même chromosome.*

Selon le nombre de couple de caractères étudiés, on distingue :

- Le monohybridisme : c'est l'étude de la transmission d'un couple de caractères.
- Le polyhybridisme : c'est l'étude de la transmission de plusieurs couples de caractère. S'il s'agit de la transmission de deux couples de caractère, on parle du dihybridisme.
- Quelques cas particuliers d'hérédités.

A- le monohybridisme.

C'est l'étude de la transmission d'un couple de caractère.
Le monohybridisme regroupe deux types d'hérédité : l'hérédité autosomale et l'hérédité gonosomale ou liée au sexe.

1°) L'hérédité autosomale.

C'est une hérédité dont le gène est porté par une paire de chromosomes homologue ou autosomes.
Elle regroupe trois cas : cas de dominance absolue ; cas de codominance et cas d'un gène létal.

a- Cas de dominance absolue.

C'est le cas où un allèle d'un gène est dominant et l'autre allèle du même gène est récessif.

a_1 : caractéristiques de la dominance absolue.

Elle est caractérisée par :

- Une homogénéité de la F1 issue des parents de race pure ;
- Des proportions phénotypiques ¾ et ¼ obtenues en F1 x F1 ;
- Des proportions phénotypiques ½ ; ½ obtenues en test-cross.

a_2 : Exemple de dominance absolue.

On croise une plante à graines lisses avec une plante à graines ridées. On obtient des plantes à graines lisse.
Les graines lisses obtenues sont semées et après autofécondation, on obtient 7324 graines réparties comme suit : 5474 graines lisses et 1850 graines ridées.

a_3 : Interprétation :

Les individus obtenus à l'issu du premier croisement sont appelés des individus de la première génération ou de la F1. Les individus obtenus à l'issu du deuxième croisement sont les individus de la deuxième génération ou F2.

- Analyse du premier croisement :

- Homogénéité de la F1 : tous les individus de la F1 sont semblables entre eux (lisse). Donc la F1 est homogène.
- Dominance : l'allèle parental « lisse » qui apparait en F1 est dit « dominant » et l'allèle parental « ridée » qui disparait en F1 est dit récessif.
- Choix des symboles : l'allèle dominant est symbolisé par une lettre majuscule et l'allèle récessif est symbolisé par une lettre minuscule. Lisse : L ; ridée : r.

- Analyse du deuxième croisement.

- Calcul des proportions de la F2 :

Lisse : $\frac{5474}{1850} = 3\ soit\ {}^{3}/_{4}$ ou 75% ridée : $\frac{1850}{1850} = 1\ soit\ {}^{1}/_{4}$ ou 25%

Ces proportions phénotypiques ¾, ¼ sont celles d'un monohybridisme avec dominance absolue et à gène autosomale. La proportion ¾ désigne les caractères du parent portant l'allèle dominant et de l'hybride de la F1. La proportion ¼ désigne le caractère du parent portant l'allèle récessif.

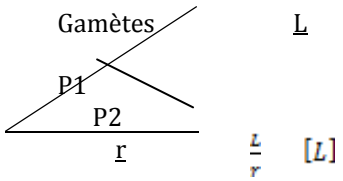
- Génotypes et phénotypes des parents : les génotypes sont symbolisés par deux allèles séparés par une double barre. Les phénotypes sont désignés par un allèle entre crochets.

	Génotypes	Phénotypes
Lisse	$\frac{L}{L}$	$[L]$
Ridée	$\frac{r}{r}$	$[r]$

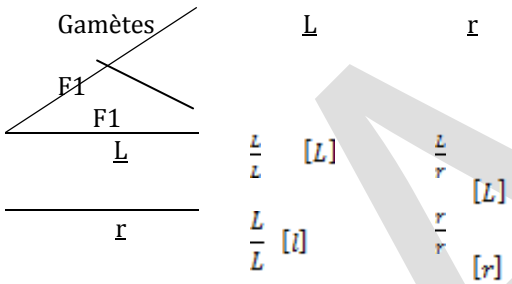
- Génotypes et phénotypes de la F1 et de la F2.

Parents : P1 : $\frac{L}{L}$ x P2 : $\frac{r}{r}$

Gamètes des parents : P1 : L P2 : r
Les gamètes des parents sont regroupés dans un tableau à double entrée appelé échiquier de croisement pour obtenir la descendance.
Génotype et phénotype de la F1.



Génotypes et phénotypes de la F2 :
F1 x F1 : $\frac{L}{r}$ x $\frac{L}{r}$
Gamètes de la F1 : L et r.



Les proportions phénotypiques sont : $[L] = \frac{3}{4}$ $[r] = \frac{1}{4}$. Ces proportions phénotypiques sont conforment aux résultats expérimentaux.

a_4 Les lois de Mendel.

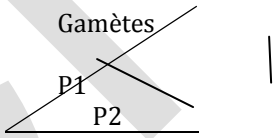
Première loi de Mendel : c'est la loi de l'uniformité des hybrides de la F1. Cette loi dit que les individus de la F1 sont semblables entre eux si les parents sont de race pure.
Deuxième loi de Mendel : c'est la loi de pureté des gamètes. Elle montre qu'un gamète ne contient qu'un seul caractère.

a_5 Interprétation chromosomique de Morgan.

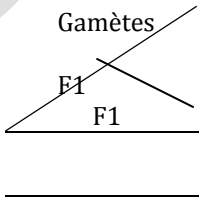
Morgan suppose qu'un gène est localisé sur des chromosomes homologues.

Parents : L L

Gamètes des parents :
Génotype et phénotype de la F1 :



F1 x F1 :
Gamètes de la F1 :
Génotypes et phénotypes de la F2 :



Les résultats de Morgan sont conforment à ceux de Mendel : donc un gène est localisé sur des chromosomes homologues ou autosomes.

a_6 : Le test-cross.

C'est un croisement entre un individu de génotype inconnu avec un parent ayant des allèles récessifs.
Si le résultat du test-cross donne 100% d'un phénotype, alors l'individu testé est homozygote.
Si les résultats du test-cross donnent : 50% d'un phénotype et 50% d'un autre phénotype ; alors l'individu testé est hétérozygote.

CPLA

Le test-cross permet donc de savoir si un individu est homozygote ou hétérozygote.

a_7 Le back-cross.

C'est un croisement entre un hybride et l'un de ces parents portant les allèles récessifs d'un ou des gènes. Il est encore appelé le croisement en retour.

b- Cas de codominance.

Il y a codominance lorsqu'aucun allèle d'un gène ne domine l'autre.

b_1 : Caractéristiques de la codominance.

La codominance est caractérisée par :

- Une homogénéité des individus de la F1 venant des parents de race pure avec soit un caractère qui est le mélange entre ceux des deux parents (cas de dominance intermédiaire) en F1 soit apparition des deux caractères parentaux en F1 (cas de codominance).
- Des proportions phénotypiques : ¼ ; ¼ ; ½ obtenues en F1 x F1.

b_2 : Exemples de codominances.

Exemple 1 : On croise deux variétés de « belle de nuit », l'une à fleur rouge et l'autre à fleur blanche. On obtient des plantes à fleur rose.

Le croisement des individus obtenus entre eux donne : 49 plantes à fleur rouge ; 100 plantes à fleur rose ; 48 plantes à fleur blanche.

Interprétation :

La F1 est homogène donc la première loi de Mendel est vérifiée et les parents sont de race pure. Les hybrides de la F1 ont un caractère intermédiaire entre ceux des parents.

Il y a dominance intermédiaire entre les allèles rouge et blanc. Dans le cas de la codominance, les deux allèles peuvent êtres symbolisés par des lettres majuscules ou par des lettres minuscules. Choix des symboles : rouge : R ou r ; blancs : B ou b.

Calcul des proportions de la F2 : rouge : ¼ ; blanc : ¼ ; rose : ½. Ces proportions sont celles d'un monohybridisme avec codominance. Les proportions ¼ ; ¼ ; sont celles des phénotypes parentaux et la proportion ½ est celle des hybrides et du caractère intermédiaire.

Génotypes et phénotypes :

Parents : P1: $\frac{R}{R}$ ou $\frac{r}{r}$ x P2 : $\frac{B}{B}$ ou $\frac{b}{b}$

Gamètes des parents : P1 : r P2 : u

F1: $\frac{b}{r}$ [rb].

F1 x F1: $\frac{b}{r}$ x $\frac{b}{r}$

Gamètes de la F1 : r et b.

Génotypes et phénotypes de la F1.

Gamètes F1 / F1	r	b
r	$\frac{r}{r}$ [r]	$\frac{b}{r}$ [rb]
b	$\frac{b}{r}$ [rb]	$\frac{b}{b}$ [b]

$[rb] = \frac{1}{2}$; $[r] = \frac{1}{4}$; $[b] = 1/4$.

Les résultats théoriques sont conforment aux résultats expérimentaux.

Exemple 2 : on croise deux plantes, l'une à fruits jaunes et l'autre à fruits verts. On obtient des plantes à fruits jaunes rayés de verts. On effectue une autofécondation entre les plantes obtenues et on obtient : 29 plantes à fruits verts ; 60 plantes à fruits rouge rayés de vert et 30 plantes à fruits rouges.

Interprétation :

La F1 est homogène, première loi de Mendel est vérifiée, les parents sont de race pure. Les caractères parentaux sont apparus simultanément en F1 : donc il y a codominance entre les allèles rouge et vert. Rouge : R ; vert : V.

Calcul des proportions de la F2 : on a ¼ ; ½ ; ¼. Ces proportions sont celles d'un monohybridisme avec codominance.

Parents : P1 : $\frac{R}{R}$ x P2 : $\frac{V}{V}$

Gamètes des parents : P1 : R P2 : V

F1: $\frac{V}{R}$ [RV]

F1 x F1: $\frac{V}{R}$ x $\frac{V}{R}$

Gamètes de la F1 : R et V.

Gamètes F1 / F1	V	R
V	$\frac{V}{V}$ [V]	$\frac{R}{V}$ [RV]
R	$\frac{R}{V}$ [RV]	$\frac{R}{R}$ [R]

Proportions phénotypiques : $[V] = ¼$; $[R] = \frac{1}{4}$; $[RV] = \frac{1}{2}$. ces proportions sont conformes à celles obtenues expérimentalement.

c- Cas de gène létal.

Un gène létal est un gène mortel. Certains œufs portant un certains phénotypes ne survivent pas.
Il est caractérisé par des proportions 2/3 ; 1/3 (au lieu de ¾ ; ¼) car ¼ d'œufs ne sont pas viables.

2°) L'hérédité liée au sexe.

Dans le cas de l'hérédité liée au sexe les gènes sont portés par les chromosomes sexuels ou gonosomes. Chez les mammifères, les mâles sont hétérogamétiques et sont notés XY et les femelles sont homogamétiques et sont notées XX.

a- **Caractéristiques de l'hérédité liée au sexe.**

Elle est caractérisée par:
- Des croisements réciproques ;
- Une répartition des phénotypes suivant le sexe selon le sens de croisement en F1 ;
- Une hétérogénéité de la F1 obtenue à partir des parents de race pure.

NB : la dominance des allèles se fait dans le cas de l'hérédité liée au sexe à partir des femelles de la F1 qui est hétérogène. La localisation chromosomique se détermine à partir des mâles de cette F1 et le gène est toujours porté par le chromosome X.

b- **Exemple d'hérédité liée au sexe.**

On croise une drosophile mâle aux yeux blancs avec une drosophile femelle aux yeux rouges toutes de race pure. On obtient en des drosophiles aux yeux rouges. On croise une drosophile mâle aux yeux rouges avec une drosophile femelle aux yeux blancs toutes de race pure. On obtient des drosophiles femelles aux yeux rouges et des drosophiles mâles aux yeux blancs.

Interprétation :

La F1 du premier croisement est homogène ; donc la première loi de Mendel est vérifiée et les parents sont de race pure. L'allèle « rouge » domine l'allèle « blanc ». Choix des symboles : rouge : R ; blanc : b.

La F1 du deuxième croisement est hétérogène pourtant les parents sont de race pure ; donc le gène est porté par le chromosome X.

Génotypes.

Premier croisement :

Parents : $\frac{X}{Y}$ x $\frac{X}{X}$

Gamètes mâles : X ; Y. gamètes femelles : X.

F1 :

Gamètes mâle / femelle	X	Y
X	$\frac{X}{X}$ [R]	$\frac{X}{Y}$ [R]

Deuxième croisement :

Parents : $\frac{X}{Y}$ x $\frac{X}{X}$

Gamètes mâles : X ; Y. gamètes femelles : X.

F1 :

Gamètes mâle / femelle	X	Y
X	$\frac{X}{X}$ [R]	$\frac{X}{Y}$ [b]

Interprétation chromosomique de Morgan.

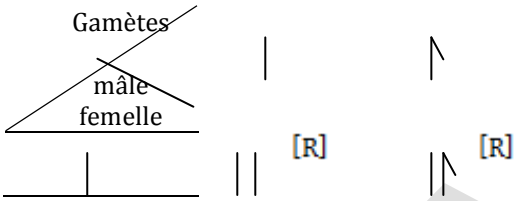
Premier croisement :

Parents : x

Gamètes mâles :

Gamètes femelles :

F1 :



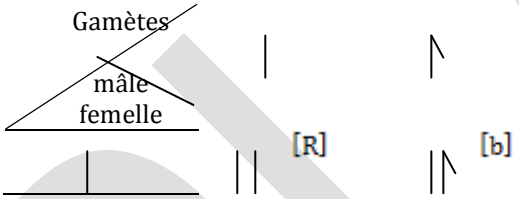
Deuxième croisement :

Parents : x

Gamètes mâles :

Gamète femelle :

F1 :



B- Le dihybridisme.

Le dihybridisme est l'étude de la transmission de deux ce couples de caractères.

Ces deux couples de caractères peuvent se présenter sous deux aspects :

- Ils peuvent être indépendants : c'est le dihybridisme à gènes indépendants.
- Ils peuvent être liés : c'est la liaison ou linkage.

A- Le dihybridisme à ségrégation indépendantes des couples d'allèles.

Il regroupe plusieurs cas parmi lesquels :

- L'un des allèles de chaque couple est dominant (double dominance absolue).
- L'un des allèles d'un couple est dominant et les deux allèles de l'autre couple sont codominants.
- Les deux couples d'allèles sont codominants.
- Un couple d'allèle est autosomal et l'autre couple d'allèle est lié au sexe.

1. Cas de double dominance.

a- Caractéristiques :

Il est caractérisé par :

- Une uniformité des hybrides de la F1 venant des parents de race pure.
- Des proportions phénotypiques : 9/16 ; 3/16 ; 3/16 ; 1/16 ; obtenues suite au croisement des individus de la F1 entre eux (F2).
- Des proportions phénotypiques : ¼ ; ¼ ; ¼ ; ¼ obtenues suite à un croisement entre un individu double hétérozygote et un parent double récessif homozygote (back- cross).

b- Exemple de dihybridisme à gènes indépendants.

On croise un lot de cobaye à pelage court et noir avec un lot de cobaye à pelage long et blanc. On obtient des cobayes à pelage court et noir. On croise les individus obtenus entre eux et on obtient une descendance comprenant : 1118 cobayes à pelage court et noir ; 374 cobayes à pelage court et blanc ; 128 cobayes à pelage long et blanc ; 376 cobayes à pelage long et noir.

Interprétation :

La F1 du premier croisement est homogène. Donc la première loi de Mendel est vérifiée et les parents sont de race pure. Les allèles « court » et « noir » dominent respectivement les allèles « long » et « blanc ».

Choix des symboles : court : C ; noir : N ; long : l ; blanc : b.

Calcul des proportions du deuxième croisement : [CN] : $\frac{1118}{126} = 9$. [Cb] : $\frac{374}{126} = 3$ [l N] : $\frac{376}{126} = 3$ [l b] : $\frac{126}{126} = 1$

Ces proportions 9/16 ; 3/16 ; 3/16 ; 1/16 sont celles d'un dihybridisme à gènes indépendants et liés aux autosomes.

Génotypes :

Parents : P1 : $\frac{C}{C}\ \frac{N}{N}$ x $P2$: $\frac{l}{l}\ \frac{b}{b}$

Gamètes des parents : P1 : C N ; P2 : l b
Génotype et phénotype de la F1 :

Gamètes P1 \ P2	C N
l b	$\frac{C}{l}\ \frac{N}{b}$ [C N]

F1 x F1: $\frac{C}{l}\ \frac{N}{b}$ x $\frac{C}{l}\ \frac{N}{b}$
Gamètes de la F1 : C N ; C b ; l N et l b.
Génotypes et phénotypes de la F2 :

Gamètes F1 \ F1	C N	C b	l N	l b
C N	$\frac{C}{C}\ \frac{N}{N}$ [C N]	$\frac{C}{C}\ \frac{N}{b}$ [C N]	$\frac{C}{l}\ \frac{N}{N}$ [C N]	$\frac{C}{l}\ \frac{N}{b}$ [C N]
C b	$\frac{C}{C}\ \frac{N}{b}$ [C N]	$\frac{C}{C}\ \frac{b}{b}$ [C b]	$\frac{C}{l}\ \frac{N}{b}$ [C N]	$\frac{C}{l}\ \frac{b}{b}$ [C b]
l N	$\frac{C}{l}\ \frac{N}{N}$ [C N]	$\frac{C}{l}\ \frac{N}{b}$ [C N]	$\frac{l}{l}\ \frac{N}{N}$ [l N]	$\frac{l}{l}\ \frac{N}{b}$ [l N]
l b	$\frac{C}{l}\ \frac{N}{b}$ [C N]	$\frac{C}{l}\ \frac{b}{b}$ [C b]	$\frac{l}{l}\ \frac{N}{b}$ [l N]	$\frac{l}{l}\ \frac{b}{b}$ [l b]

[C N] : 9/16 ; [C b] : 3/16 ; [l N] : 3/16 ; [l b] : 1/16. Ces proportions théoriques sont conformes aux proportions expérimentales.
Remarques : il apparait en F2, quatre phénotypes dont deux parentaux [C N] ; [l b] et deux recombinés [Cb] et [l N].
Les individus doubles homozygotes sont situés sur l'une des diagonales de l'échiquier.

c- La troisième loi de Mendel.

C'est la loi de disjonction indépendante des couples d'allèles lors de la formation des gamètes. Elle est encore appelée la loi de ségrégation indépendante des couples d'allèles.

d- Le test- cross en dihybridisme.

C'est le croisement entre un individu de génotype inconnu avec un parent double homozygote.

- Si les résultats du test- cross donnent 100% d'un phénotype ; alors l'individu testé est homozygote.
- Si les résultats du test-cross donnent : ¼ ; ¼ ; ¼ ; ¼ (25% ; 25% ; 25% ; 25%) alors l'individu testé est hétérozygote.

e- Interprétation chromosomique de Morgan.

Morgan admet que les deux couples d'allèles sont portés par deux paires de chromosomes différents.

Génotypes des parents : P1 : P2 :

Gamètes produits par les parents : P1 : P2 :
Génotype et phénotype de la F1 :

Gamètes P1 \ P2	

F1 x F1 :

Gamètes de la F1 :
Génotypes et phénotypes de la F2 :

Gamètes de F1 \ Gmètes de F1	C | |N	I | |b	C | |b	I | |N
C | |N	C | C N | |N [C N]	C | I N | |b [C N]	C | C N | |b [C N]	C | I N | |N [C N]
I | |b	C | I N | |b [C N]	I | I b | |b [I b]	C | I b | |b [C b]	I | I N | |b [I N]
C | |b	C | C N | |b [C N]	C | I b | |b [C b]	C | C b | |b [C b]	C | I N | |b [C N]
I | |N	C | I N | |N [C N]	I | I N | |b [I N]	C | I N | |b [C N]	I | I N | |N [I N]

Les résultats de Morgan sont conformes à ceux de Mendel.

2. Cas où l'un des allèles d'un couple est dominant et les deux allèles de l'autre couple sont codominants.

a- Caractéristiques.

Il est caractérisé par :

- Une homogénéité des individus de la F1 venant des parents de race pure.
- Des proportions phénotypiques : ¼ ; ¼ ; ¼ ; ¼ provenant du test-cross effectué entre un parent double homozygote récessif et u double hétérozygote.

b- Exemple.

Il existe deux variétés de cacaoyer :

- SCA6 qui est résistante à la maladie appelée « balai de sorcière » mais à petites graines.
- ICS6 qui est sensible à la maladie mais à grosses graines.

On croise des variétés ICS6 avec des variétés SCA6 toutes de race pure. On obtient des hybrides H résistants à la maladie et à graines moyennes.

On croise les individus H obtenus avec les variétés ICS6 et on obtient :

- 25% de plantes résistantes à la maladie à graines moyennes.
- 25% de plantes résistantes à la maladie à grosses graines.
- 25% de plantes sensibles à la maladie à graines moyennes.
- 25% de plantes sensibles à la maladie à grosses graines.

a- Interpréter ces résultats.

b- Que donnerait comme résultats le croisement HXH ?

Solution

a- Interprétation

Les individus H issus du premier croisement sont homogènes. La première loi de Mendel est vérifiée et les parents sont de race pure.

L'allèle « résistant » domine l'allèle « sensible ». les allèles « petite » et « grosse » sont codominants.

Choix des symboles : résistants : R sensibles : s Petites : p (ou P) grosses g (ou G).

Les résultats du deuxième croisement donnent ¼ x 4 qui sont ceux du test-cross d'un dihybridisme à gènes indépendants et liés aux autosomes.

Echiquiers de croisements :

- Premier croisement.

Parents : P1 : $\frac{R}{R}\frac{P}{P}$ x P2 : $\frac{s}{s}\frac{G}{G}$

Gamètes : P1 : $\underline{R}\,\underline{P}$ P2 : $\underline{s}\ \underline{\boldsymbol{G}}$

F1 :

P1 Ъ \ P2 ЪР	$\underline{R}\,\underline{P}$
$\underline{s}\ \underline{\boldsymbol{G}}$	$\frac{R}{s}\frac{P}{G}$

- Deuxième croisement : F1 x P2 : $\frac{R}{S}\frac{P}{G}$ x $\frac{s}{S}\frac{G}{G}$

Gamètes de F1 : *RP ; RG ; sP ; sG.*

Gamète de P2 : *sG.*

Ъ F1 / Ъ P2	*RP*	*RG*	*sP*	*sG*
sG	$\frac{R\ P}{s\ G}$	$\frac{R\ G}{s\ G}$	$\frac{s\ P}{s\ G}$	$\frac{s\ G}{s\ G}$

[RG] : ¼ ; [s, PG] : ¼ ; [R, PG] : ¼ ; [s, G] : ¼.
Les résultats statistiques théoriques sont conformes aux résultats expérimentaux.
b- Résultats du croisement F1 x F1.

$\frac{R\ P}{s\ G}$ x $\frac{R\ P}{s\ G}$

Gamètes de la F1 : *RP ; RG ; sP ; sG.*
Echiquier de croisement :

Ъ F1 / Ъ F1	*RP*	*RG*	*sP*	*sG*
RP	$\frac{R\ P}{R\ P}$	$\frac{R\ G}{R\ G}$	$\frac{R\ P}{s\ G}$	$\frac{R\ P}{s\ G}$
RG	$\frac{R\ P}{R\ G}$	$\frac{R\ G}{R\ G}$	$\frac{R\ P}{s\ G}$	$\frac{R\ G}{s\ G}$
sP	$\frac{R\ P}{s\ P}$	$\frac{R\ P}{s\ G}$	$\frac{s\ P}{s\ P}$	$\frac{s\ P}{s\ G}$
sG	$\frac{R\ P}{s\ G}$	$\frac{R\ G}{s\ G}$	$\frac{s\ P}{s\ G}$	$\frac{s\ G}{s\ G}$

3. Cas de codominance entre les deux couples d'allèles.
a- Caractéristiques.
Il est caractérisé par :
- Une uniformité de la F1 venant des parents de race pure.
- Une apparition des phénotypes intermédiaires en F1.
- Des proportions phénotypiques : 1/16 ; 2/16 ; 1/16 ; 2/16 ; 4/16 ; 2/16 obtenus en F1 x F1.
- Des proportions phénotypiques ¼ ; ½ ; ¼ obtenus en F1 pour chaque couple d'allèles.

b- Exemple.
On croise deux variétés de pois de race pure différentes par la couleur et la forme des fruits. Les hybrides de la F1 croisés entre eux donne en F2 :
- 19 plants à fruits blancs et longs ;
- 38 plants à fruits blancs et ovales
- 20 plants à fruits blancs et ronds
- 40 plants à fruits violets et longs
- 82 plants à fruits violets et ovales
- 38 plants à fruits violets et ronds
- 21 plants à fruits jaunes et longs
- 38 plants à fruits jaunes et ovales
- 19 plants à fruits jaunes et ronds

1. Quels étaient les caractères des parents ? Justifier la réponse.
2. Donner les génotypes et les phénotypes des hybrides de la F1 ainsi que es génotypes des individus de la F2.
3. Vérifier les résultats de la F2 à l'aide d'un échiquier de croisement.

Réponses
1. Etude des gènes séparément.
- Gène couleur des fruits.

[blanc] = $\frac{19+38+20}{315}\ x\ 100 = 25\%$. [violet] = $\frac{40+82+38}{315}\ X\ 100 = 50\%$ [jaune] = $\frac{21+38+19}{315}\ X\ 100 = 25\%$

Ces proportions phénotypiques sont celles d'un monohybridisme avec et à gène autosomal. Il existe donc une codominance entre les allèles « blancs » et «jaunes ».
Choix des symboles : blancs : B ou b ; jaune : J ou j.
- Gène aspect des formes.

[Long] = $\frac{19+40+21}{315}\ x\ 100 = 25\%$ [ovale] = $\frac{38+82+38}{315}$ x 100 = 50% [rond] = $\frac{20+38+19}{315}\ x\ 100 = 25\%$.

Ces proportions phénotypiques sont celles d'un monohybridisme avec et à gène autosomal. Il y a donc une codominance entre es allèles « long » et « rond ».
Choix des symboles : long : L ou l; Rond : R ou r.
Les deux résultats montrent que les deux gènes sont indépendants.
- Génotypes des parents : P1 : $\frac{B\ L}{B\ L}$ x $\frac{J\ R}{J\ R}$
- Phénotypes des parents : P1 : [BL] P2 : [JR].

2. Génotypes et phénotypes des individus de la F1.

F1 : $\frac{B\ L}{J\ R}$ [violet, ovale].

3. Vérification des résultats de la F2.

F1 x F1 : $\frac{B\,L}{J\,R}$ x $\frac{B\,L}{J\,R}$

Gamètes de la F1 : BL ; BR ; JL ; JR.

Ъ F1 ♂	BL	BR	JL	JR
BL	$\frac{B\,L}{B\,L}$	$\frac{B\,R}{B\,L}$	$\frac{B\,L}{J\,L}$	$\frac{B\,R}{J\,L}$
BR	$\frac{B\,R}{B\,L}$	$\frac{B\,R}{B\,R}$	$\frac{B\,R}{J\,L}$	$\frac{B\,R}{J\,R}$
JL	$\frac{B\,L}{J\,L}$	$\frac{B\,R}{J\,L}$	$\frac{J\,L}{J\,L}$	$\frac{J\,R}{J\,L}$
JR	$\frac{B\,R}{J\,L}$	$\frac{B\,R}{J\,R}$	$\frac{J\,R}{J\,L}$	$\frac{J\,R}{J\,R}$

4. Cas d'un couple d'allèle autosomal et l'autre couple d'allèle gonosomal.

a- Caractéristiques.

Une homogénéité de la F1 pour le couple d'allèle autosomal et une hétérogénéité de la même F1 pour le couple d'allèle lié au sexe.

b- Exemple.

On croise une drosophile mâle au corps gris et aux yeux rouges avec une drosophile femelle au corps noir et aux yeux blancs toutes de race pure. On obtient en F1 des drosophiles aux corps gris mais les mâles ont les yeux blancs et les femelles ont les yeux rouges.

On croise une drosophile femelle au corps gris et aux yeux rouges avec une drosophile mâle aux corps noir et aux yeux blancs toutes de race pure. On obtient des drosophiles au corps gris et aux yeux rouges.

Interprétation.

Etude des deux gènes séparément.

- Gène couleur du corps.

La F1 est homogène pour les deux croisements. La première loi de Mendel est vérifiée pour chaque croisement et les parents sont de race pure. De plus, l'allèle « gris » domine l'allèle « noir ». gris : G, noir : n. Comme la F1 est homogène, le gène couleur du corps est autosomal.

- Gène couleur des yeux.

La F1 du premier croisement test hétérogène pourtant les parents sont de race pure. Le gène couleur des yeux est donc porté par le gonosome X.

La F1 du deuxième croisement est homogène montre que l'allèle « rouge » domine l'allèle « blanc ».

Rouge : R, blanc : b.

Premier croisement :

Mâle : $\frac{G}{G}\frac{X^R}{Y}$ x $\frac{n}{n}\frac{X^b}{X^b}$ femelle.

Gamètes mâles : G Y ; G X^R. gamètes femelles : n X^b.

γ mâle / γ femelle	G Y	G X^R
n X^b	$\frac{G}{n}\frac{X^b}{Y}$ [G b]	$\frac{G}{n}\frac{X^R}{X^b}$ [G R]

Deuxième croisement.

Mâle : $\frac{n}{n}\frac{X^b}{Y}$ x $\frac{G}{G}\frac{X^R}{X^R}$ femelle.

Gamètes mâles : n Y ; n X^b Gamète femelle : G X^R

γ mâle / γ femelle	n Y	G X^b
G X^R	$\frac{G}{n}\frac{X^R}{Y}$ [G R]	$\frac{G}{n}\frac{X^R}{X^b}$ [G R]

B- Le dihybridisme avec liaison génétique (linkage).

La liaison génétique est un dihybridisme non conforme à la troisième loi de Mendel. Il existe deux types de liaisons génétiques : liaison absolue et liaison partielle avec crossing - over.

1. La liaison absolue.

a- Caractéristiques.

- Une uniformité de la F1 venant des parents de race pure.

- Des proportions phénotypiques ¾ ; ¼ (proportions du monohybridisme) en F1 x F1 dans le cas d'une double dominance.
- Des proportions phénotypiques : ¼ ; ½ ; ¼ ; en F1 x F1 dans le cas d'une codominance.
- Des proportions phénotypiques : ½ ; ½ obtenues en test-cross.

b- Exemple de liaison absolue.

On croise deux drosophiles de race pure, l'une aux ailes longues et au corps ris, l'autre aux ailes vestigiales et au corps noir. On obtient des drosophiles aux ailes longues et au corps gris.

Lorsqu'on croise une drosophile mâle obtenue à l'issu du croisement précédent avec une drosophile femelle aux ailes vestigiales et au corps noir, on obtient :

- 351 drosophiles aux ailes longues et au corps gris ;
- 349 drosophiles aux ailes vestigiales et au corps noir.

Interprétation.

La F1 du premier croisement est homogène. La première loi de Mendel est vérifiée et les parents sont de race pure. Les allèles « long » et « gris » dominent respectivement les allèles « vestigiale » et « noir ».

Choix des symboles : long : L ; gris : G ; vestigiale : v ; noir : n

Calcul des proportions de la F2.

$[LG] = \frac{351}{351+349} = 1/2$ ou 50% $[v\ n] = \frac{349}{351+349} = 1/2$ ou 50%.

Ces proportions sont celles d'un monohybridisme avec dominance absolue alors qu'on est en dihybridisme : les deux couples d'allèles sont absolument liés : c'est le linkage absolu.

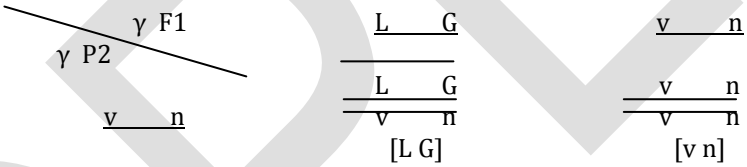
Génotypes des parents :

P1 : $\frac{L\ \ G}{L\ \ G}$ x P2 : $\frac{v\ \ n}{v\ \ n}$

Gamètes des parents : P1 : L G P2 : v n

Génotypes et phénotypes de la F1 : $\frac{L\ \ G}{v\ \ n}$ [L G]

F1 x P2 : $\frac{L\ \ G}{v\ \ n}$ x $\frac{v\ \ n}{v\ \ n}$ Gamètes de F1 : L G ; v n Gamètes de P2 : v n .



[L G] = 50% ; [v n] = 50%

2. Liaison partielle avec crossing-over.

a- Caractères.

Elle est caractérisée par quatre phénotypes obtenus à partir d'un test-cross. Ces quatre phénotypes sont en proportion phénotypiques égaux deux à deux dont deux phénotypes parentaux et deux phénotypes recombinés. Les phénotypes parentaux sont en proportion plus élevés et les phénotypes des recombinés sont en proportion plus faibles.

b- Exemple de liaison partielle avec crossing-over.

On croise des moustiques de race pure l'un à corps gris et œil prune et l'autre à corps noir et œil clair. On obtient des moustiques à corps gris et œil prune. Lorsque les femelles issues du croisement précédent sont croisées avec des mâles à corps noir et œil clair, on obtient une génération composée comme suit :

- 698 moustiques à corps gris et œil prune ;
- 290 moustiques à corps gris et œil clair ;
- 712 moustiques à corps noir et œil claire ;
- 282 moustiques à corps noir et œil prune.

Interprétation.

La F1 du premier croisement est homogène, la première loi de Mendel est vérifiée et les parents sont de race pure. Les allèles « gris » et « prune » dominent respectivement les allèles « noir » et « clair ».

Choix des symboles : gris :G ; prune : P ; noir : n ; clair : c.

Analyse des résultats du deuxième croisement :

Le deuxième croisement est un test-cross et donne quatre phénotypes en proportions égales deux à deux dont deux phénotypes parentaux (gis prune et noir clair) et deux phénotypes recombinés (gris clair et noir prune). Les deux gènes couleur du corps et couleur des yeux sont partiellement liés : c'est la liaison partielle avec crossing-over chez la femelle de la F1.

CDLA

Premier croisement

Génotypes des parents : P1 : $\frac{G\quad P}{G\quad P}$ x P2 : $\frac{n\quad c}{n\quad c}$

Gamètes des parents : P1 : G P P2 : n c

Génotype et phénotype de la F1 : $\frac{G\quad P}{n\quad c}$ [GP]

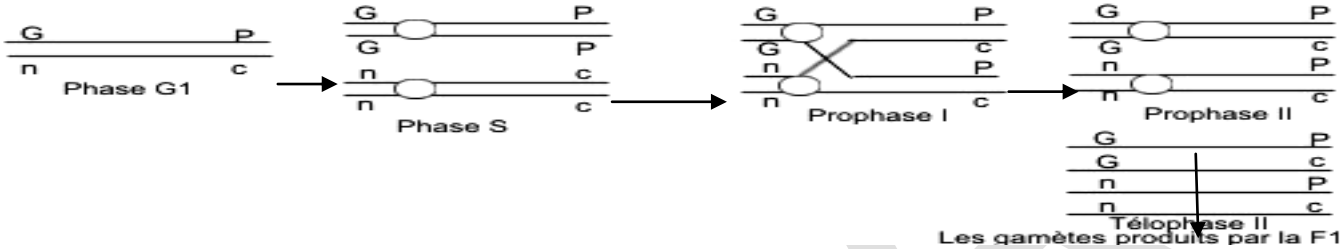
Deuxième croisement.

F1 x P2. $\frac{G\quad P}{n\quad c}$ X $\frac{n\quad c}{n\quad c}$

Gamète de P2 : n c

Les gamètes des individus de la F1 sont obtenus grâce au phénomène de crossing-over.

Schématisation du comportement des chromosomes des individus de la F1 lors de la méiose :



Echiquier de croisement :

γ F1 / γ P2	G P	G c	n P	n c
n c	$\frac{G\quad P}{n\quad c}$ [G P]	$\frac{G\quad c}{n\quad c}$ [G c]	$\frac{n\quad P}{n\quad c}$ [n P]	$\frac{n\quad c}{n\quad c}$ [n c]

Calcul du pourcentage de recombinaison ou taux de recombinaison :

$P = \frac{Nombre\ d'individus\ recombinés}{Nombre\ total\ d'individus} \times 100$ $P = \frac{290+282}{290+282+712+698} \times 100$ P = 28,85%.

Calcul du pourcentage des gamètes produits par les individus de la F1.

G P : $\frac{1-P}{2}$ n c : $\frac{1-P}{2}$ G c : $\frac{P}{2}$ n P : $\frac{P}{2}$.

3. La carte factorielle.

La carte factorielle est la position de deux ou plusieurs gènes sur un même chromosome.

Pour établir une carte factorielle entre deux gènes, on calcule le pourcentage de recombinaison entre ces deux gènes. Ce pourcentage de recombinaison correspond à la distance qui sépare ces deux gènes. La distance entre deux gènes est exprimée en Centimorgan (cM). 1% = 1cM.

Pour établir une carte factorielle entre trois gènes a, b et c, situés sur un même chromosome, on calcule les pourcentages de recombinaison entre ces gènes deux à deux (ab), (ac), (bc).

Si ac ≥ ab + bc alors b est compris entre a et c.

Si ac < ab + bc alors c est compris entre a et b.

Exemple de carte factorielle.

Considérons les deux gènes : couleur du corps et couleur des yeux étudiés dans le cadre d'un exemple de liaison partielle avec crossing-over. Le pourcentage de recombinaison entre les deux est : P = 28,85%. Ce pourcentage correspond à la distance qui sépare ces deux gènes. La carte factorielle est donc : G P

28,85cM

III- Quelques cas particuliers d'hérédités.

Il s'agit de la pléiotropie et de la polygénie.

A- La pléiotropie.

La pléiotropie est un processus par le quel un gène gouverne plusieurs caractères.

Exemple de pléiotropie.

On croise deux races pures de pois l'une à fleur rouge et étendard dressé, l'autre à fleur bleue étendard enroulé. On obtient des pois des pois à fleur bleue et étendard dressé. Lorsqu'on croise les pois de a F1 entre eux, on obtient :

- 160 pois à fleur bleue étendard enroulé
- 317 pois à fleur bleue étendard dressé
- 153 pois à fleur rouge étendard dressé.

Interprétation.

La F1 du premier croisement est homogène, la première loi de Mendel est vérifiée et les parents sont de race pure.

Calcul des proportions de la F2 :

[bleu enroulé] = $\frac{160}{153} = 1\ soit\ 1/4$ [bleu dressé] = $\frac{153}{153} = 1\ soit\ 1/4$ [rouge dressé] = $\frac{317}{153} = 2\ soit\ 1/2$

Les proportions de la F2 sont celles d'un monohybridisme avec codominance alors que cette codominance n'est pas révélée par les résultats du premier croisement. Les deux caractères sont donc gouvernés par un seul gène.

Soient A l'allèle qui gouverne les caractères fleur rouge étendard dressé (dominant) et B, l'allèle qui gouverne les caractères fleur bleue étendard enroulé (récessif).

Génotypes des parents : P1 : $\frac{A}{A}$ x P2 : $\frac{B}{B}$

Génotype et phénotype de la F1 : $\frac{A}{B}$ [A B].

Echiquier de croisement de la F2 :

Gamètes de F1 / Gamètes de F1	A	B
A	$\frac{A}{A}$ [A]	$\frac{A}{B}$ [AB]
B	$\frac{A}{B}$ [AB]	$\frac{B}{B}$ [B]

[A] = ¼ [B] = ¼ [AB] = ½ . ces résultats théoriques sont conformes aux résultats expérimentaux.

B- La polygénie.

La polygénie est un processus par lequel plusieurs gènes gouvernent un seul caractère.

Exemple :

On croise deux races pures de volaille, l'une à crête en rose et l'autre à crête en pois. On obtient des volailles à crêtes en noix. Le croisement des individus obtenus entre eux donne :

- 3057 volailles à crête en noix
- 1021 volailles à crête en pois
- 1012 volailles à crête en rose
- 341 volailles à crête simple.

Interprétation.

Les individus issus du premier croisement sont homogènes, la première loi de Mendel est vérifiée et les parents sont de race pure.

Calcul des proportions des résultats du deuxième croisement :

[noix] = $\frac{3057}{341} = 1\ soit\ 9/16$ [pois] = $\frac{1021}{341} = 1\ soit\ 3/16$ [rose] = $\frac{1012}{341} = 1\ soit\ 3/16$ [simple] = $\frac{341}{341} = 1\ soit\ 1/16$.

Les proportions obtenues sont celles d'un dihybridisme avec dominance absolue et à gènes indépendants alors qu'il s'agit d'un seul caractère. Les deux gènes sont donc gouvernés par un seul caractère : c'est la polygénie.

Soit le caractère « pois » gouverné par les allèles *P* dominant et p récessif. Soit le caractère rose gouverné par les allèles R dominant et *r* récessif.

Génotypes des parents : P1 : $\frac{R}{R}\frac{p}{p}$ x P2 : $\frac{r}{r}\frac{P}{P}$

Gamètes des parents : P1 : *R p* P2 : *r P*

Génotype et phénotype de la F1 : $\frac{R}{r}\frac{P}{p}$ [R P] ou [noix].

Génotypes et phénotypes des individus du deuxième croisement.

F1 x F1 : $\frac{R}{r}\frac{P}{p}$ x $\frac{R}{r}\frac{P}{p}$

Gamètes de la F1 : *RP ; Rp ; rP ; rp*.

Gamètes de F1 / Gamètes de F1	*RP*	*Rp*	*rP*	*rp*
RP	$\frac{R}{R}\frac{P}{P}$ [noix]	$\frac{R}{R}\frac{P}{p}$ [noix]	$\frac{R}{r}\frac{P}{P}$ [noix]	$\frac{R}{r}\frac{P}{p}$ [noix]
Rp	$\frac{R}{R}\frac{P}{p}$ [noix]	$\frac{R}{R}\frac{p}{p}$ [rose]	$\frac{R}{r}\frac{P}{p}$ [noix]	$\frac{R}{r}\frac{p}{p}$ [rose]
rP	$\frac{R}{r}\frac{P}{P}$ [noix]	$\frac{R}{r}\frac{P}{p}$ [noix]	$\frac{r}{r}\frac{P}{P}$ [pois]	$\frac{r}{r}\frac{P}{p}$ [pois]
rp	$\frac{R}{r}\frac{P}{p}$ [noix]	$\frac{R}{r}\frac{p}{p}$ [rose]	$\frac{r}{r}\frac{P}{p}$ [pois]	$\frac{r}{r}\frac{p}{p}$ [simple]

L'HEREDITE HUMAINE

Les objectifs pédagogiques.

A la fin de ce cours, l'élève doit être capable de :

1- *Reproduire les symboles utilisés pour réaliser les pédigrées*
2- *Connaître les méthodes d'analyse des pédigrées*
3- *Reproduire un pédigrée à partir d'un texte génétique.*
4- *Connaître les anomalies chromosomiques et leurs origines.*

L'hérédité humaine est l'étude de la transmission des caractères héréditaires dans l'espèce humaine.
Cette étude est difficile à réaliser pour plusieurs raisons :

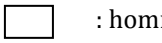
- Les croisements sont impossibles.
- L'équipement chromosomique de l'Homme est très élevé (46 chromosomes).
- Un faible taux de fécondité.
- Les tares et les malformations sont souvent cachées.

L'étude de l'hérédité humaine est basée sur la recherche dans les familles, la transmission des anomalies sur plusieurs générations. Ces recherches permettront d'établir pour chaque anomalie un schéma appelé l'arbre généalogique ou pédigrée.

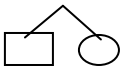
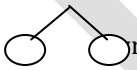
I- Le pédigrée.

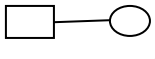
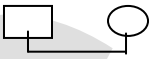
1°) Les symboles du pédigrée.

Pour établir un arbre généalogique, on utilise des symboles conventionnels qui sont :

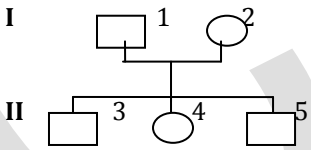

: homme sain  : femme saine  homme malade  femme malade.


Mort à la naissance.


Faux jumeaux  vrais jumeaux  raies jumelles.


Ou  mariage.  ariage consanguin.

Exemple de pédigrée :



Un arbre généalogique comporte plusieurs générations notées I ; II ; III etc. les individus de chaque génération porte des numéros spécifiques. Les individus issus de mêmes parents sont des fratries.

2°) Méthodes d'analyse et de réalisation d'un pédigrée.

Pour analyser un pédigrée, on procède comme suit :

- On recherche la dominance ou la récessivité de l'allèle responsable de la maladie ;

- Récessivité de l'allèle : si un ou des couples apparemment sains donnent dans leur descendance un ou des enfants malades ; ou si un ou des couples malades (ou l'un des couples) donnent des enfants sains, alors on conclut que l'allèle responsable de la maladie est récessif.
- Dominance de l'allèle : si chaque enfant malade à au moins un des parents malade, alors on conclut que l'allèle responsable de la maladie est dominant.

- On cherche la localisation chromosomique du gène responsable de la maladie.

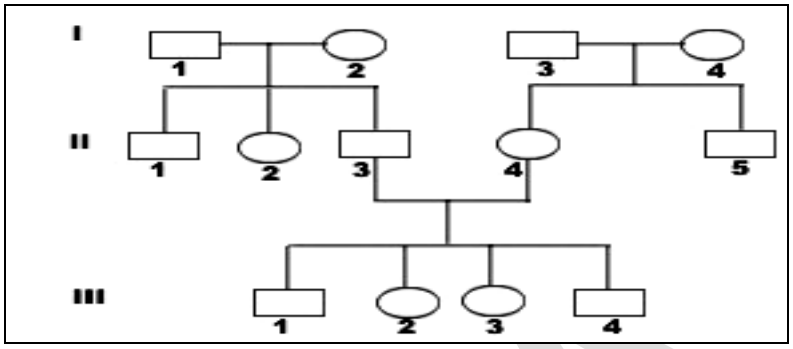
- **On vérifie d'abord si le gène est porté par le gonosome Y :** Si le gène est porté par le chromosome Y, chaque garçon malade a obligatoirement son père malade et chaque garçon sain a obligatoirement son père sain. De plus, la maladie n'apparait que chez les garçons.
- **On vérifie ensuite si le gène est porté par le chromosome X :** si le gène est porté par le chromosome X, la maladie atteint aussi bien les hommes que les femmes ou la maladie atteint spécialement un sexe donné. Dans ce cas, on suppose que le gène est porté par le chromosome X, on attribue des génotypes possibles à tous les couples et vérifie leurs descendances.
- Si le gène n'est pas porté par un gonosome, alors on déduit que le gène est porté par les autosomes.

II- Quelques cas d'hérédité autosomale.

A- Cas de dominance : l'albinisme.

L'albinisme est une maladie héréditaire due à une absence de synthèse de la mélanine qui est à l'origine de la pigmentation de la peau.

1°) L'arbre généalogique.



2°) Analyse du pédigrée.

Dominance : Le couple II3 et II4 sain donne des enfants III1 et III3 albinos. Donc l'allèle de l'albinisme est récessif.

Localisation du gène :

- L'albinisme atteint aussi bien les garçons que les filles : donc le gène de l'albinisme n'est pas porté par le gonosome Y.
- Si le gène de l'albinisme était porté par le gonosome X, la fille III3 ne serait pas albinos. Or elle l'est : donc le gène de l'albinisme n'est pas porté par le gonosome X.
- Comme le gène n'est pas porté par les gonosomes, alors le gène de l'albinisme est porté par les autosomes.

Choix de symboles : soient A, l'allèle normal et a, l'allèle de l'albinisme.

Génotypes :

I1; I4; II4; II1; II2: $\frac{A}{a}$ *ou* $\frac{A}{A}$ I2; I3; II3: $\frac{A}{a}$

B- Cas de codominance.

1°) La drépanocytose.

La drépanocytose ou anémie falciforme est une maladie héréditaire caractérisée par la présence dans le sang des hématies en forme de faucilles ou en forme de croissant de lune. Ces hématies anormales sont notées HbS par rapport aux hématies normales qui sont notées HbA. La synthèse de l'hémoglobine HbA est gouvernée par l'allèle A et celle de HbS est gouvernée par l'allèle S. il y a codominance entre les allèles A et S.

	Génotypes
Homozygote sain	$\frac{A}{A}$
Homozygote drépanocytaire	$\frac{a}{a}$
Hétérozygote drépanocytaire	$\frac{A}{a}$

2°) Les groupes sanguins.

Elles regroupent le système ABO et le facteur rhésus.

a- Le système ABO.

Le système ABO est défini par trois gènes : A ; B et O. ces trois gènes permettent l'apparition de quatre groupes sanguins : A ; B ; AB et O. chaque groupe sanguin est déterminé par la présence ou non sur la membrane des hématies d'une protéine spécifique appelée agglutinogène ou antigène. Il existe deux types d'antigènes : A et B. ces deux antigènes peuvent être présents individuellement ou simultanément ou absents à la surface des hématies. Si l'antigène A est présent à la surface d'une hématie d'un individu, cet individu est du groupe A. Si l'antigène B est présent à la surface d'une hématie d'un individu, cet individu est du groupe B. Si les antigènes A et B sont présents à la surface d'une hématie d'un individu, cet individu est du groupe AB. Si aucune antigène n'est présent sur la surface des hématies, l'individu est du groupe O.

Dans le plasma, on trouve une autre protéine spécifique appelée agglutinine ou antigène. Il existe deux types d'antigènes : anti A et anti B. si un antigène A entre en contact avec un anticorps anti A, il se produit une agglutination des hématies. Il en est de même entre l'antigène B et l'anticorps anti B.

CPLA

Groupes sanguins	Agglutinogène ou Antigènes (hématies)	Agglutinine ou anticorps (plasma)
A	A ◯	Anti B
B	B ◯	Anti A
AB	AB ◯	Néant
O	O ◯	Anti A et anti B

A partir de ce tableau, on réalise le schéma de possibilité de transfusion sanguine comme suit :

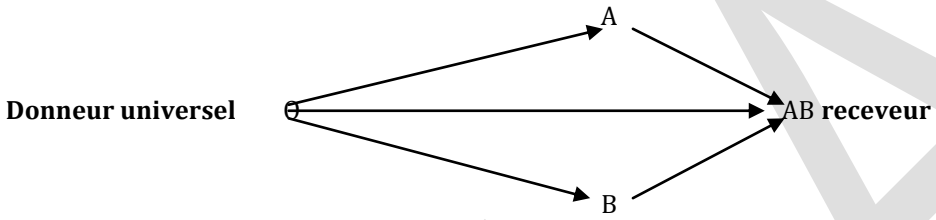
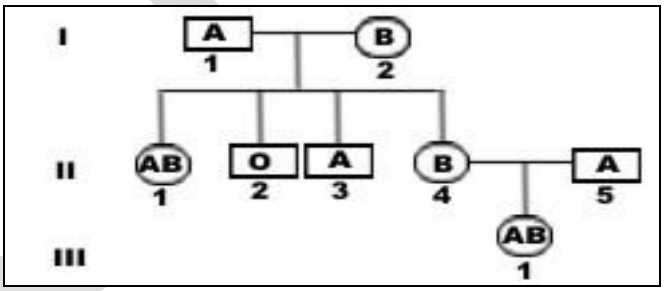


Schéma de transfusion sanguine.

L'allèle A contrôle la synthèse de l'antigène A. l'allèle B contrôle la synthèse de l'antigène B. l'allèle O ne gouverne aucune synthèse et est dit l'allèle amorphe. Il y a codominance entre les allèles A et B mais ces deux allèles dominent l'allèle O. On a les génotypes possibles et certains suivants :

Groupes sanguins	A	B	AB	O
Homozygotes	$\frac{A}{A}$	$\frac{B}{B}$	Néant	$\frac{O}{O}$
Hétérozygotes	$\frac{A}{O}$	$\frac{B}{O}$	$\frac{A}{B}$	Néant

Exercice 1 : On donne le pédigrée portant le groupe sanguin d'une famille.



Analyser ce pédigrée et donner les génotypes des membres de cette famille.
Solution :
Analyse : Le couple I_1 ; I_2 donne un enfant II_1 du groupe AB ; donc il y a codominance entre les allèles A et B. le même couple donne un enfant II_2 du groupe O ($\frac{O}{O}$). Cet enfant a reçu un allèle venant de son père et un allèle O venant de sa mère. Donc les parent sont hétérozygotes pour le système A B O.
Le gène du système A B O n'est pas porté par le gonosome Y car il existe aussi bien chez les filles que les garçons. S'il était porté par le chromosome X, le garçon II2 ne serait pas du groupe O, or il l'est : donc le gène n'est pas porté par le chromosome X.
Comme le gène n'est pas porté par les gonosome, alors, il est porté par les autosomes.
Génotypes des membres de la famille : I_1 et II_3 : $\frac{A}{O}$ I_2 et II4 : $\frac{B}{O}$ II_1 et II_1 : $\frac{A}{B}$ II_2 : $\frac{O}{O}$ II_5 : $\frac{A}{O}$ ou $\frac{A}{A}$.

Exercice 2 : monsieur X pense que son enfant Y n'est pas de lui et qu'il aurait été échangé à la maternité avec l'enfant Z attribué à monsieur W. un examen de sang a été effectué et on constate que : Monsieur X est du groupe AB,

sa femme du groupe B et l'enfant Y est du groupe O. monsieur W est du groupe B, sa femme du groupe O et l'enfant Z du groupe AB.
Pensez- vous que Monsieur X a raison ? Expliquez.

b- Les facteurs Rhésus.

a_1 : Caractéristiques.

Il est caractérisé par la présence d'une protéine spécifique sur la membrane des hématies. Si cette protéine est présente, l'individu est du rhésus positif et est noté Rh+ ou +. Si elle est absente, l'individu est du rhésus négatif, noté Rh- ou -. L'allèle + domine l'allèle -.
Les génotypes possibles sont :

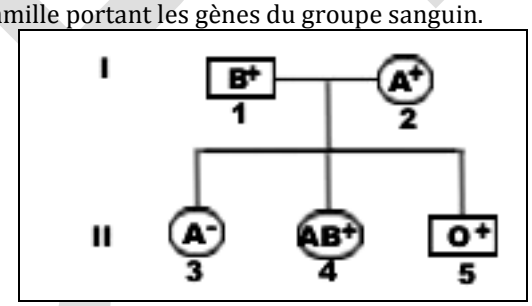
	Rh+	Rh-
Homozygotes	$\frac{Rh+}{Rh+}$	$\frac{Rh-}{Rh-}$
Hétérozygotes	$\frac{Rh+}{Rh-}$	N'existe pas

a_2 : Conséquences des facteurs Rhésus dans le mariage.

Si on introduit des hématies Rh+ dans le sang d'un individu Rh-, ce dernier élabore un anticorps anti-Rh+, ce qui entraine une agglutination des hématies Rh+. Ce phénomène entraine des conséquences néfastes dans certains mariages.
Par exemple, si une femme de Rhésus négatif épouse un homme de Rhésus positif et homozygote, tous leurs enfants seront de Rhésus positif. Leur premier enfant nait sans problème. Mais c'est au cours de son accouchement que ces hématies Rh+ se mélangent au sang Rh- de la mère lors de la coupure du cordon ombilical.
Ce mélange va déclencher la production des anticorps anti-Rh+ par l'organisme maternel. Au cours d'une deuxième grossesse, l'anticorps anti-Rh+ produit par la mère va passer dans le sang du fœtus à travers le placenta pour provoquer l'agglutination des hématies du fœtus. Cette agglutination va entrainer chez le fœtus, une jaunisse ou un ictère hémolytique responsable de l'avortement spontané ou d'accouchement de mort-né.
Pour éviter l'agglutination des hématies, la mère doit subir une injection d'un sérum spécifique dans les 72 heures qui suivent l'accouchement du premier enfant et ceci après chaque accouchement en vue d'éviter la production des anticorps par la mère.
Si une femme de Rhésus négatif, épouse un homme de Rhésus positif hétérozygote et si la femme n'a pas reçu une injection de sérum, tous les enfants qui naitront sains et sauf après le premier accouchement seront obligatoirement de rhésus négatif et toutes les fausses-couches seraient dues aux enfants de rhésus positifs.

a_3 : Exemple de facteur Rhésus.

Voici l'arbre généalogique d'une famille portant les gènes du groupe sanguin.



Analyser ce pédigrée et écrire les génotypes de tous les membres de cette famille.

Solution.

Analyse du pédigrée :

- Système A B O : Le couple I_1, I_2 respectivement du groupe B et A donne un enfant II_5 du groupe O ; donc ce couple est hétérozygote pour ce gène. Génotypes provisoires : $I_1 : \frac{B}{O}$ $I_2 : \frac{A}{O}$
- Facteur Rhésus : le même couple de Rhésus positif donne un enfant II_3 de Rhésus négatif : donc les parents sont également hétérozygotes pour ce gène. Génotypes partiels : $I_1 : \frac{Rh+}{Rh-}$ $I_2 : \frac{Rh+}{Rh-}$

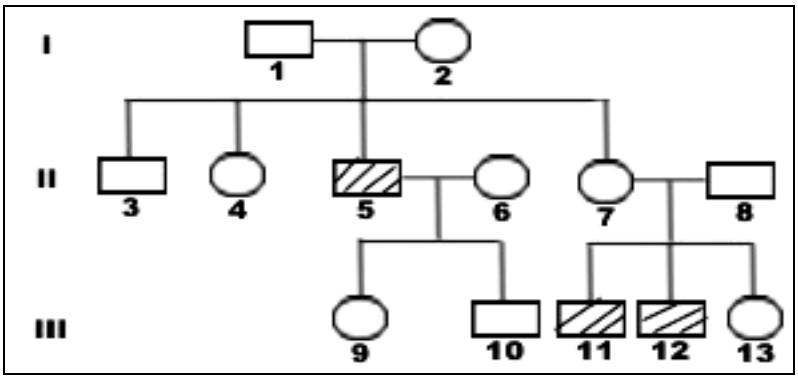
Génotypes: I_1: $\frac{B}{O}\frac{Rh+}{Rh-}$ I_2: $\frac{A}{O}\frac{Rh+}{Rh-}$ II_3: $\frac{A}{O}\frac{RRh-}{Rh-}$ II_4: $\frac{A}{B}\frac{Rh+}{Rh+}$ ou $\frac{A}{B}\frac{Rh+}{Rh-}$ II5: $\frac{O}{O}\frac{Rh+}{Rh+}$ ou $\frac{O}{O}\frac{Rh+}{Rh-}$

III- L'hérédité liée au sexe.

1°) L'hémophilie.

L'hémophilie est une maladie héréditaire due à une absence de coagulation du sang à la suit d'une hémorragie.

a- Le pédigrée.



b- Analyse du pédigrée.

Dominance : Des couples sains donnent des enfants hémophiles. Donc le gène responsable de l'hémophilie est récessif.

Choix de symboles : soit h, l'allèle de l'hémophilie et soit H, l'allèle normal.

Localisation chromosomique du gène :

Le gène de l'hémophilie n'est pas porté par le chromosome Y, car les garçons malades n'ont pas leurs pères malades et tous les garçons d'une même famille ne sont pas malades.

La maladie apparaît uniquement chez les garçons : donc le gène de l'hémophilie est porté par chromosome X.

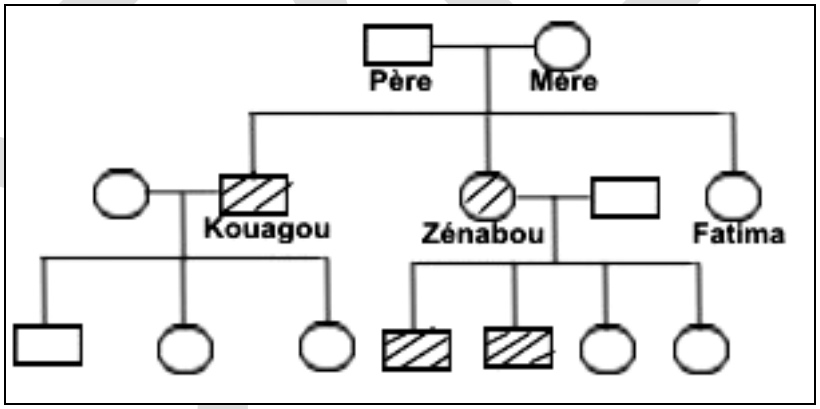
Genotypes: I_1; II_3; II_8; II_{10}: $\frac{X}{Y}$ II_5; III_{11}; III_{12}: $\frac{Xh}{Y}$ I_2; II_7; II_9: $\frac{X\,h}{X}$ II_4; II_6; III_{13}: $\frac{Xh}{X}$ ou $\frac{X}{X}$

2°) Le daltonisme.

Le daltonisme est maladie héréditaire caractérisée par une confusion entre les couleurs rouge et verte.

Exemple de daltonisme : Kouagou est atteint du daltonisme comme son père et une de ses sœurs Zénabou. La mère de Kouagou et son autre sœur Fatima ont une vision normale. Kouagou épouse une femme normale et a deux garçons et une fille tous normaux. Zénabou épouse un homme normal et le couple a deux garçons atteints et deux filles à vision normale. Représentez le pédigrée de cette famille puis interprétez-le.

L'arbre généalogique de cette famille est la suivante :



Interprétation : Kouagou malade donne des enfants sains : donc le gène responsable du daltonisme est récessif.

L'allèle n'est pas porté par le chromosome Y car le daltonisme atteint aussi bien les garçons que les filles. L'allèle du daltonisme est porté par le chromosome X car la maladie apparaît aussi bien chez les filles que chez les garçons.

Génotypes : soit d, l'allèle du daltonisme et D, l'allèle normal.

Père de Kouagou : $\frac{Xd}{Y}$ mère de Kouagou : $\frac{Xd}{X}$ Kouagou : $\frac{Xd}{Y}$ **Zénabou :** $\frac{Xd}{Xd}$ Fatima : $\frac{Xd}{X}$

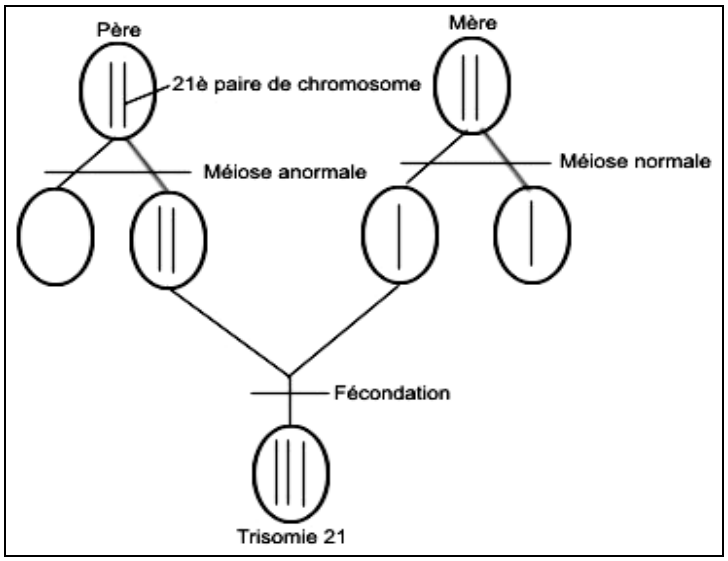
IV- **Les aberrations chromosomiques.**

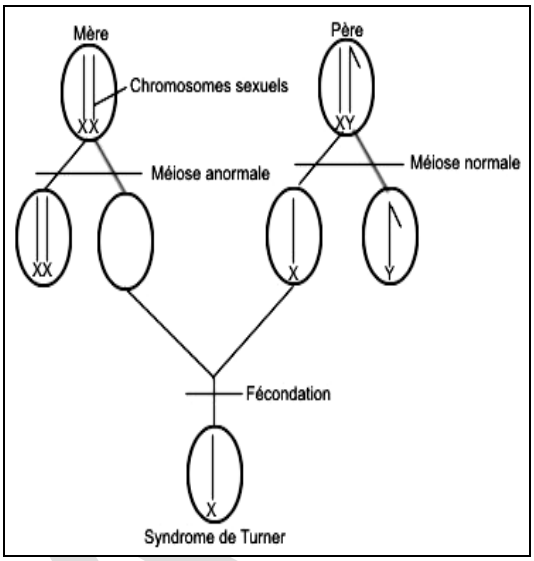
Les aberrations chromosomiques sont des anomalies génétiques qui affectent la garniture chromosomique des individus.

1°) La trisomie 21 ou le Mongolisme.

Elle est caractérisée par un caryotype présentant 47 chromosomes (au lieu de 46) dont la 21ème paire est un triplet (au lieu d'un doublet).

Le mongolisme s'explique par le non séparation des chromosomes de la 21ème paire lors de la formation des gamètes à l'anaphase I ou II.





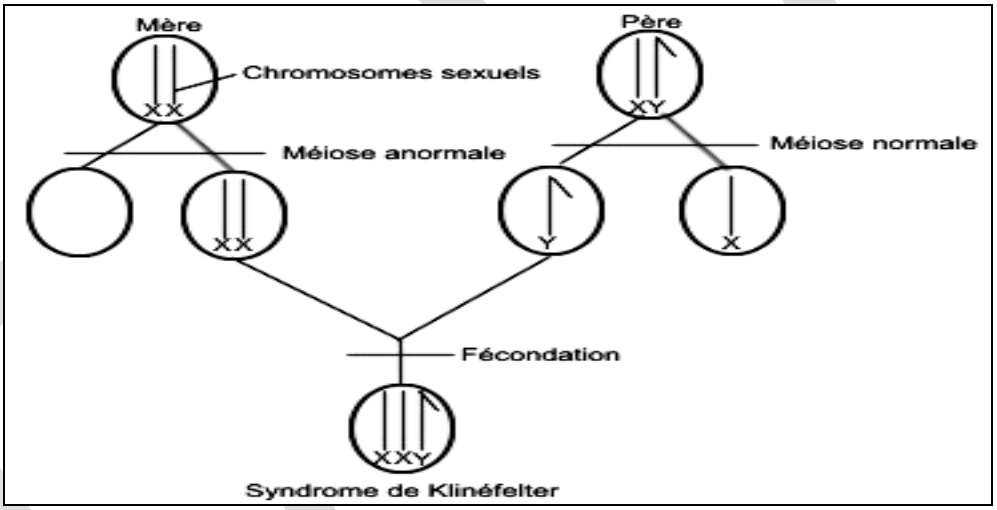
Trisomie 21 **syndrome de Turner**

2°) Le syndrome de Turner.

Il est caractérisé par un caryotype présentant 45 chromosomes (au lieu de 46) dont un seul chromosome sexuel X. Le syndrome de Turner s'explique par la non disjonction des chromosomes à l'anaphase I ou II et lors de gamétogenèse.

3°) Le syndrome de Klinefelter.

Il est caractérisé par un caryotype montrant 47 chromosomes dont les chromosomes sexuels sont en triplet (XXY). Le syndrome de Klinefelter s'explique par la non disjonction des chromosomes à l'anaphase I ou II et lors de gamétogenèse.



ORGANISATION GENERALE DU SYSTEME NERVEUX

CHEZ LES MAMMIFERES

Les objectifs pédagogiques.

A la fin de ce cours, l'élève doit être capable de :

26- Connaître l'anatomie du système nerveux centrale.

27- Reproduire et annoter la structure de la moelle épinière.

28- Identifier les méninges et leurs rôles.

Introduction

Le système nerveux est un tissu formé de cellules d'un type spécial (neurone) qui contribue à adapter l'organisme au monde extérieur et à régler le fonctionnement interne. Il est formé de l'ensemble d'encéphale + moelle épinière + nerfs périphériques + ganglions.

Du point de vue anatomique, on distingue :

- le système nerveux central ou axe cérébrospinal encore appelé névraxe formé de l'encéphale et de la moelle épinière ;
- le système nerveux périphérique fait de nerfs et de ganglions qui relient le système nerveux central à tout l'organisme.

Du point de vue physiologique, on distingue :

- le système nerveux de la vie de relation, l'organisme avec le monde extérieur (organe des sens) ;
- le système nerveux de la vie végétative qui préside à tous les phénomènes de la vie végétative c'est-à-dire aux fonctions de nutrition, de sécrétion etc.

I. ANATOMIE DU SYSTME NERVEUX CENTRALE

A. Encéphale

1. <u>Face ventrale</u>

D'arrière en avant, on observe : le bulbe rachidien, la protubérance annulaire ou pont de varole, les pédoncules cérébraux en forme de **v** vers l'avant, l'hypophyse, les lobes olfactifs de la région antérieure des hémisphères.

2. <u>Face dorsale</u>

La face dorsale montre :

- le cerveau formé de deux hémisphères cérébraux séparés par une scissure inter-hémisphère. Chaque hémisphère est formé de replis appelé circonvolution cérébrale ;
- le cervelet comprenant un lobe médian et étroit appelé vermis ;
- le bulbe rachidien dont le prolongement donne la moelle épinière
- les tubercules quadrijumeaux ou lobe optique
- épiphyse.

B. Moelle épinière

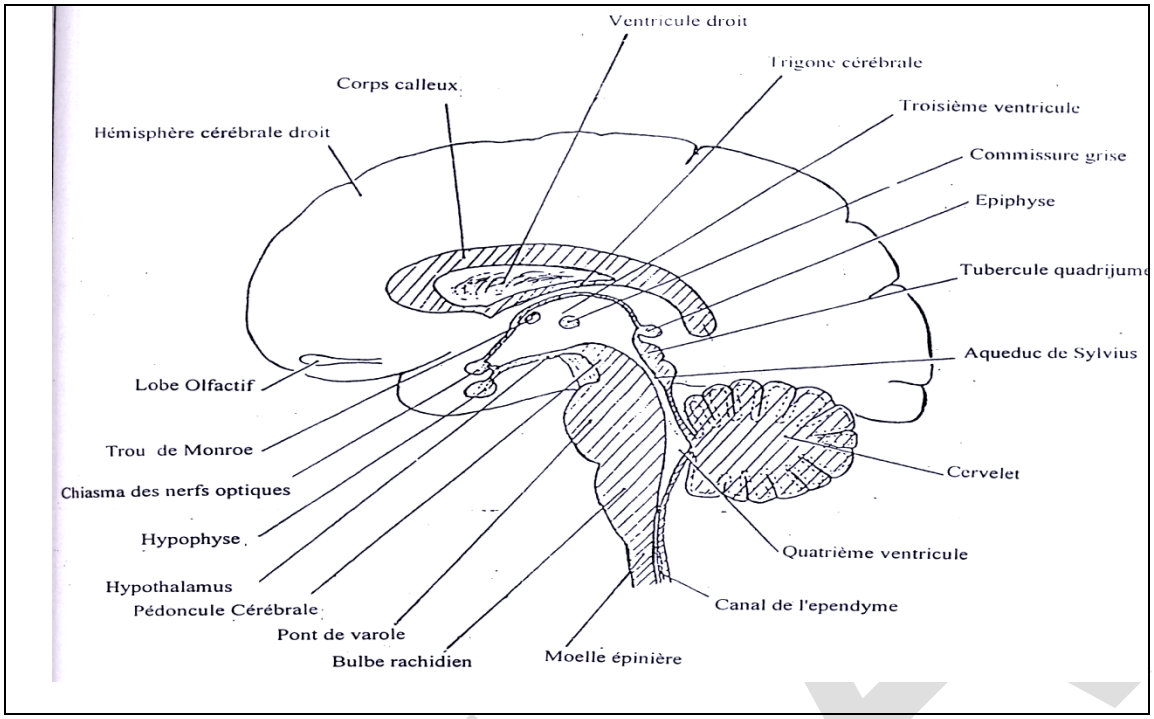
- la coupe transversale de la moelle épinière montre 2 régions distinctes au centre. On a la substance grise en forme de H formé de 2 cornes, l'une antérieure, large et courte et l'autre postérieure longue et effilée.
- à la périphérie, on a la substance blanche subdivisée en 2 moitiés symétriques par 2 sillions ou scissure, l'un postérieur étroit et profond et l'autre antérieur large et peu profond.
- les lignes d'émergence des nerfs rachidiens subdivise chaque moitié en 3 cordons (cordons antérieur, latérale, postérieur).

C. Méninges

L'encéphale et la moelle épinière sont protégés par 3 enveloppes appelées.

- La dure mère : c'est une enveloppe fibreuse et résistante en contact direct avec la face interne des os du crâne . Elle a un rôle protecteur et constitue la membrane la plus externe.
- l'arachnoïde : elle est faite d'un réseau de fibres de toiles d'araignée. L'espace sous l'arachnoïde des remplis d'un liquide céphalo-rachidiens qui permet à l'encéphale de flotter (amortissement des chocs). L'espace entre la dure-mère et l'arachnoïde est appelée espace sous dural.
- La pie-mère : c'est la membrane intime à l'encéphale et à la moelle épinière. Elle a un rôle nourricier.

CPLA



Coupe longitudinale de l'encéphale de l'homme.

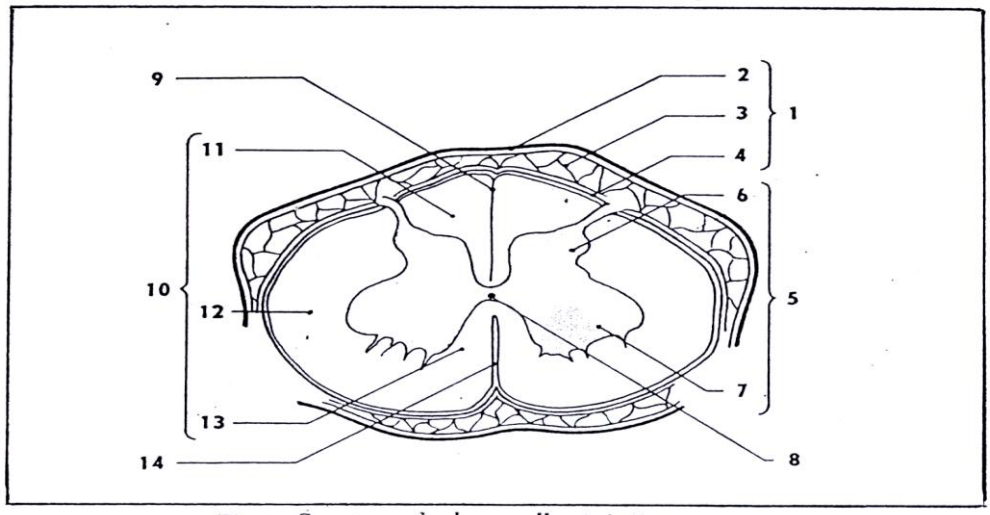


Fig 4 *Structure de la moelle épinière.*

1. *Méninges.* 2. *Dure-mère.* 3. *Arachnoïde.* 4. *Pie-mère.* 5. *Substance grise.* 6. *Corne postérieure.* 7. *Corne antérieure.* 8. *Canal de l'épendyme.* 9. *Sillon postérieur.* 10. *Substance blanche.* 11. *Cordon postérieur.* 12. *Cordon latéral.* 13. *Cordon antérieur.* 14. *Sillon antérieur.*

10

II. SYSTEME NERVEUX PERIPHERIQUE

A. Les nerfs crâniens

Ils innervent les parties de l'organisme non atteinte par les nerfs rachidiens. Ce sont des nerfs mixtes possédant à la fois des fibres sensitives et des fibres motrices. Ils sont au nombre de 12 paires.

B. Les nerfs rachidiens

De chaque côté de la moelle épinière s'implante 2 racines nerveuses : l'une antérieure issue de la corne antérieure de la moelle ; l'autre postérieure s'enfonce dans la corne postérieure. Ces 2 racines se réunissent pour former un nerf rachidien. Les nerfs rachidiens sont donc des nerfs qui partent de la moelle épinière. Il existe 31 paires de nerfs rachidiens disposés symétriquement des côtés de la moelle épinière. Les racines postérieures des nerfs rachidiens portent des renflements appelés ganglions spinaux. Ces nerfs innervent de différentes parties du corps et sont formés des fibres sensitives et motrices (nerfs mixtes).

LE TISSU NERVEUX ET SES PROPRIETES

Les objectifs pédagogiques.

A la fin de ce cours, l'élève doit être capable de :

29- *Connaître la cellule nerveuse et ses différentes parties.*
30- *Identifier les types de synapses.*
31- *Connaitre les propriétés d'un nerf.*
32- *Connaitre l'origine et la mesure des potentiels d'action et de repos.*
33- *Reproduire et Interpréter les potentiels d'action.*
34- *Identifier les effets des excitations sur le Potentiels d'action.*
35- *Calculer la vitesse de conduction de l'influx nerveux.*
36- *Connaitre les modes de conduction de l'influx nerveux.*

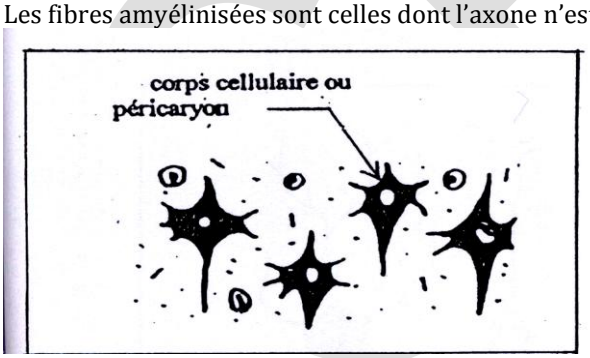
L'axe cérébro- spinal est constitué de deux substances fondamentales: une substance blanche et une substance grise.
L'étude microscopique de ces deux substances permet de connaître les constituants du tissu nerveux et ses propretés.

I- Structure du tissu nerveux.

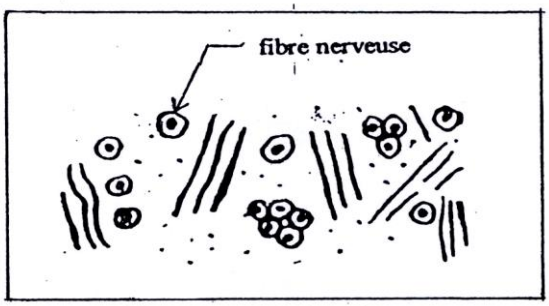
1°) Etude microscopique de la substance grise.
Un prélèvement de la substance grise observé microscope montre au fort grossissement des corps cellulaires qui sont de forme étoilée. Chaque cellulaire ou péricayon présenté deux type de prolongement :
- Des dendrites qui sont de petits prolongements.
- L'axone ou cylindraxe qui est un long prolongement.

Au microscope électronique on trouve dans le hyaloplasme d'un corps cellulaire, un noyau avec des nucléoles, le dictyosome, les mitochondries les corps de nissl ou ergastoplasme, les neurofibrilles, les lysosomes les ribosomes.

2°) Etude microscopique de la substance blanche.
L'observation au microscope d'un prélèvement de substance blanche montre des fibres nerveuses. Chaque fibre nerveuse présente un axone. Il existe deux types de fibres nerveuses : les fibres myélinisées et les fibres amyélinisées.
Les fibres myélinisés sont entourées d'une gaine appelées gaine de myéline qui est aussi recouverte par une gaine de Schwann. Le long de la fibre nerveuse, les deux gaines peuvent disparaître par endroits pour former des étranglements de Ranvier.
Les fibres amyélinisées sont celles dont l'axone n'est pas recouvert de gaines (axones nus).

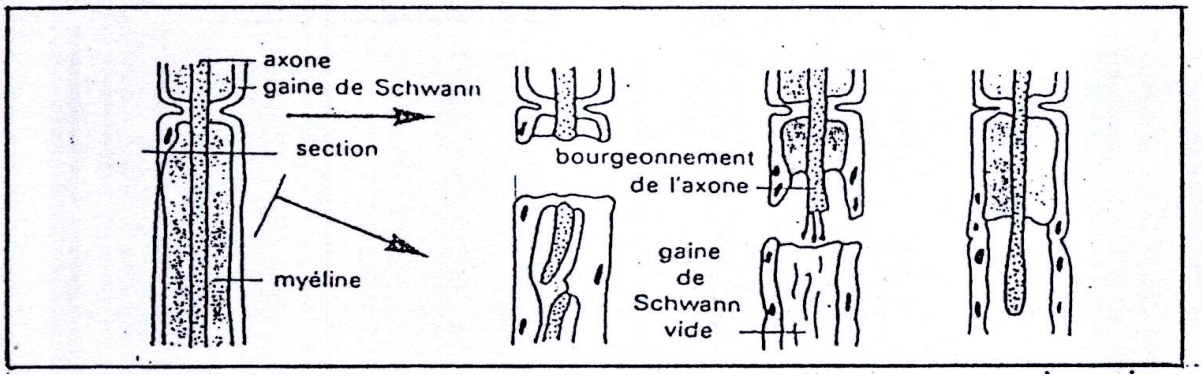


Observation microscopique d'une substance grise.



Observation microscopique d'une substance blanche.

3°) Recherché de liens entre corps cellulaires et fibres nerveuses.
a- Expérience de dégénérescence Wallérienne.
Waller sectionne le nerf rachidien d'un animal. Il constate que la portion périphérique dégénère tandis que la portion centrale survit et est même capable de régénérer la portion périphérique dans les conditions expérimentales.la porion centrale renferme donc les corps cellulaires tandis que la portion périphérique renferme les fibres nerveuses. Les corps cellulaires et les fibres nerveuses sont donc liés.



<u>Etapes de la dégénérescence et de la régénération d'une fibre nerveuse après section</u>.

b- Observation médicale.

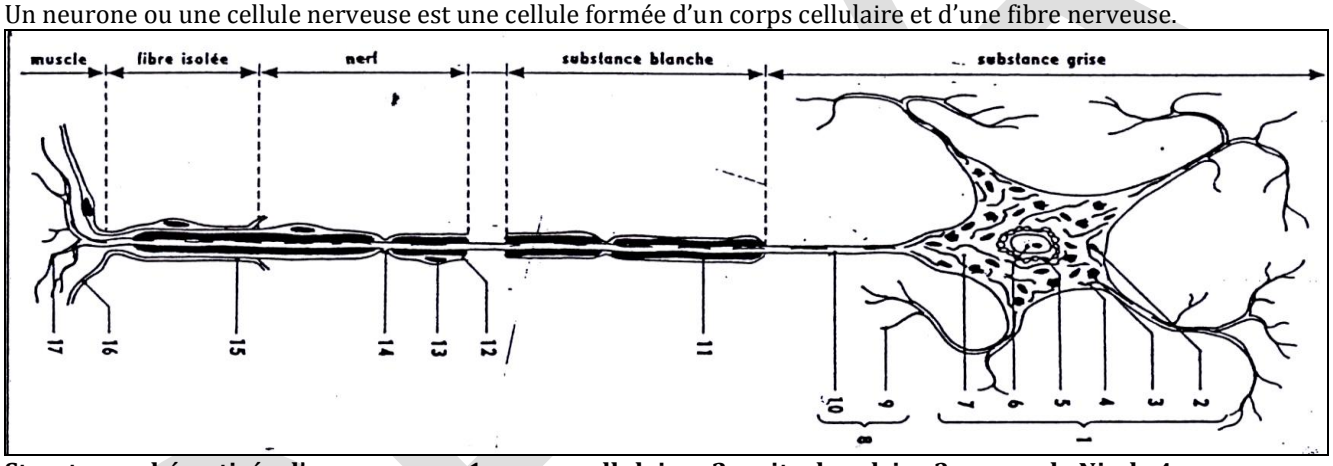
Le virus de la poliomyélite détruit les corps cellulaires situés au niveau des cornes antérieures de la moelle épinière et cela entraine la dégénérescence des fibres nerveuses correspondantes et la paralysie des membres innervés par ces fibres.

Un corps cellulaire et une fibre nerveuse font partie d'une même cellule appelée cellule nerveuse ou un neurone.

4°) Etude des neurones.

a- Définition.

Un neurone ou une cellule nerveuse est une cellule formée d'un corps cellulaire et d'une fibre nerveuse.

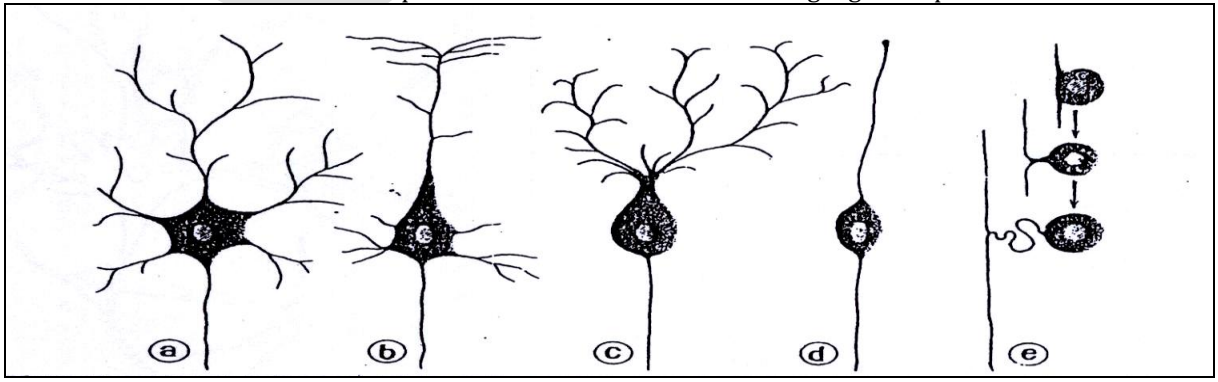


<u>Structure schématisée d'un neurone</u> : 1 : corps cellulaire ; 2 : mitochondrie ; 3 : corps de Nissl ; 4 : neurofibrille ; 5 : appareil de golgi ; 6 : noyau ; 7 : cytoplasme ; 8 : prolongement cytoplasmique ; 9 : dendrite ; 10 : axone ; 11 : gaine de myéline ; 12 : gaine de schwann ; 13 : noyau de la gaine de schwann ; 14 : étranglement de Ranvier ; 15 : gaine conjonctive ; 16 : membrane de la fibre musculaire ; 17 : arborisation terminale.

b- Les types de neurone.

Il existe cinq types de neurones :

- Les neurones multipolaires : ils sont contenus dans la corne antérieure de la moelle épinière.
- Les neurones pyramidaux : ils sont situés au niveau du cortex cérébral
- Les neurones pyriformes de Purkinje : ils sont contenus dans le cortex cérébelleux (cervelet)
- Les neurones bipolaires : ils sont situés au niveau de la rétine.
- Les neurones en T ou neurones unipolaires : ils sont contenus dans les ganglions spinaux.



<u>Les différentes formes de neurones</u> : a : neurone multipolaire ; b : neurone pyramidal ; c : neurone pyriforme de Purkinje ; d : neurone bipolaire ; e : neurone en T.

Remarque : les neurones sont des cellules spécialisées car ils sont incapables de se diviser dans l'organisme. Chaque individu nait avec un stock de neurone qui ne peut renouveler.

5°) Notion de synapses.

a- Définition.

Une synapse est une zone de contact entre deux neurones ou entre un neurone et un autre organe (muscle par exemple).

b- Les types de synapses.

Il existe deux types de synapses : les synapses neuromusculaires (ou plaque motrice) et les synapses neuro-neuroniques.

b1 : La plaque motrice ou synapse neuromusculaire.

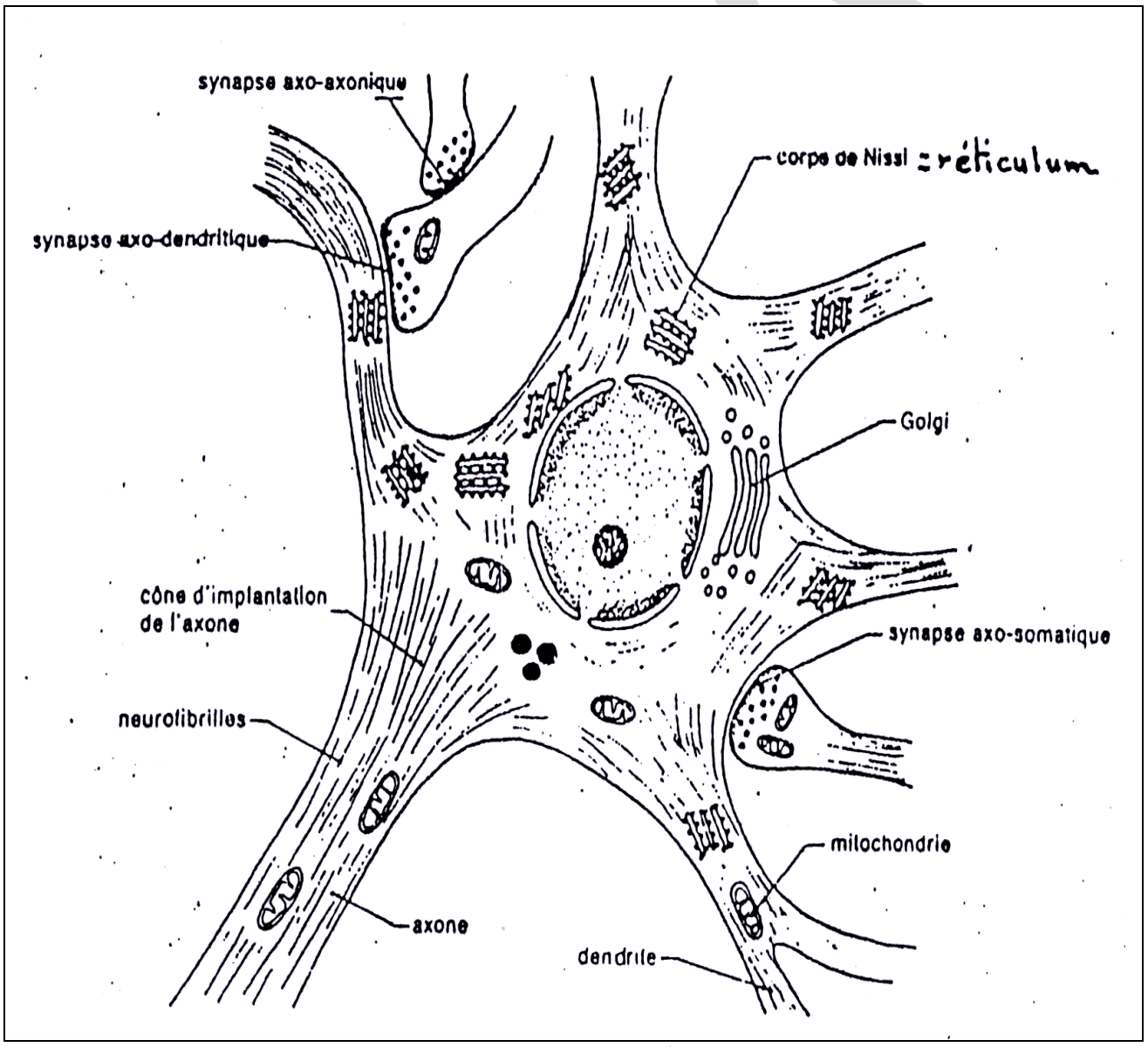
Une plaque motrice est une zone de contact entre un neurone et une fibre musculaire.

b2 : Synapses neuro-neuroniques (neuro-neuronales).

Une synapse neuro-neuronique est une zone de contact entre deux neurones.

Il existe trois sortes de synapses neuro-neuroniques :

- Synapse axo-dendritique : c'est une synapse entre l'axone d'un neurone et les dendrites d'un autre neurone.
- Synapse axo-somatique : c'est une synapse réalisée entre l'axone d'un neurone et le corps cellulaire d'un autre neurone.
- Synapse axo-axonique : c'est une synapse entre deux axones de deux neurones.

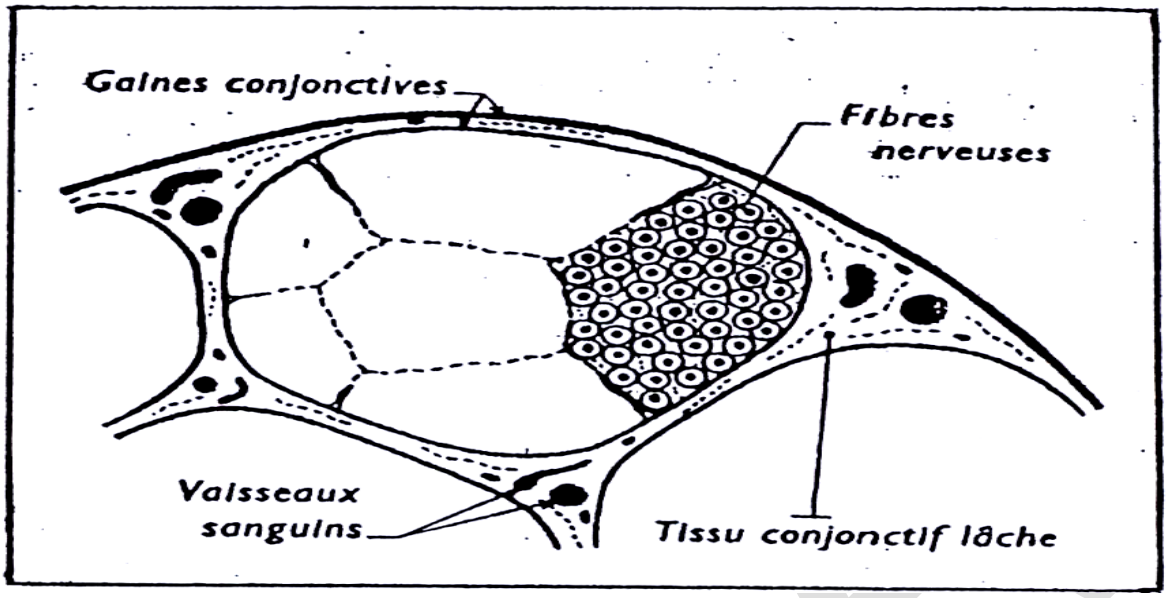


Ultrastructure d'un neurone avec les différents types de synapses.

II- Propriétés d'un nerf.

A- Structure d'un nerf.

Une coupe transversale d'un nerf montre des faisceaux de fibres nerveuses. Chaque faisceau est entouré d'une gaine conjonctive. Entre les faisceaux, on trouve un tissu conjonctif contenant des vaisseaux sanguins. Les fibres nerveuses sont des structures fondamentales d'un nerf car elles confer au nerf ses propriétés fondamentales.



Coupe transversale d'un nerf.

B- Mise en évidence des propriétés d'un nerf.

- Expérience et observation : On détruit l'encéphale d'une grenouille (grenouille spinale ou grenouille dont il ne reste que la moelle épinière comme centre nerveux) puis on met à nu son nerf sciatique qui est relié au muscle gastrocnémien. Lorsqu'on excite le nerf sciatique, on note la contraction du gastrocnémien.
- Interprétation : Le nerf répond à des excitations efficaces : Il est donc excitable. Le nerf a conduit l'influx nerveux vers le muscle : il est conducteur d'influx.
- Conclusion : le nerf a deux propriétés fondamentales qui sont :

- L'excitabilité : le nerf répond à une excitation efficace
- La conductibilité : le nerf conduit l'influx nerveux jusqu'à un effecteur.

C- L'excitabilité du nerf.

L'excitabilité est la propriété qu'à une fibre nerveuse à répondre à une excitation efficace.

1°) Les excitants.

Un excitant est un corps ou une substance qui est capable de faire naitre l'influx nerveux sur une cellule.

Il existe trois types d'excitants :

- Les excitants physiques : c'est le cas du choc électrique
- Les excitants chimiques : c'est le cas des acides et des bases
- Les excitants mécaniques : c'est le cas des chocs élastiques, les piqures, les pincements.

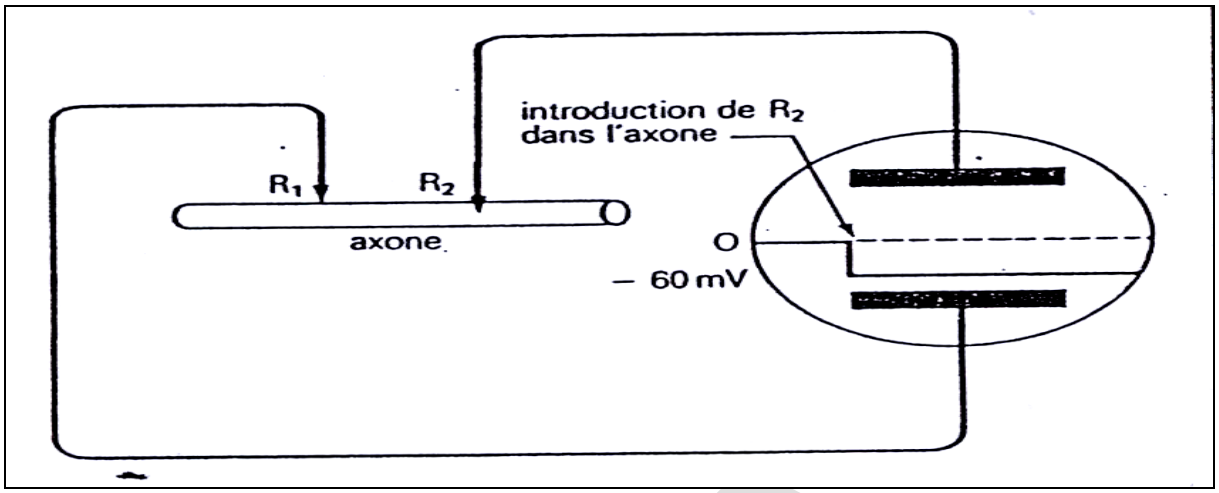
2°) Le potentiel de repos.

a- Définition.

Le potentiel de repos ou potentiel transmembranaire est la différence de potentiel qui existe entre l'extérieur et l'intérieur d'une fibre nerveuse non excitée.

b- Mesure du potentiel de repos.

Pour mesurer le potentiel de repos, on utilise deux électrodes réceptrices l'une placée à la surface et l'autre à l'intérieur d'une fibre nerveuse. Ces deux électrodes sont reliées à un oscillographe.



Dispositif d'enregistrement d'un potentiel de repos.

c- Origine du potentiel de repos.

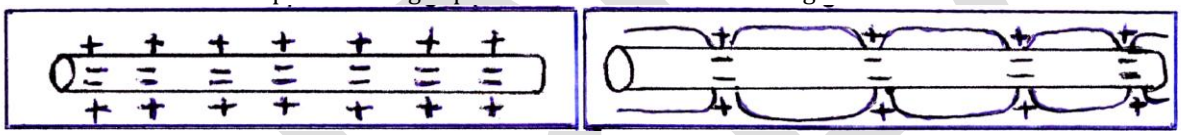
Le potentiel de repos est dû à une inégale répartition des ions K^+ et Na^+ de part et d'autre de la membrane de la fibre nerveuse.

L'inégale répartition des ions est due au fait que la membrane des fibres nerveuses est plus perméables aux ions K^+ qu'aux ions Na^+ au repos comme le montre le tableau suivant :

Cations	Milieu intracellulaire	Milieu extracellulaire
K^+	155 milli osmol/l	5 milli osmol/l
Na^+	12 milli osmol/l	145 milli osmol/l

d- Polarité d'une fibre nerveuse au repos.

Une fibre nerveuse au repos est chargée positivement à sa surface et négativement à l'intérieur.



Polarité d'une fibre amyélinisée au repos. **Polarité d'une fibre myélinisée au repos.**

3°) Effets des excitations.

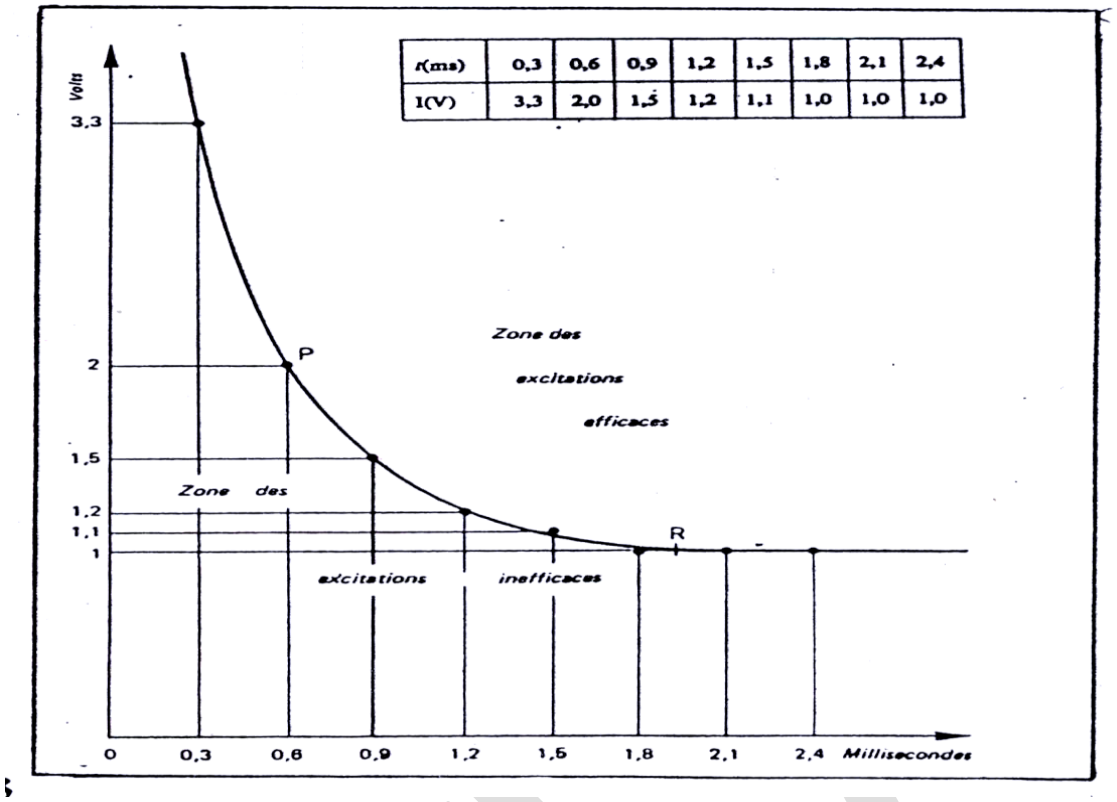
a- Notion de seuil d'excitabilité.

Le seuil d'excitabilité est la plus petite valeur d'intensité de stimulation qui donne une réponse sur un nerf ou une fibre nerveuse.

Pour déterminer le seuil d'excitabilité sur une fibre nerveuse, on porte sur cette fibre des intensités de stimulation variables et on note pour chaque intensité la durée d'application. Les valeurs obtenues sont consignées dans un tableau comme suit :

Temps (ms)	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4
Intensité (V)	3,3	2,0	1,5	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0

A partir des valeurs du tableau ci-dessus, on trace la courbe d'intensité de stimulation en fonction du temps ou courbe d'intensité-durée ou courbe d'excitabilité nerveuse.



Courbe d'intensité de stimulation en fonction du temps.

A partir de la courbe, on détermine les paramètres suivants :

- La rhéobase : c'est l'intensité minimale ou intensité seuil ou intensité liminaire. Sa valeur sur cette courbe est Rh = 1V.
- Temps utile : c'est la durée minimale d'application de l'intensité rhéobasique. Sa valeur est Tu = 1,8 ms.
- La chronaxie : c'est une durée minimale d'application d''une intensité double de la rhéobase. Sa valeur est Chr = 0,6 ms.

b- Les facteurs agissant sur l'excitabilité.

L'excitabilité d'un nerf ou d'une fibre nerveuse dépend e plusieurs facteurs tels que :

- La chronaxie : une fibre nerveuse est d'autant plus excitable lorsque sa chronaxie est d'autant plus faible. Si deux fibres nerveuses ont la même chronaxie, la plus excitable est celle qui a la pus faible rhéobase.
- La rhéobase : une fibre nerveuse est d'autant plus excitable lorsque sa rhéobase est d'autant plus faible. Si deux fibres nerveuses ont la même rhéobase, la plus excitable est celle qui a la plus faible chronaxie.
- L'éther est une substance qui augmente la chronaxie nerveuse.
- Le curare : c'est un poison d'origine végétale qui empêche la transmission de l'influx nerveux du nerf au muscle.
- La température : une température élevée entraine une augmentation de la chronaxie.

c- Potentiel d'action.

c_1- Définition :

Le potentiel d'action est la réponse électrique d'un nerf ou d'une fibre suite à une excitation efficace.

c_2- Origine du potentiel d'action (PA).

Le potentiel de repos est dû à une entrée massive des ions Na^+ dans la fibre nerveuse et à une sortie des ions K^+ de la même fibre.

c_3- Mesure du potentiel d'action.

Pour mesurer le potentiel d'action, on utilise deux électrodes excitatrices et deux électrodes réceptrices. Ces dernières sont reliées à un oscillographe.

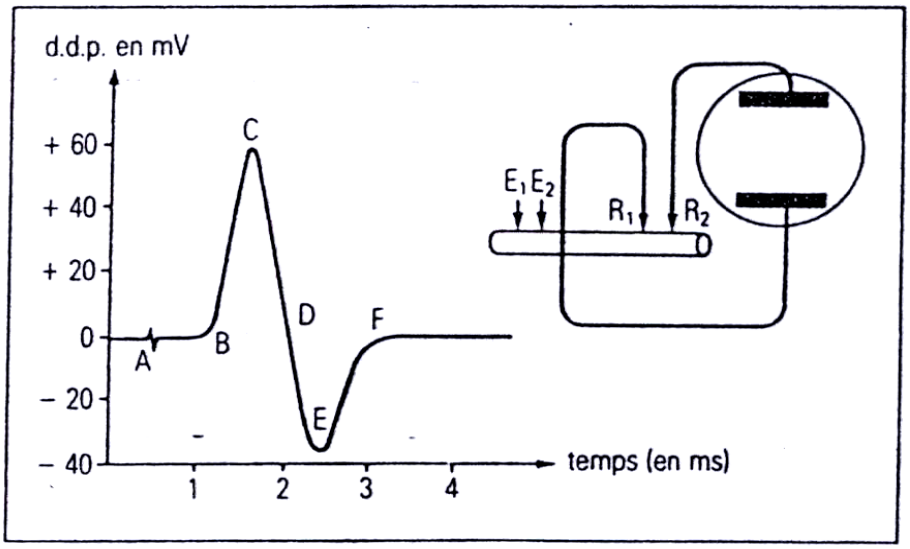
c_4- Les types de potentiel d'action.

Il existe deux types de potentiel d'action : les potentiels d'action diphasiques et les potentiels d'action monophasiques.

C_4-1 Les potentiels d'action diphasiques.

α- Mesure des potentiels d'action diphasiques.

Pour mesurer les potentiels d'action diphasiques, on utilise deux électrodes excitatrices et deux électrodes réceptrices toutes placées à la surface de la fibre nerveuse.



PA diphasique et son dispositif d'enregistrement.

β- Les types de potentiels diphasiques.

Il excite deux types de PA diphasiques : le PA diphasique symétrique et le PA diphasique asymétrique.

β-1 : PA diphasique symétrique.

Le potentiel d'action diphasique symétrique s'obtient lorsque les deux électrodes réceptrices sont éloignées l'une de l'autre. C'est un PA dont l'amplitude de la première dépolarisation est égale à celle de la deuxième dépolarisation.

- Le tracé d'un PA diphasique symétrique (électroneurogramme diphasique).
- Interprétation du tracé.

- OA : déférence de potentiel égale à zéro. Toutes les électrodes sont au même potentiel.
- A : c'est l'artefact de stimulation qui indique le moment où l'excitation atteint le nerf ou la fibre nerveuse.
- AB : c'est la phase de latence qui correspond au temps mis par l'influx nerveux pour atteindre la première électrode réceptrice.
- BC : c'est la phase de dépolarisation sous la première électrode réceptrice. Elle est due à l'entrée massive des ions Na^+ dans l'axone.
- CD : c'est la phase de repolarisation sous la première électrode réceptrice. Elle est due à la sortie des ions K^+ du même axone.
- DE : c'est la phase de dépolarisation sous la deuxième électrode réceptrice. Elle est toujours due à une entrée massive des ions Na^+ dans l'axone.
- EF : c'est la phase de repolarisation sous la deuxième électrode réceptrice, due à la sortie des ions K^+ de l'axone.
- FG : c'est le retour à l'état initial grâce au transport actif des pompes sodiques.

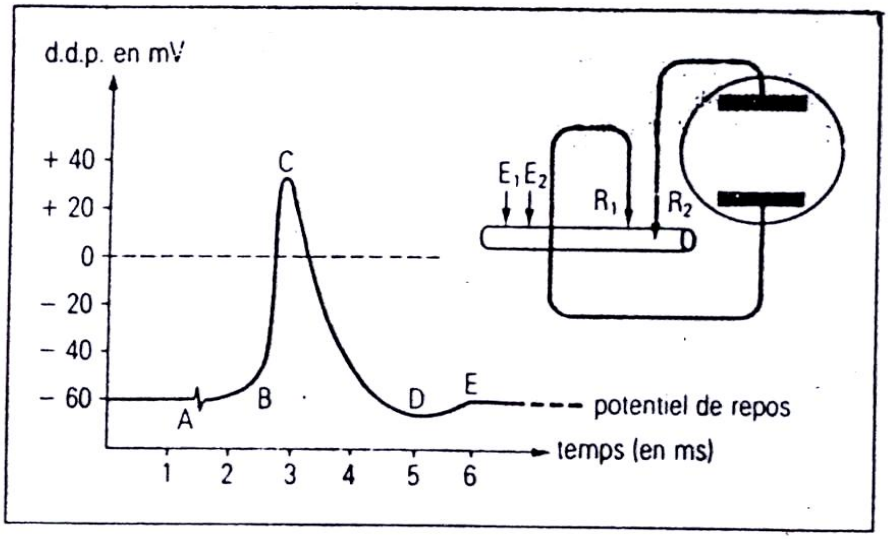
β-2 : PA diphasique asymétrique.

Le potentiel d'action diphasique asymétrique s'obtient lorsque les deux électrodes réceptrices sont rapprochées l'une de l'autre. C'est un PA dont les amplitudes de la première et de la deuxième dépolarisation sont différentes. Son interprétation est identique à celle d'un PA diphasique symétrique.

C_4-2 Potentiel d'action monophasique.

α -Enregistrement du potentiel d'action monophasique.

Pour enregistrer un PA monophasique, on utilise deux électrodes excitatrices et deux électrodes réceptrices dont l'une est placée à la surface et l'autre à l'intérieur de l'axone(ou sur une portion lésée de l'axone).



PA monophasique et son dispositif d'enregistrement.

β- interprétation du PA monophasique.

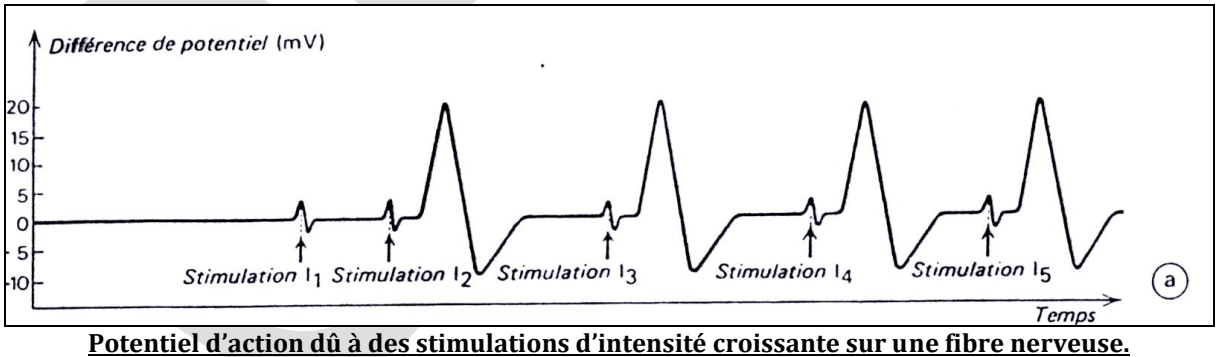
- OA : c'est le potentiel de repos qui est dû à une inégale répartition des ions Na+ et K+ le long de l'axone.
- A : c'est l'artéfact de stimulation qui est le moment précis où l'excitation est portée sur la fibre nerveuse.
- AB : c'est la phase de latence qui est le temps mis par l'influx nerveux pour atteindre la première électrode réceptrice.
- BC : c'et phase de dépolarisation due à l'entrée des ions Na+ dans l'axone.
- CD : c'est la phase de repolarisation due à la sortie des ions K+de l'axone.
- DE : c'est la phase d'hyperpolarisation due à une sortie persistante des ions K+.
- EF : c'est le retour au potentiel de repos dû au transport actif de la pompe sodique.

d- Variation de l'intensité de stimulation.

d_1- Cas d'une fibre isolée.

Lorsqu'on applique une série d'excitation successive d'intensité croissante sur une fibre nerveuse isolée on constate que :

- Pour des excitations en dessous du seuil ; il n y a pas de réponse. La fibre nerveuse obéit à la loi de seul.
- Au seuil d'excitation, on obtient un PA d''amplitude d'amblée maximale. La fibre nerveuse obéit à la loi de tout ou rien.

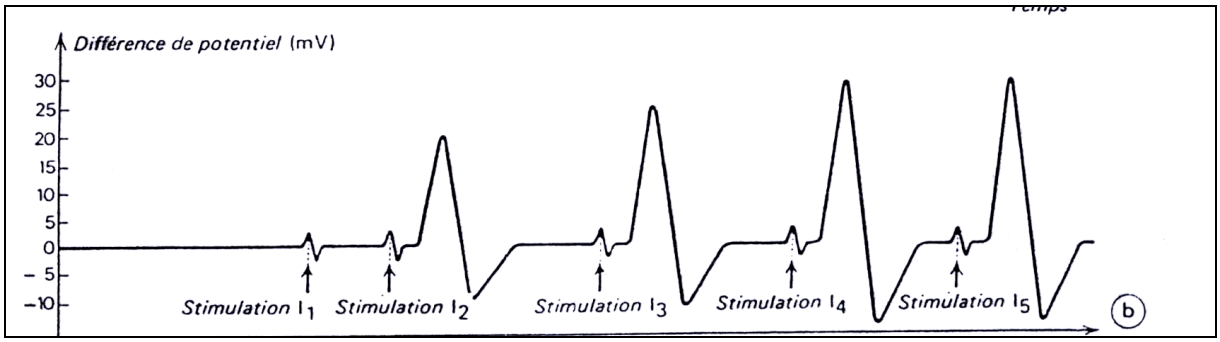


Potentiel d'action dû à des stimulations d'intensité croissante sur une fibre nerveuse.

d_2- Cas d'un nerf.

Lorsqu'on porte une série d'excitation d'intensité croissante sur un nerf, on constate que :

- Pour des excitations inférieures au seuil (I_1), il n'y a pas de réponse. Le nerf obéit aussi à la loi de seuil.
- Au-delà du seuil d'excitabilité (d'I_2 à I_4), l'amplitude des PA augmente avec l'intensité de stimulation. Le nerf obéit à la loi de recrutement. Le nerf étant formé de plusieurs fibres nerveuses, plus l'intensité de stimulation augmente, plus le nombre de fibres nerveuses excité augmente.
- Lorsque l'on augmente toujours l'intensité de stimulation(I_5), l'amplitude des PA ne varie plus. Dans ce cas, toutes les fibres nerveuses contenues dans le nerf sont déjà recrutées.



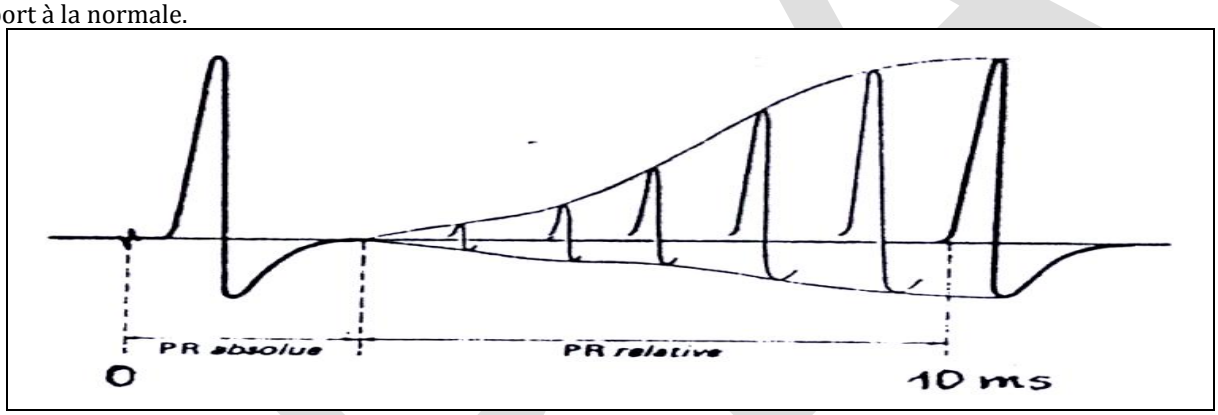
Potentiel d'action dû à des stimulations d'intensité croissante sur un nerf.

e- Notion de périodes réfractaires.

Une période réfractaire est une durée pendant laquelle une fibre nerveuse ou un nerf demeure inexcitable ou donne de faible réponse par rapport à la normale.

Il existe deux sortes de périodes réfractaires :

- La période réfractaire absolue : c'est une durée pendant laquelle la fibre nerveuse demeure inexcitable et ceci quelque soit l'intensité de stimulation.
- Période réfractaire relative : c'est une durée pendant laquelle une fibre nerveuse donne de faibles réponses par rapport à la normale.



Périodes réfractaires.

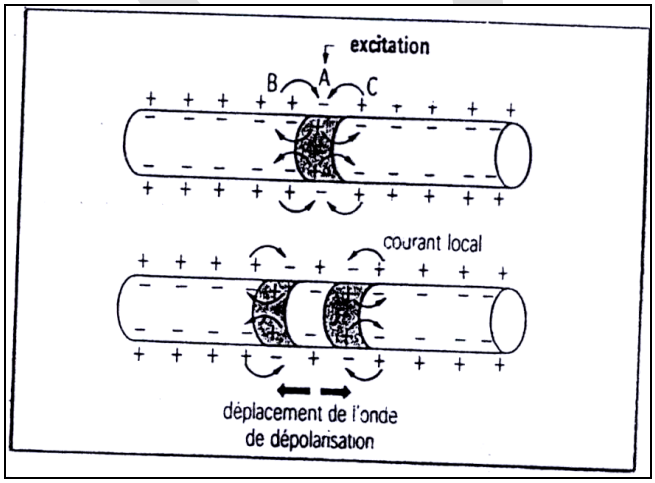
B – La conductibilité nerveuse.

La conductibilité est la propagation de l'influx nerveux le long d'un nerf.

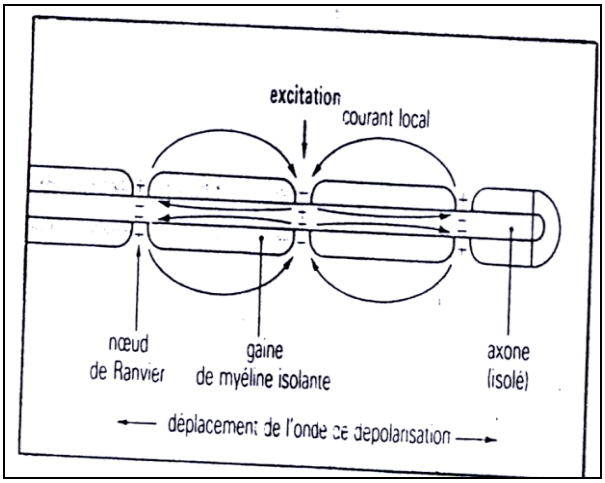
1°) Mécanisme de la conduction de l'influx nerveux.

La conduction de l'influx nerveux se fait de deux façons :

- La conduction par des courants locaux : Il s'agit d'une conduction de l'influx de proche en proche. Elle se fait sur les fibres nerveuses amyélinisées.
- La conduction saltatoire : Il s'agit d'une conduction de l'influx d'un nœud de Ranvier à un autre. Elle s'effectue sur une des fibres nerveuses myélinisées.



Conduction de l'influx par des courants locaux.



Conduction saltatoire.

2°) Sens de conduction de l'influx nerveux.

Sur une fibre nerveuse isolée, l'influx est conduit dans les deux sens. Dans l'organisme, la conduction de l'influx nerveux se fait sur une fibre nerveuse en allant du corps cellulaire vers l'arborisation terminale.

Au niveau des synapses, l'influx nerveux se propage de l'arborisation terminale d'un neurone présynaptique vers le corps cellulaire d'un neurone post synaptique ou vers une fibre musculaire (plaque motrice).

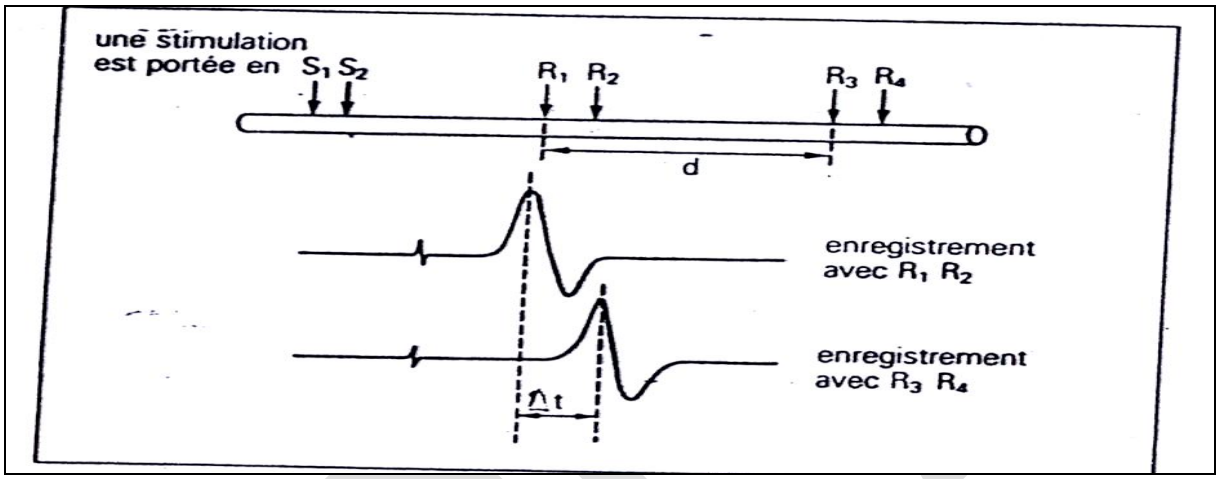
3°) Vitesse de conduction de l'influx nerveux.

a- Mesure de la vitesse de conduction de l'influx.

Pour mesurer la vitesse de conduction de l'influx nerveux, on peut utiliser un dispositif d'enregistrement comprenant deux électrodes excitatrices et quatre électrodes réceptrices toutes placées à la surface d'une fibre nerveuse isolée.

On obtient à l'aide de ce dispositif deux PA diphasiques. A l'aide du dispositif d'enregistrement, on détermine la distance et à l'aide des deux PA, on détermine la durée.

$V = d/\Delta t$. La vitesse s'exprime en m/s.



Mesure de la vitesse de conduction de l'influx nerveux.

Remarque : si un nerf renferme des fibres nerveuses de vitesse de conduction différentes, la conduction de l'influx le long de ce nerf se fait selon la vitesse de conduction des fibres. Ainsi les fibres nerveuses ayant une vitesse de conduction élevée donnent leur PA. On obtient pour ce même nerf, un PA plurimodal.

b- Facteurs agissant sur la vitesse de conduction nerveuse.

- La nature des fibres nerveuses : la vitesse de conduction est élevée au niveau des fibres nerveuses myélinisées et faible au niveau des fibres nerveuses amyélinisées.
- Le diamètre des fibres nerveuses : la vitesse de conduction est élevée lorsque le diamètre de la fibre nerveuse est aussi élevé.
- La température : la vitesse de conduction augmente avec la température.

III- La transmission de l'influx nerveux au niveau des synapses

La transmission de l'influx au niveau des synapses s'effectue grace à la libération des neuromédiateurs ou neurotransmetteurs dans la fente synaptique. Cette transmission se fait dans u seul sens à savoir :

- De l'arborisation terminale d'une fibre nerveuse présynaptique vers les dendrites d'une autre fibre dans le cas d'une synapse neuro-neuronique.
- De l'arborisation terminale d'une fibre nerveuse vers la fibre musculaire s'il s'agit d'une plaque motrice.

A- Les neuromédiateurs.

Un neuromédiateur ou médiateur chimique est une substance chimique ou biochimique libérée par les terminaisons nerveuses et qui permet la transmission de l'influx nerveux.

Les neuromédiateurs sont élaborés aucours de la protéosynthèse et snt stockés sous forme de vésicules synaptique au niveau des terminaisons nerveuses. Parmi les neuromédiateurs, on peut citer : l'acétylcholine, la dopamine, la noradrénaline la GABA.

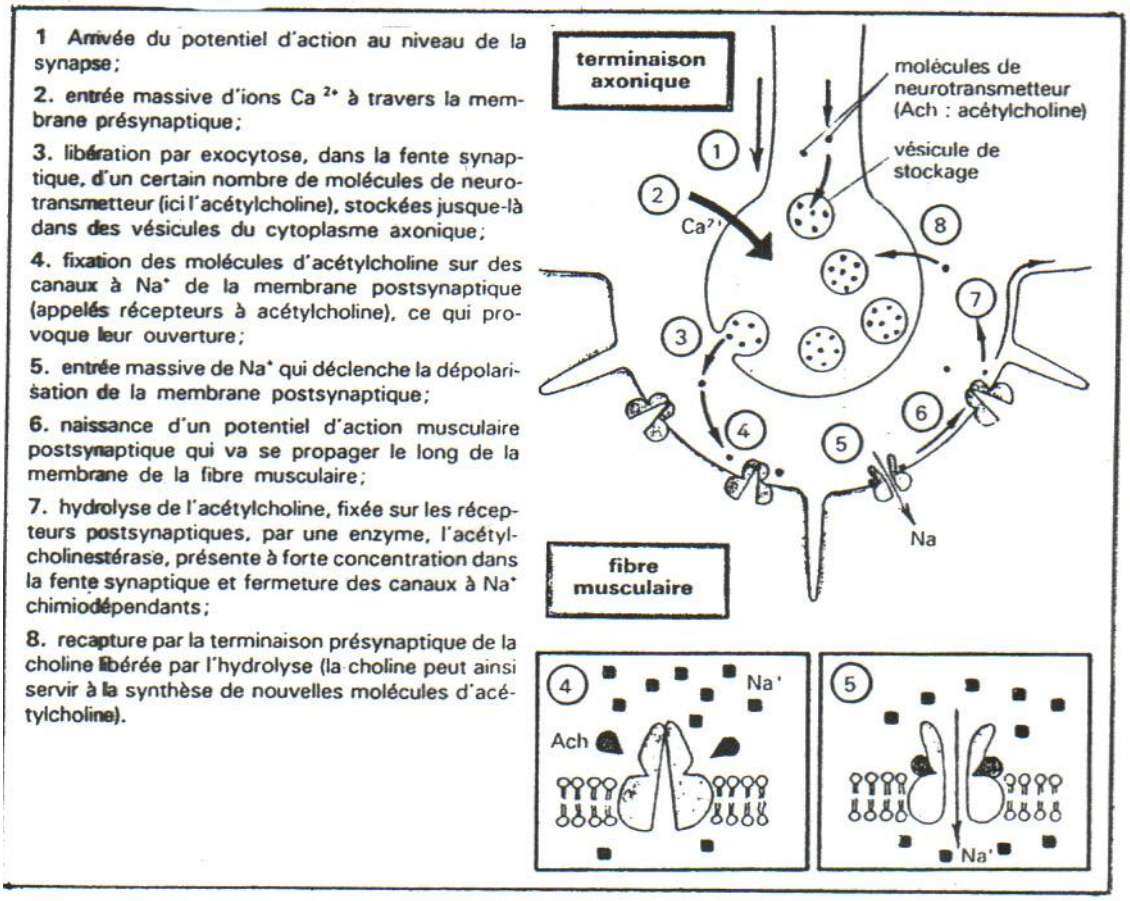
B- Mécanisme de la transmission synaptique.

Ce mécanisme diffère selon qu'il s'agit d'une synapse neuro-neuronique ou d'une plaque motrice.

1°) Mécanisme de la transmission synaptique au niveau d'une plaque motrice.

- Arrivée du PA au niveau du bouton présynaptique
- Entrée massive des ions Ca^{2+} dans le bouton présynaptique
- Libération de l'ACH dans la fente synaptique par exocytose
- Fixation de l'ACH sur les récepteurs situés sur la membrane post-synaptique

- Entrée des ions Na^+ à travers la membrane post-synaptique, ce qui provoque une dépolarsation de cette membrane.
- Naissance d'un PA musculaire
- Hydrolyse de l'ACH libérée par l'acétylcholinestérase.



Mécanisme ionique de la transmission de l'influx au niveau d'une plaque motrice.

2°) Mécanisme de la transmission synaptique au niveau d'une synapse neuro-neuronique.

La transmission synaptique au niveau d'une synapse neuro-neuronique dépend de la nature du synapse et du neuromédiateur libéré. On distingue: des synapses excitatrices et des synapses inhibitrices.

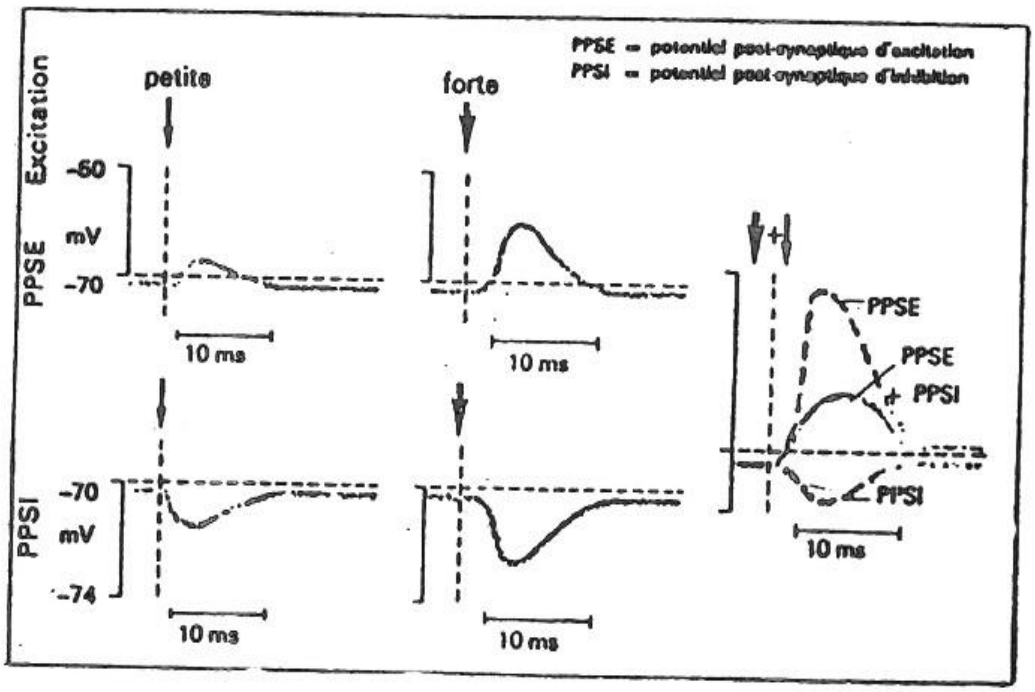
a- Les synapses excitatrices.

Ce sont des synapses au niveau desquelles sont libérés des neuromédiateurs excitateurs et des potentiels post-synaptiques excitateurs(PPSE). Le neuromédiateur libéré dans la fente synaptique se fixe sur les récepteurs post-synaptiques et provoque une entrée des ions Na^+ dans la fibre post-synaptique. Cette entrée des ions Na^+ entraine une dépolarisation locale de la membrane post-synaptique appelée PPSE. Un nneuromédiateur qui déclenche une PPSE est un neuromédiateur excitateur.

b- Les synapses inhibitrices.

Ce sont des synapses au niveau desquelles sont libérés des neuromédiateurs inhibiteurs et des potentiels post-synaptiques inhibiteurs(PPSI).

Le neuromédiateurinhibiteur libéré dans la fente synaptique se fixe sur les récepteurs de la membrane post-synaptique et provoque la sortie des ions K^+ de la fibre et l'entrée des ions Cl^- dans la fibre post-synaptique. Cette membrane devient donc hyperpolarisée et donne un PPSI.



I

PPSE ET PPSI

c- La sommation des potentiels post-synaptiques : intégration

Lorsque plusieurs neurones font synapses avec un seul neurone (motoneurone), la naissance de l'influx nerveux au niveau de ce motoneurone se fait à la suite d'une sommation algébrique de tous les potentiels post-synaptiques venant de tous les neurones. Il s'agit d'une intégration des potentiels post-synaptiques : le motoneurone a donc une propriété intégratrice.

Il existe deux types de sommation :

- La sommation temporelle : c'est la somme algébrique des PPS venant d'une même motoneurone au cours du temps.
- La sommation spatiale : c'est la somme algébrique de plusieurs PPS venant de plusieurs neurones.

Si l'intégration du message nerveux au niveau du motoneurone conduit à un PPSE suffisant, ce dernier déclenche un PA sur le motoneurone. Par contre si le PPSE n'est pas suffisant, il n' ya pas de PA sur le motoneurone.

Si l'intégration du message nerveux au niveau du motoneurone conduit à un PPSI suffisant, ce dernier déclenche une hyperpolarisation sur le motoneurone.

Conclusion : Généralisation des manifestations électriques.

L'influx nerveux est un ensemble de phénomène électrique qui peut-être enregistré. Au niveau du cerveau, son enregistrement constitue l'électroneurogramme. Les phénomènes électriques sont aussi décelables au niveau de toutes les autres cellules de l'organisme car toute cellule vivante est chargée positivement à sa surface et négativement à l'intérieur.

LES ACTIVITES REFLEXES

Les objectifs pédagogiques.

A la fin de ce cours, l'élève doit être capable de :

37- Définir un réflexe

38- Identifier et définir les types de réflexes.

39- Connaitre les structures intervenant dans les réflexes.

40- Connaitre les caractères et l'importance des réflexes.

Introduction

La vie d'un animal est caractérisée par ses réactions vis-à-vis des facteurs du milieu extérieur. Certaines d'entre elles sont effectuées à la suite des réflexions, d'autres échappent au contrôle de l'individu : ce sont *des actes réflexes.*

I. LES REFLEXES INNES

A. Observations de quelques réflexes chez l'homme

Chatouillons légèrement la plante du pied à un individu étendu sur le dos ; les orteils fléchissent et il peut même retirer la jambe : c'est *le réflexe plantaire.*

Un sujet assis sur le bord d'une table jambe pendante reçoit un coup sec sur le tendon situé au dessous de la rotule ; on observe une extension brusque de la jambe : c'est *le réflexe rotulien.*

Lorsque nous touchons un objet brûlant, nous retirons brusquement la main.

Dans les 3 cas, la réaction se produit à la suite d'une excitation ; elle est *innée, involontaire, inéluctable, stéréotypée* et *automatique* : c'est *un acte réflexe.*

B. Etude des réflexes médullaire chez la grenouille

1. Préparation de l'animal

On se sert d'un animal spinal. On le suspend à une potence pattes pendantes ; on prépare des solutions d'acide de différentes concentrations.

Lorsqu'on plonge l'extrémité d'une des deux pattes postérieures dans une solution d'acide concentrée, il y a retrait de ladite patte ; il s'agit d'un *stimulus chimique.*

Lorsqu'on pince fortement un orteil (stimulus mécanique) ou on plonge la patte dans l'eau glacée (stimulus thermique) ou même on lui applique un courant électrique (stimulus électrique) en faisant varier l'intensité, la grenouille réagit toujours bien qu'absence de son encéphale : il s'agit d'un *réflexe médullaire.*

2. Mise en évidence des éléments intervenant dans un arc réflexe

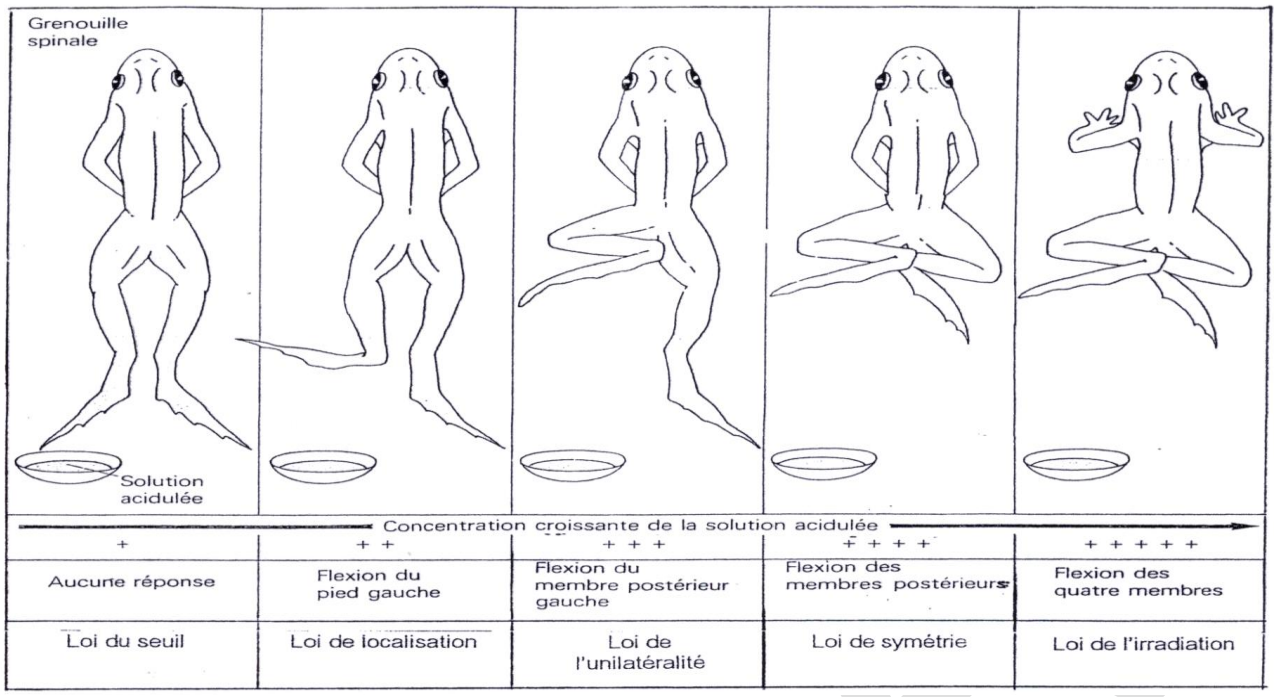
Dans l'arc réflexe de notre expérience, les structures suivantes interviennent :

- **les récepteurs** : ce sont des terminaisons nerveuses de la patte qui élabore l'influx nerveux.
- **un premier conducteur d'influx vers la molle épinière** : c'est un conducteur centripète, sensitif, afférente.
- **un centre nerveux** (moelle épinière).
- **un deuxième conducteur d'influx du centre vers l'organe rédacteur** : c'est un conducteur centrifuge moteur efférent.
- **un effecteur** qui réagit (muscle).

3. Réponses obtenues avec les différentes concentrations d'acide : ***les lois de pfugger***

Plongeons la patte de notre grenouille dans une solution acide très diluée. Pas de réponse : *la rhéobase n'est pas atteinte.* Pour des concentrations de plus en plus élevées :

- une réaction localisée limitée aux orteils : *c'est la loi de la localisation*
- une contraction de la patte entière : *c'est la loi de l'unilatéralité*
- une contraction des deux pattes postérieures : *c'est la loi de la symétrie ou réflexe bilatéral*
- contraction des quatre pattes : *c'est la loi d'irradiation*
- contraction du corps entier avec dépôt sur le dos des morceaux de coton imbibés d'acide concentré : *c'est la loi de généralisation.*



Réflexes médullaires chez la grenouille : les lois de Pfluger.

C. Support histologique des réflexes

1. Schéma d'un arc réflexe simple

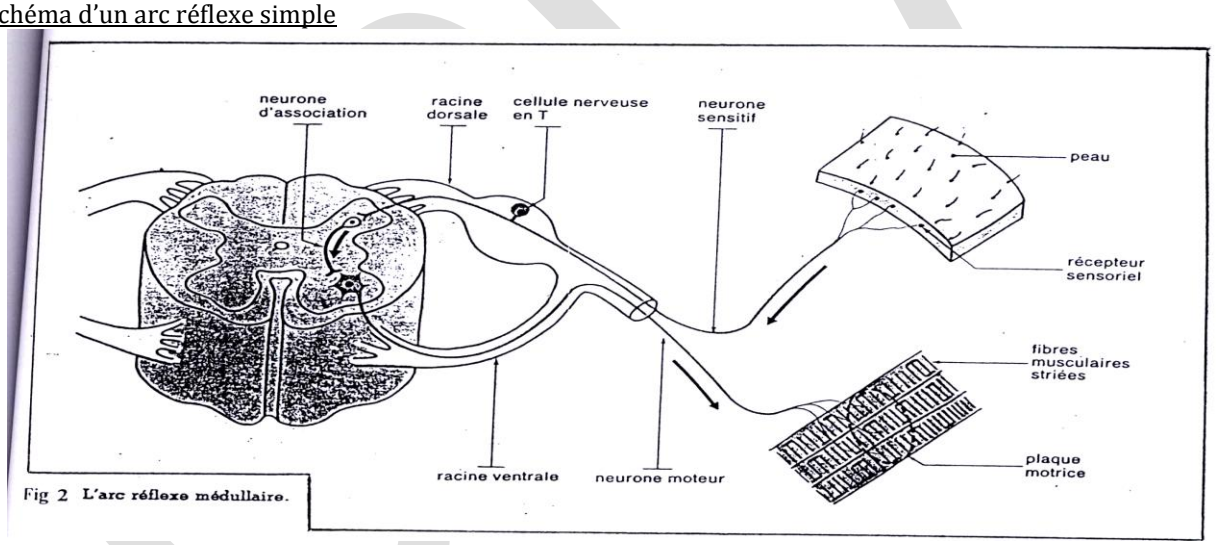


Fig 2 L'arc réflexe médullaire.

L'arc réflexe médullaire

2. Rôle des différentes racines : expérience de Magendie

Magendie dispose de 3 chiens. Sur le premier, il impose une section, la racine postérieure du nerf sciatique et il fait des expériences suivantes :

- *Excitation du nerf rachidien : pas de réponse*
- *Excitation du bout périphérique de la racine postérieure : pas de réponse*
- *Excitation du bout central : réponse du muscle.*

Il conclut que la racine postérieure du nerf rachidien contient des fibres sensitives et centripètes.

Magendie dans un deuxième temps sectionne la racine antérieure sciatique du 2ème chien et passe aux expériences suivantes :

- *Excitation du bout central : pas de réponse*
- *Excitation du bout périphérique : réponse du muscle*

Il conclut que la racine antérieure contient des fibres motrices centrifuges.

Sur le 3ème chien, il sectionne le nerf rachidien : donc le nerf rachidien renferme des fibres sensitifs et les fibres motrices : *c'est un nerf mixte.*

3. La dégénérescence Wallérienne

Wallère effectue 3 ou 4 sections :

1ère section : les fibres du bout périphérique dégénèrent : les péricaryons des fibres sensitifs sont situés du côté de la moelle épinière.

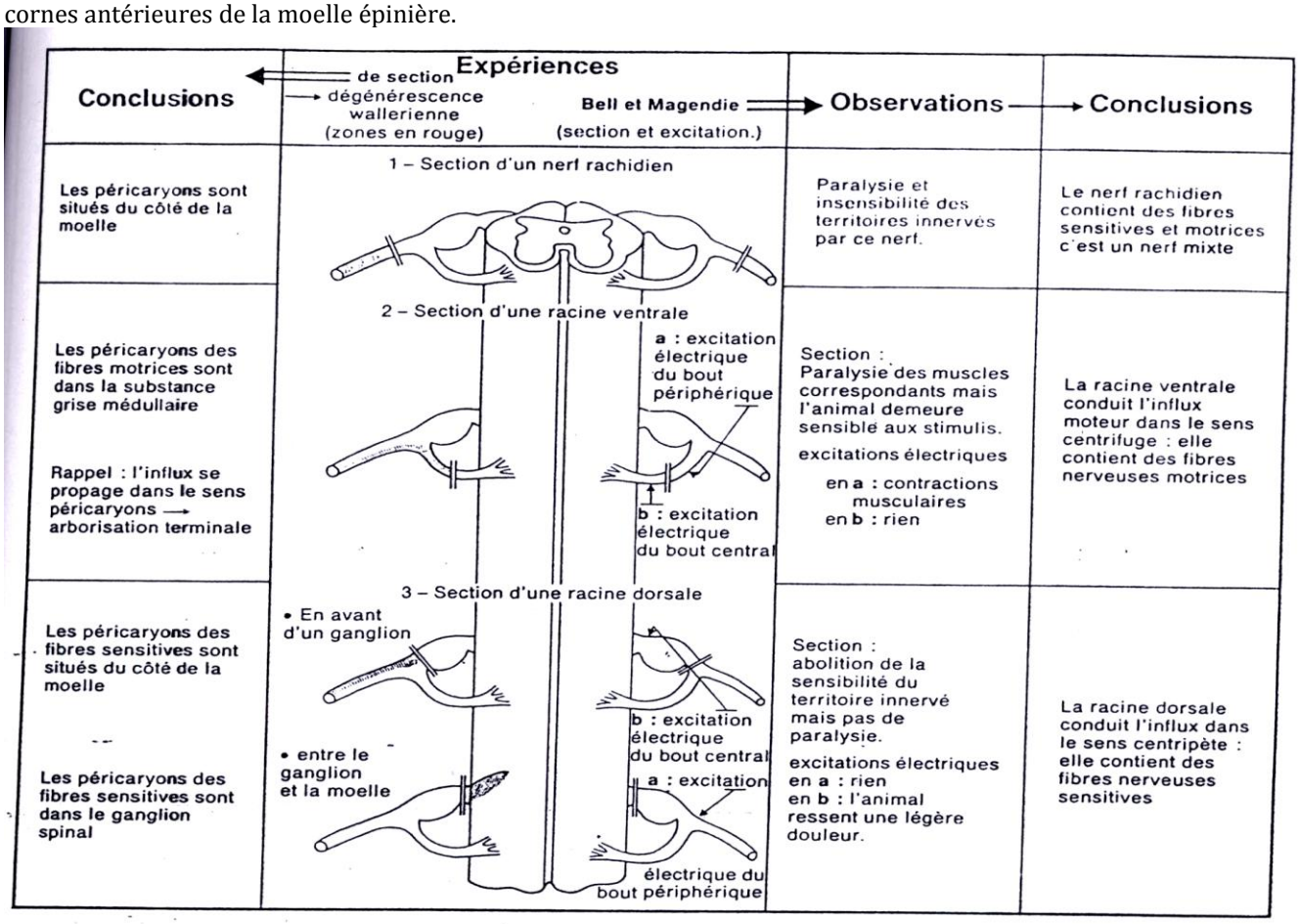
2ème section : les fibres du bout central dégénèrent : les péricaryons des fibres sensitifs sont dans le ganglion spinal.

3ème section : les fibres du bout périphérique dégénèrent : les péricaryons des fibres motrices sont dans la substance grise.

4ème section : les fibres du bout périphérique dégénèrent : les péricaryons sont situés du côté de la moelle épinière.

Compte tenu du sens de l'influx nerveux, on peut dire que les fibres du nerf rachidien atteintes par la dégénérescence sont des dendrites, les neurones unipolaires ou en T alors que les fibres du tronçon central de la racine postérieure en sont les axones.

De même, les fibres du tronçon périphérique de la racine antérieure sont des axones des neurones multipolaires des cornes antérieures de la moelle épinière.



Expérience de Magendie et de la dégénérescence Wallerienne.

4. Le trajet de l'influx nerveux

- **Cas du réflexe unilatéral**

Les observations que nous venons de faire et d'autres expériences plus délicates conduisent à dire que le trajet suivi par l'influx nerveux comporte des neurones unipolaires sensitifs, des neurones multipolaires moteurs, des neurones d'association (arc réflexe).

- **Cas du réflexe bilatéral**

Pour expliquer le passage de l'influx dans les neurones moteurs situés du côté opposé, on a admis l'existence des neurones d'associations horizontaux dits commissuraux.

- **Cas d'irradiation**

Il y a cette fois-ci transmission de l'influx nerveux à différents niveaux de la moelle épinière, ce qui conduit à admettre l'existence de neurones verticaux.

D. Caractères des réflexes innés

- Ils sont inéluctables et spécifiques à l'espèce
- Ils sont héréditaires
- Ils sont adaptés
- Ils sont coordonnés.

E. La diversité des réflexes innés

1. <u>En fonction du Centre Nerveux</u>

- les réflexes médullaires : réflexes rotulien, plantaire
- les réflexes bulbo-protubérantiel : battement de paupières, réflexe cardio-modulaire
- les réflexes cérébelleux : locomotion, équilibration
- les réflexes cérébraux : réflexes provoqués par les 5 organes de sens.

2. <u>En fonction de la localisation</u>

a) Les réflexes extéroceptifs

Ce sont les réflexes dont les récepteurs sont situés à la surface du corps ; ils possèdent des neurones intermédiaires.

b) Les réflexes proprioceptifs

Ils ont leur point de départ dans les récepteurs situés dans l'organisme même qui réagit (muscle, articulation) Ex. : réflexe de la vie de relation, réflexe achilléen ; ils n'ont pas de neurones intermédiaires.

c) Les réflexes intéroceptifs

Ce sont les réflexes dont les récepteurs se trouvent à l'intérieur de l'organisme. Les récepteurs reçoivent des informations émanant de l'intérieur du corps. Ce sont les réflexes de la fonction de nutrition.

II. LES REFLEXES CONDITIONNELS

A. Sécrétion salivaire

La vue d'un repas appétissant fait venir la salive dans la bouche. Cette observation et beaucoup d'autres ont poussé **PAVLOV** à entreprendre une série d'expériences dans le but d'expliquer ce fait. Il montre qu'il existe des réflexes d'un type particulier : *les réflexes conditionnés* ; ils ont greffés sur un réflexe inné.

B. Mécanisme inné de la sécrétion salivaire

Lorsqu'on présente un morceau de viande à un chien, le contact de ce dernier avec les papilles gustatives de la langue déclenche les sécrétions salivaires. On peut suivre la quantité sécrétée en pratiquant une incision sur le canal de la glande salivaire et en y introduisant une canule pour le recueil de la salive

On constate que la sécrétion qui était régulière augmente pendant la mastication et devient plus importante pour un aliment sec. Cette sécrétion ne dépend pas de la volonté et s'observe chez tous les chiens. C'est un réflexe inné comportant :

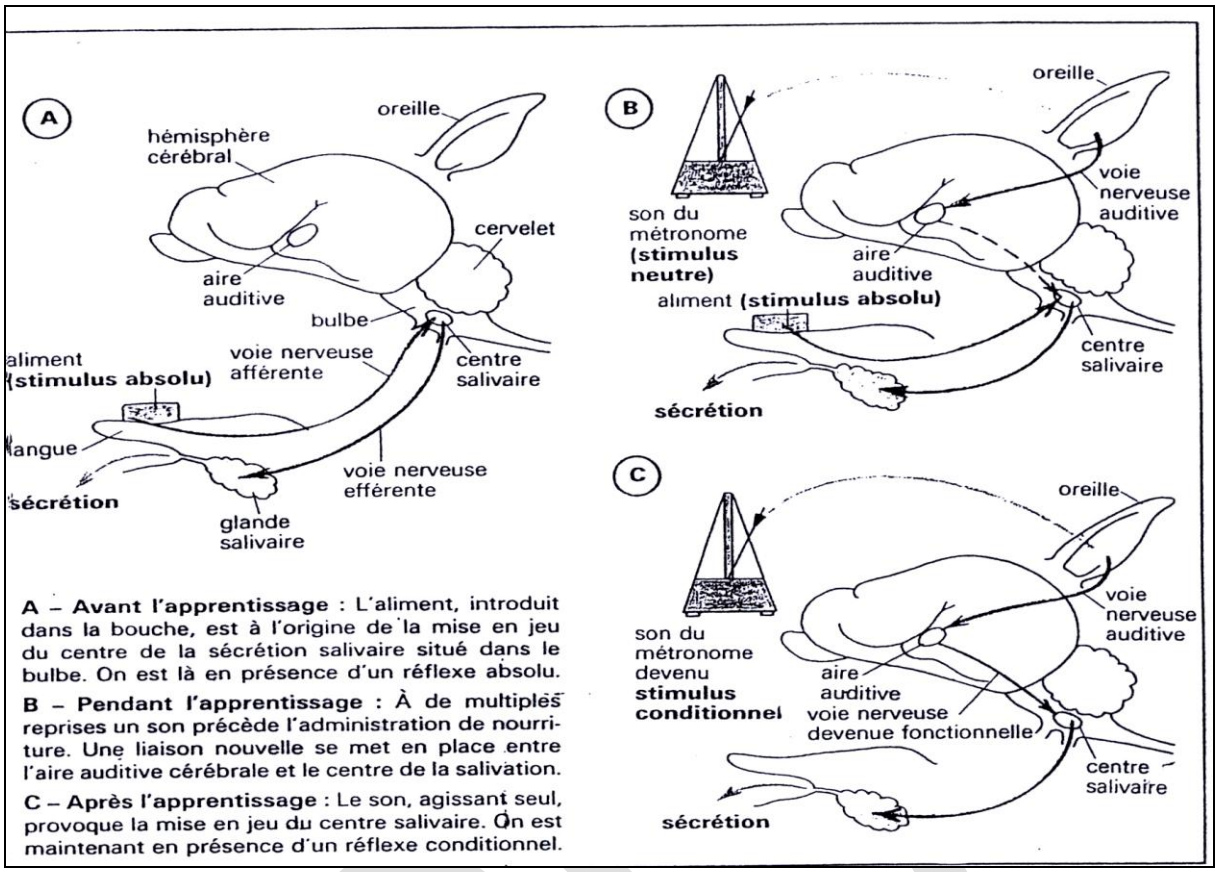
- un récepteur sensoriel
- un conducteur centripète
- un centre nerveux
- un conducteur centrifuge
- un effecteur (glandes salivaires)

C. Expérience de PAVLOV

Un chien porteur de fistule salivaire est enfermé dans un local clos isolé et insonorisé. Un système de Sangle le maintient sur place. Depuis une pièce voisine des dispositifs permettent d'appliquer au chien des excitations visuelles (lumière) auditives (production d'un son inhabituel), cutanée (courant électrique). De plus un système de passe plat permet de donner à l'animal son repas.

- PAVLOV présente un morceau de viande au chien, il secrète abondamment la salive : c'est un réflexe inné.
- Un métronome en marche près de l'animal, ce dernier tourne la tête puis s'habitue sans secréter la salive : c'est un réflexe d'investigation ; le métronome étant un stimulus neutre.
- Puis à chaque fois qu'on veut présenter le repas à l'animal, on lui fait entendre le bruit. Au bout de quelques jours, *le bruit* seul suffit pour déclencher *la salivation.*

Un circuit nerveux s'est substitué à un autre. Une nouvelle liaison s'est donc établie entre le centre auditif et le centre salivaire. Le bruit qui était sans effet sur la sécrétion salivaire est devenu une excitation efficace. Ce nouveau réflexe et le *réflexe conditionnel ou acquis.*

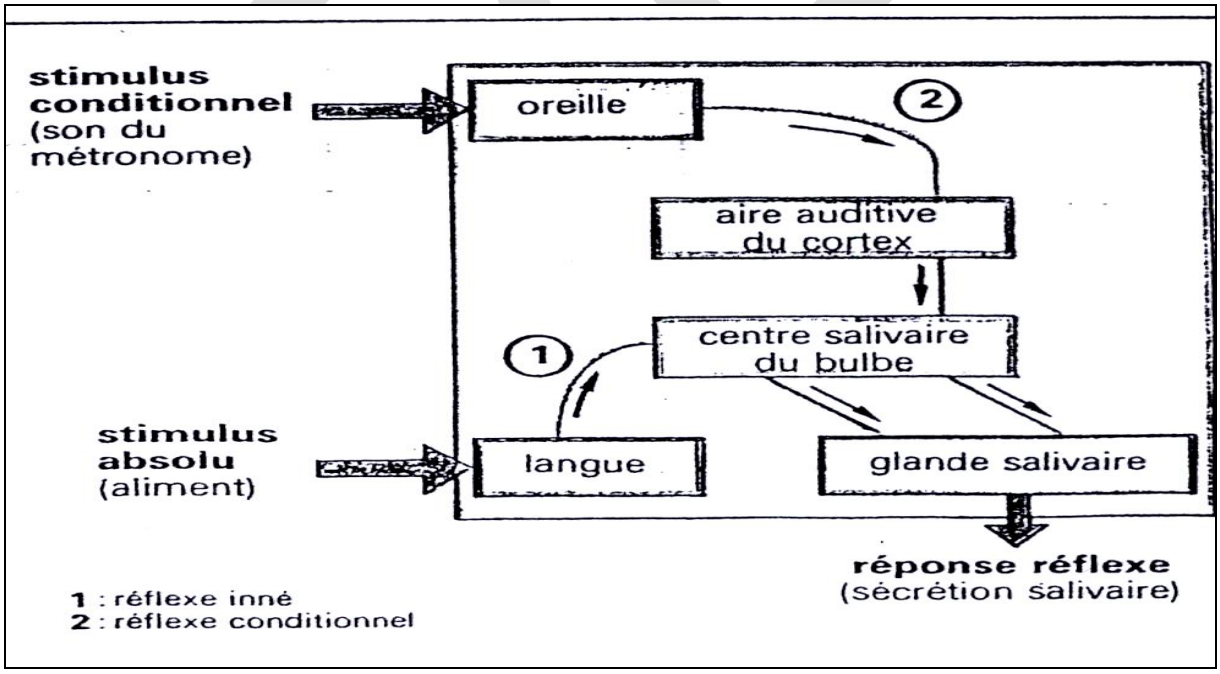


A – Avant l'apprentissage : L'aliment, introduit dans la bouche, est à l'origine de la mise en jeu du centre de la sécrétion salivaire situé dans le bulbe. On est là en présence d'un réflexe absolu.

B – Pendant l'apprentissage : À de multiples reprises un son précède l'administration de nourriture. Une liaison nouvelle se met en place entre l'aire auditive cérébrale et le centre de la salivation.

C – Après l'apprentissage : Le son, agissant seul, provoque la mise en jeu du centre salivaire. On est maintenant en présence d'un réflexe conditionnel.

Réflexes innée et conditionnel de salivation.



Trajets suivis par l'influx nerveux au cours des réflexes innés et conditionnels.

D. Caractère des réflexes conditionnels

- Ils se créent à partir des réflexes innés ; l'excitant conditionnel primitivement sans action est associé plusieurs fois à l'excitant absolu.
- Il ne s'installe que si le stimulus conditionnel précède le stimulus absolu.
- L'excitant conditionnel doit être bien déterminé et ne doit pas être accompagné d'autres stimuli prêts à détourner l'attention de l'animal.
- Pour se maintenir le réflexe conditionnel doit être entretenu par une association régulière des 2 stimuli

- Ils sont individuels
- Ils exigent l'intégrité de l'encéphale

E. Importance des réflexes conditionnels

- Ils adaptent plus ou moins l'individu à son organise
- Le dressage des animaux, l'éducation
- Acquisition des actes automatiques.

III- **ACTIVITES SPONTANEES.**

Un individu dans l'attente de son prochain en chemin, s'arrête, s'abaisse, cueille une fleur d'un arbuste, la triture, la regarde et la jette. Une telle activité n'est pas une réponse inéluctable à une stimulation. Elle n'est donc pas provoquée par une stimulation extérieure.

Elle est volontaire, la personne est lire de son acte. D'autre part, cet acte est imprévisible. De tels actes non provoqués, non réfléchis, imprévisible mais volontaires constituent une activité spontanée.

Mais où s'élaborent les influx engendrant ces actes ? Quels en sont les sièges.

A. Siège de l'activité spontanée

1. Expérience

- une grenouille spinale demeure immobile mais elle nage maladroitement si on la jette dans l'eau.
- de même, un pigeon décérébré reste inerte, cependant il vole si on le lance en l'air, marche si on le pousse et avale si on lui introduit dans le gosier.

Si au lieu de détruire tout l'encéphale, on ne détruit que le cortex cérébral, on observe les mêmes réactions. L'animal sans cortex est réduit à l'état d'automate perd tout activité spontanée le cortex cérébral est *le siège de la motrice somatique.*

2. Les aires motrices

L'encéphale comporte des aires ou zones du cortex qui sont indispensables à l'accomplissement des mouvements spontanés. Ce sont les *aires motrices.*

La destruction totale ou partielle de la zone située en avant du *sillon de Rolando* entraîne une paralysie de tout le corps ou d'une partie du corps.

De plus, l'excitation des territoires précis de cette zone déclenche les mouvements d'une partie précise de côté opposé.

Les expériences montrent que ce n'est pas tout le cortex qui intervient dans la motricité volontaire mais c'est la zone située en avant du *sillon de Rolando* ; cette zone se subdivise en 2.

a) L'aire de projection motrice

Elle est située juste en avant du sillon de Rolando. Les influx sensitifs arrivant dans les cerveaux sont renvoyés, projetés, entraînant les différentes parties du corps sous forme d'influx moteur. Dans cette aire les différentes parties du corps sont représentées par des territoires bien précis dont la surface est proportionnelle au nombre et à la finesse de leur mouvement et non au volume.

b) L'aire psychomotrice

C'est une aire qui est située en avant de l'aire de projection motrice. Son ablation n'entraîne pas de paralysie mais l'incapacité pour le sujet de coordonner ses mouvements, d'adapter ses gestes et à sa volonté. C'est dans cette zone qu'on trouve le centre de l'écriture et celui de langage parlé. Ces centres sont situés dans l'hémisphère gauche pour les droitiers et l'hémisphère droit pour gauchers.

La lésion de ces centres entraîne l'agraphie et l'**aphasie** (incapacité d'émettre ou même de comprendre la parole).

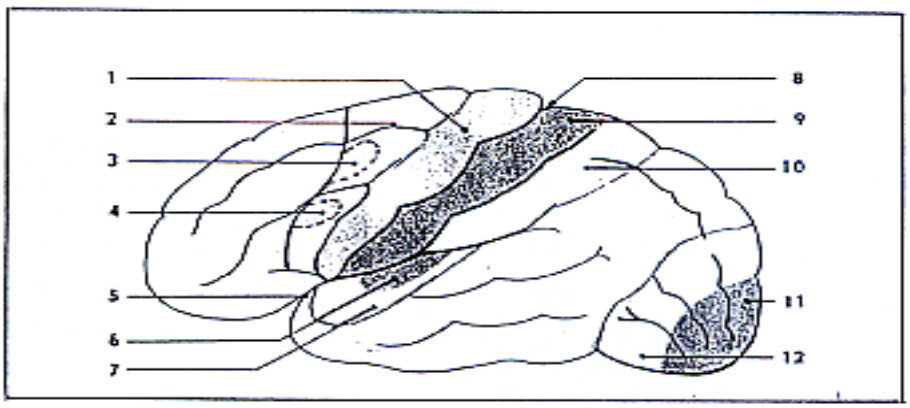


Fig 7 Localisations cérébrales motrices (en rouge) et sensitives (en bleu) dans l'hémisphère gauche.
1. Aire motrice. 2. Aire psychomotrice. 3. Centre des mouvements de l'écriture. 4. Centre du langage parlé. 5. Scissure de Sylvius. 6. Aire auditive. 7. Aire psycho-auditive. 8. Sillon de Rolando. 9. Aire de la sensibilité générale. 10. Aire psycho-sensitive. 11. Aire visuelle. 12. Aire psycho-visuelle.

B. Les voies motrices (trajet de l'influx nerveux)

Il existe deux voies motrices :

- Les voies afférentes de la sensibilité tactile
- Les voies de la motricité volontaire.

1. Les voies afférentes de la sensibilité tactile.

Ce sont des voies sensitives. Elles débutent au niveau des organes récepteurs par les terminaisons nerveuses de la peau, atteignent la moelle épinière, passent par le bulbe rachidien et dont une partie fait synapse au niveau des noyaux gris du bulbe. Toutes les fibres font synapse au niveau du thalamus avant de déboucher au niveau de l'aire de sensibilité générale (aire psychomotrice).

2. Les voies de la motricité volontaire.

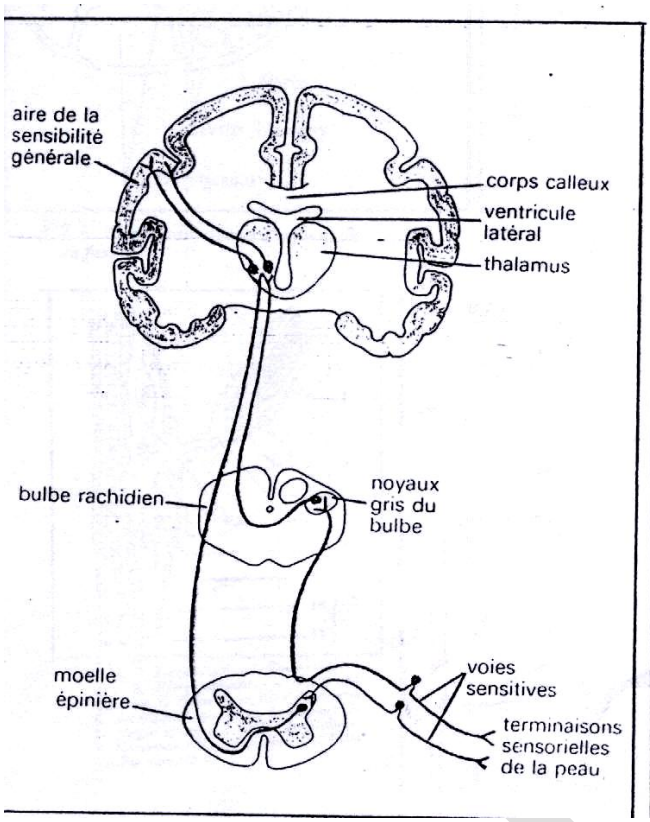
Ces voies débutent au niveau des aires motrices et parviennent aux effecteurs. Elles regroupent deux voies : les voies directes et la voie indirecte.

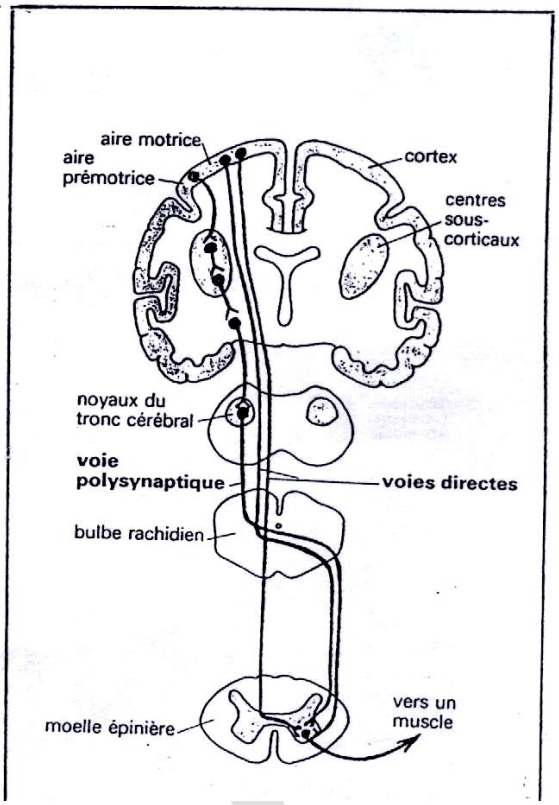
a- Les voies directes ou voies monosynaptiques.

Les fibres nerveuses venant de l'aire motrice traversent les noyaux du tronc cérébral, se croisent au niveau du bulbe rachidien avant d'atteindre la moelle épinière là où elles font synapse avec un motoneurone.

b- La voie indirecte ou polysynaptique.

Les fibres nerveuses partent de l'aire prémotrice, traversent les noyaux du tronc cérébral, croisent les fibres des voies directes au niveau du bulbe rachidien avant d'atteindre la moelle épinière. Le long de cette voie, les fibres nerveuses effectuent plusieurs synapses dont trois dans l'hémisphère cérébral, une dans le bulbe rachidien et une dernière dans la moelle épinière.





La voie afférente de la sensibilité tactile **Les deux grandes voies de la motricité volontaire**

Conclusion

Dès la naissance, l'organisme humain s'adapte aux variations de son environnement. Ces variations de son environnement. Ces variations perçues par l'un de nos récepteurs sensoriels sont capables de déclencher les réponses dans de nombreuses parties de notre corps.

L'analyse qu'en fait notre système nerveux central conduit le plus souvent l'individu à réagir d'une manière complexe mais organisée.

Les expériences que nous acquérons s'intègrent peu à peu et tendent modifier notre sensibilité initiale. C'est donc par activité réflexe que, progressivement et par intégration successive, notre système comportemental se construit, comportement déclenché par les stimuli externes mais aussi les stimuli ayant pour origine la physiologie de l'organisme.

LE MUSCLE STRIE SQUELETTIQUE

Les objectifs pédagogiques.

A la fin de ce cours, l'élève doit être capable de :

41- *Reproduire et annoter une cellule musculaire*
42- *Connaitre le fonctionnement d'une myofibrille*
43- *Décrire le mécanisme de la contraction musculaire.*
44- *Interpréter un myogramme.*
45- *Identifier les actions de certaines substances et des excitations sur le fonctionnement du muscle.*

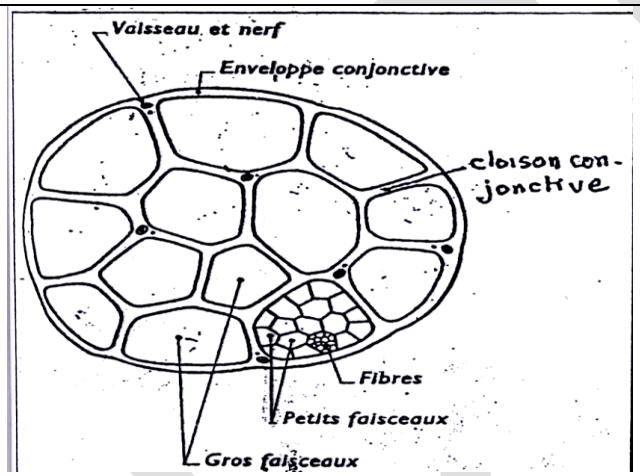
Les activités volontaires et réflexes mettent en jeu plusieurs muscles qui sont des organes effecteurs et actifs des mouvements.
Il existe deux types de muscle :
- les muscles lisses : ils sont localisés au niveau des viscères.
- Le muscle cardiaque : il constitue le myocarde.
- Les muscles striés squelettiques : ils sont insérés sur les os.

Notre étude portera sur les muscles striés squelettiques qui consiste à explorer son organisation afin de connaitre son mécanisme de fonctionnement.

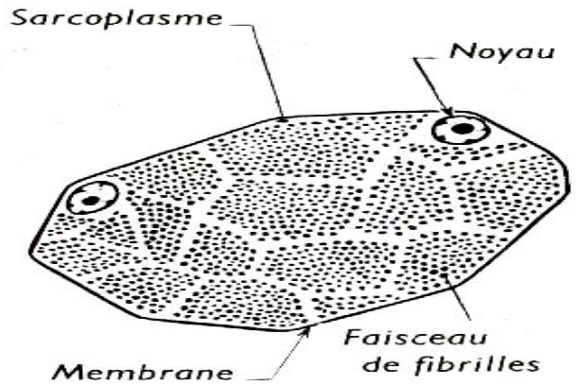
I- Structure des muscles striés squelettiques.

A- Observation à l'œil nu (observation macroscopique).

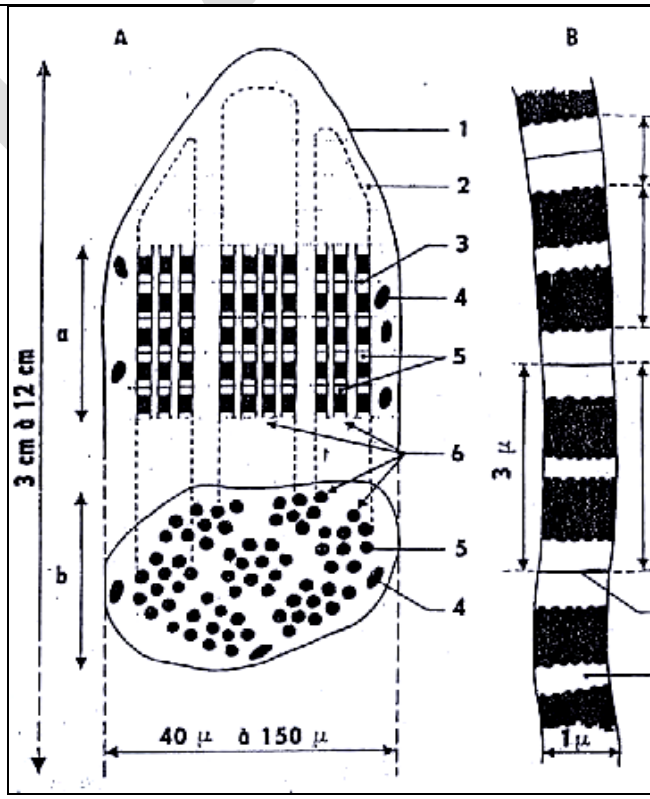
Une coupe transversale d'un muscle en fuseau montre des faisceaux de fibres musculaires. Chaque faisceau est entouré d'une enveloppe conjonctive. Entre les faisceaux, on distingue des vaisseaux sanguins et des nerfs.



Coupe transversale d'un muscle en fuseau



Coupe transversale d'un muscle en fuseau



Structure schématique de la fibre musculaire striée (détail d'une fibrille (B): a. Coupe longitudinale b. Cou transversale 1. membrane 2. cytoplasme 3. strie Z 4. 5. fibrilles 6. faisceaux de fibrilles 7. disque clair 8. di sombre 9.sarcomère 10. Strie Z 11. Zone H.

B- Observation au microscope optique.

Une fibre musculaire observée au microscope apparait comme une cellule géante comprenant : une membrane ou sarcolemme, un cytoplasme et plusieurs noyaux périphériques.

Le cytoplasme renferme un pigment rouge appelé la myoglobine mais surtout de nombreux filaments centraux appelés les myofibrilles. Chaque myofibrille est constituée par une alternance de bandes claires et de bandes sombres. Chaque disque sombre est traversé par une bande claire appelée ***zone H***. Chaque disque clair est traversé par un fin trait noir appelé ***strie Z***. ***La strie Z*** délimite l'unité fonctionnelle et structurale : ***le sarcomère***. Un sarcomère constitue l'unité contractile.

La fibre musculaire présente deux sortes de striations :

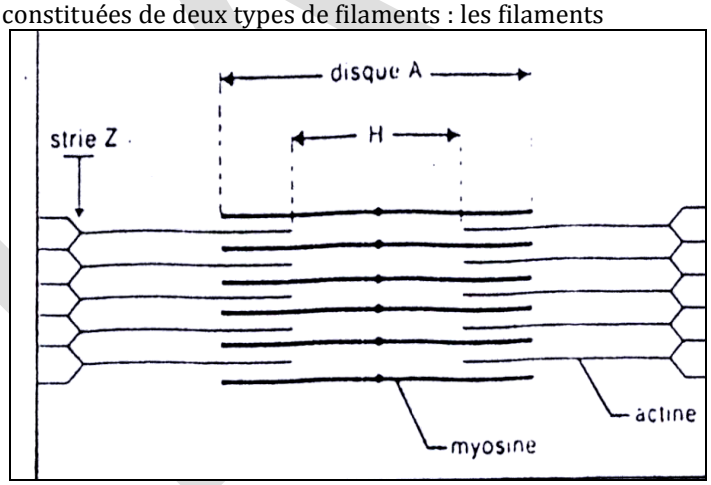
- Une striation transversale due à l'existence de bandes claires et de bandes sombres le long des myofibrilles.
- Un striation longitudinale due à la disposition des myofibrilles parallèlement entre elles et parallèlement au grand axe de la fibre musculaire.

C- Observation au microscope électronique.

L'ultrastructure d'une myofibrille montre qu'elles sont constituées de deux types de filaments : les filaments d'actine et les filaments de myosine.

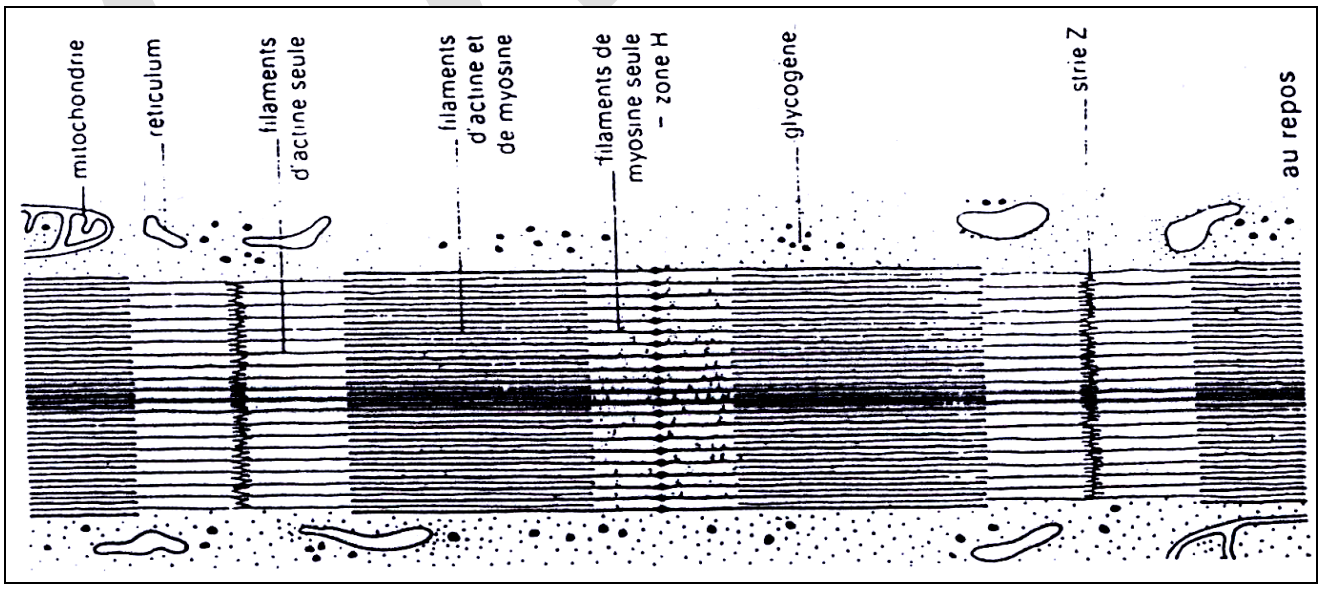
Les bandes claires sont constituées de filaments fins appelés filaments d'actine qui sont de nature protidique. Au milieu de chaque bande claire, les filaments d'actine s'unissent pour former la strie Z.

Les bandes sombres sont formées par les filaments d'actine et des filaments épais ou filaments de myosine. Les filaments de myosine sont de nature protidique et sont sous forme de bâtonnets terminés chacun par une tête globulaire. Au milieu de chaque bande sombre, on a une zone dépourvue de filament d'actine c'est-à-dire une zone ne renfermant que des filaments de myosine : c'est la zone H.



Les filaments constitutifs d'un sarcomère

Le sarcomère est une unité contractile constituée par un ensemble de filaments d'actine et de myosine compris entre deux stries Z consécutives.



Ultrastructure d'une fibre musculaire au repos.

II- Etude de la contraction musculaire.

La contraction musculaire regroupe : les phénomènes mécaniques, chimiques, électriques et thermiques.

A- Etude des phénomènes mécaniques de la contraction musculaire.

1. Observations.

Au cours d'un mouvement de flexion de l'avant bras sur le bras, le biceps se gonfle c'est-à-dire se contracte alors que le triceps se relâche c'est-à-dire se décontracte. Biceps triceps sont donc deux muscles antagonistes car ils effectuent des mouvements en sens contraire.

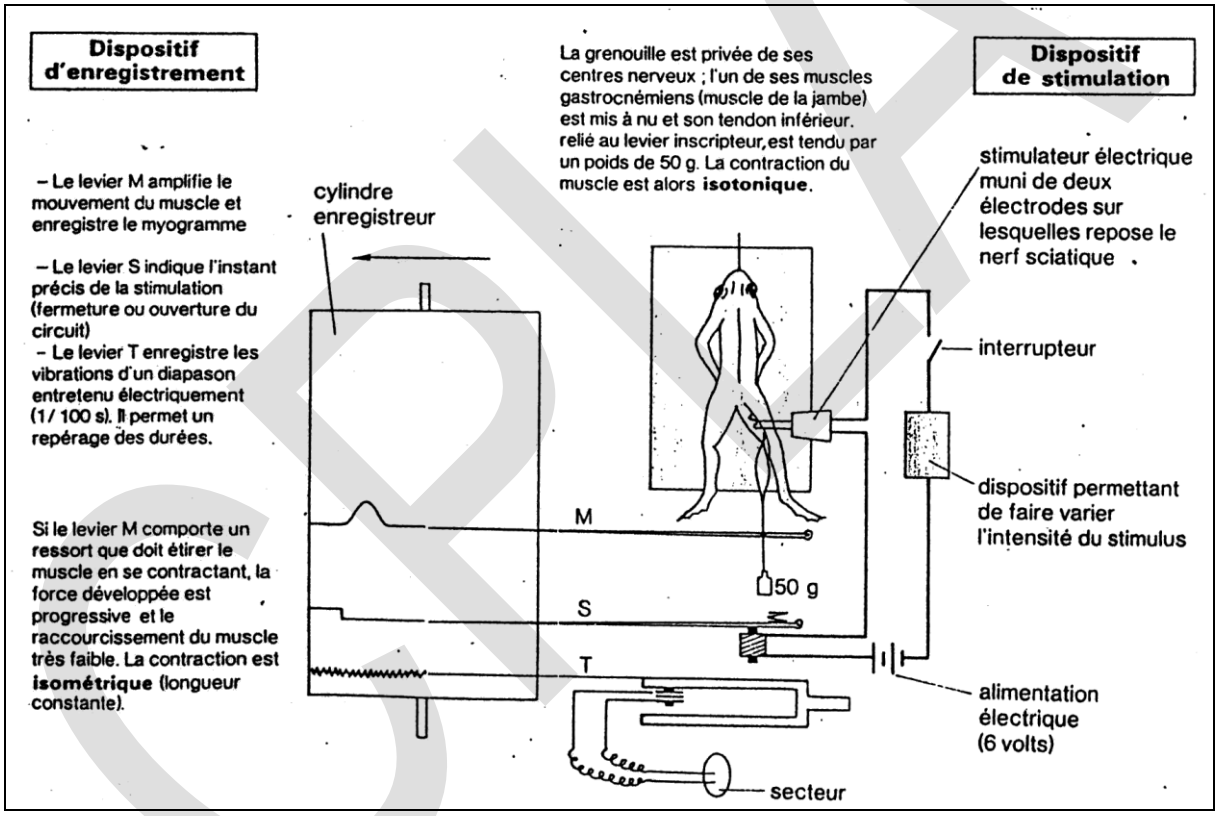
2. Enregistrement des phénomènes mécaniques de la contraction musculaire.

On utilise un dispositif comprenant :

- Un myographe c'est l'appareil enregistreur des contractions musculaires. Il est constitué :

* un cylindre enregistreur sur le quel est en roulé un papier enregistreur et qui tourne à une vitesse lente. Les courbes obtenues sont appelées myogrammes.
* Un levier M qui enregistre les courbes ou myogrammes sur le papier.
* Un levier T qui enregistre la durée des courbes.
* Un levier S qui indique l'instant précis de la stimulation.

- Le stimulateur : il permet d'exciter le nerf relié au muscle.
- Le chronographe : il sert à enregistrer la durée des contractions musculaires.

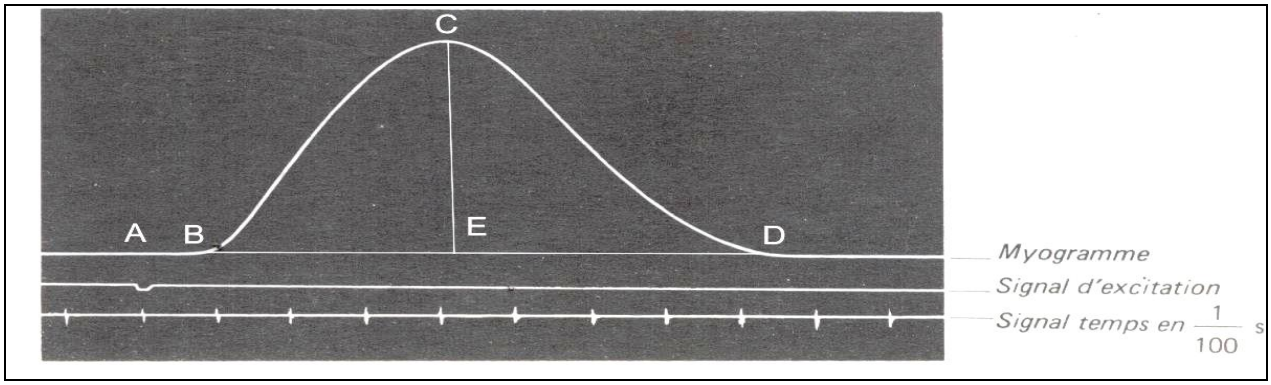


3. Etude des myogrammes.

Le myogramme est une courbe graphique donnée par un myographe.

a- Réponse du muscle à une excitation isolée.

Une excitation isolée et efficace portée sur un nerf relié à un muscle permet d'obtenir une secousse musculaire isolée qui se présente comme suit :

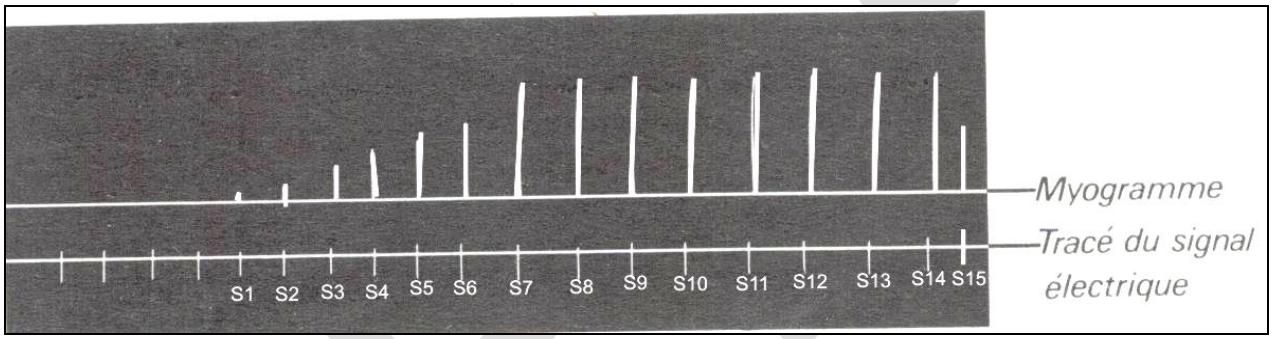


Secousse musculaire isolée.

Une secousse musculaire comporte trois phases :
- AB : c'est la phase de latence qui correspond au temps mis par l'influx nerveux pour atteindre le muscle.
- BC : c'est la phase de contraction due au raccourcissement du muscle. Sa durée est BE et son amplitude est CE.
- CD : c'est la phase de relâchement due à la décontraction du muscle. Sa durée est ED.

b- Réponses musculaires à des excitations d'intensités croissantes.

On porte des excitations efficaces et de plus en plus croissantes sur un nerf relié à un muscle. On observe les myogrammes suivants :

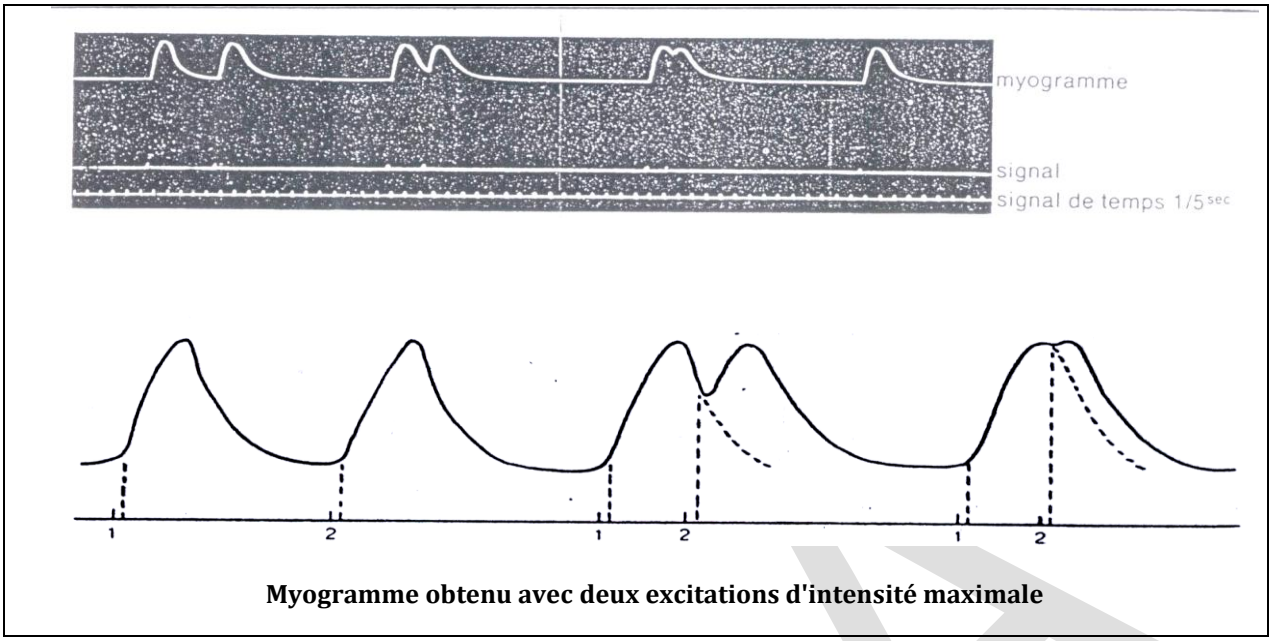


Contractions musculaires obtenues par une série de stimulations d'intensité croissante

Interprétation des myogrammes :
- Entre S1 et S7, l'amplitude des secousses musculaires augmente avec l'intensité de stimulation. Cette augmentation est due au recrutement progressif des fibres musculaires lorsque l'intensité de stimulation augmente.
- Etre S7 et S14, l'amplitude des secousses reste constante car toutes les fibres musculaires sont déjà excitées.
- Entre S14 et S15, l'amplitude baisse lorsque la stimulation augmente à cause de la fatigue musculaire due à l'accumulation de l'acide lactique dans les fibres musculaires.

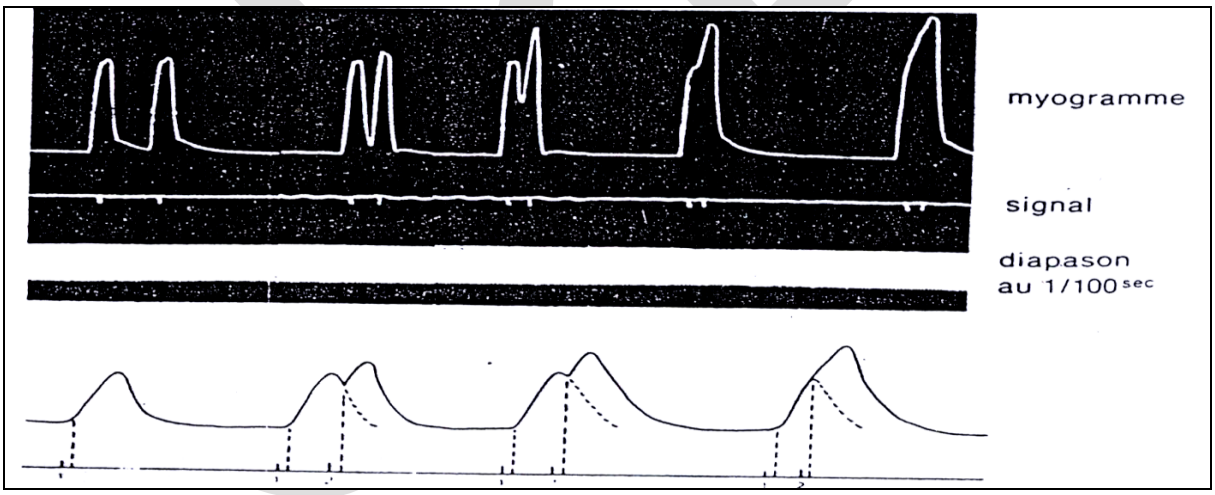
c- Réponses musculaires à deux excitations d'intensités maximales.

Lorsqu'on porte deux excitations d'intensités maximales sur un nerf relié à un muscle, on constate que :
- Si les deux excitations sont espacées l'une de l'autre, on obtient deux secousses musculaires isolées et d'amplitudes maximales.
- Si la deuxième excitation atteint le muscle pendant la phase de relâchement de la première secousse, on obtient deux secousses musculaires partiellement fusionnées : c'est la fusion incomplète.
- Si la deuxième excitation atteint le muscle pendant la phase de contraction de la première secousse, on obtient une secousse unique avec un sommet plat : c'est la fusion complète.



Myogramme obtenu avec deux excitations d'intensité maximale

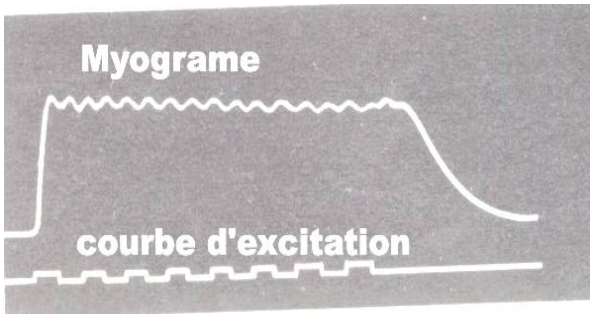
d- Réponse musculaires à deux excitations d'intensités liminaires.
Lorsqu'on porte deux excitations d'intensités égales et liminaires sur une préparation nerf-muscle, on constate que :
- Si les deux excitations sont suffisamment espacées l'une de l'autre, on obtient deux secousses isolées de même amplitude minimale.
- Si la deuxième excitation atteint le muscle pendant la phase de relâchement de la première secousse, on obtient une deuxième secousse rapprochée de la première mais ayant une amplitude plus élevée que la première secousse. Cette légère augmentation d'amplitude est due à une sommation partielle entre la première et la deuxième excitation.
- Si la deuxième excitation atteint le muscle pendant la phase de contraction de la première secousse, on obtient une secousse unique d'amplitude plus grande à cause de la sommation totale entre les deux excitations.



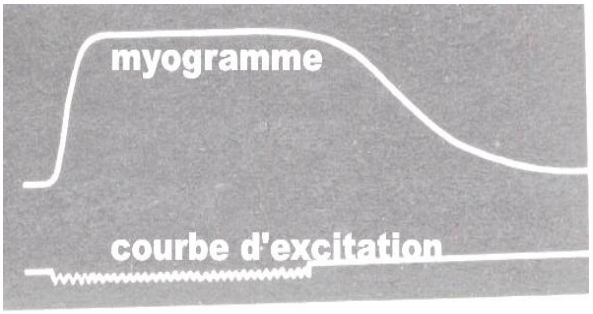
Myogramme obtenus avec deux excitations d'intensité liminaire

e- Réponse musculaires à des excitations rapprochées.
Lorsqu'on porte des excitations d'intensités maximales et rapprochées sur une préparation nerf-muscle, on constate que :
- Si chaque excitation atteint le muscle pendant la phase de relâchement de la secousse précédant, on obtient un enregistrement formé de secousses incomplètement fusionnées au sommet appelées tétanos imparfait.

- Si chaque excitation atteint le muscle pendant la phase de contraction de la secousse précédant, on obtient un enregistrement fait de secousses complètement fusionnées appelées le tétanos parfait.



Tétanos imparfait



Tétanos parfait

4. Mécanisme de la contraction musculaire.

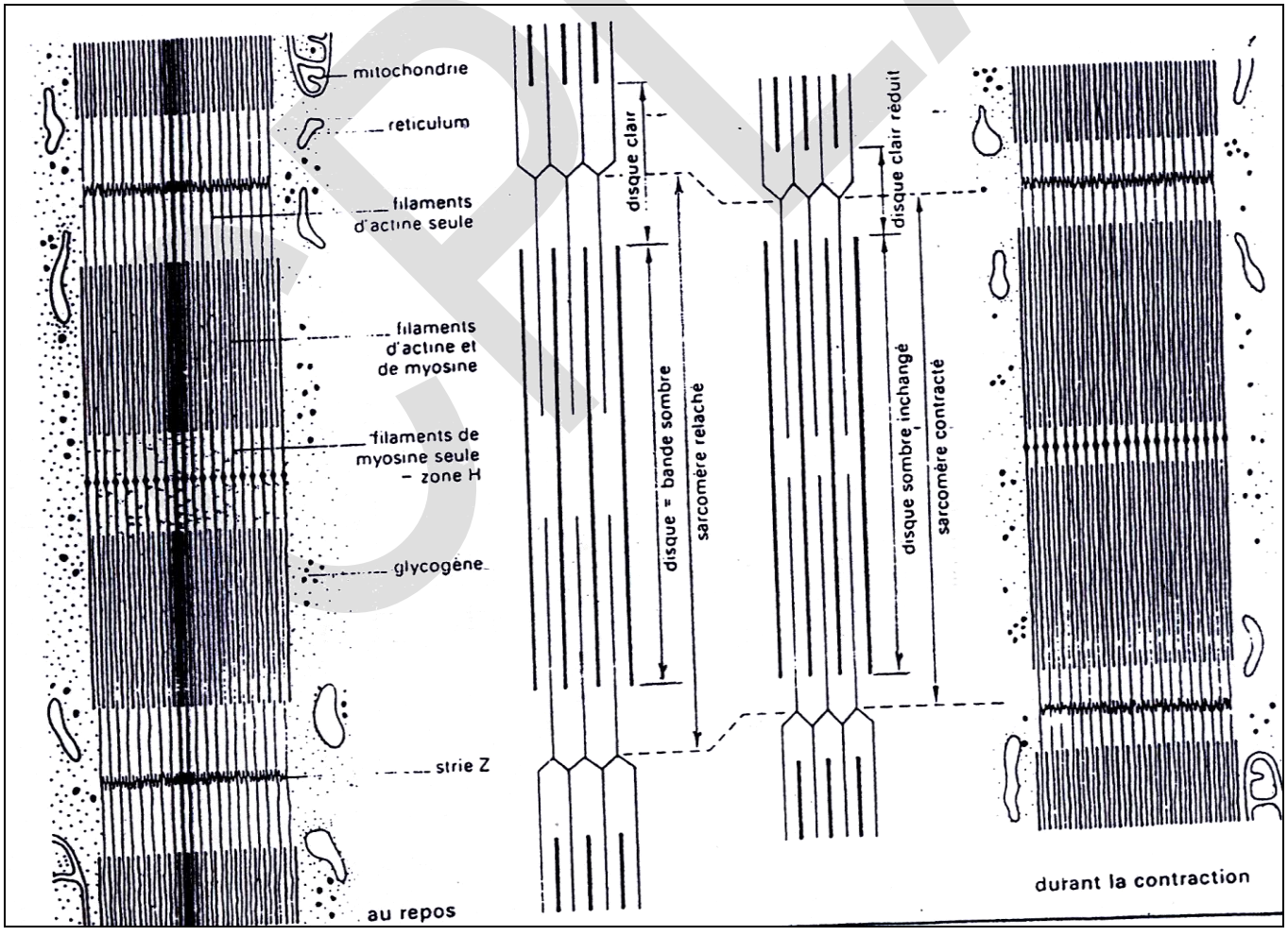
a- Observation d'une fibre musculaire au repos et en contraction.

L'état d'une fibre musculaire au repos comparé à son état lorsqu'il est en activité, montre que :

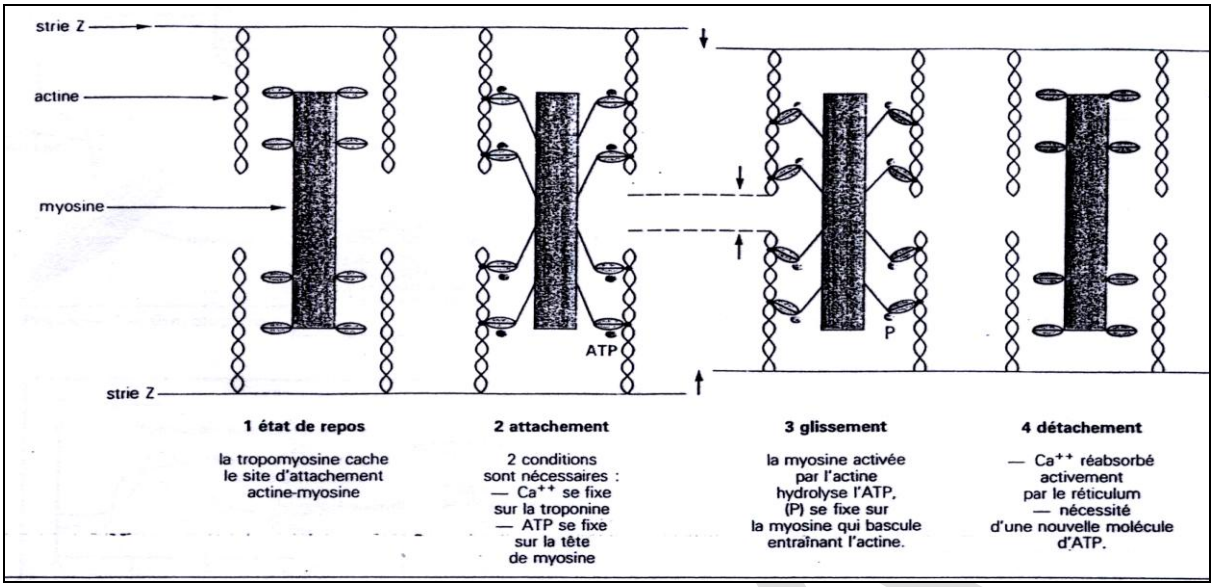
- Les myofibrilles diminuent de taille lorsqu'elle est en contraction.
- Les disques clairs, les sarcomères et les zones H diminuent aussi de longueur lors de la contraction.
- Les disques sombres ne varient pas en longueur pendant la contraction.

b- Mécanisme de la contraction musculaire.

- L'arrivée de l'influx nerveux au niveau de la fibre musculaire provoque la libération des ions Ca^{2+} dans la fibre musculaire.
- Attachement actine-myosine.
- Glissement des filaments d'actine le long des filaments de myosine.
- Absorption active des ions Ca^{2+} libérés et hydrolyse du phosphate par la phosphatase.



La contraction musculaire et son interprétation



Le mécanisme de glissement des molécules motrices

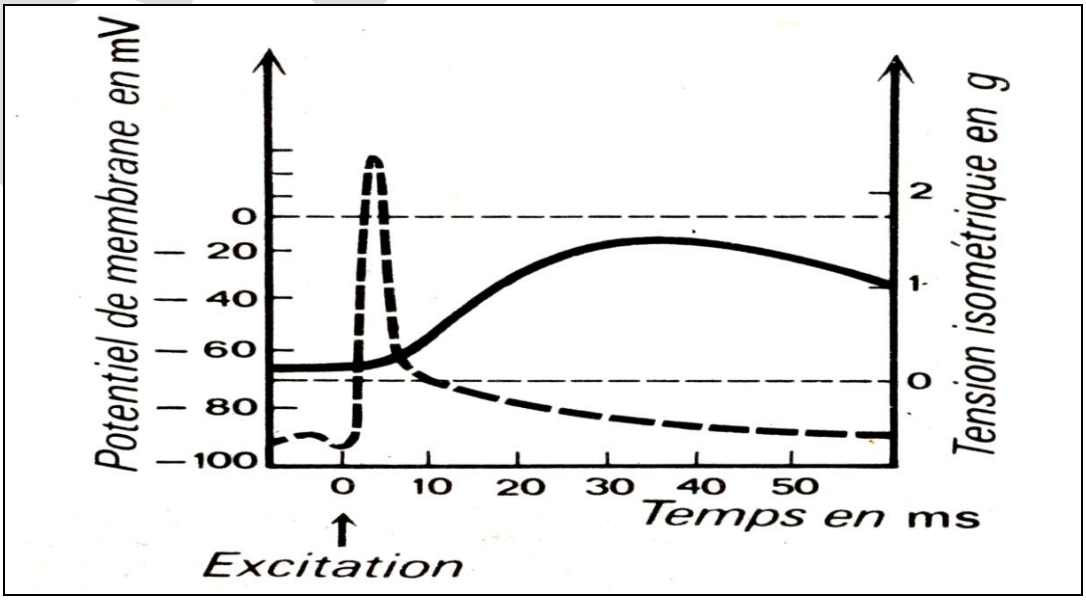
c- Propriétés du muscle.

- Excitabilité
- Contractilité
- Extensibilité
- Elasticité
- Tonicité.

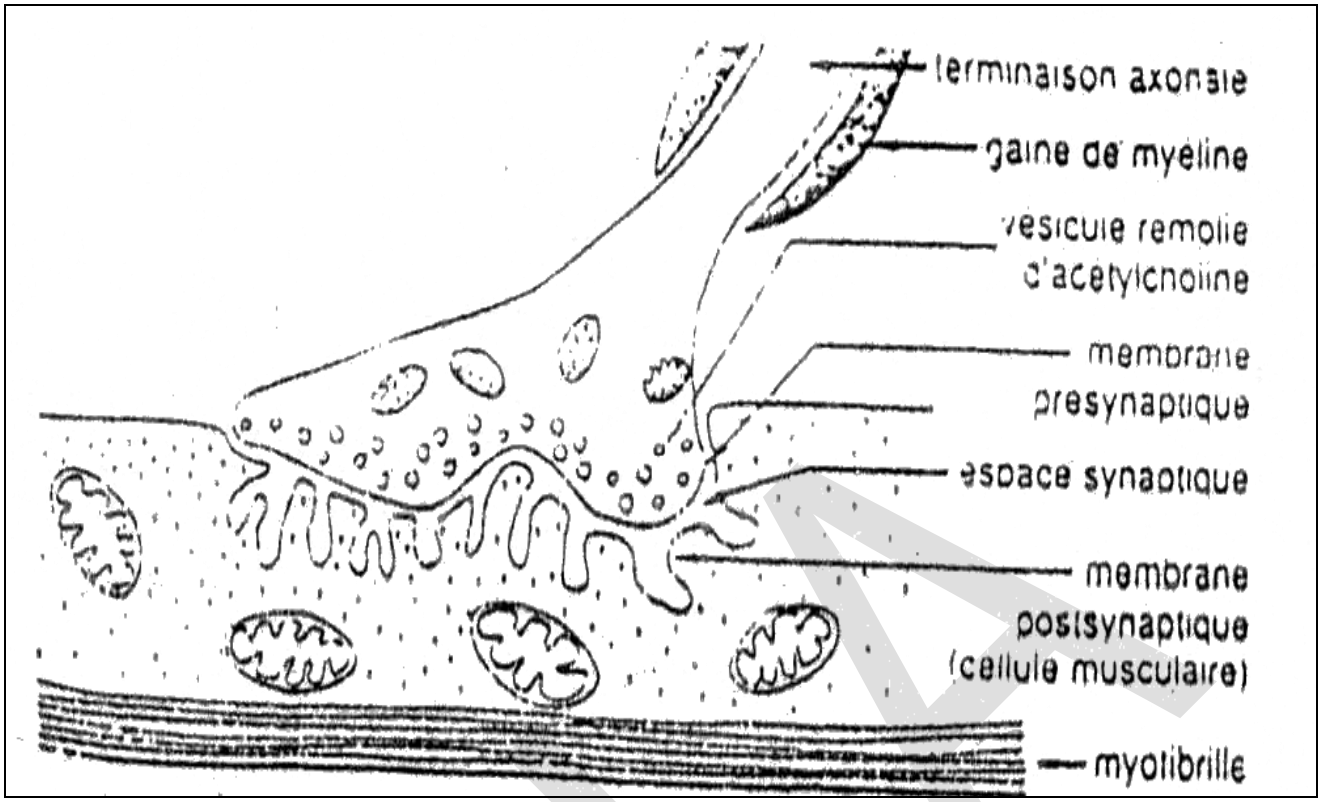
B- Phénomènes électriques de la contraction musculaire.

Existence de différence de potentiel entre l'extérieur et l'intérieur d'une fibre musculaire ; c'est le potentiel de repos de l'ordre de -90 mv donc le sarcolemme est chargé positivement à l'extérieur et négativement à l'intérieur.

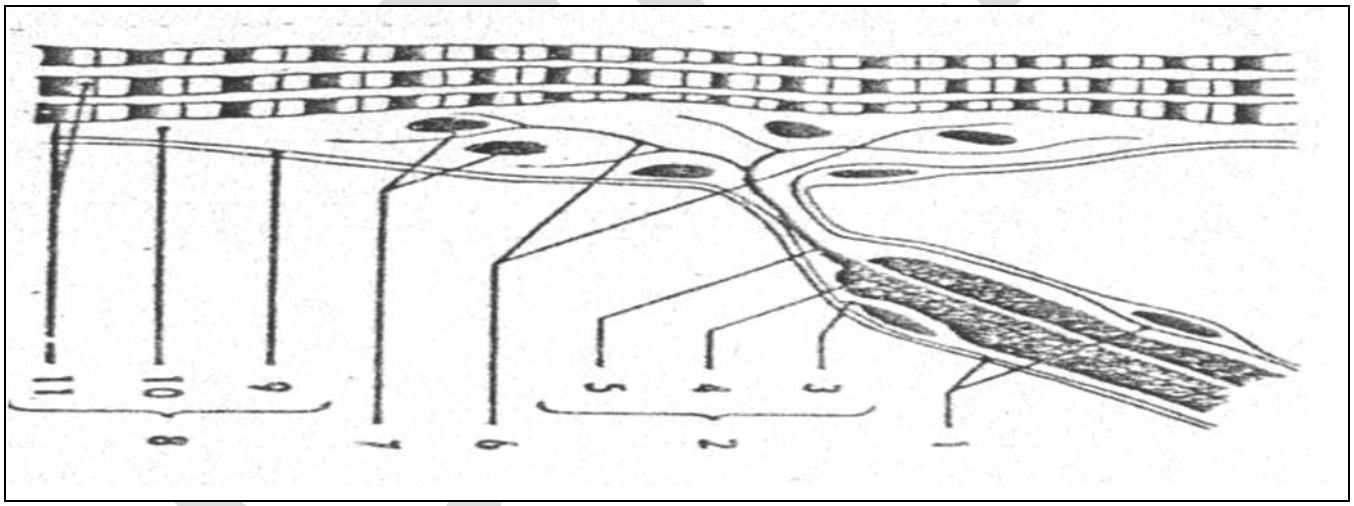
Lorsqu'on excite le muscle, on enregistre à l'aide d'un oscillographe à double entrée à la fois le myogramme (phénomène mécanique) et un Potentiel d'Action (phénomène électrique). La superposition de deux courbes montre que le Potentiel d'Action se situe dans la phase de latence du myogramme. Le phénomène mécanique est dû à la dépolarisation de la fibre musculaire.



Enregistrement simultané du mécanogramme (en traits pleins) et l'électromyogramme (en tirets).



La plaque motrice



Plaque motrice: 1. gaine conjonctive 2. fibre nerveuse 3. gaine de Schwann 4. gaine de myéline 5. axone 6. arborisation terminale 7. noyaux de la plaque motrice 8. fibre musculaire 9. membrane 10. cytoplasme 11. deux fibrilles musculaires.

C- Phénomènes chimiques et énergétiques de la contraction musculaire.

1. Observations des phénomènes chimiques et énergétiques de la contraction musculaire.

L'analyse du sang à l'entrée et à la sortie d'un muscle au repos et du même muscle en activité donne les valeurs consignées dans le tableau suivant :

	Muscle au repos	Muscle en activité
Oxygène utilisé (en L)	0,03	5,2
Co2 produit (en L)	0,22	5,95
Glucides utilisés (en g)	0,3	8,4
Lipides utilisés (en g)	0	0
Protides utilisés (en g)	0	0
PH musculaire	7,1	7,9

L'analyse des résultats du tableau montre qu'un muscle :
- consomme plus de glucides et d'oxygène lorsqu'i est en activité ;
- rejette plus de CO_2 lorsqu'il est en activité ;
- n'utilise ni de protides ni de lipides ;
- a un Ph basique lorsqu'il est en activité alors que son Ph est neutre au repos.

2. Les réactions chimiques et énergétiques.

Il se produit deux types de réactions : les réactions d'hydrolyse des molécules énergétiques et les réactions de régénération des molécules énergétiques.

a- Les réactions d'hydrolyse des molécules énergétiques.

Elles ont lieu au début de la contraction musculaire et entrainent la libération de l'énergie nécessaire à la contraction musculaire. Elles sont de deux types :

- L'hydrolyse d'ATP : $ATP \xrightarrow{ATPase} ADP + Pi + E.$

la libération du Pi dans le muscle entraine la baisse du PH au début de la contraction musculaire.

- L'hydrolyse de la phosphocréatine : Phosphocréatine $\longrightarrow$ Créatine + Pi + E.

La libération de la créatine entraine la basicité du milieu musculaire.

Les énergies libérées par hydrolyse d'ATP et de la phosphocréatine constituent la chaleur initiale de la contraction.

b- Les réactions de régénération des molécules énergétiques.

La régénération des molécules énergétiques se fait selon deux voies : les voies rapides et les voies lentes.

b1 : Les voies rapides.

Elles regroupent les réactions aérobies suivantes :

- ADP + Phosphocréatine $\longrightarrow$ ATP + créatine.

- 2ADP $\longrightarrow$ ATP + AMP.

- Créatine + AMP + E $\longrightarrow$ Phosphocréatine

b2 : les voies lentes.

Elles regroupent deux types de réactions : l'oxydation du glucose et la fermentation du glucose.

- L'oxydation du glucose : Elle se déroule dans les mitochondries (cycle de Krebs) et entraine la production d'énergie. $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + E$ (38ATP).
- La fermentation du glucose : elle a lieu lors d'un travail musculaire soutenu, en absence d'oxygène et conduit à la formation de l'acide lactique. Ce dernier s'accumule dans le tissu musculaire entraine les crampes ou fatigues.

$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2CH_3\text{-}CHOH\text{-}COOH + 2ATP.$

Acide lactique

D : Phénomènes thermiques de la réaction.

L'activité musculaire est accompagnée d'un dégagement de chaleur enregistrable par le principe des thermopiles.

Au cours de la contraction musculaire, il se produit deux types de chaleurs : la chaleur initiale et la chaleur retardée.

- La chaleur initiale : elle provient de l'hydrolyse de l'ATP et de la phosphocréatine. La chaleur initiale est de trois sortes :

* Chaleur d'activation légèrement en avant sur la contraction musculaire.
* Chaleur de soutien contemporaine à la contraction.
* Chaleur de relâchement produite au cours de relâchement.

Chaleur d'activation + Chaleur de soutien = Chaleur de contraction

- La chaleur retardée ou chaleur de restauration : elle est produite à la fin de la contraction musculaire et correspond à l'énergie produite pendant les voies lentes.

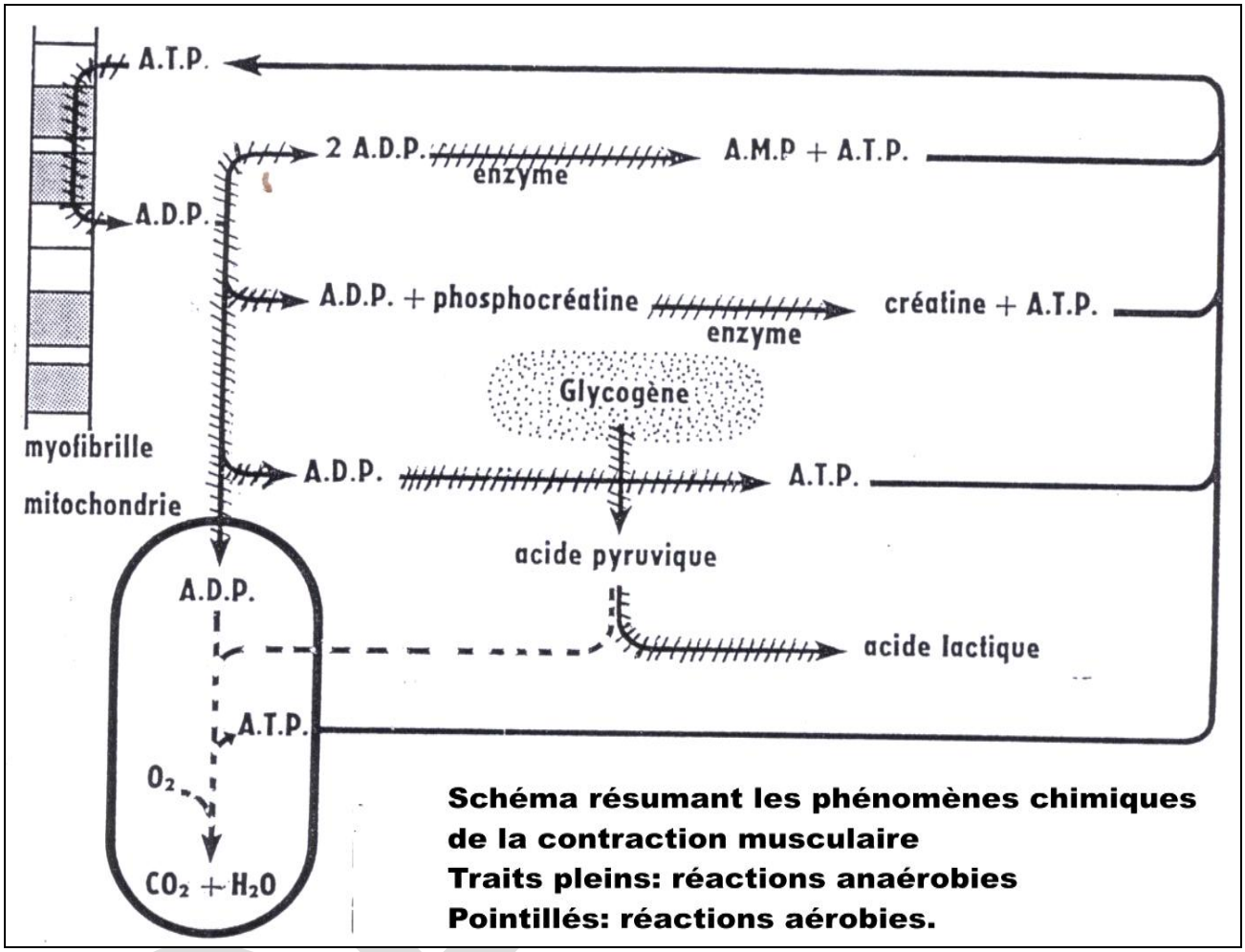


Schéma résumant les phénomènes chimiques de la contraction musculaire
Traits pleins: réactions anaérobies
Pointillés: réactions aérobies.

III- Régulation de l'activité musculaire.

Chaque muscle strié squelettique est innervé par un neurone moteur et chaque fibre nerveuse fait synapse avec une ou plusieurs fibres musculaires. Le contact entre une fibre nerveuse et une fibre musculaire constitue une plaque motrice. Le contact entre une fibre nerveuse et plusieurs fibres musculaires constitue une unité motrice.
Dans un muscle, il existe deux types d'unités motrices :
- Les unités motrices lentes : elles sont à l'origine des contractions musculaires de faibles amplitudes mais durables.
- Les unités motrices rapides : elles sont à l'origine des contractions musculaires de grandes amplitudes mais de courtes durées.

Le système nerveux contrôle aussi le fonctionnement des muscles qui sont toujours en léger état de contraction appelée le tonus musculaire.

IV- Action de certaines substances sur l'activité musculaire.

1. Action du curare.

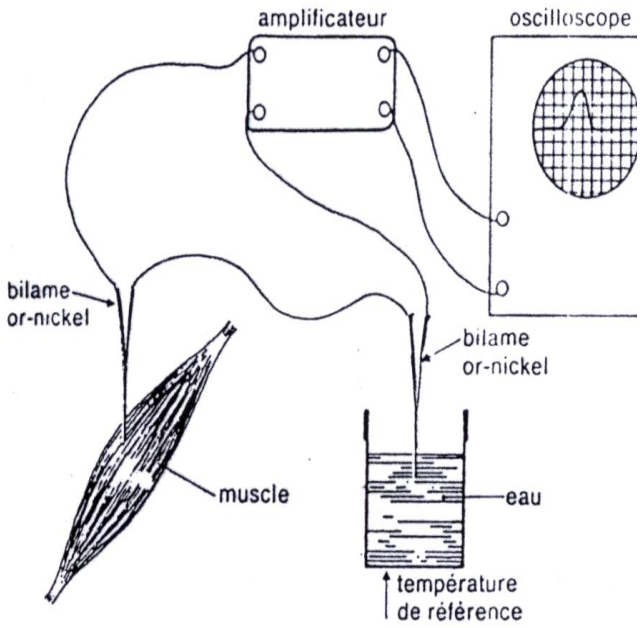
Le curare bloque la transmission de l'influx nerveux au niveau de la plaque motrice en se fixant sur les récepteurs à acétylcholine situés au niveau de la membrane post-synaptique (membrane de la fibre musculaire). Le curare entre donc en compétition de site avec l'acétylcholine : il s'agit d'une compétition inhibitrice. Il existe un curare synthétique appelé le flaxédil qui a la même action que le curare.

2. Action de l'atropine.

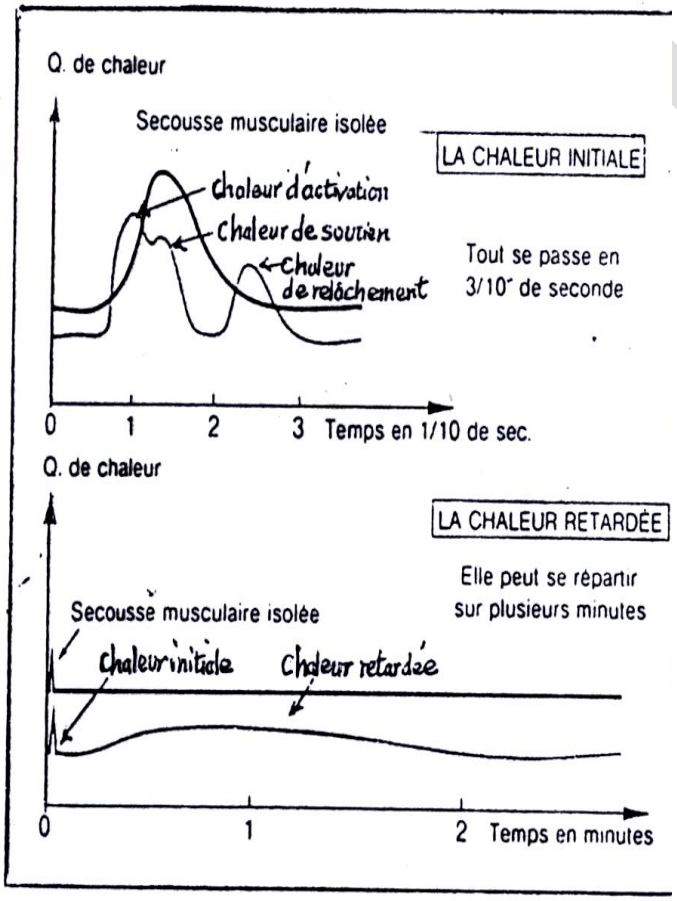
L'atropine inhibe les récepteurs post synaptiques entraine la non utilisation de l'acétylcholine libérée dans la fente synaptique. Cet acétylcholine libérée passe dans le sang et provoque l'accélération du rythme cardiaque (tachycardie) et la dilatation du diamètre de la pupille.

3. Action de la prostigmine.

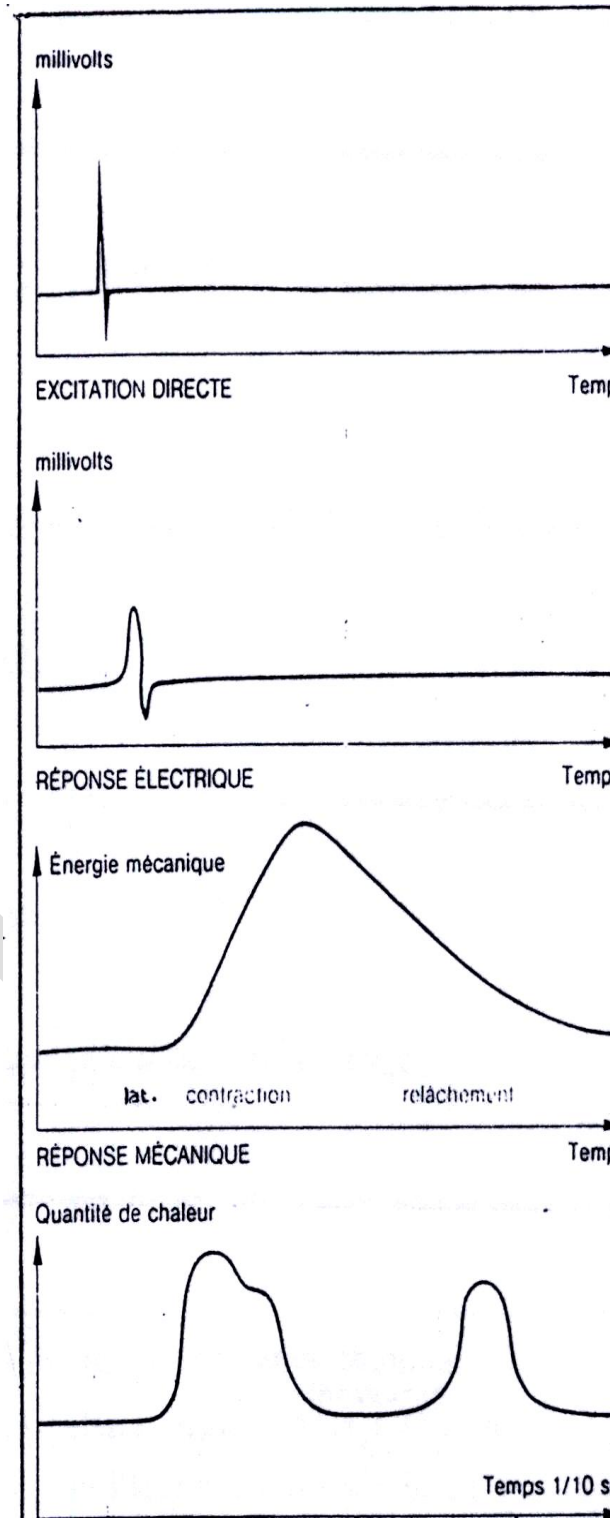
Elle renforce la transmission neuromusculaire de l'influx nerveux en renforçant l'action du neuromédiateur.
Il existe d'autres substances qui renforcent la transmission neuromusculaires comme : l'ésérine, la cocaïne etc.



Principe des thermopiles



Manifestations thermiques de la contraction musculaire



Différentes manifestations de l'activité musculaire en réponse à une excitation.

L'ACTIVITE CARDIAQUE

Les objectifs pédagogiques.

A la fin de ce cours, l'élève doit être capable de :

46- Mettre en évidence l'automatisme cardiaque

47- Mettre en évidence les sièges d'automatisme.

48- Analyser et interpréter les électrocardiogrammes.

49- Analyser et interpréter les effets des excitations sur l'activité cardiaque.

50- Connaitre l'action de certaines substances sur l'activité cardiaque.

51- Déterminer la fréquence cardiaque.

Le cœur est un muscle creux dont les contractions assurent la circulation du sang dans l'organisme. Les contractions du cœur sont dues aux muscles cardiaques qui sont formés de fibres spécialisées dans la contraction involontaire et ce qui permet au cœur de fonctionner de façon autonome.

I- L'automatisme cardiaque.

L'automatisme est une réaction indépendante d'un organe vis-à-vis des autres organes.

Un organe autonome est un organe qui possède en lui-même les causes de son propre fonctionnement.

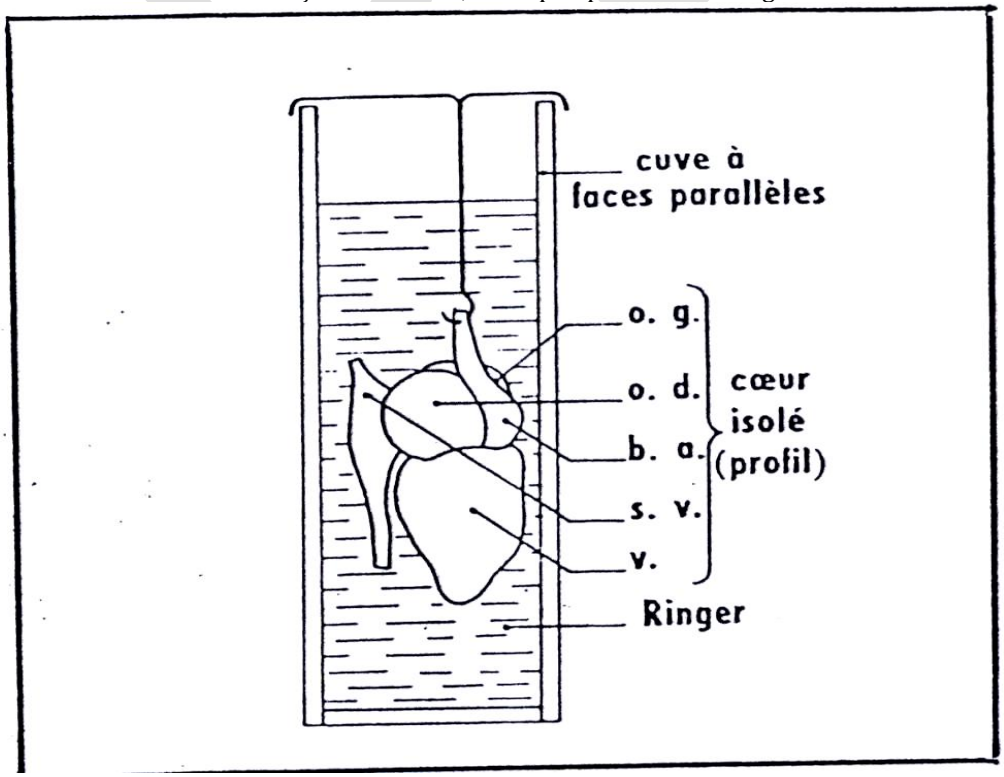
A- Mise en évidence de l'automatisme cardiaque.

Expériences et observations.

Lorsqu'on ouvre la cage thoracique d'une grenouille décérébrée et démédullée, on remarque que ce cœur continu à battre. Si on isole ce cœur et qu'on le plonge dans un liquide physiologique de Ringer, ce cœur continu à battre même en dehors de l'organisme. Lorsqu'on perfuse un cœur à l'aide du liquide de Ringer, ce cœur continu à battre normalement.

Conclusions : Le cœur fonctionne d'une façon autonome. L'origine du fonctionnement du cœur se trouve dans le cœur lui-même.

Remarque : si le cœur fonctionne d'une façon autonome, c'est qu'il possède des sièges d'automatisme.



Mise en évidence de l'automatisme cardiaque.

B- Mise en évidence des sièges d'automatisme cardiaque.

1°) Anatomie et histologie du cœur.

a- Le cœur des mammifères.

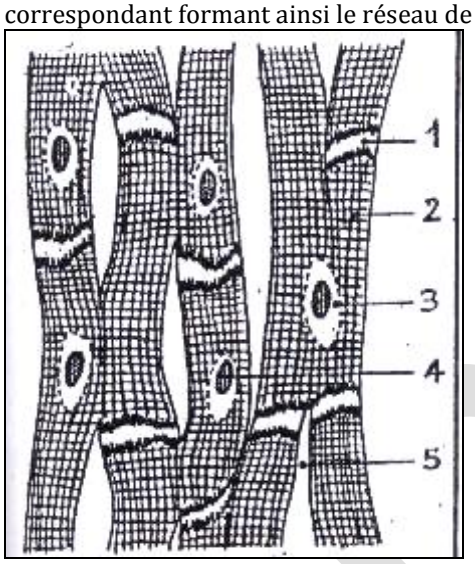
Le cœur des mammifères est constitué de muscles cardiaques appelés myocardes. Ce dernier est constitué de fibres musculaires striées appelées fibres myocardiques et de tissus nodal.

Chaque fibre myocardique renferme :

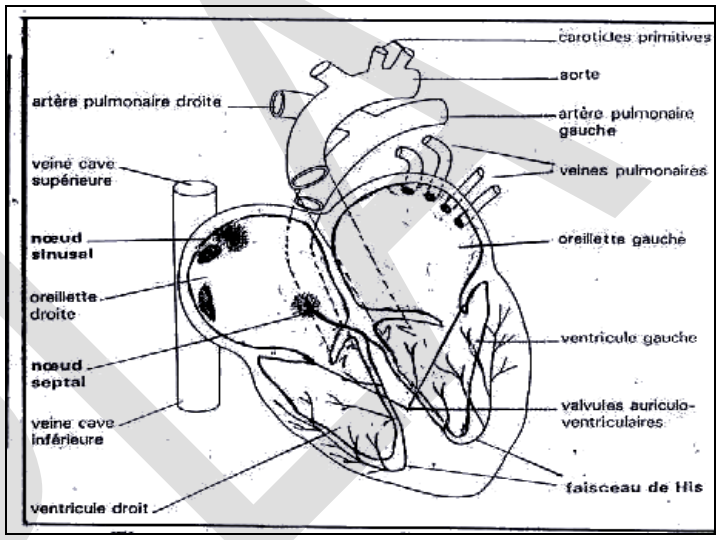
- Des fibrilles qui sont en position périphérique et sont bifurquées (en forme d'Y) et anastomosées entre elles. Ces fibres présentent des stries scalariformes qui sont des cloisons entourés d'éléments conjonctifs.
- Des noyaux centraux.

Le tissu nodal est formé de fibres cardiaques pauvres en fibrilles et ayant l'aspect de cellules embryonnaires. Le tissu nodal comprend :

- Le nœud sinusal ou nœud de Keith et Flack qui est un amas de tissu nodal situé dans la paroi de l'oreillette droite au point d'arrivée des veines caves supérieures.
- Le nœud septal ou nœud auriculo-ventriculaire ou nœud de Tawara qui est un amas de tissu nodal situé au niveau cloison auriculo-ventriculaire droite.
- Le faisceau de His formé de tissu nodal de grande taille et est issus du nœud septal. Il se subdivise en deux branches et chaque branche va dans un ventricule. Chaque branche émet des ramifications dans le ventricule correspondant formant ainsi le réseau de Purkinje.



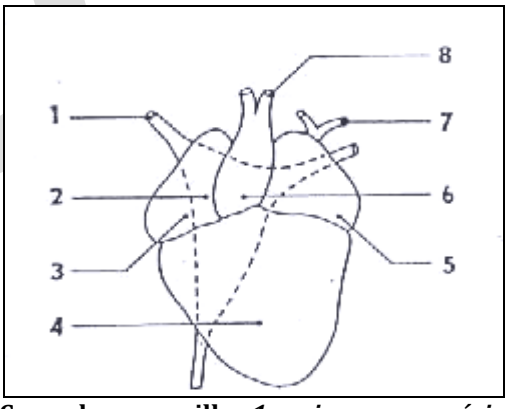
Fibres musculaires du myocarde.
1 : stries scalariformes 2 : fibres striées
3 : sarcoplasme 4 : noyau 5 : conjonctif.



Tissu nodal du cœur des mammifères.

b- Le cœur des batraciens.

Le cœur de grenouille est formé de deux oreillettes et d'un ventricule unique. Les veines caves s'associent au niveau des oreillettes pour former le sinus veineux. Ce cœur renferme aussi un tissu nodal constitué de ganglions qui sont des amas cellulaires embryonnaires. Ces ganglions sont localisés dans le sinus veineux, dans les oreillettes et dans le ventricule.



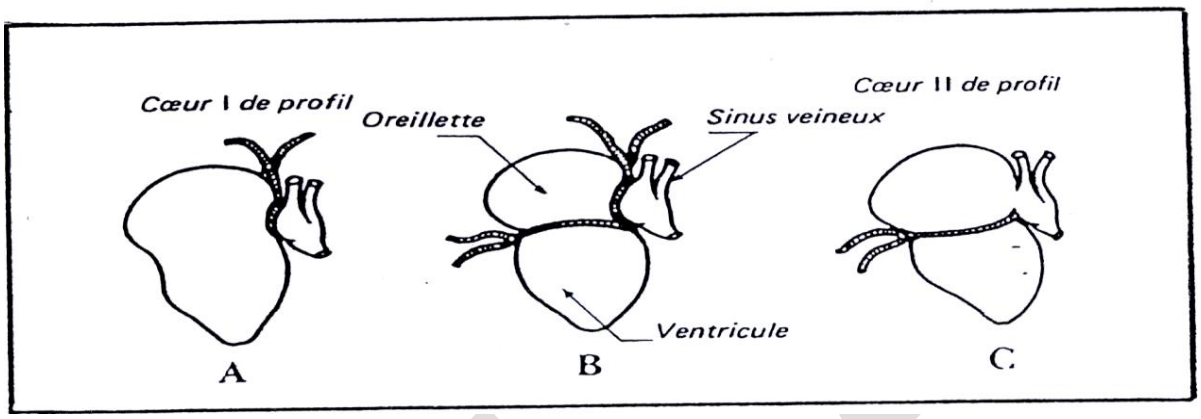
Cœur de grenouille. ***1 : veine cave supérieure 2 : sinus veineux 3 : oreillette droite 4 : ventricule 5 : oreillette gauche 6 : bulbe artériel 7 : veines pulmonaires 8 : artères.***

2°) Mise en évidence des sièges d'automatisme.

a- Expérience de ligature de Stannius.

Elle consiste à poser des ligatures à différents endroits des cœurs de grenouilles.

On pose une ligature entre les oreillettes et le sinus veineux d'un cœur de grenouille. On constate que les oreillettes et le ventricule s'arrêtent de battre mais le sinus veineux continu à battre à un rythme normal. Il existe donc un siège d'automatisme dans le sinus veineux.
On pose une deuxième ligature entre les oreillettes et le ventricule du même cœur. Le ventricule se remet à battre mais à un rythme plus lent que celui du sinus veineux. Il existe donc un deuxième siège d'automatisme dans le ventricule. Ce second siège est sous le contrôle du siège du sinus veineux.
Sur un deuxième cœur, on pose une ligature entre les oreillettes et le ventricule. Sinus et oreillettes battent normalement. Le ventricule, après un temps d'arrêt, reprend ses contractions mais à un rythme très lent. Les excitations qui sont à l'origine des battements du cœur naissent au niveau du sinus veineux, se propagent aux oreillettes puis atteignent le ventricule.

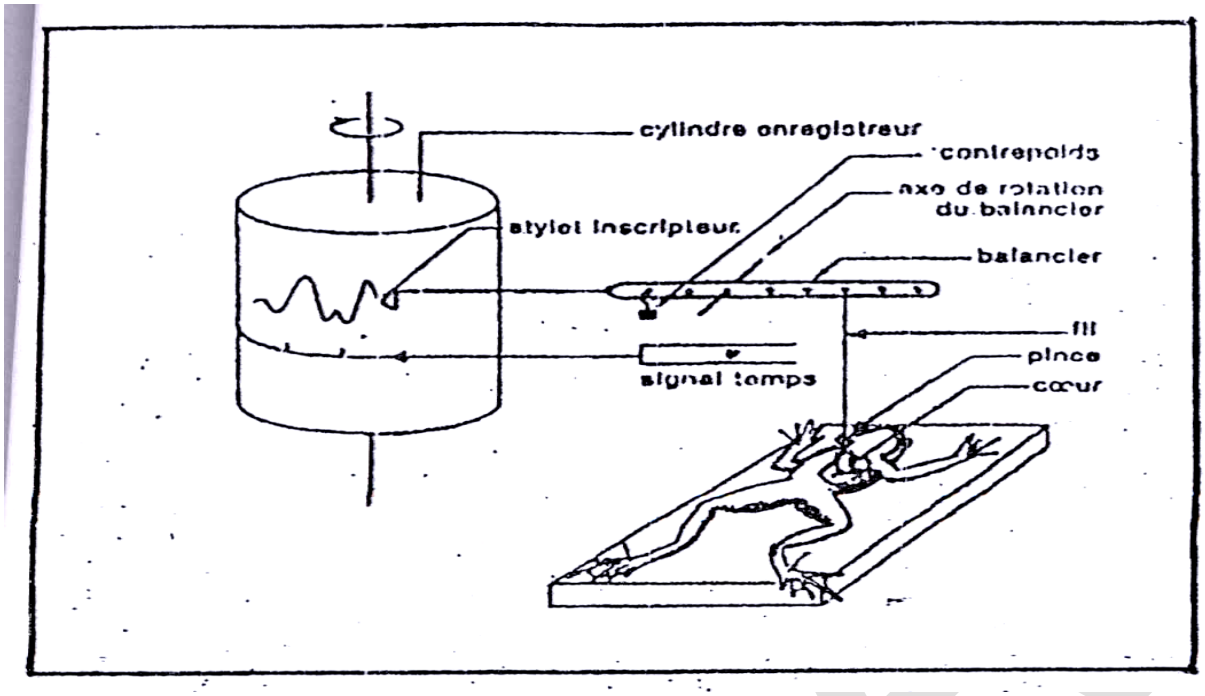


Expérience de ligature de STANNIUS.

b- Expérience sur le cœur des mammifères.
La suppression du tissu nodal entraine un arrêt du cœur des mammifères : donc le siège d'automatisme du cœur des mammifères se trouve dans le tissu nodal.
La destruction du nœud sinusal entraine le ralentissement du rythme cardiaque : donc le nœud sinusal est le siège qui impose son rythme au cœur. Le nœud sinusal est l'entraineur cardiaque ou le pacemaker.

II- La cardiographie.

C'est l'étude du cœur au moyen d'un cardiographe. Le cardiographe est un appareil qui donne le tracé des mouvements du cœur.
1°) Technique d'enregistrement.
a- Dispositif expérimental.
Pour enregistrer les battements cardiaques chez la grenouille, on utilise un dispositif expérimental appelé le cardiographe à balancier qui comprend :
- Un levier : il est mobile autour d'un axe. Une des extrémités du levier est reliée à la pointe du cœur par une pince métallique. L'autre extrémité est munie d'un stylet inscripteur. Ce dernier permet d'enregistrer les battements cardiaques sur un papier.
- Un cylindre enregistreur : il tourne à une vitesse très lente. Sur le tambour du cylindre est enroulé un papier enregistreur.
- Un chronographe : il sert à enregistrer la durée des contractions cardiaques sur le papier.



Cardiographe à balancier.

b- Principe du cardiographe.

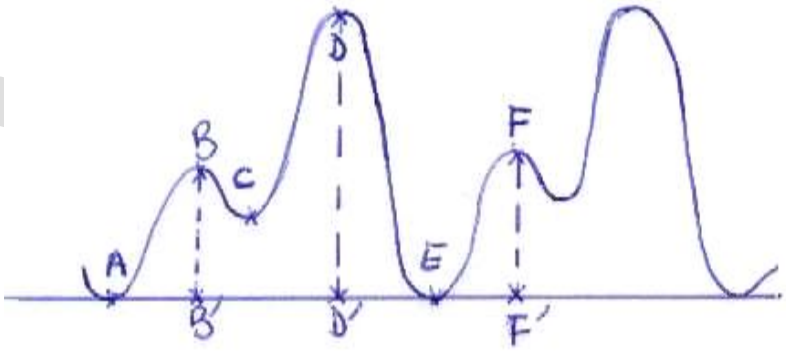
Le cardiographe à balancier est un simple levier mobile autour d'un axe dont un bras est relié à la pointe du cœur et l'autre bras est muni d'un stylet inscripteur. Les battements cardiaques provoquent le déplacement du stylet qui inscrit sur un papier.

2°) Etude du cardiogramme normal.

On distingue cardiogramme normal de grenouille et celui de l'Homme.

a- Cardiogramme normal de grenouilles.

a_1 : Le tracé.



Cardiogramme normal de grenouille.

a_2 : Analyse du tracé.

ABCD représente une révolution cardiaque. Sa durée est AE. Une révolution cardiaque comporte : l'activité des oreillettes et l'activité du ventricule.

- ABC : c'est l'activité des oreillettes. Elle comporte deux phases :
- AB : la phase de contraction des oreillettes ou systole auriculaire. Son amplitude est BB' et sa durée est AB'.
- BC : le début de la phase de relâchement des oreillettes ou diastole auriculaire. La phase de relâchement correspond à BE et sa durée est B'E.

Remarques : Une phase de relâchement se termine quand commence une nouvelle phase de contraction. B'E est supérieur à AB' : donc les oreillettes se reposent plus qu'elles ne travaillent.

- CDE : c'est l'activité du ventricule. Elle comprend deux phases :
- CD : la systole ventriculaire. Son amplitude est DD' et sa durée est C'D'.
- DE : le début de la diastole ventriculaire. Toute la phase de diastole ventriculaire correspond à D'F'.

Remarques : C'D' est inférieur à D'F' : le ventricule se repose plus qu'il ne travaille. Les durées systoliques sont inférieures aux durées diastoliques : le cœur se repose plus qu'il ne travaille et c'est la raison pour laquelle il est infatigable. D'E correspond au repos général du cœur ou diastole générale.

a_3 : Détermination de la fréquence cardiaque.

La fréquence cardiaque ou rythme cardiaque est le nombre de battements du cœur par minute.

Pour déterminer la fréquence cardiaque, on procède comme suit :

- On détermine la durée d'une révolution cardiaque (AE) en se référant au graphe et à l'échelle.
- On effectue la règle de trois comme suit :

1 battement cardiaque ⟶ AE

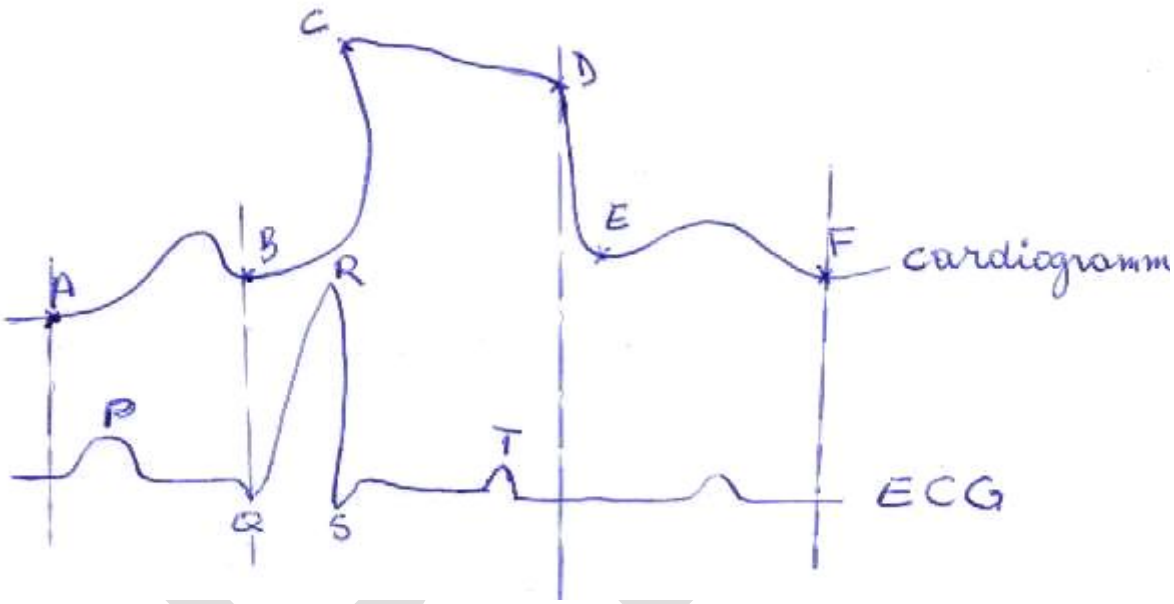
F ⟶ 60 secondes.

$$F = \frac{60s \times 1\ batt}{AE}$$

b- Le cardiogramme et l'électrocardiogramme de l'Homme.

Le cardiogramme externe et l'électrocardiogramme (ECG) de l'Homme s'obtiennent à l'aide du cardiographe de Marey. L'électrocardiogramme traduit l'activité électrique (PA).

b1 : Les tracés.



Cardiogramme externe et électrocardiogramme de l'Homme.

b2 : Analyse des tracés.

- ABCDEF : c'est l'activité mécanique du cœur (cardiogramme externe).elle comprend :
- AB : L'activité des oreillettes comprenant la systole auriculaire et la diastole auriculaire
- BCDEF : l'activité des ventricules comprenant :

BC : la systole ventriculaire à forte pression.

CD : c'est le plateau systolique qui est une systole ventriculaire à pression constante.

DE : c'est la diastole ventriculaire.

EF : c'est la diastole générale du cœur. La légère oscillation observée après E correspond à la fermeture des valvules sigmoïdes.

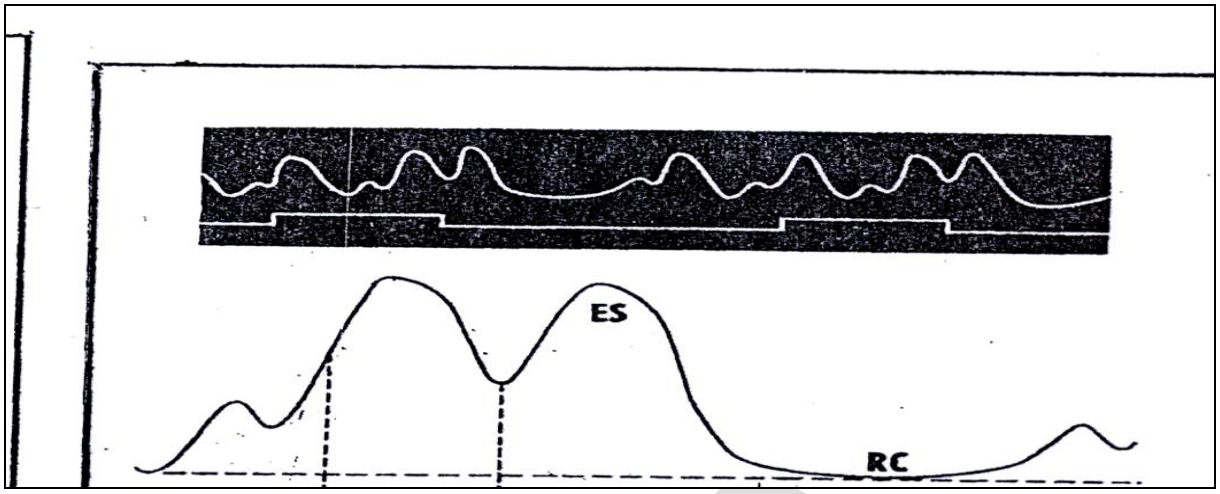
- PQRST correspond à l'électrocardiogramme. Elle est composée de trois types d'ondes :
- L'onde P : elle correspond à la dépolarisation des oreillettes.
- L'onde QRS : elle correspond à la dépolarisation des ventricules.
- L'onde ST : elle correspond à la repolarisation des ventricules.

III- Effets des excitations électriques sur l'activité cardiaque.

1°) Excitations du ventricule.

Lorsqu'on porte des excitations efficaces sur le cœur de grenouille on constate que :

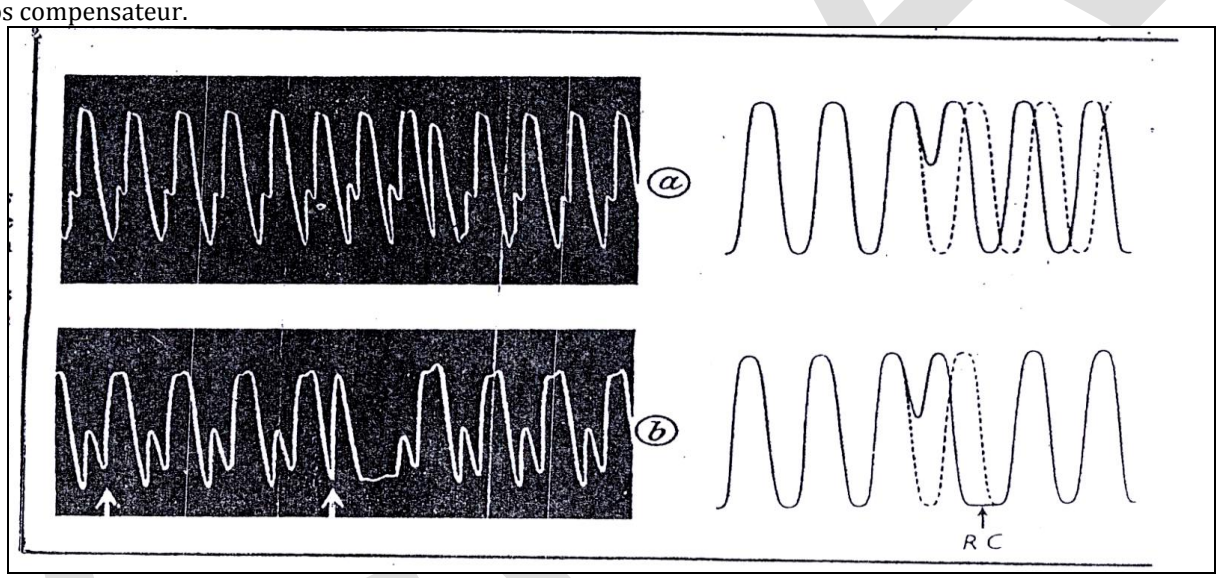
- Si l'excitation atteint le cœur pendant la systole ventriculaire, on ne note aucune modification du rythme cardiaque. Donc pendant la systole ventriculaire, le cœur est en période réfractaire absolue.
- Si l'excitation atteint le cœur pendant la diastole ventriculaire, on note une contraction anticipée appelée une extrasystole non décadente suivie d'un repos compensateur.



<u>Cardiogramme montrant les effets des excitations portées sur le ventricule</u>.

2°) Excitation du sinus veineux.

- L'excitation du sinus veineux, d'un cœur en systole ne provoque aucune modification du rythme cardiaque. Un cœur en systole est en période réfractaire absolue.
- L'excitation du sinus veineux d'un cœur en diastole entraine extrasystole décadente qui n'est pas suivie d'un repos compensateur.



<u>Les extrasystoles</u> : a : extrasystole décalante obtenue suite à l'excitation du sinus veineux ; b : extrasystole non décalante suivie d'un repos compensateur obtenue suite à l'excitation du ventricule.

IV- Actions du système nerveux sur l'activité cardiaque.

1°) Innervation cardiaque.

Le cœur des mammifères est innervé par des nerfs provenant de deux systèmes nerveux : le système orthosympathique et le système parasympathique.

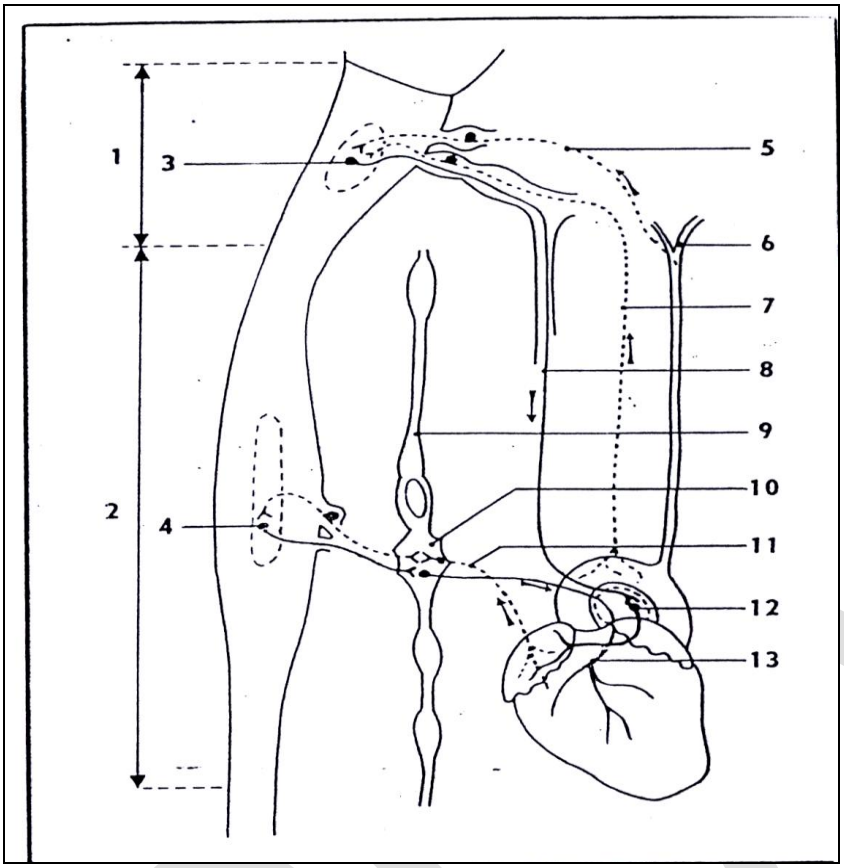


Schéma de l'innervation cardiaque chez les mammifères.

1 : bulbe 2 : moelle épinière 3 : centre cardio- modérateur 4 : centre cardio- accélérateur 5 : nerf de Héring 6 : sinus carotidien 7 : nerf de Cyon 8 : nerf pneumogastrique 9 : chaine ganglionnaire sympathique 10 : ganglion étoilé 11 : nerf orthosympathique sensitif 12 : plexus cardiaque 13 : nerf orthosympathique moteur.

a- Le système parasympathique.

Il est formé par trois nerfs dont deux sensitifs (nerfs de Héring et de Cyon) et un moteur.

- Le nerf de Héring : c'est le nerf qui relie le sinus carotidien au centre cardiomodérateur qui est situé dans le bulbe rachidien. Le nerf de Héring est un nerf sensitif. Lorsqu'on sectionne le nerf de Héring et qu'on excite les deux bouts, on constate que seul le bout central donne une réponse.
- Le nerf de Cyon ou nerf du cross aortique : c'est le nerf qui relie le cross aortique au centre cardiomodérateur. Le nerf de Cyon est aussi un nerf sensitif car l'excitation de son bout central après section donne une réponse de la part du cœur.
- Le nerf vague ou nerf X ou nerf pneumogastrique : c'est le nerf qui part du centre cardiomodérateur et fait synapse avec le plexus cardiaque. Le nerf vague est un nerf moteur car seul l'excitation de son bout périphérique donne une réponse.

b- Le système orthosympathique.

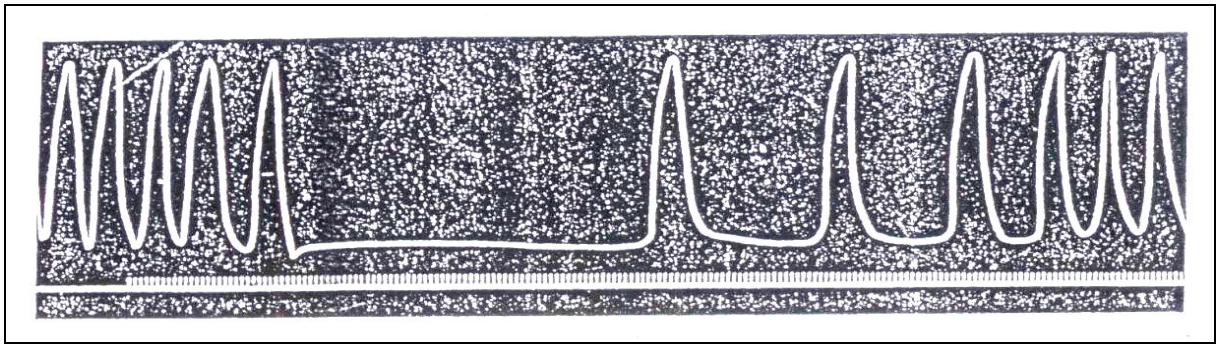
Il est formé par les nerfs orthosympathiques sensitif et moteur qui font tous synapse au niveau ganglion étoilé.

- Le nerf orthosympathique sensitif : c'est le nerf qui relie les oreillettes au centre cardioaccélérateur qui est situé dans la moelle épinière.
- Le nerf orthosympathique moteur : c'est le nerf qui relie le ventricule au centre cardioaccélérateur.

2°) Actions du système nerveux cardiaque.

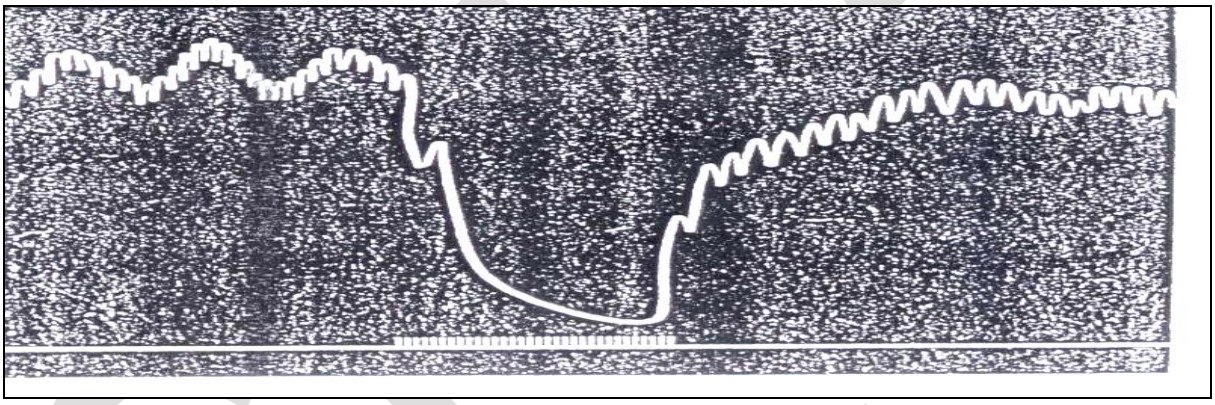
a- Actions du système nerveux parasympathique.

- La section des deux nerfs vagues dans le cou d'un chien entraine une accélération permanente de son rythme cardiaque : le nerf vague a une action modératrice sur le rythme cardiaque. C'est donc un nerf cardiomodérateur.
- La stimulation du bout périphérique d'un nerf vague sectionné entraine le ralentissement du rythme cardiaque, une diminution des amplitudes des contractions puis l'arrêt du cœur en diastole : le vague est un nerf cardiomodérateur moteur. Ce cœur reprend les contractions si l'excitation se poursuit : c'est le phénomène d'échappement. L'échappement est dû aux contractions provenant des sièges d'automatisme du cœur.
- Des excitations rapprochées portées sur le nerf vague d'une tortue entrainent un ralentissement du rythme cardiaque encore appelé bradycardie, une diminution des amplitudes de contraction suivie de l'arrêt du cœur en diastole et d'un échappement.



Effets des excitations du vague sur le cœur de tortue.

- L'excitation du vague d'un chien entraine une baisse de la pression artérielle suivie de l'échappement : la baisse de la pression artérielle est due au ralentissement du rythme cardiaque qui entraine la baisse du sang dans les vaisseaux sanguins. La pression artérielle du chien montre deux types d'oscillations : les grandes oscillations et les petites oscillations. Les grandes oscillations correspondent aux mouvements respiratoires et les petites oscillations correspondent à la pression artérielle. Cette dernière varie entre deux valeurs : un minima et un maxima.
- La section des nerfs de Héring et de Cyon d'un chien entraine une accélération permanente de son rythme cardiaque : les nerfs de Héring et de Cyon ont une action modératrice sur le rythme cardiaque. Ce sont des nerfs cardiomodérateurs.
- L'excitation du bout central de chacun des nefs de Héring et de Cyon entraine un ralentissement du rythme cardiaque une diminution des amplitudes de contraction et un arrêt du cœur en diastole. Les nerfs de Héring et de Cyon sont des nerfs cardiomodérateurs sensitifs.

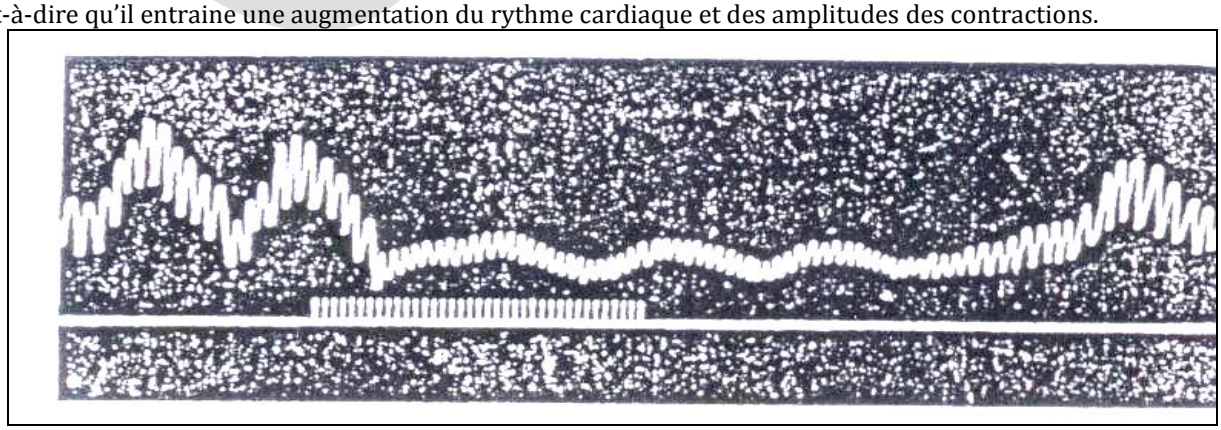


Effets des excitations du pneumogastrique sur la pression artérielle chez le chien.

- L'excitation des nerfs de Cyon et de Héring entraîne aussi un ralentissement du rythme cardiaque et une diminution des amplitudes de contraction. La section des deux nerfs entraine une accélération du rythme cardiaque : les nerfs de Cyon et de Héring sont des nerfs cardiomodérateurs.
- L'excitation du bout central de ces deux nerfs entraine un ralentissement du rythme cardiaque : les nerfs de Cyon et de Héring sont des nerfs sensitifs.

b- Actions du système nerveux orthosympathique.

- La stimulation du ganglion étoilé d'un chien entraine une accélération de son rythme cardiaque suivie d'échappement : le système nerveux orthosympathique a donc une action accélératrice sur le rythme cardiaque c'est-à-dire qu'il entraine une augmentation du rythme cardiaque et des amplitudes des contractions.



Effets des excitations du ganglion étoilé sur le rythme cardiaque du chien.

- La section des nerfs orthosympathiques entraine un ralentissement du rythme cardiaque et une diminution de l'amplitude des contractions.

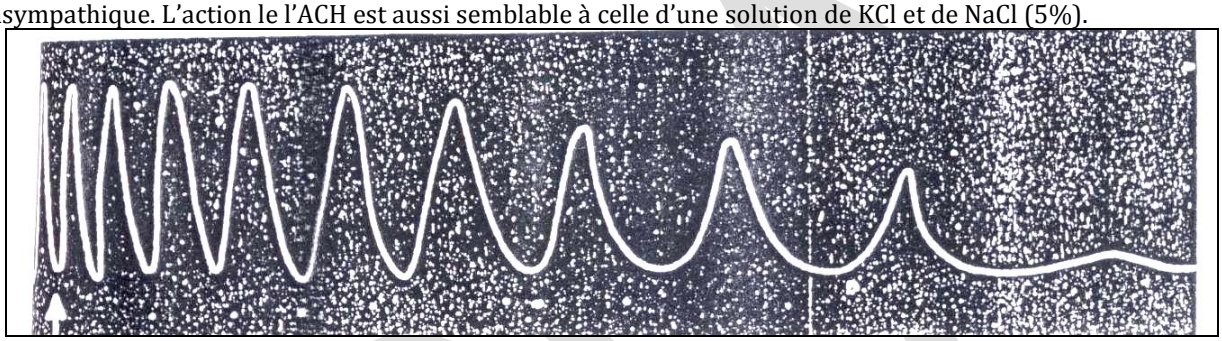
V- Actions de quelques substances sur l'activité cardiaque.

Pour étudier l'action des substances chimiques sur l'activité cardiaque, on utilise la technique du cœur perfusé. Cette dernière consiste à perfuser un cœur isolé à l'aide de Ringer dans lequel on introduit des substances dont on veut tester les effets sur le cœur.

1°) Action de l'Acétylcholine(ACH).

- Expérience : on perfuse un cœur de grenouille à l'aide du Ringer. On introduit dans ce liquide physiologique, une solution d'acétylcholine et après on élimine la solution d'ACH du milieu.
- Observation : Avant l'introduction de l'ACH, on note un rythme cardiaque normal et une amplitude des contractions normale du cœur. Après l'introduction de l'ACH dans le milieu, on observe un ralentissement du rythme cardiaque et une diminution de l'amplitude des contractions et l'arrêt du cœur en diastole. Le retour au Ringer entraine une reprise des contractions.
- Conclusion : L'ACH a une action modératrice sur le rythme cardiaque.

Remarques : l'action de l'ACH est comparable à celle obtenue lors de l'excitation du système nerveux parasympathique. L'action le l'ACH est aussi semblable à celle d'une solution de KCl et de NaCl (5%).

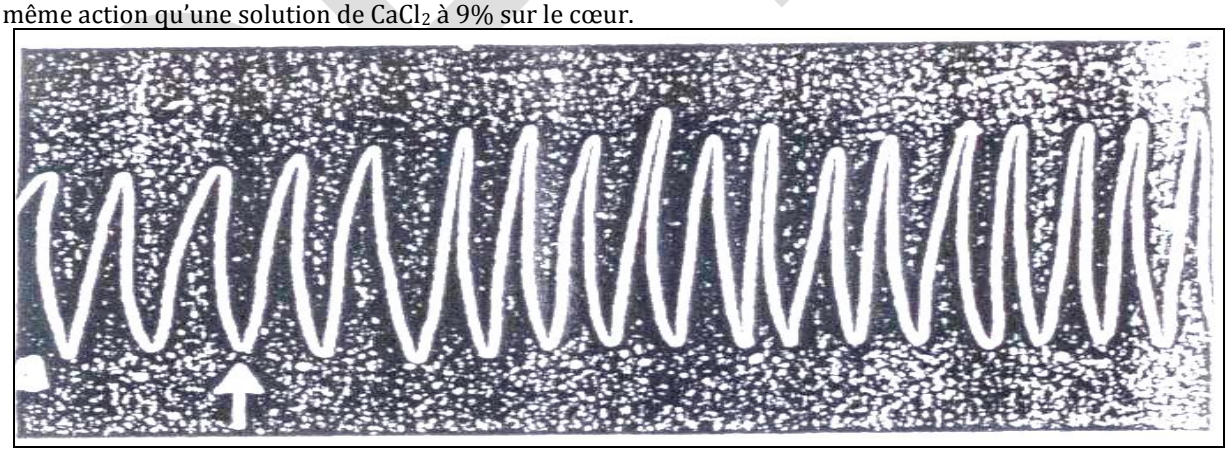


Action de l'Acétylcholine sur le cœur de tortue.

2°) Action de l'Adrénaline (ADR).

- Expérience : on introduit une solution d'adrénaline dans le Ringer utilisé pour perfuser un cœur.
- Observation : on observe une accélération du rythme cardiaque, une augmentation des amplitudes de contraction et un arrêt du cœur en systole.
- Conclusion : l'ADR a une action accélératrice du rythme cardiaque.

Remarques : L'action de l'ADR est comparable à celle obtenue lors de l'excitation du système orthosympathique. Elle a la même action qu'une solution de $CaCl_2$ à 9% sur le cœur.



Action de l'Adrénaline sur le cœur de grenouille.

VI- Notion de médiateur chimique.

1°) Expérience de LOEWI.

- Expérience : On dispose de deux cœurs de grenouille A et B reliés entre eux par un pont et chaque cœur est relié à un système d'enregistrement grâce à un stylet inscripteur. Le cœur A est isolé avec son nerf vague. Les deux cœurs sont perfusés à l'aide d'un liquide de Ringer qui passe du cœur A au cœur B et vice versa. On excite le vague du cœur A.
- Observation : On obtient deux cardiogrammes A et B. le cardiogramme A montre un ralentissement du rythme cardiaque, une diminution des amplitudes des contractions et un arrêt du cœur A en diastole suivi d'un échappement. Le cœur B montre les mêmes phénomènes que ceux du cœur A mais avec un retard.

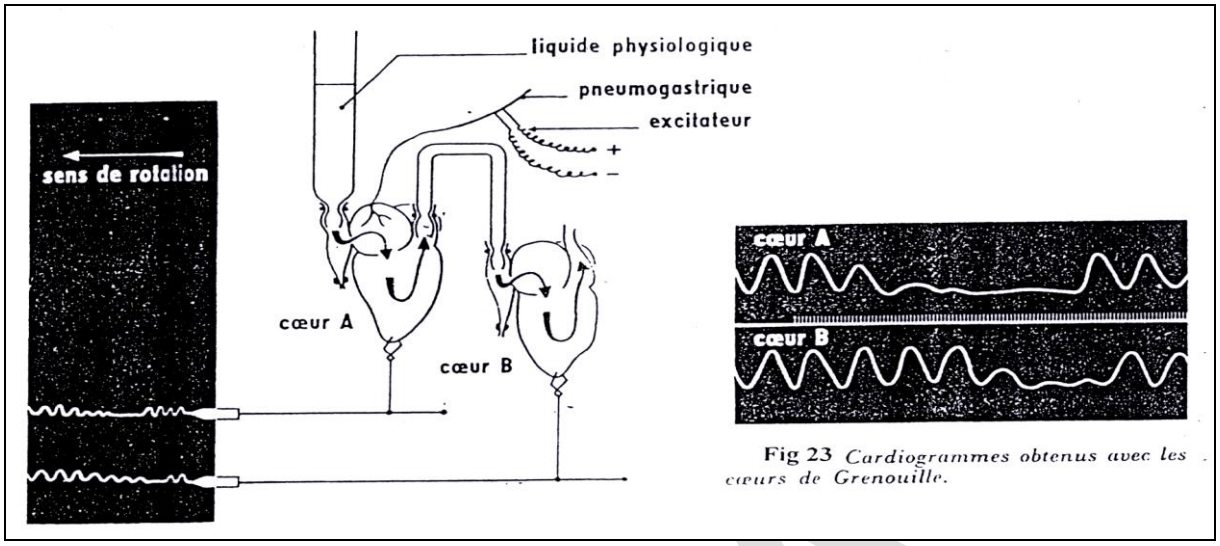


Fig 23 *Cardiogrammes obtenus avec les cœurs de Grenouille.*

Expérience de LOEWI et les cardiogrammes donnés par les cœurs A et B.

- Interprétation : l'excitation du nerf vague du cœur A entraine la libération d'Acétylcholine dans le liquide de perfusion. L'acétylcholine provoque d'abord le ralentissement du rythme cardiaque, la diminution des amplitudes de contraction et l'arrêt du cœur A en diastole. Cette acétylcholine est véhiculée par le liquide de Ringer dans le cœur B pour provoquer les mêmes phénomènes sur le cœur B. le retard des phénomènes observés sur le cœur B est dû au temps mis par l'acétylcholine pour atteindre le cœur B. le phénomène d'échappement observé au niveau des deux cœurs est dû à la destruction de l'Acétylcholine par la cholinestérase.

2°) Expérience sur les cœurs de crapaud.

Lorsqu'on réalise les mêmes expériences sue les cœurs de crapaud, on note plutôt une accélération du rythme cardiaque, une augmentation des amplitudes de contractions et un arrêt des cœurs en systole. Dans ce cas, le médiateur libéré par l'excitation du vague est la noradrénaline qui a une action accélératrice sur le rythme cardiaque.

Quelques réponses adaptatives du cœur.

1°) Influence de la pression sanguine.

- Le pincement de la carotide d'un cœur entraine une chute de la pression artérielle. En effet, le pincement entraine une accumulation du sang dans cross aortique qui provoque l'étirement des muscles du cross et l'excitation des barorécepteurs. Cette excitation fait naître un influx nerveux qui est conduit par le nerf de Héring vers le centre cardiomodérateur. Ce dernier provoque le ralentissement du rythme cardiaque, ce qui se traduit par la baisse de la pression artérielle.
- La pose de la ligature sur la carotide entraine une hypertension dans le sinus carotidien. Cette redevient normale si on enlève la ligature. L'hypertension dans ce cas est due à l'excitation des barorécepteurs situés dans les carotides suivie de la naissance d'influx qui chemine le long du nerf de Cyon vers le centre cardiomodérateur (CCM). Le nerf de Cyon inhibe le CCM laissant ainsi le cœur sous le seul contrôle du centre cardioaccélérateur (CCA).
- Une augmentation de la pression dans l'oreillette droite entraine une augmentation du débit cardiaque. En effet, l'augmentation de la pression artérielle dans l'oreillette droite entraine l'excitation des mécanorécepteurs et la naissance d'influx conduit par les fibres orthosympathiques sensitives vers le CCA. Ce dernier, excité, provoque une tachycardie.

2°) Influence de la teneur du sang en CO_2

Au cours d'un effort musculaire, la teneur du sang en CO2 augmente, le PH et le taux d'oxygène diminue et on note aussi une tachycardie. L'augmentation du taux de CO2 dans le sang entraine une excitation des chémorécepteurs (récepteurs sensibles à la composition chimique du sang) situés au niveau de la carotide et de l'aorte sont excités. Cette excitation fait naître un influx qui est conduit par les fibres orthosympathiques sensitives au CCA qui est excité et qui provoque l'accélération du rythme cardiaque.

3°) Influence de l'émotion.

L'émotion est à l'origine de l'accélération du rythme cardiaque car elle entraine la naissance de l'influx au niveau du cortex cérébral. Cet influx atteint le bulbe rachidien qui excite à son tour les capsules surrénales par l'intermédiaire du nerf splanchnique. Ces capsules surrénales libèrent de l'adrénaline dans le sang, ce qui provoque la tachycardie.

L'ŒIL ET LA VISION

Les objectifs pédagogiques.

A la fin de ce cours, l'élève doit être capable de :

52- Connaître la structure de l'œil.

53- Mettre en évidence la formation d'image dans l'œil.

54- Décrire le mécanisme de l'accommodation.

55- Interpréter une coupe de rétine.

56- Connaître le fonctionnement de la rétine.

Introduction

L'œil est l'organe le plus précieux et le plus perfectionné. Il nous renseigne sur le monde qui nous entoure et permet de voir les formes, les couleurs etc.

L'étude de l'œil portera sur son anatomie, son mécanisme de fonctionnement et quelques anomalies de son fonctionnement.

I- Anatomie de l'œil.

L'œil est logé dans l'orbite et comprend : le globe oculaire et les organes annexes.

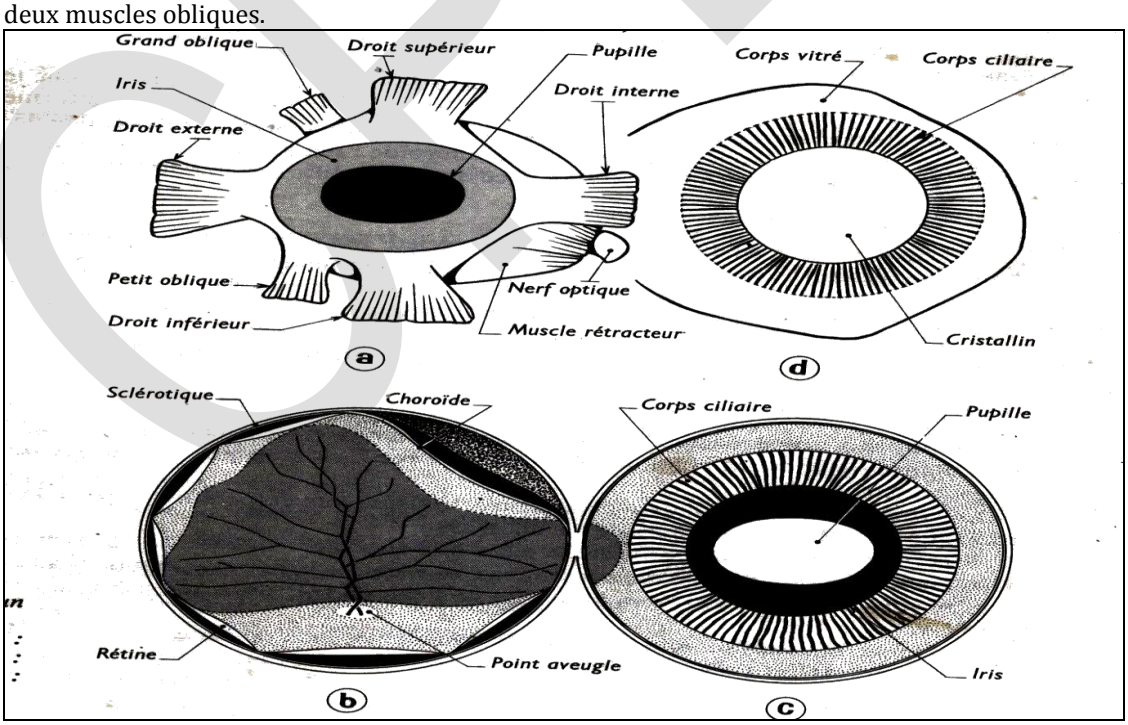
1) Les organes annexes de l'œil.

On distingue :

- Les paupières et les cils :

Ils protègent le globe oculaire contre la poussière et une lumière trop forte.

- Les sourcils : ils dévient la lumière venue du front.
- Les glandes lacrymales : elles élaborent les larmes qui nettoient le globe oculaire et lubrifient sa face antérieure.
- Les muscles : ils assurent les mouvements du globe oculaire. Ils sont au nombre de six dont quatre muscles droits et deux muscles obliques.



Les éléments constitutifs de l'œil Humain.

2) Le globe oculaire.

Il est formé des membranes et des milieux transparents.

a- Les membranes ou enveloppes du globe oculaire.

On distingue de l'extérieur vers l'intérieur :

- La sclérotique

C'est la membrane dure, externe et protectrice de l'œil. Elle est relativement épaisse et sa face antérieure transparente forme la cornée protégée par une fine membrane appelée conjonctive.

- La choroïde

C'est une membrane noire imprégnée de mélanine, très riche en vaisseaux sanguins. Elle joue le rôle de chambre noire. Vers l 'avant elle s'écarte de la cornée pour former une trame musculaire appelée iris qui est percé d'un orifice : la pupille.

- La rétine

Elle est mince et constitue la membrane nerveuse de l'œil. Elle est très sensible car constituée de récepteurs spécifiques de la lumière (photorécepteurs). Au pôle postérieur de l'œil la rétine présente une tache jaune dont le centre légèrement déprimé forme une fossette : c'est la fovéa. Au point de sortie du nerf optique, la rétine présente une petite tache blanchâtre légèrement déprimée appelée point aveugle ou papille optique.

b- Les milieux transparents du globe oculaire.

Les milieux transparents du globe oculaire sont au nombre de quatre. On distingue d'avant en arrière :

- La cornée transparente.

La sclérotique devient transparente dans sa partie antérieure formant ainsi la cornée de contour ovale chez le bœuf. Indice de réfraction : 1,33.

- Humeur aqueuse

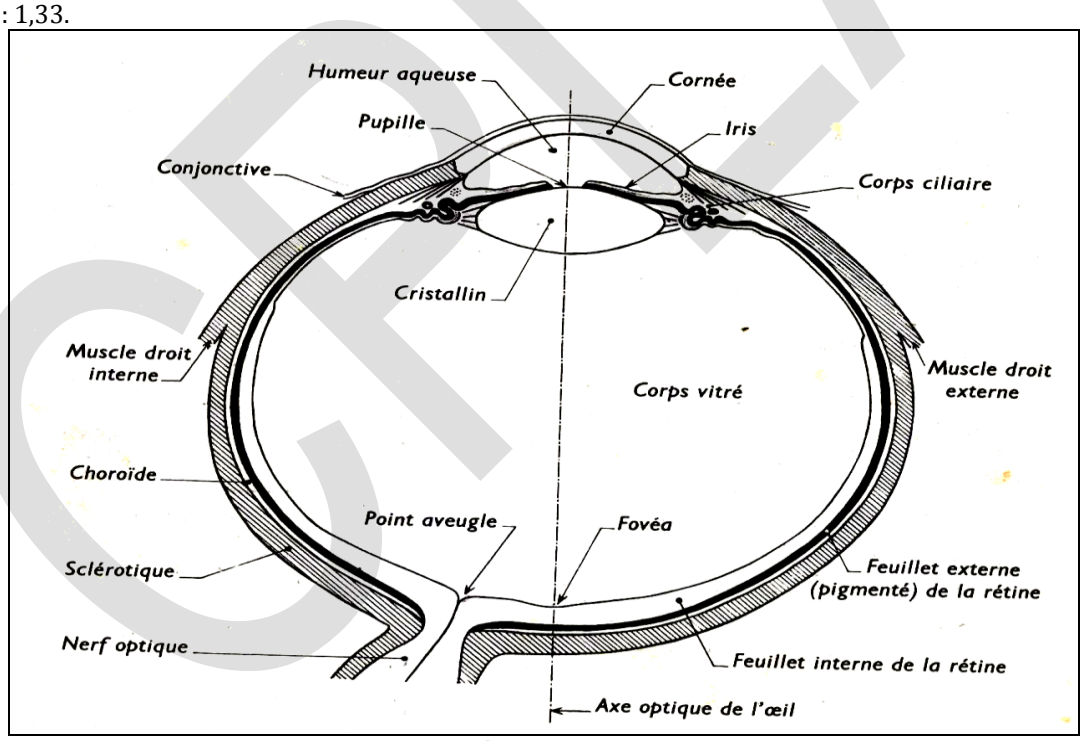
Il s'agit d'une faible quantité de liquide qui remplit la chambre antérieure de l'œil dont la limite se situe entre la cornée et l'iris. Indice de réfraction : 1,33

- Le cristallin

Il est plaqué contre la face postérieure de l'iris. C'est une sorte de lentille biconvexe formée d'un grand nombre de lamelles superposées. Il est suspendu par un système de fibres au niveau de la zone ciliaire (ligaments suspenseurs) qui contient aussi un muscle ciliaire en anneau. Indice de réfraction 1,44.

- Humeur vitrée

Elle est contenue dans la chambre postérieure de l'œil et limitée par une membrane appelée hyaloïde. Indice de réfraction : 1,33.



Coupe semi-schématique de l'œil Humain.

II- Physiologie de l'œil.

A- Mécanisme optique de la vision.

Il regroupe la formation des images et la mise au point de ces images sur la rétine.

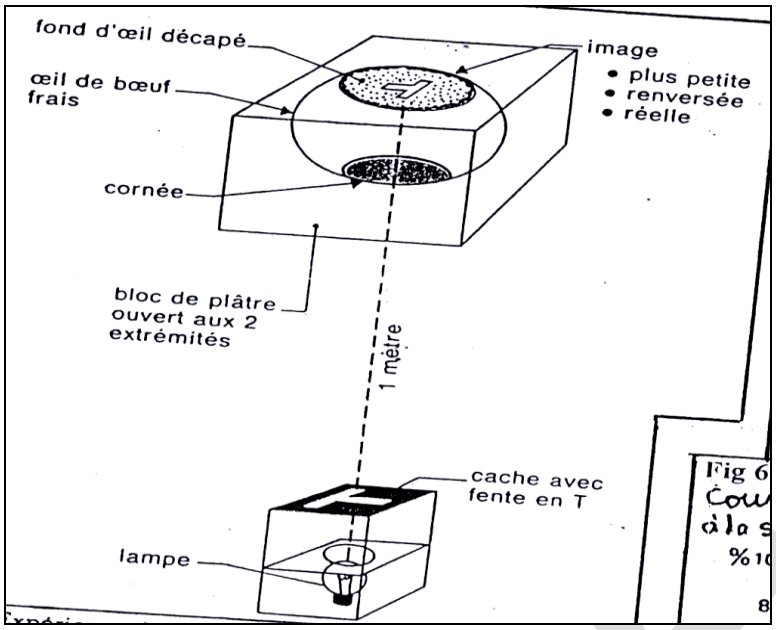
1) La formation des images.

Pour mettre en évidence la formation des images dans l'œil, on effectue l'expérience de l'œil décapé.

a- Expérience de l'œil décapé.

On découpe dans la partie postérieure du globe oculaire frais d'un bœuf, une fenêtre que l'on referme à l'aide d'un papier translucide. Ce globe oculaire est placé dans un bloc de plâtre. On dispose à un mètre de ce globe oculaire une boite à lumière percée au sommet d'une fente en T. il se forme sur le papier translucide du globe oculaire une image réelle, plus petite et renversée de la fente en T.

Cette expérience prouve que les images des objets se forment dans l'œil et ses images sont réelles, renversées et plus petites.



Expérience de l'œil décapé.

b- Expérience de mise en évidence de la formation d'image sur la rétine.

Plaçons devant un œil frais de bœuf une bougie allumée à une distance de 3 mètres dans une chambre.

Nous constatons que l'image de la se forme sur la rétine mais renversée. De plus cette image est moins grande que l'objet réel. Une image réelle, petite et renversée.

L'image des objets se forme sur la rétine mais renversée. D'autre part, l'ensemble des milieux transparents de l'œil fonctionnent comme les objectifs d'un appareil photographique.

Appareil photographique	Pellicule	Chambre noir	Diaphragme	Lentilles
Œil	Rétine	Choroïde	Iris	Milieux transparents

Tableau de comparaison entre l'œil et l'appareil photographique.

c- Principe de construction graphique d'une image.

La construction d'une image d'un objet obéit aux lois optiques suivantes :

- Tout rayon parallèle à l'axe optique d'une lentille passe par le foyer image de la lentille.
- Tout rayon passant par le centre optique de la lentille n'est pas dévié.
- Tout rayon passant par le foyer objet d'une lentille est dévié parallèlement à l'axe optique de l'œil.

d- Caractéristiques optiques de l'œil Humain.

L'ensemble des milieux transparents de l'œil est équivalent à une lentille unique convergente dont la distance focale f = 17 mm et dont le foyer image est situé sur la rétine : c'est l'œil réduit de Listing. La convergence de cet œil est V = $\frac{1}{f}$ V = $\frac{1}{0,017}$ V = 60 dioptries.

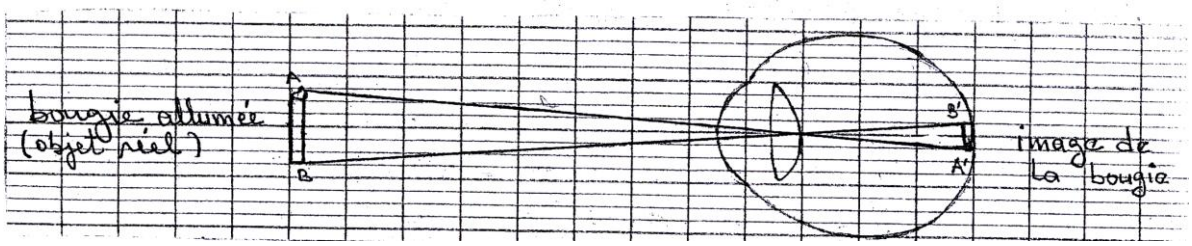
Tout rayon lumineux qui entre dans l'œil, subit trois déviations qui ont lieu à la limite entre les milieux transparents d'indices de réfractions différentes. Toute déviation obéit à la loi fondamentale de Descartes qui est :

$$n_1 \text{ Sin } i_1 = n_2 \text{ sin } i_2.$$

n_1 et n_2 sont les indices de réfraction. i_1 est l'angle d'incidence et i_2 est l'angle de réfraction.

Pour un objet rapproché de l'œil, l'image se forme en arrière de la rétine.

Lorsqu'un objet est situé à l'infini, son image se forme directement sur la rétine.



2) Mise au point des images sur la rétine : l'accommodation.

L'accommodation et l mise au point des images sur la rétine.

a- Observations.

- Fermons les yeux pendant quelques secondes, puis regardons les objets situés devant nous. Ses objets éloignés nous paraissent d'emblée distincts, mais les objets rapprochés donnent tout d'abord une image floue qui devient nette que si l'œil fournit l'effort nécessaire. Cet effort correspond à une mise au point ou accommodation.
- La cataracte qui est une maladie liée à l'opacité du cristallin entraine la chute de la vue.

b- Mise en &évidence de l'accommodation : Expérience de Purkinje.

Une expérience dite de Purkinje permet d'expliquer et de comprendre le comportement du cristallin dans le mécanisme de l'accommodation.

- Dans une salle obscure, on place une bougie allumée latéralement et en avant de l'œil d'un sujet qui, pendant toutes les expériences ne déplacera pas la tête. On observe sur le fond noir de la pupille, trois images de la bougie obtenues par réflexion :

• Une image droite, très brillante apparente car très lumineuse, donnée par le dioptre cornéen (face antérieure de la cornée) : I_1

• Une image droite, peu apparente (moins brillante) car peu lumineuse, donnée par le dioptre de la face antérieure du cristallin : I_2

• Une image renversée, plus petite que la précédente, donnée par le dioptre de la face postérieure du cristallin : I_3.

- La bougie étant toujours allumée, on invite le sujet à regarder droit devant lui un objet assez éloigné puis un autre objet proche. Pendant cette opération, on suit attentivement les trois images de la bougie. L'observation minutieuse révèle, lorsque le regard du sujet passe de l'objet éloigné à l'objet rapproché :

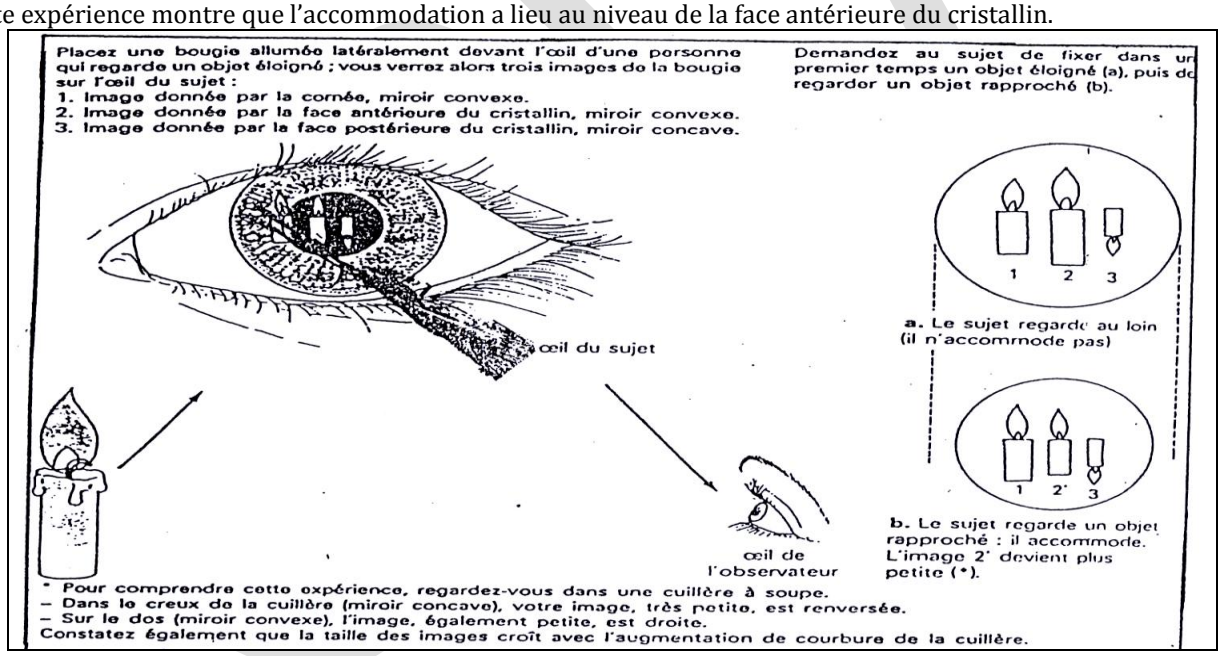
• L'image I_1 reste inchangée, alors que I_2 devient plus petite ; l'image I_3 a légèrement diminué de hauteur. La modification de taille des images I2 et I3 indique qu'il s'est produit au cours de l'accommodation, une diminution des rayons de courbure des faces cristalliniennes, principalement de la face antérieure qui devient nettement plus bombée.

• Le diamètre de la pupille diminue

• Les axes optiques des deux yeux convergent vers l'objet pour le fixer.

Ces trois modifications constituent ce qu'on appelle la triade de fixation c'est – à – dire les composantes de l'accommodation.

Cette expérience montre que l'accommodation a lieu au niveau de la face antérieure du cristallin.



Expérience de Purkinje.

c- Mécanisme de l'accommodation.

L'accommodation est due à la déformation de la face antérieure du cristallin qui devient plus bombée, ce qui augmente la vergence du cristallin. Cette déformation est provoquée par la contraction des muscles ciliaires et et par le relâchement des ligaments suspenseurs.

Remarque : l'accommodation est un phénomène réflexe.

d- Les limites de l'accommodation.

Au cours de l'accommodation la déformation du cristallin est d'autant plus forte que l'objet regardé est plus rapproché. Cette déformation atteint son maximum pour une distance de vision des objets en deçà de la quelle on a une vision floue : c'est la distance minimale de vision distincte.

La distance minimale de vision distincte s'appelle le Punctum proximum (P.P.). Le PP varie avec l'âge ; elle augmente avec la vieillesse comme le montre le tableau suivant.

Ages	10	15	20	30	40	50	60
Distance en cm du PP	7	8	10	15	25	40	100

Cet éloignement progressif du PP est dû à une diminution de l'élasticité du cristallin.

La distance au-delà de laquelle tout objet est vu nettement sans accommodation s'appelle la Punctum remotum.

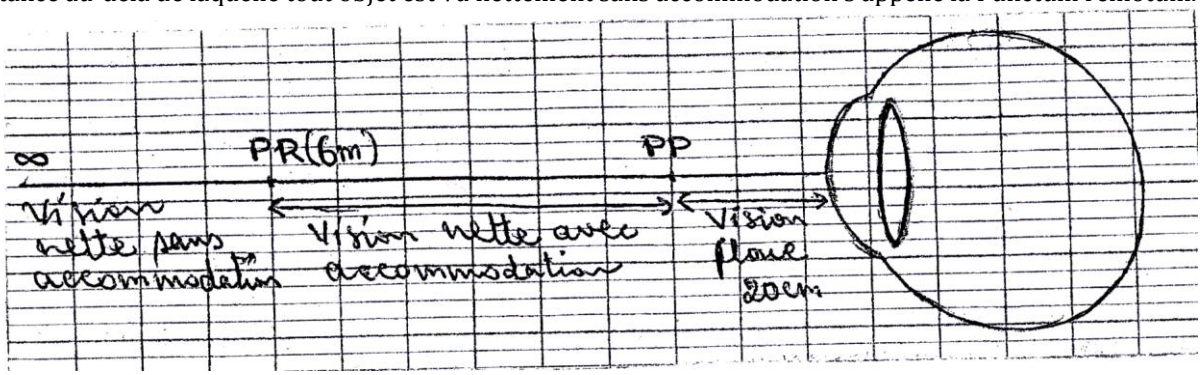


Schéma montrant les limites de l'accommodation.

e- La diaphragmation.

Au cours de l'accommodation, on note une réduction du diamètre de la pupille qui conduit à l'élimination des rayons marginaux permettant ainsi la netteté de l'image ; les faisceaux lumineux issus de l'objet observé deviennent petits et se rapprochent de l'axe optique : c'est la diaphragmation. Il s'agit également d'un phénomène réflexe.

3) Les anomalies de l'œil.

Les anomalies optiques de l'œil sont des déficiences du système optique de l'œil encore appelé les amétropies. On distingue :

- La presbytie : c'est une anomalie de l'œil due à la diminution du pouvoir accommodateur de l'œil à cause de la perte de l'élasticité du cristallin. Elle se corrige par le port de verres convergents.
- La myopie : le myope voit mal les objets éloignés. Les images se forment en avant de la rétine. L'œil myope est donc trop long. La myopie se corrige par le port des verres divergents.
- L'hypermétropie : l'hypermétrope voit mal les objets rapprochés. Les images se forment en arrière de la rétine. Cet œil est donc trop court. L'hypermétropie se corrige par le port de verres convergents.
- L'astigmatisme : un œil astigmate voit l'image d'un point comme une ligne. Elle est due à une courbure irrégulière au niveau de la cornée transparente et du cristallin. Elle se corrige par le port de verres cylindriques.
- Le strabisme : c'est une anomalie due à une mauvaise orientation des axes optiques des deux yeux. Les anomalies présentant cette anomalie louchent.
- L'amblyopie : c'est une anomalie liée à la faiblesse de l'acuité visuelle.

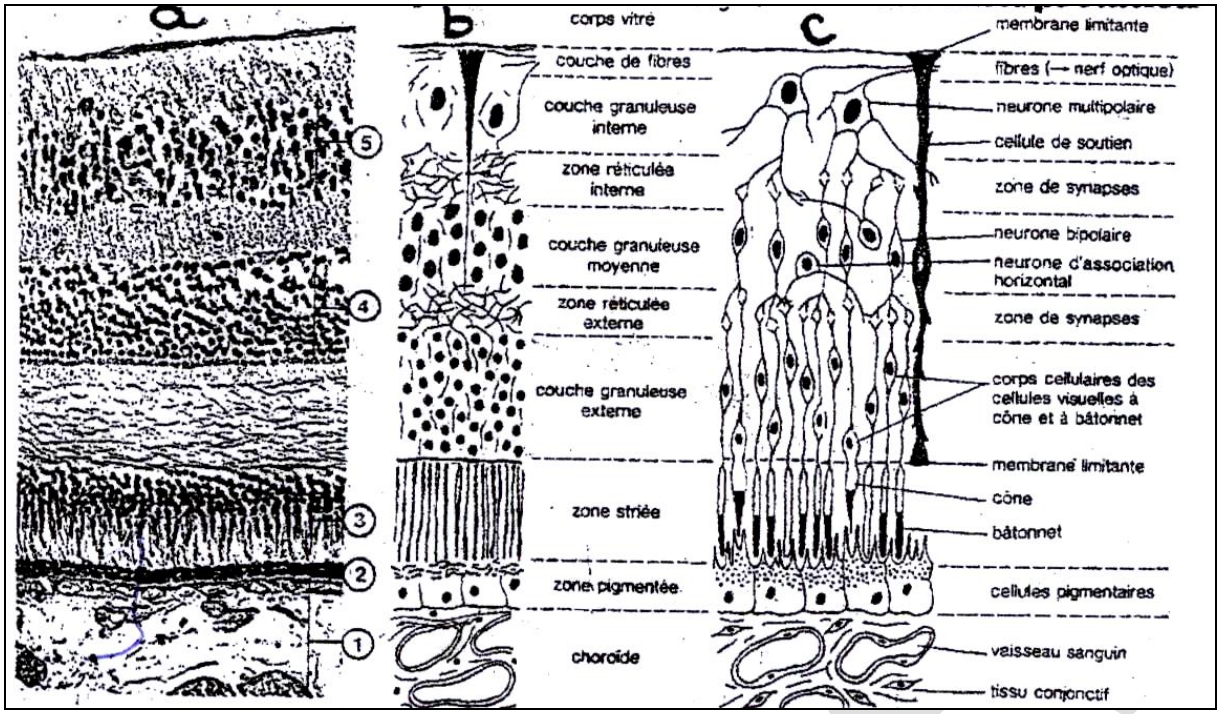
IV- Structure et rôle de la rétine.

A- Structure de la rétine.

1°) Observation et interprétation d'une coupe de rétine.

Une coupe longitudinale de la rétine montre au microscope quatre couches granuleuses alternant avec quatre couches réticulées. De la choroïde vers l'humeur vitrée, on distingue :

- La zone pigmentée : elle est constituée de cellules pigmentaires c'est-à-dire des cellules contenant de la mélanine.
- La zone striée : elle est formée par le prolongement ou axones des cellules visuelles. Les prolongements des axones des cellules à cône sont sous forme de cône et ceux des cellules à bâtonnet sont en forme de bâtonnet.
- La couche granuleuse externe : elle est formée par les corps cellulaires de cellules visuelles qui sont de deux types : les cellules à cône et les cellules à bâtonnet.
- La zone réticulée externe : c'est une zone de synapse entre les cellules visuelles et les neurones bipolaires.
- La couche granuleuse moyenne : elle est formée par les corps cellulaires des neurones bipolaires.
- La zone réticulée interne : c'est une zone de synapse entre les neurones bipolaires et les neurones multipolaires.
- La couche granuleuse interne : elle est formée par les corps cellulaires des neurones multipolaires.
- La couche fibreuse : elle est formée par l'axone des neurones multipolaires.

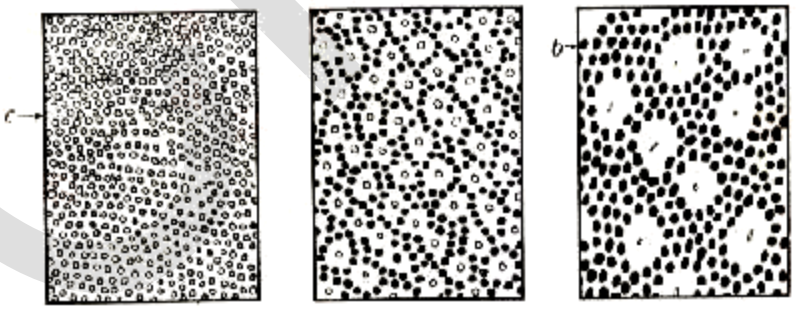


<u>Structure de la rétine : a : coupe observée au microscope optique ; b : dessin d'analyse de cette coupe ; c : schéma d'interprétation.</u>

2°) variation de la structure rétinienne.

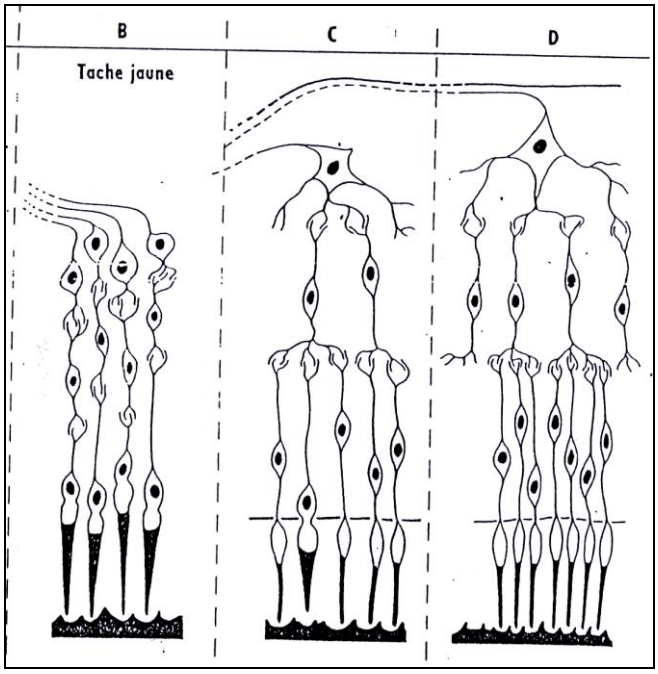
La structure de la rétine n'est pas homogène en tous ses points. Ainsi :

- Au niveau de la fovéa ; on ne trouve que des cellules à cônes. De plus, le nombre de cellules à cônes est égal à celui des cellules bipolaires et des cellules multipolaires. Au niveau de la fovéa, la rétine a une structure linéaire.
- Dans la zone extra fovéale, on trouve un mélange de cellules à cônes et de cellules à bâtonnet. De plus, plusieurs cellules visuelles font synapse avec un seul neurone bipolaire et plusieurs neurones bipolaires font synapse avec un seul neurone multipolaire. Dans la zone extra fovéale, la rétine présente une structure pyramidale ou convergente.
- Dans la zone périphérique de la rétine, on ne trouve que des cellules à bâtonnet et la rétine à une structure pyramidale.
- Au point aveugle, de la rétine, il n'existe pas de cellules visuelles.

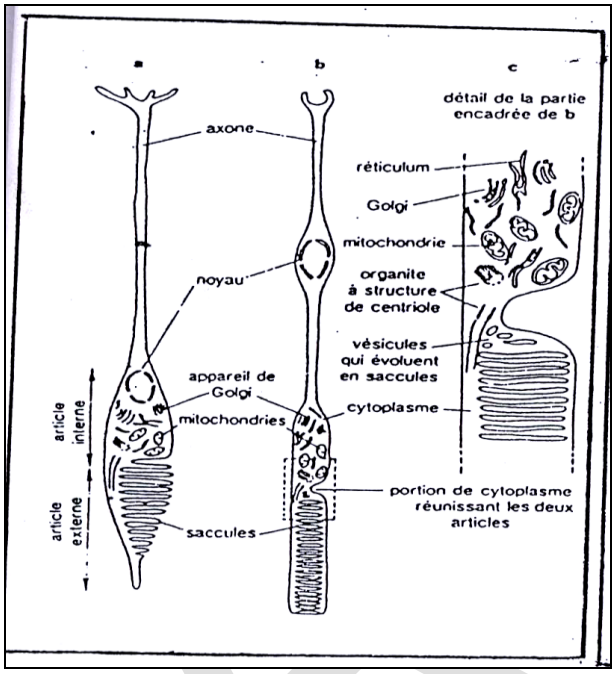


Rétine centrale **Rétine moyenne** **Rétine périphérique**

C : cellule à cône b : cellule à bâtonnet.



Variation structurale de la rétine

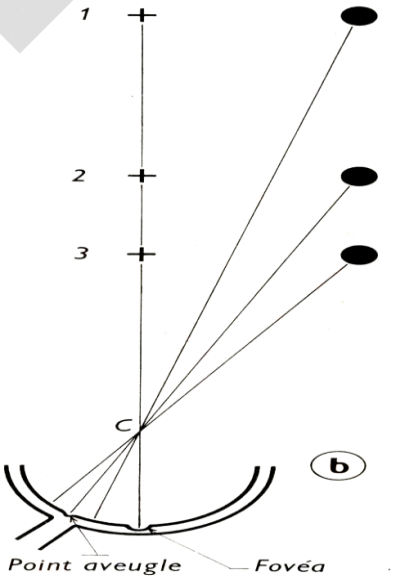


Ultrastructure des cellules à cône et à bâtonnet.

3°) Mise en évidence du point aveugle de la rétine : Expérience de Mariotte.
L'expérience permet de montrer qu'au point aveugle, il n'existe pas de cellules visuelles.
Un sujet ferme son œil gauche et fixe une croix à côté de la quelle se trouve un point avec son œil droit. La croix et le point sont réalisés sur un papier.
Un observateur place d'abord le papier au P.P. du sujet : ce dernier voit nettement la croix et le point.
L'observateur recule lentement le papier de l'œil du sujet : à une certaine distance, le sujet ne voit plus le point.
L'image du point en ce moment s'est formée sur le point aveugle. Cela montre qu'au point aveugle, il n'existe pas de cellules visuelles.



a



Expérience de Mariotte : a : Dispositif expérimental. b : Schéma explicatif : la disparition du cercle correspond à la position 2.

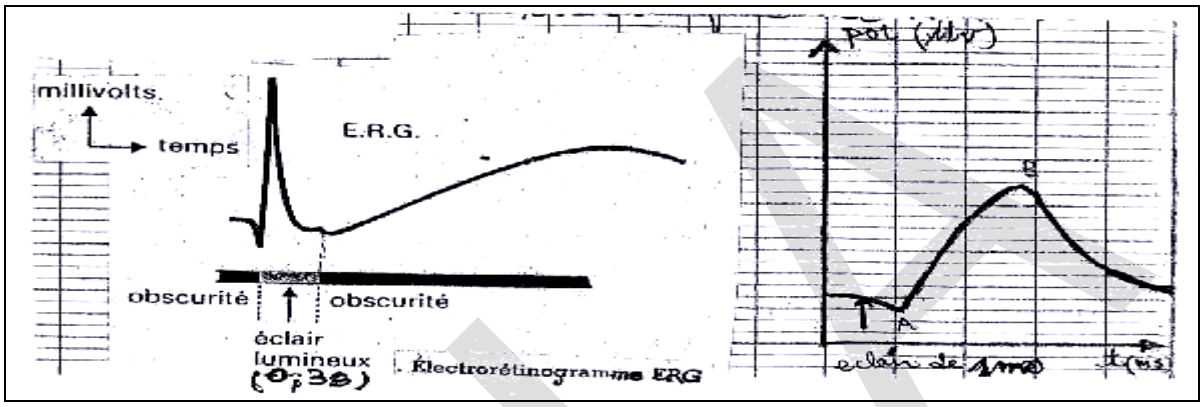
B- Activités électriques au niveau de la rétine.

1°) Excitation de la rétine.
L'excitant normal de la rétine est la lumière. Le seuil d'excitabilité de l'œil humain est très faible. L'œil humain n'est sensible qu'aux radiations lumineuses comprises entre le rouge et le violet.
2°) Manifestation électrique au niveau de la rétine.

En absence d'excitation, la rétine est chargée négativement contre la cornée et positivement du côté du corps vitré. La rétine a donc un potentiel de repos. Lorsqu'on envoie une excitation lumineuse isolée dans l'œil, on enregistre un PA de l'œil appelé l'électrorétinogramme (ERG) et présente deux phases :

- Une phase de dépolarisation : elle est due à la décomposition des pigments rétiniens en particulier la rhodopsine en opsine et rétinal par la lumière. La rhodopsine est contenue dans les cellules à bâtonnet. Cette décomposition provoque la dépolarisation des cellules visuelles et la naissance d'un influx qui est conduit vers les neurones multipolaires.
- Une phase de repolarisation : elle est due à la synthèse de la rhodopsine à partir de l'opsine et du rétinal en présence de l'énergie.

$$\text{Rhodopsine} \underset{\text{Synthèse}}{\overset{\text{Décomposition}}{\rightleftharpoons}} \text{opsine + Rétinal}$$



Electrorétinogramme (ERG)

Remarque : l'influx qui nait à la suite de l'excitation des cellules visuelles se propage en sens inverse de celui de la lumière.

C- Physiologie de la rétine.

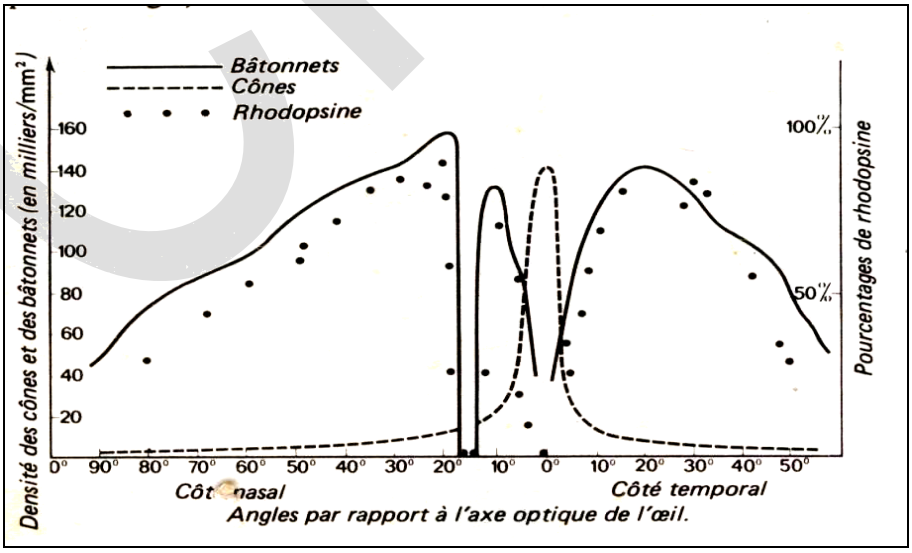
1°) Le pouvoir séparateur de l'œil.

a- Définition.

Le pouvoir séparateur de l'œil est l'angle que forment deux points distants de 3 mm et placé à 10m avec le centre optique de l'œil. Pour un œil normal, le pouvoir séparateur est de 1°.

b- Variation de la densité des cellules visuelles en fonction de l'angle visuel.

La densité des cônes et des bâtonnets ainsi que la quantité de rhodopsine varient en fonction des angles par rapport à l'axe optique de l'œil comme le montre la figure ci-après :



Courbe de densité des cônes, des bâtonnets et de la rhodopsine en fonction de l'angle visuel.

Interprétation des graphes :

- lorsque l'angle visuel est égal à O°, on a un pic de cônes. La rétine centrale ne renferme que des cônes.

- Entre O et 15°, on note une diminution de la densité des cônes et une augmentation de la densité des bâtonnets qui atteint son pic du côté nasal (130 milliers/mm^3) et du côté temporal (140 milliers/mm^3). Dans la zone extra fovéale, il existe peu de cônes et beaucoup de bâtonnets.
- 15 et 20° vers la gauche, se trouve une zone dépourvue des cellules visuelles et de rhodopsine : c'est le point aveugle.
- Au-delà de 20° vers le côté nasal et temporal, il n'existe que les cellules à bâtonnets dont le taux diminue lorsque l'angle augmente : la rétine périphérique ne renferme que des bâtonnets.
- La courbe de la quantité de rhodopsine est presque confondue à celle de la densité des bâtonnets : les bâtonnets renferment la rhodopsine.
- Il s'agit d'un œil droit car le point aveugle est situé à gauche de la fovéa.

2°) L'acuité visuelle.

a- Définition.

L'acuité visuelle est l'inverse du pouvoir séparateur.

$$Av = \frac{1}{P}$$

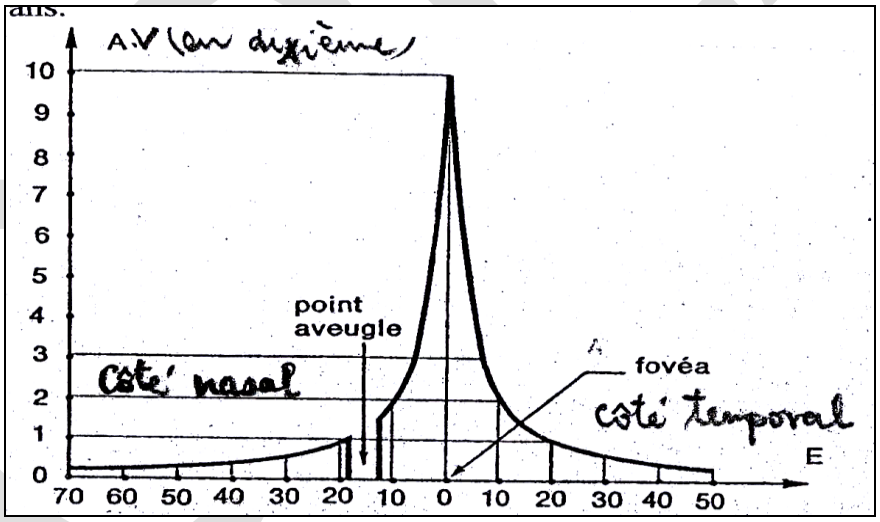
Pour un œil normal, l'acuité visuelle est de $\frac{1}{1} = \frac{10}{10}$ème (dix dixième).

Pour un œil normal et pour un angle de 1mn, les images de deux points sont distants de 4 microns sur la rétine. Le diamètre d'une cellule à cône est de 1,5 micron. L'image de ces deux points se forme sur deux distincts séparés par un troisième.

b- Les facteurs de l'acuité visuelle.

L'acuité visuelle varie selon plusieurs facteurs tels que :

- La distance minimale de vision distincte (PP).
- Position de l'image sur la rétine : c'est seulement au niveau de la fovéa que les objets sont vus avec des détails.
- Le seuil d'excitabilité : il est élevé au niveau de la fovéa et faible au niveau de la rétine périphérique. C'est la raison pour laquelle la rétine centrale est responsable de la vision diurne et la rétine périphérique est responsable de la vision crépusculaire.
- L'âge : elle est basse chez les enfants d'au plus un an (4/10ème) et atteint 10/10ème à l'âge de 4ans.

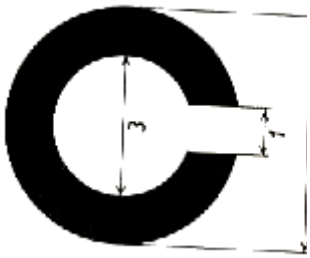


Variation de l'acuité visuelle (AV en dixième) en fonction de l'excentricité par rapport à la fovéa(en degrés).

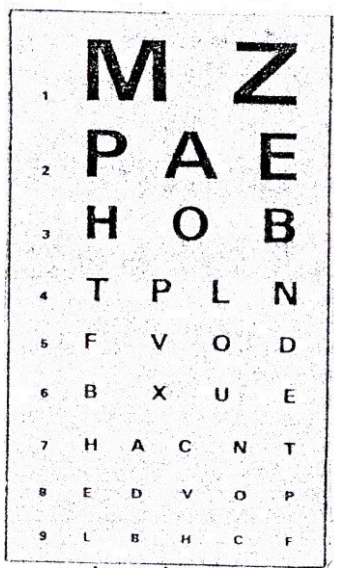
c- Mesure de l'acuité visuelle.

Pour mesurer l'acuité visuelle chez un individu, on utilise plusieurs méthodes :

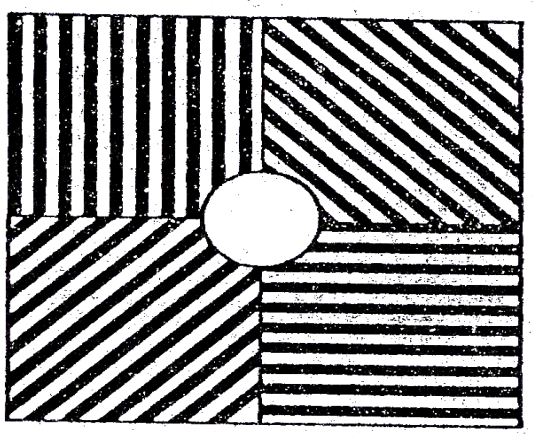
- Les optotypes : ce sont des lettres de tailles décroissantes écrites sur un tableau. Un sujet à vision normale, doit pouvoir identifier ces lettres à une distance donnée.
- La mire de Foucault: elle est constituée par un tableau quadrillé à l'aide des traits distants de 1mm. Un individu ayant une bonne acuité visuelle doit pouvoir distinguer ces traits lorsqu'il est placé à 3m du tableau.
- L'anneau de Landolt : il s'agit d'un anneau noir muni d'une brisure plus ou moins large (1,5 mm). Un individu de bonne acuité visuelle doit pouvoir distinguer cette cassure lorsqu'il est situé à 5m de l'anneau.



a



b



C

Dispositifs de mesure de l'acuité visuelle : a : l'anneau de Landolt ; b : Les optotypes ; c : La mire de Foucault

3°) La vision diurne, la vision crépusculaire et la vision des couleurs.

a- Observations.

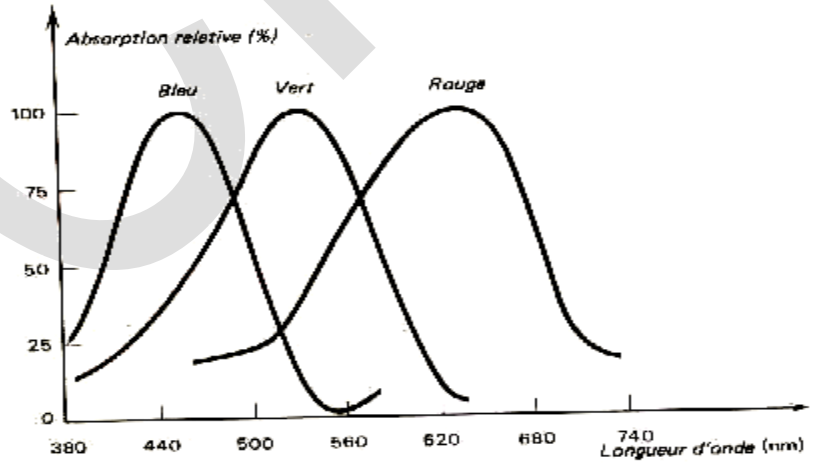
- L'analyse de la rétine des animaux diurnes montre essentiellement des cônes alors que la rétine des animaux nocturne montre des bâtonnets.
- L'observation de la rétine certains animaux qui ne voient pas les couleurs (chat, rats) révèle une absence totale des cônes.
- La carence en vitamine A (précurseur de la rétinal) entraine une cécité crépusculaire appelée héméralopie.

b- Rôles des cônes et des bâtonnets.

Les cônes sont responsables de la vision diurne et de la vision des couleurs.
Les bâtonnets sont responsables de la vision crépusculaire.

c- La vision des couleurs.

La vision des couleurs est assurée par les cônes.
Lorsqu'on mesure les taux d'absorption des radiations lumineuses par les cellules à cône, les valeurs obtenues permettent de tracer le graphe exprimant les taux d'absorption dans les radiations lumineuses comme suit :



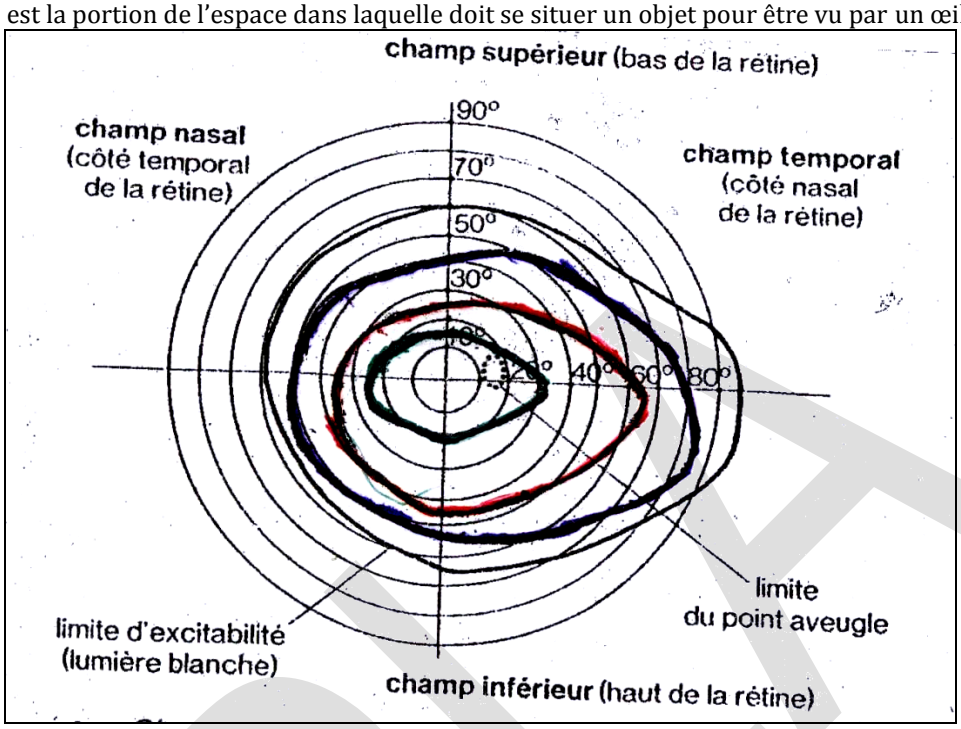
Taux d'absorption des cônes en fonction des longueurs d'ondes.

L'analyse du graphe montre que les cônes présentent trois maximums d'absorption : un dans le rouge (650 nm), un dans le vert (550 nm) et le dernier dans le bleu (450 nm). Cette montre qu'il existe trois catégories ce cônes : une sensible au rouge, une sensible au vert et une dernière catégorie sensible au bleu.
La présence des trois catégories de cône explique bien le daltonisme qui est dû l'absence d'une catégorie de cônes (sensible au vert ou au rouge) au niveau de la fovéa des daltoniens.

L'existence des trois catégories de cône démontre aussi la théorie trichromatique de Young. En effet, cette théorie montre qu'on peut obtenir toutes les autres couleurs à partir des trois couleurs primaires qui sont : verte, bleu et rouge.

4°) Le champ visuel.

Le champ visuel est la portion de l'espace dans laquelle doit se situer un objet pour être vu par un œil immobile.



Champ visuel de l'œil droit pour les lumières verte ; rouge ; bleu et blanche.

L'analyse d'un champ visuel montre que :

- Il est plus étendu du côté temporal que du côté nasal.
- Il est plus étendu vers le bas que vers le haut.
- Il est plus étendu pour la lumières blanche et de moins en moins étendu pour les radiations bleu, rouge et verte.

Chaque œil a son champ visuel mais les deux champs peuvent s'interférer pour former le champ de vision binoculaire.

V- Transmission du message rétinien et son interprétation.

La transmission du message rétinien se fait à travers les voies nerveuses optiques (nerfs optiques).

1°) Les voies nerveuses optiques.

Elles sont formées par les nefs optiques qui conduisent le message sensoriel à l'encéphale.

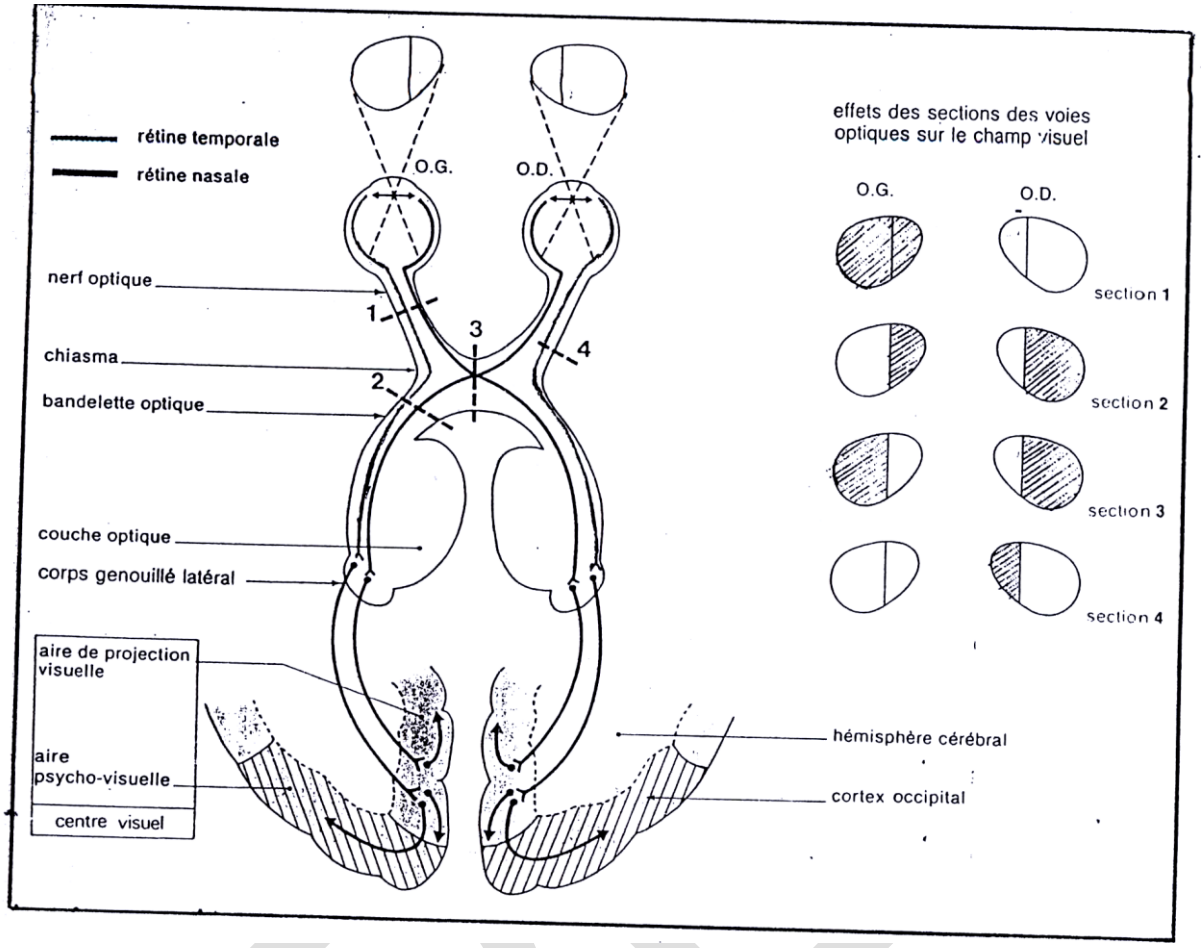
a- Structure.

Les voies nerveuses optiques sont constituées par deux sortes de fibres nerveuses :

- Les fibres indirectes ou croisées: elles proviennent du côté nasal de la rétine, se croisent entre elles pour former un chiasma avant d'aller faire synapse avec d'autres fibres (au niveau des couches optiques) qui se rendent au centre visuel du côté opposé.
- Les fibres directes : elles proviennent de la rétine temporale et font synapse avec d'autres fibres au niveau des couches optiques sans se croiser entre elles. Ces fibres communiquent avec le centre visuel situé du même côté.

b- Conséquence de la section des nerfs des voies optiques sur la vision.

Lorsqu'on effectue des sections à différents endroits des voies optiques, on note des effets sur les champs visuels comme le montre la figure ci-après.



Les voies nerveuses optiques et les conséquences de leurs sections sur la vision.

Par exemple, la section des nerfs otiques au niveau du chiasma (section 3), entraine une cécité du côté temporal pour les deux yeux.

2°) Les centres visuels.

Les centres visuels sont situés au niveau du cortex des lobes occipitaux de l'hémisphère cérébral. Un centre visuel est formé de deux types d'aires :

- L'aire de projection visuelle ou aire primaire : elle est responsable de la sensation visuelle. Elle reçoit les informations sous forme d'influx nerveux venant de la rétine. La lésion de l'aire de projection visuelle entraine la cécité totale.
- L'aire psycho-visuelle : elle est située en avant de chaque aire de projection visuelle. Elle interprète les informations rétiniennes en images concrètes des objets vus. La destruction de l'aire psycho-visuelle entraine la non reconnaissance des objets : c'est l'agnosie visuelle ou la cécité psychique.

Les centres visuels situés au niveau du cerveau ont alors pour rôle d'analyser, d'interpréter et de redresser les images formées sur la rétine. De même, ils comblent l'absence d'images au niveau du point aveugle. Compte tenu du rôle des centres visuels dans la vision, on dit qu'on voit avec le cerveau et non avec les yeux.

VI- les perceptions visuelles et les faux jugements.

La perception visuelle est l'identification d'un objet à partir duquel vient une excitation.

1°) la perception du relief.

Elle se fait grâce à la vision binoculaire qui permet de percevoir le paysage qui nous entoure sous toutes ses formes et dimensions.

2°) La perception des mouvements.

Elle est possible grâce à la poursuite de l'objet en mouvement avec les deux yeux. Le déplacement de l'image sur la rétine et l'absence d'image sur le point aveugle sont corrigés par le cerveau.

3°) Les faux jugements.

Ce sont les erreurs d'interprétation du cerveau. Ils sont de deux types :

- La perception visuelle ambigüe : il s'agit de différentes interprétations données à propos de la vision d'un seul objet par plusieurs personnes.
- Les illusions d'optiques : ce sont des perceptions erronées de la réalité. On dit que le cerveau se trompe.

Les faux jugements sont dus à l'influence des facteurs externes sur le cerveau comme : l'émotion, les milieux socioculturels.

LES RELATIONS HORMONALES

Les objectifs pédagogiques

A la fin de ce cours, l'élève doit être capable de :

57- Connaître la structure de certaines glandes endocrines comme : la thyroïde, le pancréas, le complexe hypothalamo-hypophysaire.

58- Connaître les hormones élaborées par chaque glande ainsi que le rôle de chaque hormone dans l'organisme.

59- Interpréter les effets produits lors de l'ablation, la greffe, l'injection des extraits glandulaires et de la parabiose.

60- Décrire le mode d'action d'une hormone.

61- Connaître le mode de régulation des hormones glandulaires.

Introduction

Les relations hormonales ou humorales sont des relations fonctionnelles qui existent entre différents organes du corps et qui s'effectuent grâce aux hormones rejetées dans le sang.

Une hormone est une substance produite et libérée dans le sang par les glandes endocrines et qui est capable d'agir sur un autre organe. La science qui étudie les hormones est l'endocrinologie.

Les glandes endocrines qui sont entre autres : le pancréas, la tyroïde, le complexe hypothalamo-hypophysaire.

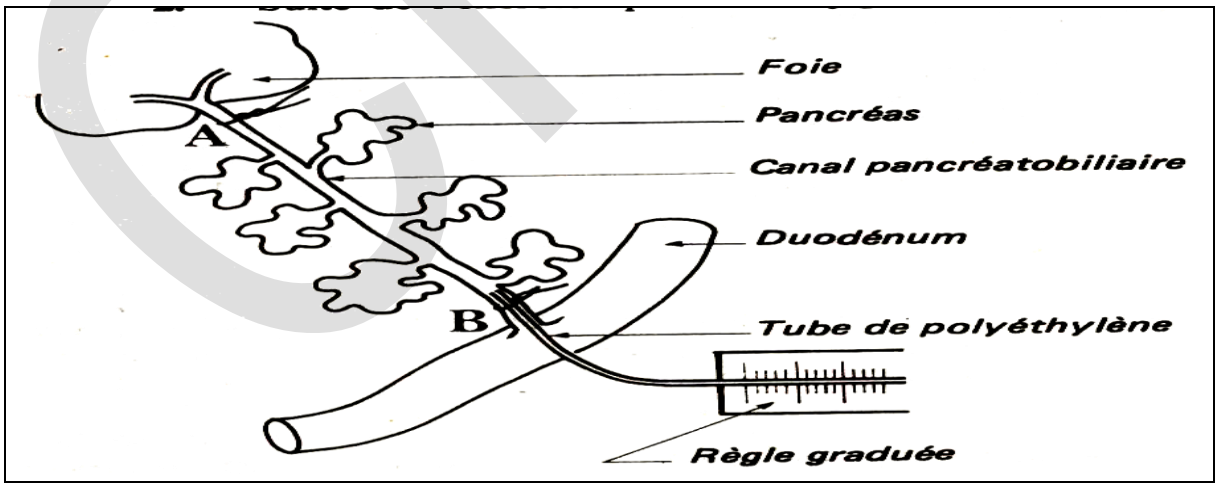
I- Etude du pancréas.

1°) Découverte de la sécrétine.

- La section des nerfs pancréatiques n'empêche pas la sécrétion du suc pancréatique : la sécrétion du suc pancréatique n'est pas déclenchée par voie nerveuse.
- L'injection d'une solution d'acide chlorhydrique dans le duodénum déclenche la sécrétion du suc pancréatique. Par contre, l'injection de la même solution d'acide directement dans le sang n'a aucun effet sur la sécrétion pancréatique : l'acide chlorhydrique agit sur le duodénum qui à son tour élabore et libère une substance dans le sang. Cette substance libérée provoque la sécrétion du suc pancréatique. La substance libérée a été nommée plus tard la sécrétine. Toute substance ayant la même action que la sécrétine fut nommée Hormone par Starling.

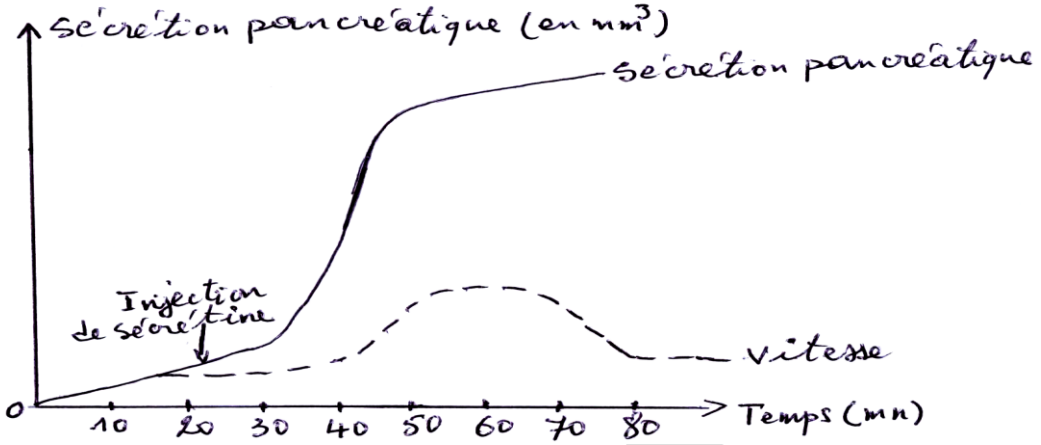
2°) Etude expérimentale de l'action de la sécrétine.

- **Expérience :** on anesthésie un rat à jeun en lui injectant dans l'abdomen une solution de l'uréthane (somnifère). On intube une de ces veines jugulaire à l'aide d'une canule munie d'une aiguille à injection. On intube également son canal cholédoque à l'aide d'un cathéter relié à une règle graduée (pour mesurer la sécrétion du suc pancréatique). On pose une ligature du côté du foie pour éviter le mélange entre la sécrétion biliaire et la sécrétion pancréatique. On effectue l'injection d'une solution de sécrétine dans la veine jugulaire intubée et on mesure toutes les trois minutes la sécrétion pancréatique.



Dispositif expérimental de mesure de la sécrétion du suc pancréatique.

- **Observations :** A partir des valeurs obtenues, on trace la courbe exprimant le volume du suc pancréatique en fonction du temps de même que la courbe de vitesse de sécrétion du suc pancréatique e fonction du temps.



Courbes de volume du suc pancréatique et de la vitesse de la sécrétion du suc pancréatique en fonction du temps.

- **Interprétation :** Avant l'injection de la sécrétine, la sécrétion du suc pancréatique est faible car l'animal est à jeun. Après injection de la sécrétine, la sécrétion pancréatique augmente après un temps de latence. Le temps de latence correspond au temps de transport de la sécrétine par le sang et à l'activation des cellules pancréatiques. L'augmentation de la sécrétion pancréatique est due à l'action durable qu'exerce la sécrétine sur les cellules du pancréas.

3°) Histologie du pancréas.

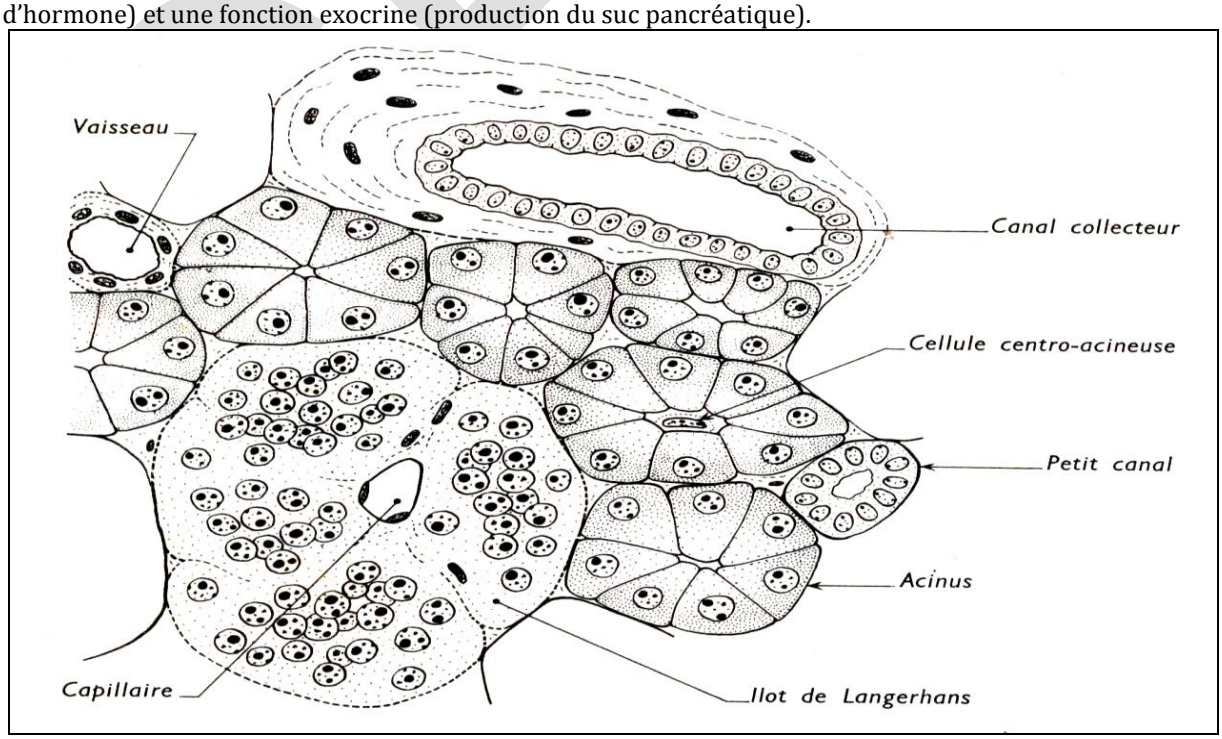
L'observation microscopique d'une coupe de pancréas montre deux groupes de cellules :

- Les acini : un acinus est un amas de cellules pyramidales groupées autour d'une cavité centrale et qui est en relation avec l'extérieur grâce à un canal collecteur. Les acini assurent la production du suc pancréatique. Ils constituent le pancréas exocrine.
- Les îlots de Langerhans : ce sont des amas de cellules pleines, dépourvues de canaux collecteurs. Ils sont formés par deux types de cellules : les cellules α et les cellules β.

* Les cellules α : elles assurent la production d'une hormone qui est le glucagon.
* Les cellules β : elles assurent la production de l'insuline.

Les cellules de Langerhans constituent le pancréas endocrine.

Remarque : le pancréas est une glande mixte car elle assure à la fois une fonction endocrine (production d'hormone) et une fonction exocrine (production du suc pancréatique).



Coupe de pancréas de cobaye.

4°) Rôles du pancréas.

Pour découvrir le rôle du pancréas, on réalise des expériences d'ablation, de greffe, d'injection d'extraits pancréatiques et de parabiose.

a) Expériences et interprétations.

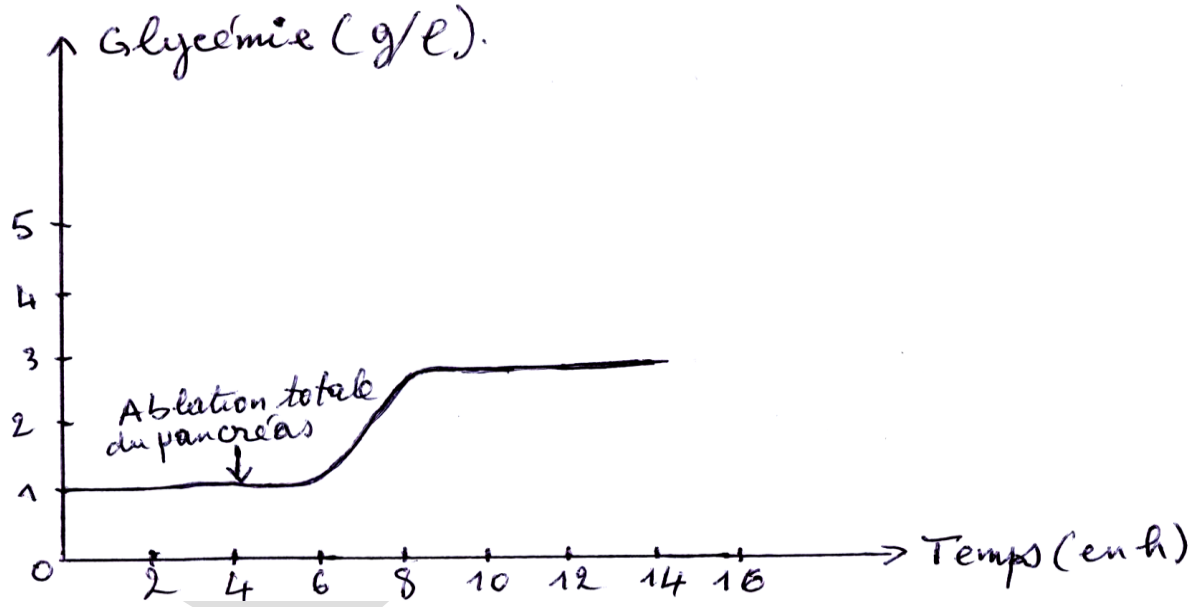
- La pancréatectomie chez un animal, une absence de sécrétion de suc pancréatique, des troubles digestifs et une hyperglycémie : le pancréas intervient dans la digestion et dans le contrôle de la glycémie.
- L'ablation dans ¾ du pancréas n'a aucun effet sur la digestion ni sur la glycémie donc le rôle du pancréas ne dépend pas de son volume c'est –à –dire les cellules du pancréas sont reparties d'une façon homogène.
- La ligature des canaux pancréatiques entraîne des troubles digestifs et la dégénérescence des acini. Les acini interviennent dans la digestion en élaborant le suc pancréatique qui s'écoule à travers les canaux pancréatiques.
- La greffe du pancréas à un chien dépancréaté entraîne la disparition des troubles liées au diabète. Le pancréas intervient dans la régulation de la glycémie par voie hormonale.
-L'injection intraveineuse d'extrait d'îlot de Langerhans à un chien pancréadectomisé entraîne la disparition des troubles liés au diabète. Les îlots de Langerhans élaborent les hormones qui interviennent dans la régulation de la glycémie.

b) Rôle de l'insuline.

L'insuline produite par les cellules β des îlots de Langerhans provoquent la baisse de la glycémie. C'est une hormone hypoglycémiante.

En effet, l'insuline stimule la glycogénogenèse au niveau du foie et l'utilisation du glucose par les cellules. Elle favorise aussi la conversion du glucose en lipides dans les cellules adipeuses.

La libération de l'insuline se fait par exocytose et dépend du aux de glucose sanguin comme le montre la courbe suivante :



Courbe de sortie d'insuline en fonction u taux de glucose sanguin.

C) Les hormones hyperglycémiantes.

Les hormones hyperglycémiantes sont des hormones qui favorisent l'augmentation du taux de glucose sanguin. Parmi ces hormones, on note le glucagon, le cortisol et l'adrénaline.

- **Le glucagon :** il favorise l'augmentation de la glycémie en provoquant l'utilisation des lipides et des protides et en freinant l'utilisation du glucose par les cellules. De plus il stimule la glycogénolyse (hydrolyse du glycogène). C'est donc une hormone de manque de glucose.

Remarque : L'insuline et le glucagon sont deux hormones antagonistes.

- **Le cortisol :** il est une hormone secrétée par la partie corticale des capsules surrénales. Il freine l'entrée du glucose dans les cellules et favorise les effets du glucagon
- **L'adrénaline :** elle est secrétée par la partie médullaire de la médullo-surrénale provoque la glycogénolyse en cas d'émotion : c'est pourquoi l'adrénaline est appelée une hormone d'urgence.

6) Régulation de la sécrétion des hormones du pancréatique.

La libération des hormones pancréatiques est 7°C de la glycémie.

- Lorsque la glycémie augmente, on a croissance d'insuline.
- Lorsque la glycémie baisse, on a croissance du glucagon pour ramener la glycémie à la normale.

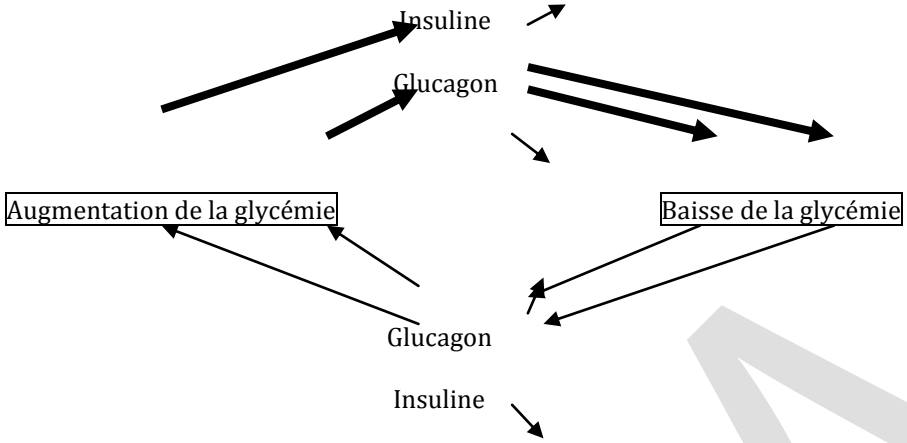


Schéma de régulation de sécrétion pancréatique par la glycémie.

7) Régulation de la glycémie.

La régulation de la glycémie se fait selon deux voies : voie hormonale, voie nerveuse.
C'est une régulation neuro- hormonale. Cette régulation est schématisée comme suit :

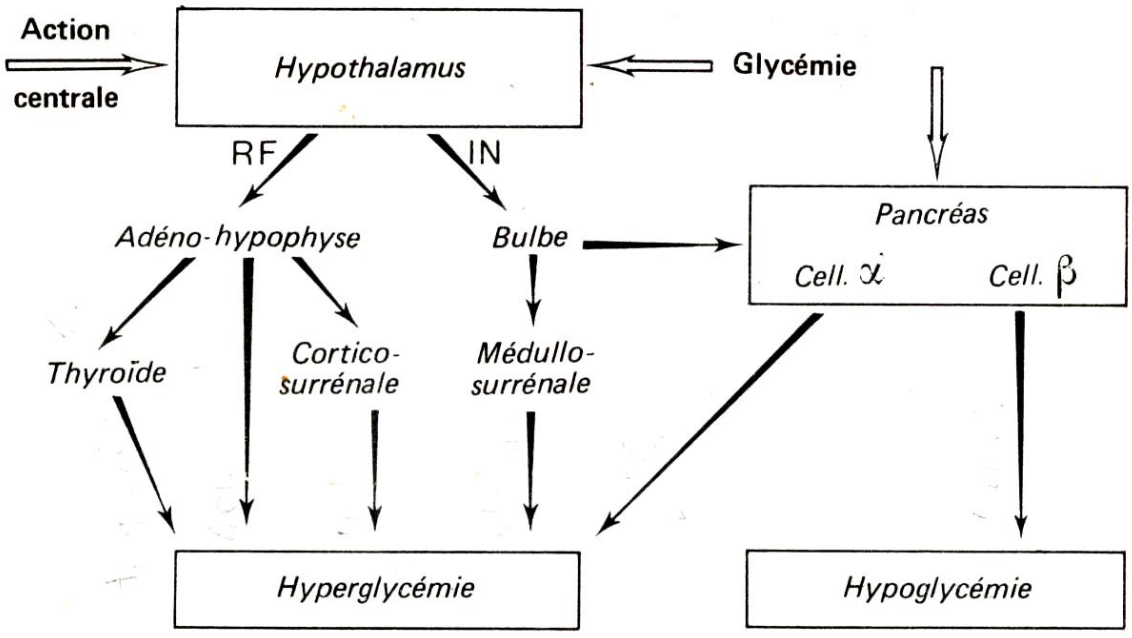


Schéma de la régulation neuro-hormonale de la glycémie : RF : releasing factors ; IN : influx nerveux.

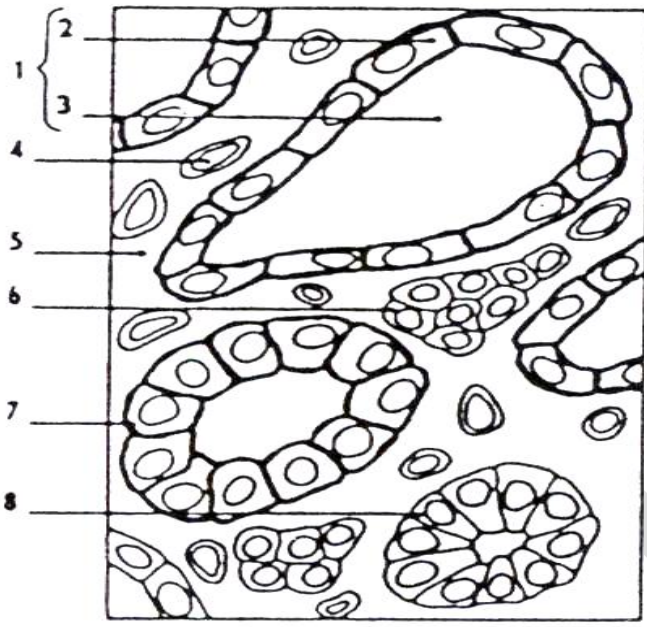
II- Etude de la thyroïde.

A- Structure de la thyroïde.

C'est une glande située au niveau du cou en avant de la base de larynx. Une coupe de thyroïde observée au microscope montre des vésicules sphériques appelées des follicules thyroïdiens. Il existe 3 types de follicules thyroïdiens.

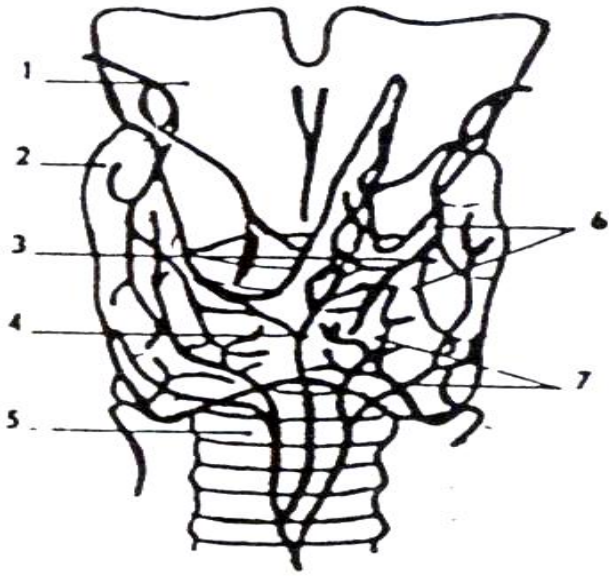
- Les vésicules de grandes tailles : elles sont gorgées des colloïdes et sont donc à l'état de repos
- Les vésicules moyennes qui secrètent du colloïde
- Les petites vésicules qui rejettent les hormones thyroïdiennes dans le sang.

Entre les vésicules thyroïdiennes, on a un tissu conjonctif contenant des vaisseaux sanguins.



Structure de la thyroïde montrant ses vésicules :

1 : vésicules de grande taille ; 2 : épithélium sécréteur ; 3 : colloïde ; 4 : capillaire sanguin ; 5 : conjonctif ; 6 : amas cellulaire ; 7 : vésicule moyenne ; 8 : petite vésicule.



La thyroïde vue par sa face antérieure : 1 : larynx ; 2 : lobe droit ; 3 : lobe gauche ; 4 : isthme ; 5 : trachée ; 6 : artère ; 7 : veine.

B- **Physiologie de la thyroïde.**

1) Observation des troubles thyroïdiens.

- L'hypothyroïdie (baisse de l'activité thyroïdienne) provoque chez l'homme un myxœdème qui est la rétention d'eau dans les tissus cutanés. Cette maladie se manifeste aussi bien chez l'enfant que chez l'adulte et se caractérise généralement par une baisse de métabolisme basal, des troubles nerveux, le nanisme (chez l'enfant).
- La carence en iode dans l'alimentation entraîne le goitre non obligatoire et l'observation de la thyroïde d'un sujet atteint de ce goitre montre des vésicules hypertrophiées c'est –à – dire bourrées de colloïdes.
- L'hyperthyroïdie entraîne la maladie de basedow ou goitre exophtalmique.
- Elle se caractérise par une augmentation du volume du cou, une saillie prononcée du globe oculaire, une augmentation du métabolisme basal.

2) Etude expérimentale de l'activité thyroïdienne.

- La thyroïdectomie entraîne une diminution du métabolisme et une somnolence chez les chiens, un nanisme chez les rats, l'absence de métamorphose chez les têtards donnant ainsi des têtards géants : La thyroïde intervient dans la croissance, dans la régulation du métabolisme et sert dans la métamorphose chez les têtards.
- La greffe d'une portion de thyroïde à un animal thyroïdectomisé entraîne la disparition des troubles liés à la thyroïdectomie. L'action de la thyroïde se fait à partir des hormones qu'elle produire.
- L'injection d'extrait thyroïdien à un animal privé de sa thyroïde corrige aussi les troubles liés à la thyroïdectomie. La thyroïde agit par voie hormonale.
- Si on injecte des extraits thyroïdiens à un animal normal, on observe chez ce dernier, une élévation de la température, un amaigrissement, une tachycardie.

3) Les hormones thyroïdiennes.

Parmi les hormones thyroïdiennes la plus connue est la **thyroxine.** Cette dernière est une hormone formée à partir de la combinaison entre la thyroxine et 3ou 4 molécules d'iode.

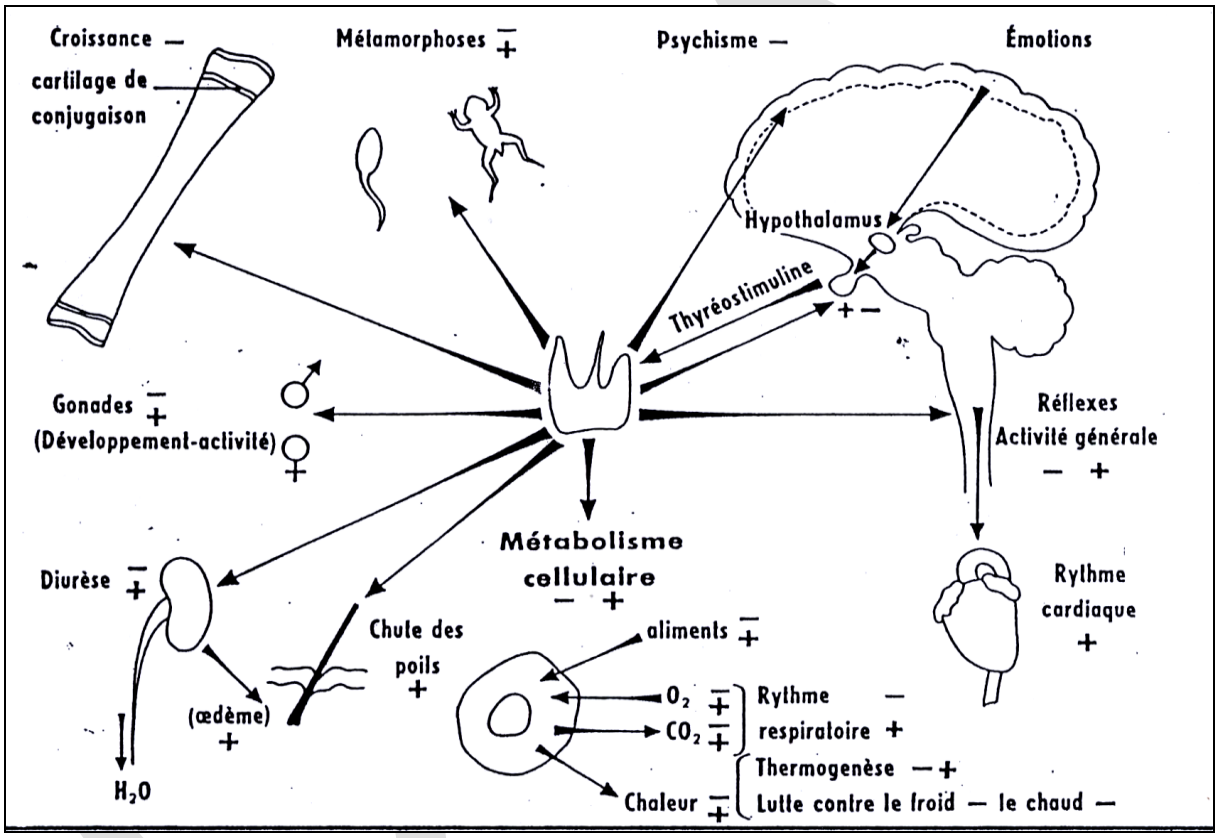
Thyroxine + 3I ⟶ triiodothyrosine (I3)

Thyroxine + 4I ⟶ tétraiodothyrosine (I4)

Le mécanisme de synthèse des hormones thyroïdiennes est le suivant :

- capture de l'iode par les vésicules thyroïdiennes
- combinaison diode avec une protéine pour la donner la thyroglobuline qui s'accumule dans les vésicules sous forme de colloïdes
- L'hydrolyse et libération des hormones thyroïdiennes dans le sang.

4) Actions des hormones thyroïdiennes.

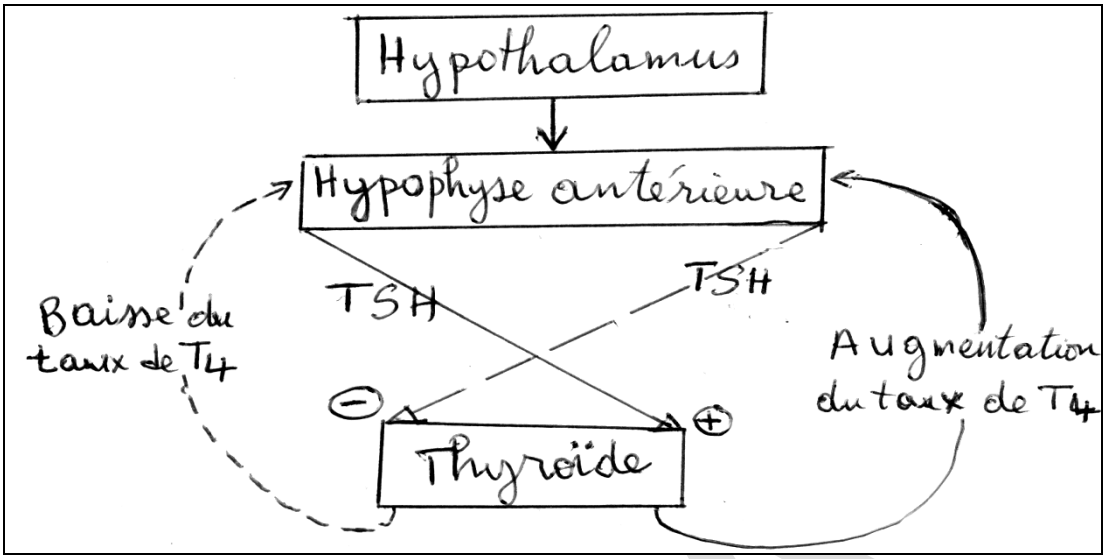


5) Régulation de l'activité Thyroïdienne.

La régulation de l'activité thyroïdienne se fait par voie nerveuse et hormonale.

C'est une régulation neuro hormonale. En effet, l'hypophyse élabore une hormone appelée la thyréostimuline (TSH) qui stimule la croissance des hormones thyroïdiennes. Les taux d'hormones thyroïdiennes dans le sang contrôle par rétrocontrôle +ou-la position de la TSH

La régulation nerveuse est déclenchée par l'émotion, le climat et l'alimentation. Au cours d'une émotion, on note l'excitation du centre émotionnel de l'hypothalamus et ce stimule l'hypophyse qui croit la TSH.



Régulation de l'activité thyroïdienne.

III- Le complexe hypothalamo-hypophysaire.

A- Anatomie et structure.

L'hypophyse est une glande située à la base du crâne. Elle est reliée à l'hypothalamus par la tige hypophysaire ou pituitaire. L'hypophysaire est constituée de 2 lobes :

- hypophyse antérieure ou anté- hypophyse ou adénohypophyse qui provient de la poche de la Rathke.
- hypophyse post ou la posthypophyse provient du prolongement de l'hypothalamus. entre les 2 lobes, on trouve une zone intermédiaire appelé le pars inter média.

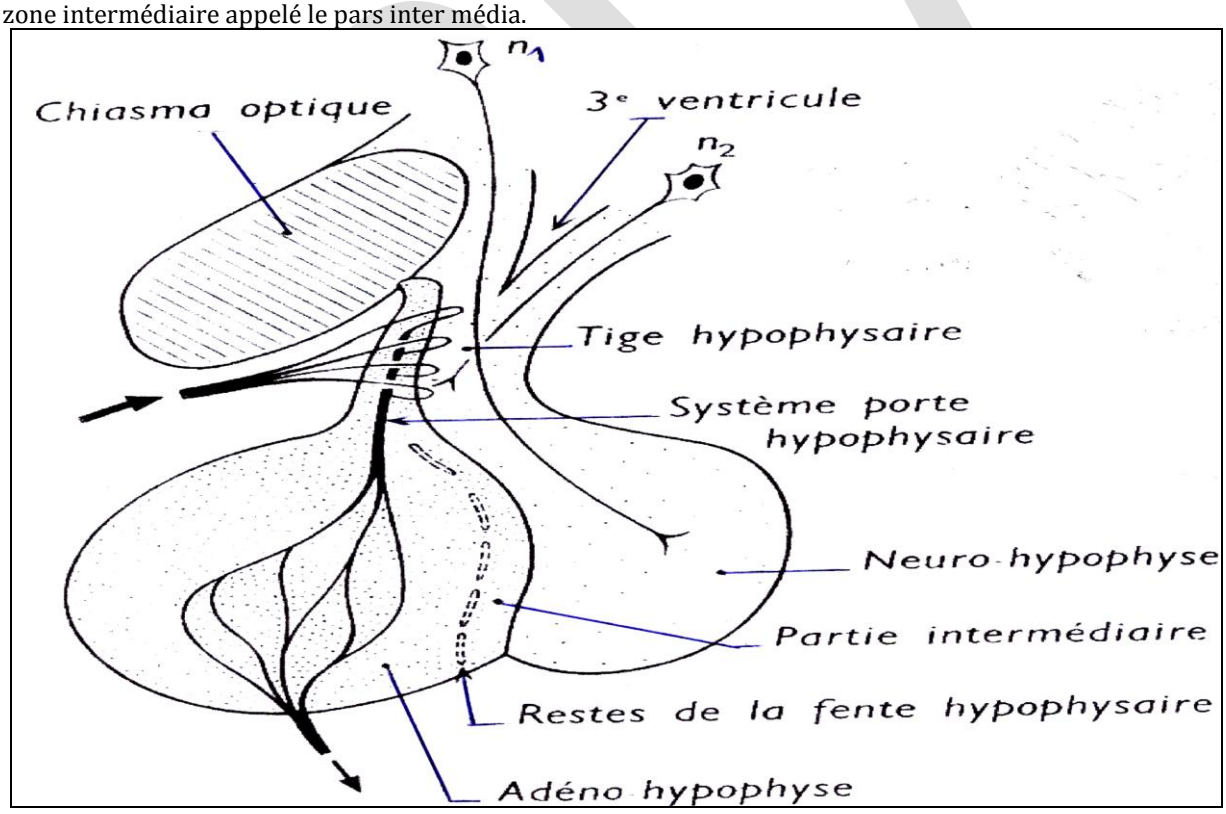


Schéma du complexe hypothalamo-hypophysaire.

B- Physiologie de l'hypophyse.

1) Observations.

L'hyper activité de l'hypophyse avant la naissance donne le gigantisme.

- l'hyper activité après la naissance donne un développement exagéré des extrémités du corps.

L'hypo activité provoque le nanisme.

2) Les hormones hypophysaires.

On distingue les hormones anté - hypophysaires et les hormones post hypophysaires.

a) Les hormones antéhypophysaires.

Ce sont :

- Hormones de croissance ou hormone somatotrope (STH).son action est proche de celle de la thyroxine. Son insuffisance entraîne l'infantilisme mais son excès provoque le gigantisme. Elle stimule la croissance du cartilage de conjugaison et l'anabolisme.
- La TSH : elle stimule la thyroïde par la croissance des hormones thyroïdiennes.
- L'ACTH ou la corticostimuline ou hormone corticotrope : elle agit sur le contexte surrénal et assure le maintient du poids de cette glande.
- La prolactine : elle stimule la croissance du lait.
- Les gonadostimulines : FSH et LH (confère la réflexion)

b) Les hormones post hypophysaires.

Ce sont :

- L'ocytocine qui intervient dans les contractions internes et provoque l'éjection lactée ou l'écoulement lacté.
- l'ADH (Hormone Antidiurétique ou vasopressine). Elle stimule la réabsorption d'eau au niveau des tubes urinifères.

Remarque : Les hormones hypophysaires obéissent souvent au mécanisme de Field back. Leur libération est aussi sous le contrôle de l'hypothalamus.

IV- Fonctionnement d'une cellule sécrétrice.

1) Elaboration et rejet d'une hormone protéique.

L'élaboration dune hormone protéique suit le même processus qu'une synthèse protéique (confère premier chapitre).

La synthèse à lieu au niveau du REG et transporté par lui (REG).Chaque protéine est suivit d'une transformation et de stockage au niveau du golgi. Elle est rejetée dans le sang par le phénomène d'exocytose.

2) Mode d'action des hormones.

Les hormones protéiques se fixent sur la membrane des cellules cibles, ce qui provoque la transformation de l'APT en AMPC (Adénosine, Mono Phosphate Cyclique) qui est appelé un second message hormonal.

La MPC active à son tour le système enzymatique de la cellule cible .Part contre, les hormones stéroïdes pénètrent dans les cellules cibles puis se fixent sur des récepteurs pour former un complexe hormone – récepteur.

Ce complexe migre dans le noyau et se fixe sur la chromatine et active la transcription.

Conclusion : Les hormones produites par les glandes endocrines agissent sur les organes cibles qui a leur tour produisent d'autres hormones. Il existe donc des relations hormonales entre divers organes de l'organisme. Le fonctionnement des glandes est soumis à une régulation neuro – hormonale. Les relations hormonales nécessitent l'intervention du sang et du milieu intérieur qui assurent le transport des hormones vers les organes cibles.

CPLA

LE SANG ET LE MILIEU INTERIEUR

Les objectifs pédagogiques.

A la fin de ce cours, l'élève doit être capable de :

62- Connaître la composition du sang et du milieu intérieur.

63- Mettre en évidence la composition du plasma et de l'urine.

64- Faire une analyse comparative des constituants du sang et ceux de l'urine.

65- Connaître le rôle du sang et du milieu intérieur.

66- Connaître le mécanisme de la régulation du milieu intérieur.

67- Connaître le mécanisme de régulation du milieu intérieur.

Introduction.

Le sang est un tissu qui intervient dans le transport des nutriments et des déchets.
Le milieu intérieur est un milieu liquidien et interne de l'organisme des vertébrés dans lequel beigne les cellules avec lequel elle réalise des échanges. Le terme milieu intérieur est l'œuvre de Claude Bernard. Le milieu intérieur regroupe le plasma sanguin ; le liquide lacunaire et la lymphe circulante.

I- La mise en évidence des constituants du sang.

1) L'observation microscopique

Pour observer les constituants du sang, on fait le frottis sanguin. L'observation du frottis sanguin au microscope montre que le sang est formé d'un liquide appelé plasma dans lequel baignent des cellules telles que les hématies, les leucocytes et les globulins. Le sang est donc un tissu car il est formé de cellules sanguines.

2) Recherche des constituants du sang

On utilise 2 techniques : la sédimentation ou la centrifugation et la coagulation

a- La sédimentation

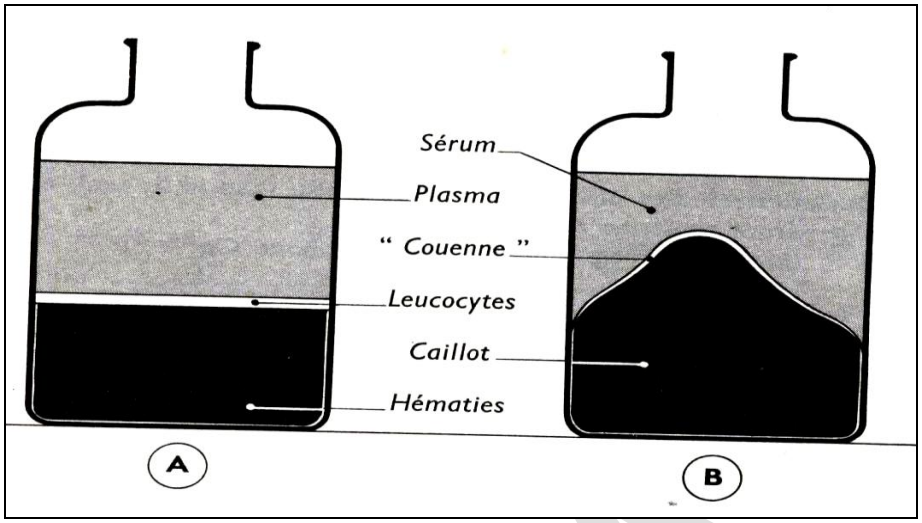
On dépose dans un tube essais du sang frais de bœuf rendu incoagulable. Au repos ou après centrifugation, des globules sanguines tombent au fond du tube et on observe au dessus un liquide appelé le plasma

Remarque : Pour rendre du sang incoagulable, on ajoute des anticoagulants tels que l'oxalate d'ammonium, citrate de sodium.

On appelle hématocrite, la proportion des globules sanguines par rapport au volume de sang prélevé .Pour un homme normal elle est de 45%.

b) Coagulation du sang

On laisse au repos du sang frais de mouton dans un tube à essai. Quelques moments plus tard, le sang se prend en masse au dessus de laquelle on a un liquide appelé le sérum. La masse sanguine obtenue est appelée le caillot qui est formée par les globules rouges et la fibrine. A la surface de ce caillot, on a une couenne constituée de globules blancs.



A : la sédimentation ; B : la coagulation.

c) Mécanisme de la coagulation du sang

La coagulation du sang est due à la transformation du fibrinogène du plasma en fibrine. Cette transformation se fait grâce à la thrombine élaborée dans le foie et en présence des ions Ca^{2+}

$$\text{Fibrinogène} \xrightarrow[Ca^{2+}]{\text{Thrombine}} \text{fibrine}$$

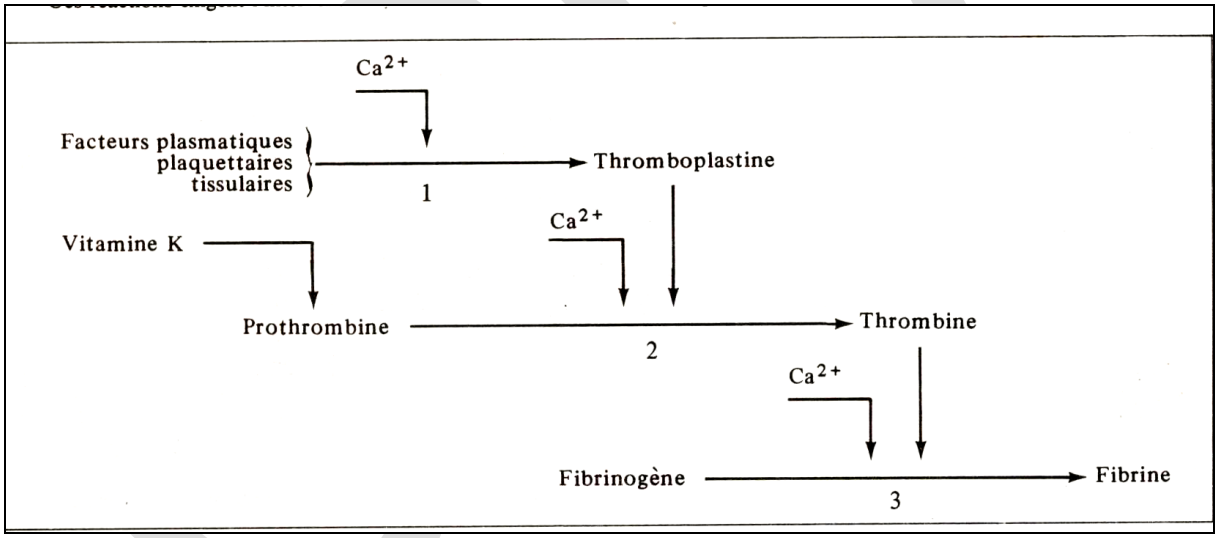


Schéma montrant le mécanisme de la coagulation du sang.

Le sérum est donc du plasma sans fibrinogène.

Sérum = Plasma - Fibrinogène

3) Mise en évidence des constituants chimiques du plasma.

Pour mettre en évidence des constituants du plasma on utilise le test d'identification des substances minérales et organiques.

a) Mise en évidence des substances minérales.

Pour mettre en évidence des substances minérales dans le plasma, on utilise des réactifs appropriés (confère cours de 1ère).

Remarque : L'analyse du plasma montre qu'il renferme de l'eau, des chlorures, les sulfates, du potassium, du calcium, les phosphates, des protéines, lipides et glucides.

II- Les constituants de l'urine.

L'analyse de l'urine montre qu'elle renferme des substances azotées, des sels minéraux.

1) Mise en évidences des substances minérales

On procède dans le cas du plasma en effectuant des réactions chimiques sur des prélèvements d'urines.

2) Mise en évidence des substances azotées :

L'urine contient des substances azotées qui sont : l'urée, l'acide urique, l'ammoniaque et la créatinine.

a) Expérience de mise en évidence

Expérience1 : On met dans un tube à essai de l'urine sur laquelle on ajoute de l'eau de javel. Il se produit une effervescence et un dégagement de gaz qui est de l'azote (N_2).Ce dégagement d'azote montre que l'urine contient des substances azotées. L'eau de javel étant oxydant décompose les substances azotées en CO_2 en eau et en N_2.

La réaction d'oxydation de l'urée est la suivante :

$$CO(NH_2) + \frac{3}{2} O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O + N_2$$

Expérience2 : Dans un tube à essai on met un peu de l'urine sur laquelle on ajoute quelque pastille de potasse (KOH). Apres chauffage il se dégage un gaz qui bleuit le papier rouge.

Ce gaz est l'ammoniaque (NH_3). Ceci est la preuve de la présence des substances azotées dans l'urine.

b) Le dosage de l'urée.

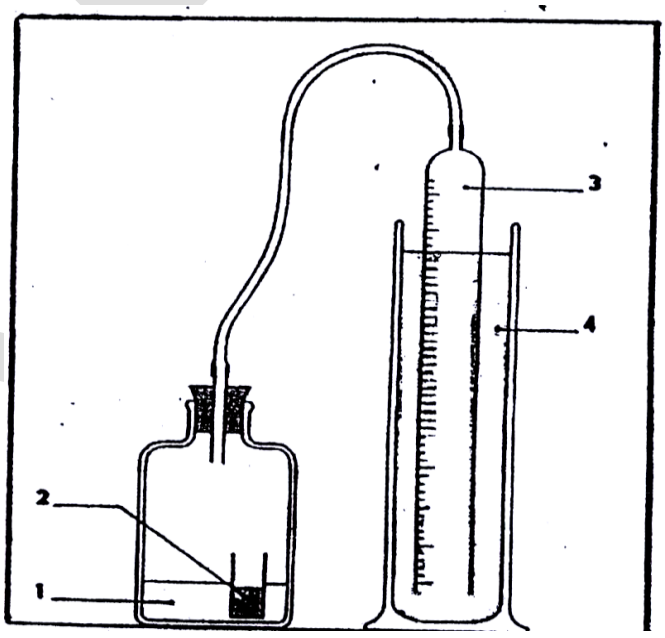
Pour doser l'urée dans l'urine, on utilise 2 méthodes : Méthode volumétrique et pondérale.

b1) Méthode pondérale

Elle consiste à précipiter l'urée contenue dans un volume v d'urine en utilisant le xanthydrol. 2 mol de xantholin s'unissent avec une mol d'urée pour former un précipité appelé le dixanthyl-urée qui a une masse M = 7fois celle de l'urée. Ainsi pour déterminer la masse d'urée on divise la masse du précipité par 7.

b2) Méthode volumétrique

Elle consiste à brûler ou à oxyder l'urée dans un appareil appelé uromètre. On prélève un volume v d'urine dans un bêcher. On dépose dans le bocal de l'uromètre contenant un oxydant puissant appelé hypobromite de sodium (NaOBr) mélangé à la soude.



Uromètre : 1. Hypobromite de sodium + soude ; 2. Urine ; 3. Cloche à gaz ; 4. Cuve à eau.

On détermine par lecture le volume d'air initial de la cloche de l'uromètre noté v_1. On remue le bocal, le bécher se renverse et l'urine se mélange à l'oxydant. Il se produit en ce moment une effervescence et un dégagement de gaz. A

la fin de la réaction, on fait la relecture et on note le volume v_2 de la cloche ($v_2 > v_1$). Le volume de gaz dégagé est : $V = v_2 - v_1$ et ce gaz est l'azote. La réaction d'oxydation de l'urée par l'oxydant est la suivante :

$$2\,(NH_2)\,CO + 3\,NaOBr + 2\,NaOH \longrightarrow Na_2CO_3 + 3NaBr + 3H_2O + N_2$$

6000cg (urée) ⟶ 22400cm³ (N_2)

1cg ⟶ V (N_2)

V (N_2) = 3,73 cm³

On sait que 1cg d'urée produit 3,73 cm³de N_2 sensiblement égal à 4 cm³. La masse d'urée contenue dans le volume d'azote V mesuré est :

1cg (urée) ⟶ 4cm³ (N_2)

m (urée) ⟶ V

$$m = \frac{V}{4}\ cm^3$$

La masse d'urée contenue dans 1 litre d'urine est :

v/4cg ⟶ 2cm³

M (urée) ⟶ 1000cm³

$$M = \frac{1000}{4 \times 2}\,v$$

M (urée) = 125 v ou M (urée) = 5/4 v

Remarque : En plus des constituants d'urine précités, l'urine contient aussi d'autres substances organiques tels que les enzymes, les hormones, les pigments, les acides gras.

III- Comparaison entre le plasma et l'urine.

L'analyse d'un litre d'urine et d'un litre de plasma d'un homme adulte en bonne santé donne les résultats suivants :

CONSTITUANTS	PLASMA	URINE
Eau	910	950
Cl^-	3,65	5-7
$SO4^{2-}$	0,02	2
$PO4^{2-}$	0,04	2
Na^+	0,25	3-6
K^+	0,2	2-3
Ca^{2+}	0,1	0,1-0,3
NH^{4+}	0,001	1-2
Protéine	70	0

CPLA

Lipide	6	0
Glucose	1	0
Urée	0,3	20
Acide urique	0,03	0,5
Créatinine	0,01	0,1
Acide hippurique	0	0,5

CPLA

Analyse des données du tableau :

- Certaines substances comme l'eau, les chlorures, les sulfates, les phosphates, le sodium, le potassium, calcium sont présentent aussi bien dans que dans le plasma.
- D'autres substances comme lipides, protides et glucose ne sont pas présentes dans l'urine normale. Les reins jouent un rôle de barrière.
- D'autres substances comme l'acide hippurique et l'ammoniaque n'existent que dans l'urine. Les reins jouent un rôle sécréteur.
- Certaines substances comme l'urée, acide urique, la créatinine sont plus concentrées dans l'urine que dans le plasma. Les reins jouent un rôle de filtre sélectif.

Remarque : le pouvoir épurateur ou la clearance des reins est le pouvoir que possèdent les reins à débarrasser le plasma de l'urée. Elle est définie par la formule suivante :

$$C = \frac{u \times v}{p}$$

C : clearance en cm^3
u : concentration de l'urée dans l'urine
v : volume d'urine rejeté en min.
p : concentration de l'urée plasmatique.

IV- Rôle du sang et du milieu intérieur.

Le sang et du milieu intérieur interviennent dans le transport des gaz respiratoires, des nutriments et des déchets.

1) Transport des gaz respiratoires.

a- Transport d'oxygène.

L'oxygène est transporté sous deux formes :

-sous forme d'oxyhémoglobine (95%)

$$Hb + 4O_2 \underset{\text{Tissu}}{\overset{\text{Poumons}}{\rightleftharpoons}} HbO_8$$

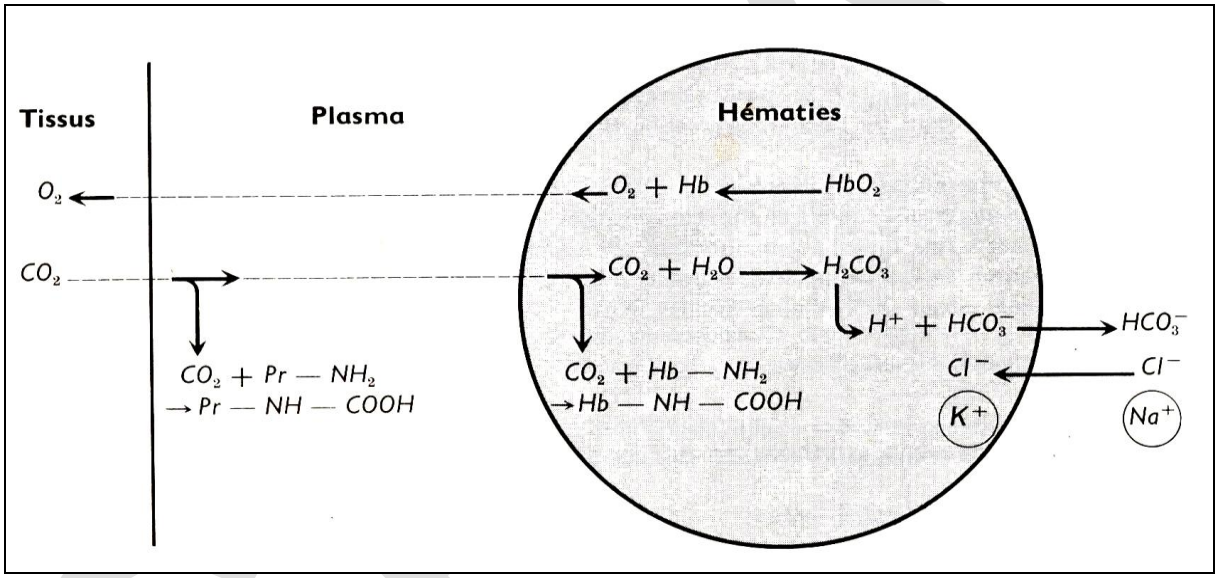
-sous forme dissoute dans le plasma (5%).
b- transport du CO_2.
Le CO2 est transporté sous plusieurs formes comme :
- forme dissoute dans le plasma
- forme combinée à l'hémoglobine ou forme carbohémoglobine

$$Hb + CO_2 \underset{\text{Tissu}}{\overset{\text{Poumons}}{\rightleftharpoons}} HbCO_2$$

- sous forme d'acide carbonique par l'eau

$$HO_2 + CO_2 \underset{\text{Tissu}}{\overset{\text{Poumons}}{\rightleftharpoons}} H_2CO_3$$

- sous forme de bicarbonate de sodium dans le plasma et de potassium dans les hématies.



Vue d'ensemble des réactions assurant le transport des gaz respiratoires.

2-Transport des nutriments
Les nutriments sont transportés par le sang jusqu'aux cellules qui les utilisent pour produire de l'énergie, faire des synthèses etc.
3- Transport des déchets
Le sang transporte le gaz carbonique qui est un déchet vers les poumons. De même l'urée et l'acide urique venant du foie sont transportés par le sang pour être éliminées dans l'urine. L'urée provient de la dégradation des acides aminés en excès dans le foie. L'acide urique provient de la dégradation des nucléoprotéines dans le foie. Les excès d'eau et les sels minéraux sont considérés comme des déchets et sont transportés par le sang pour être éliminés dans l'urine.

V- La constance du milieu intérieur.

A- la constance de l'équilibre acido-basique.

Le P^H du milieu intérieur est une constance biologique proche de la neutralité. PH est sensiblement égal à 7,4 + ou - 0,05. Toute perturbation de ce P^H donne des troubles graves dans l'organisme.

1) l'acidose

C'est l'acidification du milieu intérieur ($P^H < 7$).
Les causes de l'acidose sont :
- L'accumulation de l'acide lactique dans le sang suite à un travail musculaire intense et prolongé.
- Accumulation du CO_2 dans le sang suite à une ventilation pulmonaire insuffisante, car ce CO_2 se combine à l'eau du plasma pour l'acide carbonique.

- L'accumulation de l'acide sulfurique et l'acide phosphorique dans le sang suite à un régime alimentaire riche en protéines animales (viande etc.)
- Une forte acidose conduit au coma et à la mort de l'individu.

2) L'alcalose

C'est l'alcalinisation du milieu intérieur. (P^H>7) les causes de l'alcalose sont :

-La baisse de la pression partielle du CO_2 suite à une hyperventilation pulmonaire.

- un régime alimentaire végétarien car ce régime est riche en ions Na+ et K+ qui sont utilisées pour produire des ions bicarbonates.

L'alcalose provoque des troubles respiratoires et neuromusculaires.

3- Mécanisme de régulation des équilibres acido-basique

Cette régulation est surtout assurée par le système tampon et aussi par les poumons et les reins.

a) Système Tampons.

Ce sont :

- Le couple acide carbonique - hydrogénocarbonate (H_2CO_3/ HCO^-_3)

$$\underset{\text{Acide carbonique}}{H_2CO_3} \underset{2}{\overset{1}{\rightleftharpoons}} HCO^-_3 + H^+$$

En cas d'acidose, la réaction se produit dans le sens 2 ce qui donne la production d'acide carbonique qui est un acide faible, ce qui augmente le PH.

En cas d'alcalose, la réaction se produit dans le sens 1 ce qui entraîne la libération des ions H^+qui entraîne la baisse du P^H.

- Le couple bicarbonate de sodium –acide carbonique ($NaHCO_3$/ $H_2CO^-_3$ qui est le plus important. Si un acide fort est introduit dans le sang, il est neutralisé par le bicarbonate de sodium comme suit :

$$NaHCO_3 + HCl \longrightarrow H_2CO_3 + NaCl.$$

Le bicarbonate de sodium est donc une réserve alcaline du sang.

Si une base forte est introduite dans le sang elle sera neutralisée par l'acide carbonique comme suit :

$$H_2CO_3 + NaOH \longrightarrow NaHCO_3 + H_2O.$$

- Le couple protéine-protéinate (Prot H/ $Prot^-$).

$$Prot.\ H \rightleftharpoons Prot.^- + H^+$$

b) Rôle des poumons et des reins dans la régulation.

En cas d'acidose, on note une hyperventilation pulmonaire, ce qui permet l'élimination massive du CO_2 provenant de la dissociation de l'acide carbonique. Ce ci permet de rehausser le P^H.

Au niveau des reins, on note une excrétion des ions H^+ dans l'urine qui devient acide et une réabsorption des ions HCO^-_3

En cas d'alcalose, on note une hyperventilation ce qui permet une accumulation du CO_2 dans le sang pour former l'acide carbonique qui baisse le P^H.

Au niveau des reins, on note une élimination des ions HCO^-_3 qui devient basique.

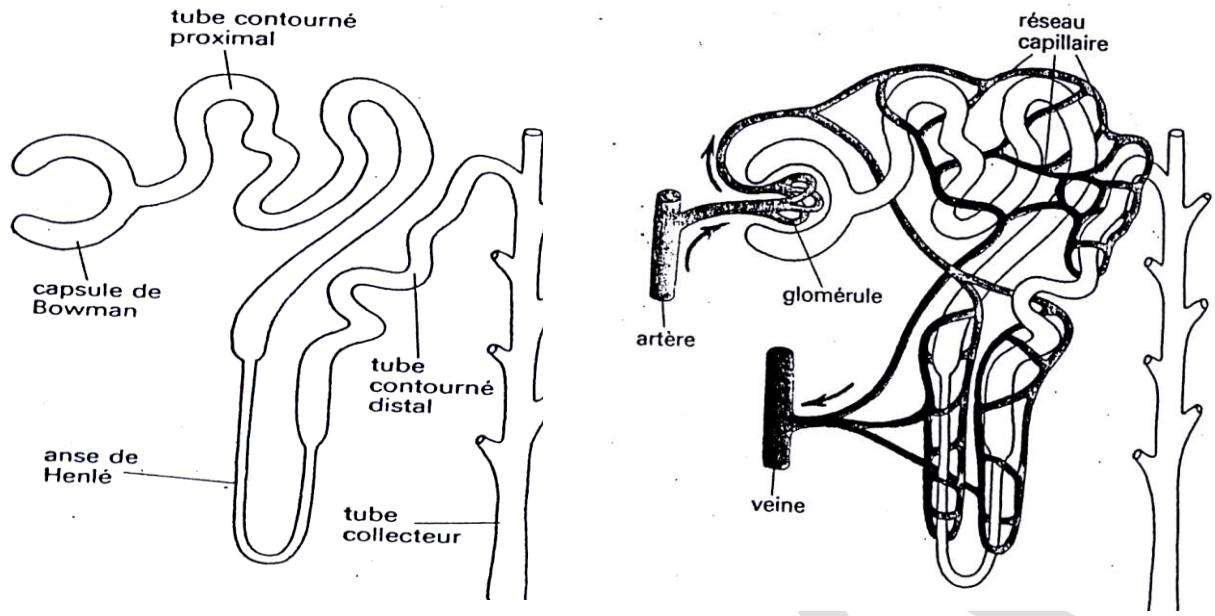
B- L'équilibre hydrominéral.

La régulation de la balance hydrique et minérale est assurée essentiellement par les reins

1) Organisation des reins

Un rein est formé de plusieurs milliers d'unités fonctionnelles appelées le néphron.

Un néphron est constitué de 2 parties : un glomérule et un tubule. Ce dernier est relié à un tube collecteur.



Vascularisation du néphron.

Tube urinifère ou néphron.

2) Elaboration de l'urée

La formation de l'urine s'effectue en 2 étapes :

- la filtration : elle a lieu au niveau du glomérule c'est –à- dire au niveau de la capsule de Bowman. Il s'effectue à ce niveau la filtration du plasma pour former une pré-urine ou urine primitive qui à la même constitution que le plasma à l'exception des lipides et des protides.

- La réabsorption : elle a lieu au niveau des tubules. Elle est caractérisée par une réabsorption partielle ou totale de certains constituants de l'urine primitive vers le plasma. Ainsi, dans les conditions normales le glucose est réabsorbé activement de même que les ions HCO^-_3

La réabsorption du glucose peut être totale ou partielle compte tenue de la glycémie.

Exemple : Si la glycémie < à 1, il y a réabsorption totale du glucose. Si elle est > à 1, il y a Réabsorption partielle. Les reins interviennent ainsi dans la régulation de la glycémie.

L'eau et les sels minéraux sont aussi réabsorbés compte tenu de leur concentration dans le plasma. A la fin de la réabsorption tubulaire, on obtient une urine définitive après rejet des secrétions tubulaires.

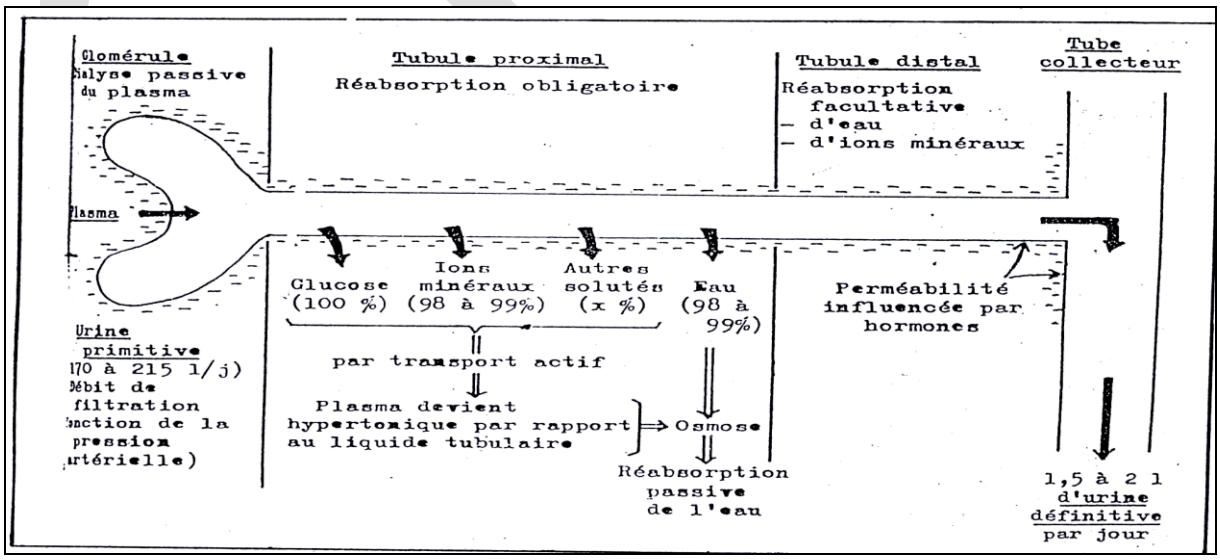
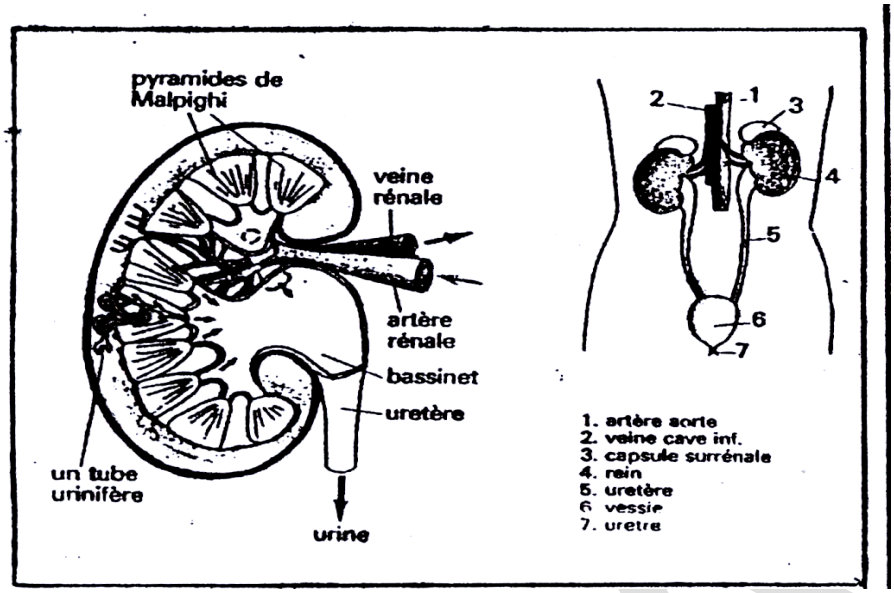


Schéma récapitulatif de la formation de l'urine.



A **B**

A : coupe longitudinale du rein humain. **B : L'appareil urinaire.**

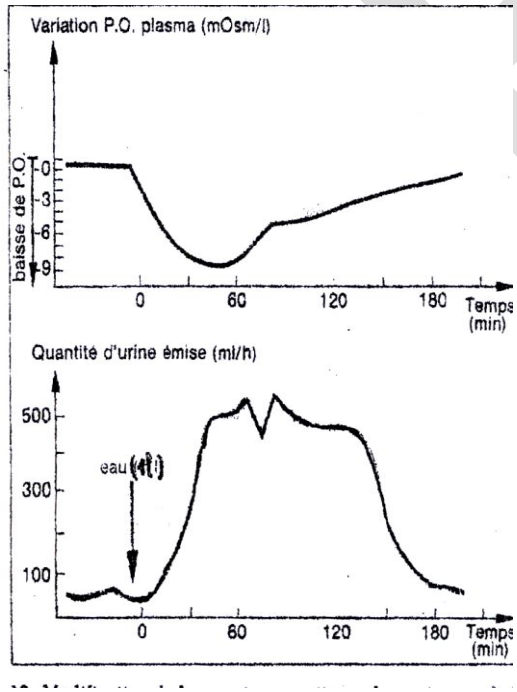
3) Régulation de la pression osmotique

La modification de la pression osmotique du milieu intérieur est due à la variation de la concentration en eau et en sels minéraux.

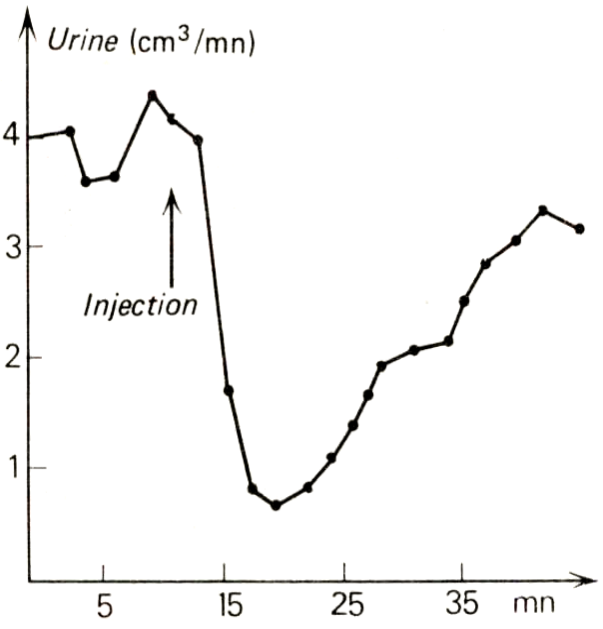
L'augmentation de la pression osmotique du milieu intérieur est due à une perte d'eau ou à un excès de sels minéraux. Dans ce cas, l'organisme régule la pression en diminuant la diurèse (la quantité d'urine émise).

Dans ce cas l'urine éliminée est peu abondante mais très concentrée.

La baisse de la pression osmotique est due à un apport excessif d'eau ou à un déficit en sels minéraux. En cas de la baisse de la pression osmotique ; l'organisme réagit en augmentant la diurèse. L'urine éliminée est abondante et moins concentrée.



Modification de la pression osmotique plasmatique et de la diurèse après ingestion d'un litre d'eau chez l'homme.



Effet de l'injection intra carotidienne d'une solution de NaCl hypertonique chez le chien.

4) Régulation de pression artérielle

Les modifications de la pression osmotique du plasma entraînent celle de la masse sanguine. Ainsi une augmentation de la pression artérielle entraîne une augmentation de la diurèse. De même, une diminution de la pression artérielle entraine une diminution de la diurèse.

C- Régulation hormonale des activités rénales.

L'élaboration e l'urine par les reins est sous le contrôle des hormones hypophysaires et surrénaliennes.

1) Action de l'hormone antidiurétique (ADH)

L'ADH est une neurohormone produite par la post hypophyse. L'ADH augmentez la réabsorption d'eau au niveau des tubules en augmentant leur perméabilité en eau.

2) Action des hormones surrénaliennes

La cortico- surrénale élabore 2 hormones qui sont : l'aldostérone et le cortisol.

- L'aldostérone (hormone stéroïde) provoque la réabsorption des ions Na^+ au niveau des tubules. L'urine devient ainsi peu concentrée, ce qui peut entraîner la réabsorption d'eau grâce à l'action de l'ADH.

Remarque :

L'aldostérone et l'ADH favorisent directement ou indirectement la réabsorption d'eau et la diminution de la diurèse.
Le cortisol augmente la filtration au niveau des glomérules. A faible dose, il favorise l'excrétion des ions Na^+.

NB :

La régulation hormonale de l'élaboration de l'urine est couplée à une régulation nerveuse : C'est une régulation neurohormonale.

-

CPLA