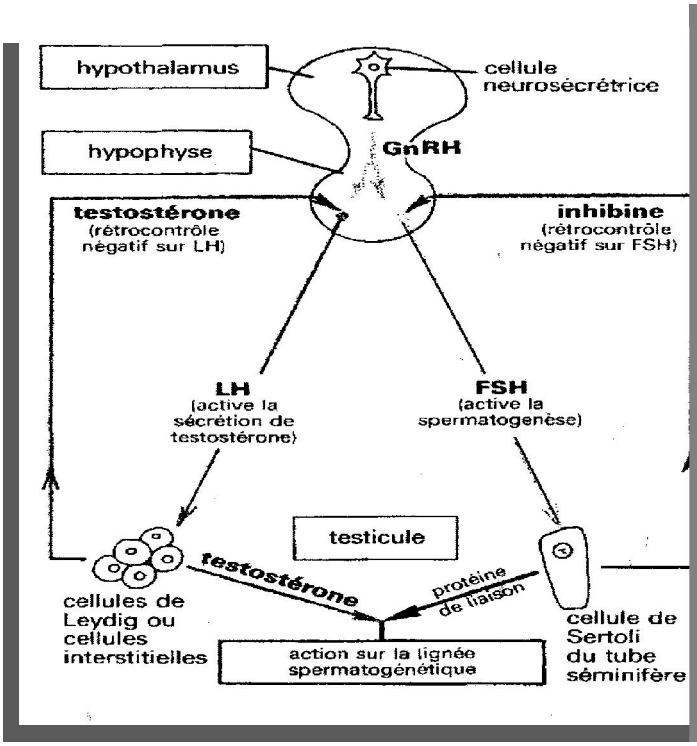
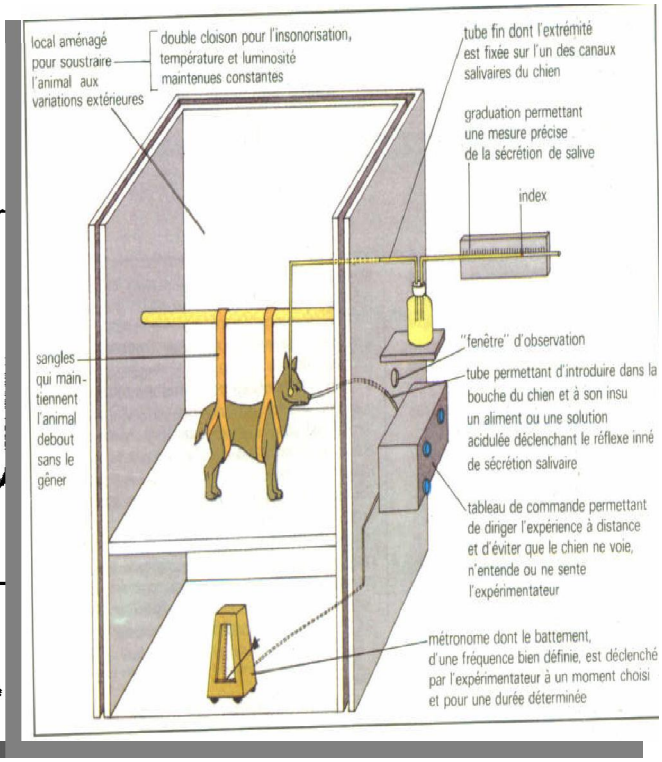
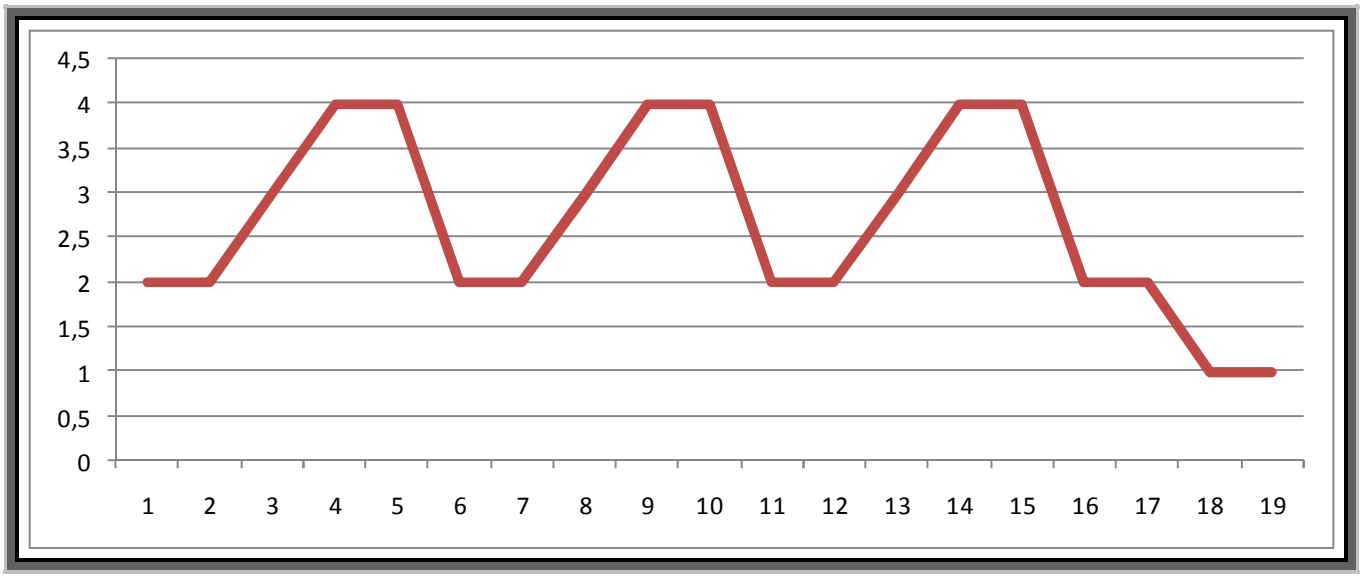
Sciences de la Vie et de la Terre





Notes de cours des classes de Terminales D et C



Mr Aboubacar Baba ZOURE

Titulaire d'un DEA en Sciences Biologiques Appliquées de l'Université de Ouagadougou ;

Professeur certifié des Sciences de la Vie et de la Terre au Lycée Marien N'Gouabi.

SVT Classe de Terminale D : Progression trimestrielle

Progression	Titre	Contenu
Premier trimestre	**Première partie : la cellule** Chapitre introductif	- Découverte de la cellule : la théorie cellulaire - Méthodes d'études
	Chapitre I. : Organisation de la cellule	- Structure - Ultrastructure - Fonctions des organites - Les acides nucléiques
	Chapitre II. : Quelques aspects de la vie cellulaire	- Echanges - Synthèses cellulaires : biosynthèse des protéines - La division cellulaire • Etapes de la mitose • Chromosomes • Déterminisme de la mitose
	DEUXIEME PARTIE : La reproduction Chapitre I. : Anatomie des appareils génitaux	- Organisation des appareils génitaux - Structure des gonades
	Chapitre II. : Physiologie de la reproduction	- Fonctions des gonades - Régulation hormonale - Gamétogénèse et les gamètes - Fécondation et grossesse - Parturition et lactation
	TROISIEME PARTIE : Hérédité Chapitre I. : Etude de la variation	- Définition et différents types de variation - Causes de la variation
Deuxième trimestre	Chapitre II. : Lois statistiques : Lois de Mendel	- Monohybridysme - Dihybridisme
	Chapitre III. : Interprétation chromosomique : travaux de Morgan	- Hérédité autosomale - Exceptions aux lois de Mendel
	Chapitre IV. : Hérédité humaine	- Spécificité de l'hérédité humaine - Hérédité autosomale - Hérédité hétérosomale - Aberrations chromosomiques
	QUATRIEME PARTIE : La fonction de relation Chapitre I. : Le tissu nerveux et ses propriétés	- Structure du tissu nerveux - Electrophysiologie du nerf

	Chapitre II. : Le système nerveux et le comportement moteur	- Notion d'acte reflexe - Les reflexes médullaires - Les reflexes conditionnels - Classification et importance des reflexes
Troisième trimestre	**CINQUIEME PARTIE : UNITE PHYSIOLOGIQUE DE L'ORGANISME** Chapitre I : L'activité cardiaque	- Quelques manifestations externes de l'activité cardiaque - Anatomie et histologie du cœur - Physiologie du cœur
	Chapitre II : Les relations humorales (pancréas)	- Notion d'hormone et de glande endocrine - Anatomie et physiologie du pancréas - Régulation de la glycémie
	Chapitre III : Le milieu intérieur	- Structure et rôle du rein - Constance du milieu intérieur - Unité physiologique de l'organisme : les corrélations fonctionnelles
	Chapitre IV : L'immunologie	- Les moyens de défense de l'organisme - Les mécanismes de la défense immunitaire - Le système immunitaire et le VIH - Les dysfonctionnements du système immunitaire - Les greffes et rejets de greffes

CONSEILS PRATIQUES

♣ **Connaître quelques termes couramment utilisés :**

-***Analyse*** : C'est la description succincte et concise, une brève présentation des résultats dans le cas du graphe, surtout les principales variations dans le cas d'une courbe ;
-***Expliquer*** : c'est rendre claire. Il s'agit de donner le pourquoi à partir de l'analyse en se basant sur les connaissances scientifiques acquises ou tout simplement de justifier les variations sur une courbe ou un graphique ;
-***Interpréter :*** C'est expliquer en se basant sur un modèle biologique ;
-***Annoter*** : c'est donner les noms ;
-***Commenter*** : c'est faire des observations pour expliquer ;
-***Comparer*** : c'est donner des ressemblances et surtout les différences ;
-***Déduire*** : C'est conclure a priori mais en fonction de la question, elle pourrait ressembler à une explication ;
-***Conclusion*** : Elle clôture un raisonnement. Elle est très brève. Elle est la conséquence d'un ou plusieurs faits biologiques ;
-Emettre une hypothèse : C'est faire une supposition cohérente et compatible avec la situation expérimentale proposée ;
-***Identifier*** : c'est reconnaître les différents éléments.

♣ **Organisation personnelle :**

-Avoir son propre emploi du temps en relation avec l'emploi du temps de l'établissement ;
-Avoir des heures pour le travail et des heures pour se reposer, ainsi que des heures pour se distraire ;
-Chacun doit avoir un groupe de travail (3 à 4 par groupe et un groupe hétérogène, parce que c'est dans l'hétérogénéité qu'on crée l'homogénéité)) ;
-Echanger des documents ;
-Eviter d'aller directement au corrigé sans avoir traité l'exercice ;
-Eviter le « boilot » sans comprendre ;
-Apprendre les schémas ;
- Quand vous abordez un exo, il faut se poser 2 questions : qu'est-ce qu'on me demande ? ; Comment dois-je procéder ?

♣ **L'examen**

-Ne pas arriver le jour de l'examen fatigué ;
-Eviter les excitants ;
-Eviter les stylos de couleur surtout le rouge ;

♣ **Documents**

-Recueils de schémas de cours ;
-L'épreuve de SVT au BAC D et C : sujets types et corrigés types de *Lambert SAWADOGO* ;
-Génétique Terminale D & C de *Herman* O. *YELKOUNY* et *al.*
-*P. Vincent* Biologie Terminale D ;
-*J. Escalier* Terminale D….
Rappel : OHERIC (Observer ; Hypothèse ; Expérience ; Résultats ; Interpréter ; Conclusion).

PREMIERE PARTIE : LA CELLULE

Chapitre introductif

I. Découverte de la cellule : la théorie cellulaire

1) Histoire de la découverte de la cellule

La découverte de la cellule va de paire avec l'invention et le perfectionnement du microscope. L'invention du Microscope Optique (MO) vers 1650 par le Hollandais *Zackarias Janssen* a permis, grâce à son perfectionnement, la découverte de la cellule et de ses constituants. En observant au M.O. dans une coupe de Liège, le physicien Anglais *Robert HOOKE* en 1665 voit de « petites cavités » (chambre) juxtaposées, auxquelles il donna le nom de « cellule » (latin cellula = petites chambres). *Leeuwenhoek, Grew, Dutrochet* observèrent à leur tour des cellules animales.
Dès lors avec de nombreux naturalistes, la notion de cellule s'impose progressivement et en 1830, *Schwann* affirma que : « tous les organismes sont constitués d'unités semblables, les cellules ».

2) Théorie cellulaire

Le pathologiste allemand Rudolf Virchow est parti du constat de son compatriote Theodor Schann pour avancer que les cellules prenaient naissance à partir d'autres cellules ; ce qui remettait en cause la théorie de la génération spontanée (les organismes vivants prenaient naissance à partir de déchets, ou d'autres matières inanimées).
Des nombreux travaux effectués grâce au M.O. et au Microscope Electronique (ME), sur les cellules permirent d'élaborer les quatres principes de la théorie cellulaires :

- la cellule est l'unité anatomique (organisation et constitution) et physiologique (fonctionnement) de tout être vivant à l'exception des virus.
- La cellule assure également la continuité de l'espèce car tout être vivant dérive d'une cellule.
- L'activité d'un organisme dépend de celle de ses cellules.
- Les activités biochimiques des cellules sont déterminées par les structures spécifiques qu'elles contiennent.

On trouve les cellules dans des milieux divers :
- Les cellules constituent l'entité de l'être vivant. :
  - Les protozoaires sont des animaux unicellulaires : Paramécie (Ciliés) ; Amibe (Rhizopodes) ; Trypanosome (Flagellés) ; Plasmodium (Sporozoaires).
  - Les Protophytes sont des végétaux unicellulaires : Levure (Champignon).
- Les cellules forment pour les autres une population d'élément. (L'ensemble des cellules forment le tissu) :
  - Les métazoaires : l'homme.
  - Les métaphytes : l'eucalyptus.

La cellule est donc l'élément constitutif de tout système vivant, microbien (sauf les virus), végétal ou animal.
Le nombre de cellule d'un organisme est souvent très élevé. Dans un organisme donné, la taille et la forme de la cellule varient suivant les tissus. Certaines cellules animales sont sphériques lorsqu'elles se trouvent à l'état libre dans un liquide, d'autres non sphériques et elles ont un aspect particulier telles que les spermatozoïdes, les cellules nerveuses, les hématies… Les cellules végétales sont généralement hexagonales.
Selon la structure, on repartit les cellules en deux groupes :
-Les eucaryotes : ils regroupent les cellules constituées d'un cytoplasme renfermant un noyau visible et bien délimité par une enveloppe. Ex. : les cellules humaines… ;
-Les procaryotes ou protocaryotes : ils regroupent les cellules constituées de protoplasme avec un noyau non apparent et non visible. Ex. : Bactéries…

II. Méthodes d'études de la cellule

1) Instruments

a) Microscope

C'est un appareil permettant de voir l'image des objets invisibles à l'œil nu.

	Microscope ordinaire	**Microscope électrique**
Source d'énergie	Lumière	Faisceau d'électrons
Pouvoir séparateur	0,2 µ	3Å = 3.10^{-10}m
Images observées	Directe, des structures vivantes, des phénomènes et en couleurs	Indirecte, des structures mortes noir et blanc
Techniques	Colorants vitaux	Isotopes radioactifs
Grossissement	< 3 000	> 3 000

Calcul du grossissement

$$G = \frac{\text{Longueur image (mesure de l'image ou de l'échelle)}}{\text{Longueur réelle ou échelle}}$$

b) Micro-instruments

- Le microtome : c'est un appareil en tube qui débite de très fines coupes.
- Les micromanipulateurs : ces sont des appareils fixés sur le microscope et permettant une véritable microchirurgie cellulaire (ponction, ablation…).
- La Microphotographie et la microcinématographie : ce sont des appareils permettant de prendre les images.

2) Méthodes d'études

Les méthodes d'étude des cellules se font essentiellement sur des éléments isolés. Ceux-ci doivent être dans leur milieu de liquide normal ou dans un milieu de liquide physiologique approprié (Ringer).

a) Fixation

Elle permet de maintenir en place les structures à observer. Comme fixateurs on a : Le formol, l'acide acétique, l'acide osmique, acide chromique…

Ce sont des substances coagulantes qui tuent la cellule en immobilisant ses constituants. Ces fixateurs sont souvent utilisés sous forme de mélange.

b) Coloration

Ce sont des substances peu toxiques appelées colorants vitaux, permettant de mettre en évidence certains constituants sans tuer immédiatement la cellule. Exemple : le rouge neutre pour la vacuole.

c) Autoradiographie

Elle consiste à fournir à la cellule un atome radioactif à la place de son isotope non radioactif et d'y suivre les déplacements et les transformations de cet atome à travers les rayonnements émis par cet atome radioactif.

d) Ultracentrifigation différentielle

Elle consiste à broyer un tissu ou une culture cellulaire homogène dans des liquides qui maintiennent intacte les structures puis on procède à une séparation par condensation suivant la masse ; ce qui permettra leur étude structurale au microscope.

e) Cryodécapage

C'est une sorte de moule qui reproduit exactement les contours de la surface cellulaire décapée. On observe cette réplique au microscope électronique.

PREMIERE PARTIE : LA CELLULE

CHAPITRE I : ORGANISATION DE LA CELLULE

I. Structure de la cellule

1. Observation de la cellule végétale

Un fragment d'épiderme interne de l'écaille d'oignon monté entre lame et lamelle dans une goutte d'eau montre :

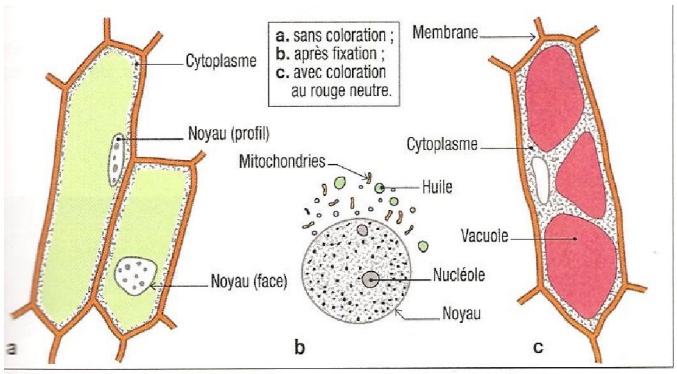
- au faible grossissement des cellules polyédriques plus longues. Chaque cellule montre un corps brillant et réfringent : le noyau ;
- au fort grossissement du microscope ordinaire dans l'eau ou une solution de saccharose à 6‰ la cellule apparaît entourée par un cadre rigide : la paroi squelettique ou membrane pectocellulosique ou membrane cellulosique. Le rouge neutre permet d'observer une grosse vacuole colorée en rose.

2. Observation des cellules animales

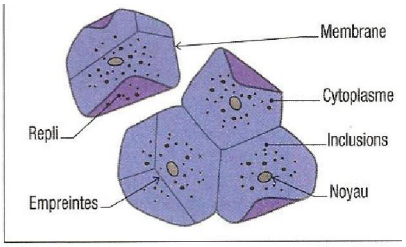
Avec l'ongle propre, grattons tout doucement la face interne de la joue. Délayons le produit obtenue dans une goutte d'eau sur une lame de microscope, recouvrons avec une lamelle et observons cette préparation au microscope. Au fort grossissement, on observe de nombreuses cellules aplaties dont chacune est constituée de :

- une membrane très fine entourant le tout appelée : membrane plasmique ou cytoplasmique ;
- un cytoplasme clair avec quelques granulations et de petites vacuoles ;
- une grosse vésicule brillante appelée noyau.

On peut observer d'autres préparations comme les cellules de la mue de batraciens qui sont polyédriques et ayant des contours diffus. On peut observer également les frottis sanguins, les protozoaires…



ument 2 : cellules épidermiques d'oignon.



Document 3 : cellules de l'épithélium buccal, colorées par le bleu de méthylène.
Elles comprennent un noyau, un cytoplasme et une membrane très fine.

1. La cellule observée au microscope optique

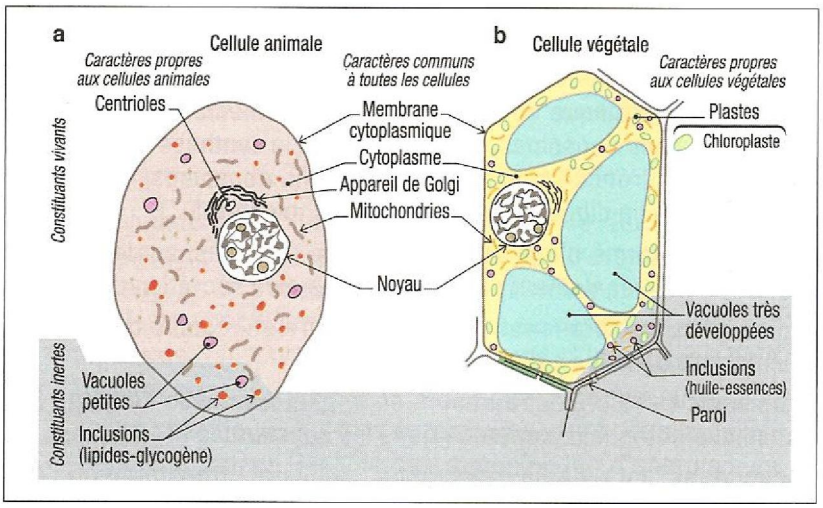


Schéma d'ensemble de la structure d'une cellule :
a. cellule animale ;
b. cellule végétale.

3. Conclusion

De façon générale une cellule animale a une forme arrondie et elle comprend : Une membrane plasmique, des granulations, de nombreuses vacuoles, le noyau, le cytoplasme.

Une cellule végétale a une forme polyédrique, elle comprend : une membrane plasmique doublée d'une paroi pectocellulosique, un cytoplasme contenant des granulations, une grosse vacuole et un noyau.

Rq : Des préparations trouvées dans le commerce permettent de colorer les granulations : les chloroplastes, les mitochondries (vert de janus), l'appareil de Golgi…

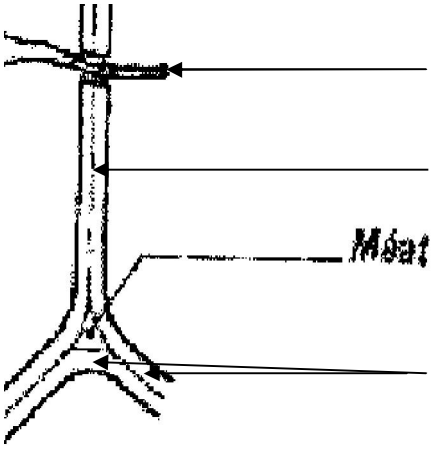
II. Ultrastructure

Le microscope électronique a permis de connaître d'avantage la structure des organites cellulaires ou l'ultra-structure cellulaire.

1) La paroi squelettique

Elle est propre aux cellules végétales et est constituée de cellulose séparée en son milieu par une fine membrane appelée lamelle moyenne ou mitoyenne formée de composés peptidiques qui constituent le ciment intercellulaire. Elle est encore appelée paroi pectocellulosique.

Elle protège la cellule végétale et lui donne une forme fixe. En cas de forte turgescence de la cellule, la paroi empêche l'éclatement de la cellule en exerçant une contrepression membranaire qui permet de refouler l'excèdent d'eau qui pénètre à intérieur de la cellule. La paroi pectocellulosique est souvent interrompue par des expansions cytoplasmiques qui pénètrent dans la cellule voisine et appelées plasmodesmes. Ils permettent une communication intercellulaire.



Paroi squelettique

2) Membrane plasmique ou plasmalemme

Au microscope optique la membrane plasmique apparaît comme un simple trait séparant les cellules (épaisseur moyenne de 7,5 nm= 7,5 10^{-9}m).

Au grossissement moyen du microscope électronique, chaque cellule possède sa propre membrane.

Au fort grossissement, la membrane cellulaire apparaît former de deux feuillets sombres (20 Å ou 2 nm) séparés par un feuillet clair (3-3,5 nm). Dans les circonstances favorables, on constate que la membrane est formée de deux couches de lipides complexes contenant des grosses molécules de protéine. Des analyses chimiques plus poussées ont montré que les feuillets sombres sont de nature protidique et les feuillets clairs de nature phospholipidique. En tenant compte de ces différentes observations, les chercheurs ont proposé des modèles d'ultra-Structure membranaire. Une goutte de phospholipide dans l'eau se disperse très rapidement en formant une couche mono-moléculaire. Ces molécules sont donc orientées, c'est-à-dire ayant deux pôles : un pôle hydrophobe et un pôle hydrophile.

Par ailleurs, l'étude des protéines membranaires montre qu'elles sont sous forme filamenteuse.

a) Du modèle de Danielli et Davson à celui de Singer et Nicholson

Danielli et Davson ont proposé un modèle en se basant sur la bicouche moléculaire. Le feuillet sombre est constitué du filament de protéine et la tête du phospholipide. Le feuillet clair est constitué de la partie hydrophobe du phospholide.

L'idée d'une double couche mono-moléculaire de phospholipide et de protéine laisse penser que l'eau ne devrait pas franchir la membrane. De plus, l'observation au microscope électronique ne donne pas la même image de la membrane plasmique que celle observée après passage de tétroxyde d'osmium. Ainsi, le modèle proposé par Danielli et Davson s'avère insuffisant. Ce qui a amené **Singer** et **Nicholson** a proposé un autre modèle appelé **structure en Mosaïque fluide qui dit que :**

- la membrane plasmique est une structure extrêmement fine constituée de double couche ou bicouche ;
- elle est constituée de molécules lipidiques parmi les quelles sont disséminées des molécules de protéines (protéines intrinsèques et extrinsèques) ;
- les protéines flottent dans la bicouche fluide de phospholipides formant une mosaïque qui change constamment.

Cette structure confère à la membrane une grande souplesse fonctionnelle.

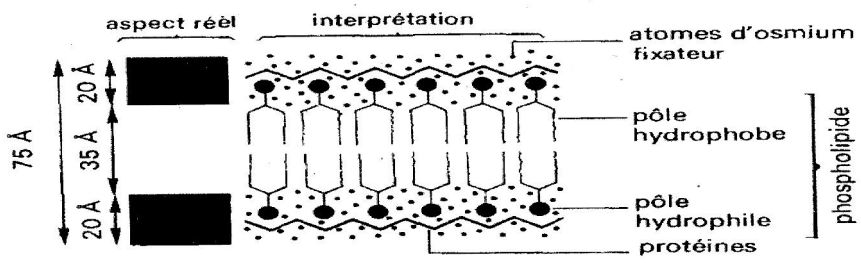


FIG 3 **Schéma d'interprétation de la membrane cellulaire de Danielli et Davson. La présence d'osmium est due à la fixation pour la microscopie électronique.**

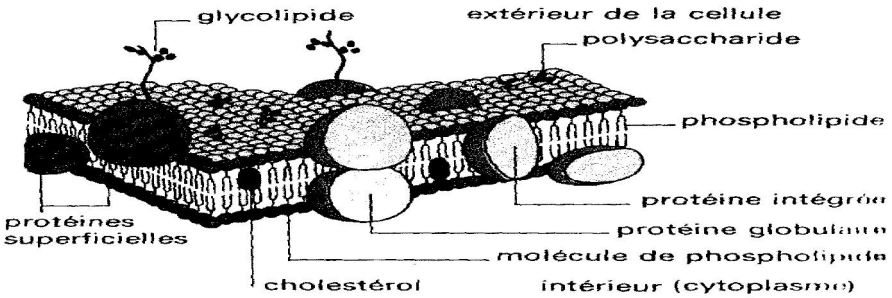


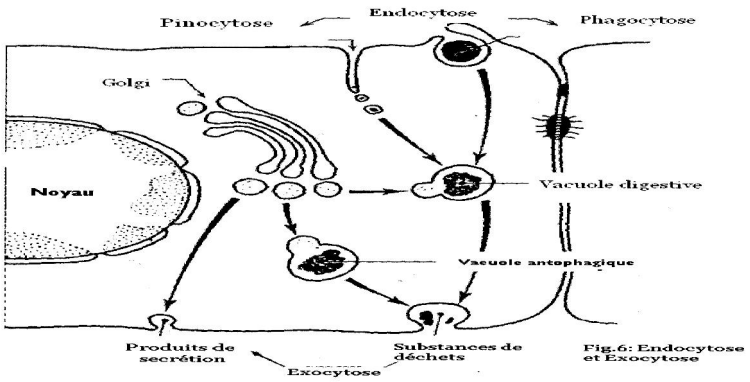
FIG 10 **Interprétation de Singer et Nicolson.**

Modèle de Singer et Nicholson

Rq : la membrane de mitochondrie, du noyau, des plastes est constituée de deux membranes plasmiques séparées par un liquide.

b) Rôle de la membrane plasmique

La membrane cytoplasmique délimite la cellule. Elle joue un rôle protecteur. Elle régule les échanges en sélectionnant et en orientant les molécules. Elle joue un rôle important dans le processus de nutrition (endocytose et exocytose), de respiration (échanges de gaz) et de sécrétion (dans la synthèse des protéines) des cellules à travers la déformation de la membrane pour donner des engrénages, des desmosomes, des villosités. Elle est semi-perméable, c'est-à-dire qu'elle laisse passer les petites molécules comme par exemple : le sel, certains sucres, et s'oppose au passage des grosses molécules (protéines). Mais, elles peuvent passer par le biais des transporteurs spécifiques. Elle permet également une reconnaissance cellulaire grâce au glycocalyx.



3) Le cytoplasme

a) Le hyaloplasme

C'est le milieu de dispersion des organites cytoplasmiques. Au microscope électronique, il apparaît comme un milieu non vide avec des micro-filaments et des micro-tubes. Le hyaloplasme a une ultra-structure fibrillaire. D'un point de

vue chimique, il contient de l'eau (85%), des protéines, de l'ARN, des ions minéraux, des lipides du glycogène dans les cellules animales et de l'amidon dans les cellules végétales.

Le hyaloplasme est le lieu des réactions chimiques.

b) Les organites cytoplasmiques et leur rôle.

b_1) Les ribosomes

Au microscope électronique, ils apparaissent comme des granulations sphériques. Chaque ribosome est formé de deux sous-unités inégales qui ne s'unissent qu'en période d'activité. Ils sont souvent unis en fil, on les appelle alors polyribosomes ou polysomes constitués d'ARN, de protéines et d'eau. Les ribosomes sont synthétisés dans les nucléoles.

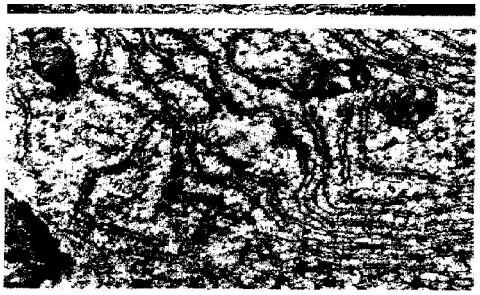
Les ribosomes sont responsables de la synthèse des protéines

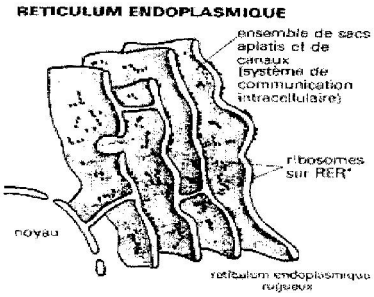
b_2) Le réticulum endoplasmique

C'est un ensemble de saccules ou de canaux limités par des membranes et communiquant entre eux. Ces saccules aplatis, sont groupés en série grossièrement parallèle et s'étendent depuis la membrane nucléaire jusqu'à la membrane cytoplasmique. Constituant du système vacuolaire, très divisé ou ramifié, il comprend deux types :

-une partie du réticulum porte de nombreux ribosomes fixés à la face externe : c'est le réticulum endoplasmique rugueux (RER), ou réticulum endoplasmique granuleux (REG) ou ergastoplasme. C'est le lieu de synthèse et de transport des protéines.

-La partie du réticulum qui ne porte pas de ribosome est appelé réticulum endoplasmique lisse (REL). Il joue un rôle important dans les synthèses cellulaires (glycogène, stérols). Il assure la distribution de substance à l'intérieur de la cellule. C'est aussi le lieu de stockage de certaines substances.

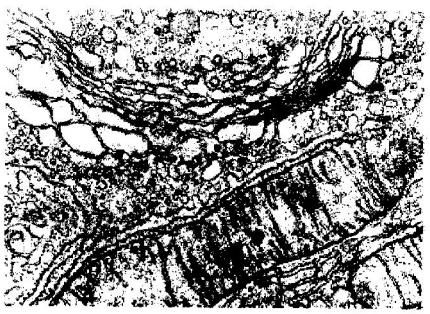


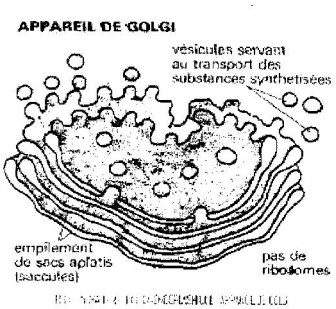


b_3) L'appareil de golgi

Au microscope électronique, chaque dictyosome se révèle être constitué de saccules qui sont aplatis et qui émettent à leur pourtour de petites vésicules appelées grains de zymogène ou vésicules golgiennes. On pense que ces vésicules contiennent des produits de sécrétion.

L'appareil de golgi est le lieu de maturation, de stockage et de libération des différents produits de synthèse des cellules (polysaccharides et glycoprotéines).



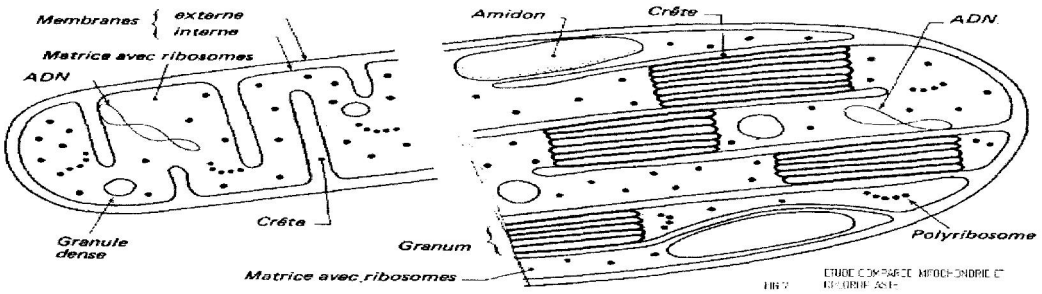


Exercice : comparer le REL avec l'appareil de Golgi

b_4) Les mitochondries

Ce sont des organites en forme de bâtonnet aux extrémités arrondies. Elles sont constituées de 2 membranes, dont l'interne est digitée transversalement et appelés crêtes mitochondriales. Elle est composée de matrice dans laquelle baigne un ADN mitochondrial (synthèse d'enzyme…), des ribosomes… Elles sont beaucoup présentes dans les cellules (animales ou végétales) situées dans le milieu aérobie. L'ensemble des mitochondries d'une cellule est appelé chondrion. Les mitochondries sont riches en enzymes respiratoires. Elles sont le lieu de la respiration cellulaire productrice d'énergie (ATP).

Les mitochondries constituent la centrale énergétique de la cellule.



Etude comparée mitochondrie et chloroplaste

b_5) Les plastes

Ce sont des corpuscules de forme ovoïde et de contenu varié. Ils sont caractéristiques de la cellule végétale. Chaque plaste est formé de deux membranes :

- la membrane externe qui est lisse ;
- la membrane interne, formée des crêtes longitudinales (thylakoïdes de la membrane). Entre ces crêtes, il y a des piles de saccules ou grana (granum) qui constituent le lieu de stockage de la chlorophylle.

Dans la matrice ou stroma, il y a des ribosomes, des molécules d'ADN, de l'amidon, des granulations. Les plastes sont des lieux de synthèse chlorophyllienne, donc le siège de la photosynthèse.

Les principaux plastes sont :

- les plastes chlorophylliens : chloroplastes chez les végétaux supérieurs et les algues vertes.
- les chromoplastes qui élaborent les pigments rouges ou orange (carotène).
- les leucoplastes appelés amyloplastes lorsqu'ils sont chargés d'amidon.

Exercice : *Faites un tableau de comparaison des plastes et des mitochondries.*

b_6) Le centrosome ou centre cellulaire

C'est un organite cylindrique, spécifique à la cellule animale, situé à proximité du noyau et entouré par les dityosomes de l'appareil de Golgi. Un centrosome est constitué de 2 sous-unités appelées centrioles disposés orthogonalement. Chaque centriole est un cylindre dont la paroi est formée de 9 triplets de tubules.

Lorsque les cellules possèdent des cils ou des flagelles, leur ultra-structure est proche de celle du centriole à la différence que dans les cils ou les flagelles on a 9 doublets de tubules au lieu de triplets.

Le centriole élabore des organites moteurs (cils, flagelle) ; le centrosome est l'appareil cinétique de la cellule. Il intervient dans la division cellulaire animale ; lors de la division cellulaire, il devient transparent en aster.

b_7) La vacuole

Les vacuoles résultent de l'invagination du RE, des dityosomes ou de la membrane cytoplasmique. Le contenu de la vacuole est colorable au rouge neutre. Ce sont des cavités remplies d'eau et de substances dissoutes absorbées par la cellule ou élaborée par elle.

Le rôle de la vacuole est de stocker de l'eau.

Le RE, les dictyosomes de l'AG, les lysosomes, les vacuoles, la membrane nucléaire et la membrane cytoplasmique forment le système vacuolaire. Tous ces organites communiquent les uns avec les autres.

b_8) Les lysosomes

Ce sont des sacs membraneux dans lesquels s'opère la digestion des substances ingérées par phagocytose ou par pinocytose. Il peut s'agir aussi d'organites usés destinés à être remplacés (vacuoles autophagiques). Ils contiennent des enzymes digestives ou des substances digestives et des substances à digérer.

Les peroxysomes sont des lysosomes qui permettent la détoxification des cellules.

Remarques

- En plus de la division classique de la cellule en noyau, cytoplasme et membrane, il existe d'autres regroupements des constituants cellulaires plus ou moins arbitrairement qu'il convient de connaître. On regroupe les constituants cellulaires en protoplasme et en paraplasme :

- Le protoplasme désigne la partie vivante de la cellule (cytoplasme, membrane plasmique, mitochondrie, appareil de golgi, centrosome et plastes). Le protoplasme est aussi appelé bioplasme.
- Le paraplasme est la partie inerte de la cellule (la membrane squelettique, la vacuole, les réserves).
- Le cytosquelette désigne les micro-tubes et les micro-filaments (fibres chromosomiques, astériennes…).
- Les organites semi-autonomes sont : les mitochondries, les plastes, les centrioles.

4) Le noyau

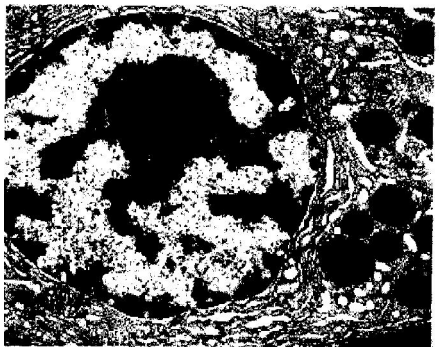
a) Ultrastructure et composition

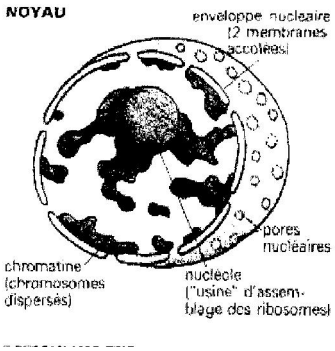
Il est constitué d'une membrane nucléaire, du nucléoplasme, des granulations irrégulières ou chromatine et d'un ou plusieurs nucléoles. Au microscope électronique, on observe que :

- la membrane nucléaire est un saccule percé de pores appelé pore nucléaire et ayant la même Ultrastructure que la membrane cytoplasmique de la cellule ;
- la chromatine est formée de filaments très longs qui peuvent être entièrement déroulés : on parle alors de chromosomes (ADN). Lorsque les filaments du chromosome sont entièrement déroulés, dispersés on parle de eu-chromatine. Lorsque ces éléments sont pelotonnés on parle de méta-chromatine.
- Les nucléoles sont sans membranes propres, et sont formés de grains identiques aux ribosomes et formés d'ARN. C'est le lieu de synthèse des ribosomes et d'ARN ribosomaux (ARNr).
- Le nucléoplasme : il n'a pas de structure reconnaissable.

La composition chimique du noyau est la suivante :

- La membrane nucléaire a une composition identique à la membrane plasmique (protéines, phopholipides).
- Le nucléoplasme est constitué d'eau, de protéines et d'enzymes.
- Le nucléole est constitué essentiellement d'ARN.
- La chromatine est constituée d'ADN.



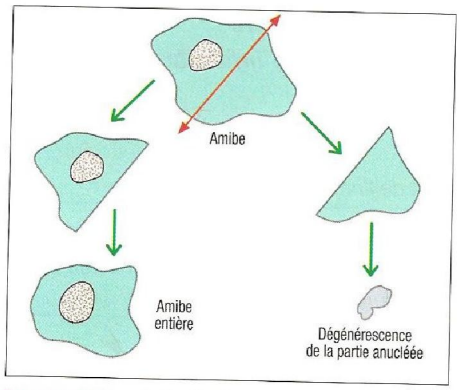


b) Le rôle du noyau

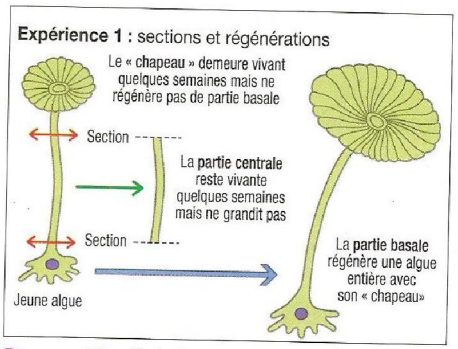
Le noyau est nécessaire à la vie de la cellule : il transmet l'information génétique, il donne des instructions pour la synthèse des protéines, il régit le passage des substances vers l'intérieur et vers l'extérieur du noyau, il est le siège de la fabrication des sous-unités ribosomales. Il est le centre vital de la cellule : nutrition, locomotion, croissance, régulation…

Activité

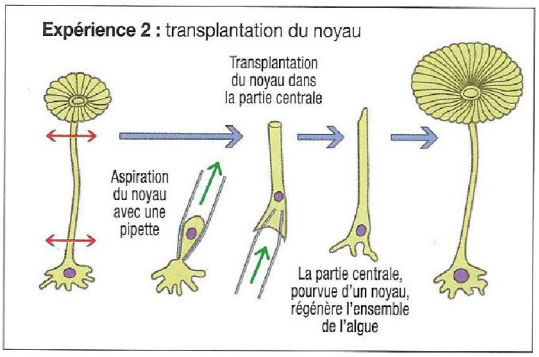
Une amibe est sectionnée en deux parties, l'une contient le noyau cellulaire et l'autre est sans noyau. La partie anucléée dégénère et meurt, tandis que la partie nucléée régénère la partie manquante et redevient une amibe entière et vivante.

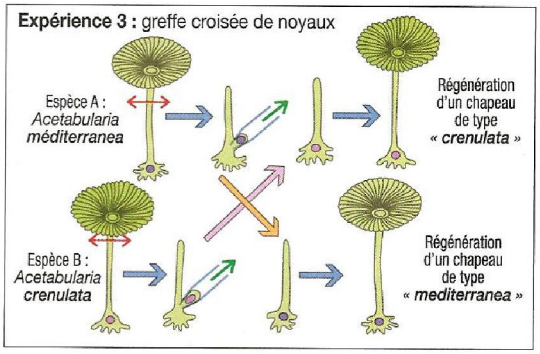


Document 1 : mérotomie d'une amibe.



Document 2 : dégénérescence et régénérescence, transplantation et greffe de noyau chez Acetabularia (algue), expériences 1, 2 et 3.





5. Comparaison d'une cellule animale et d'une cellule végétale

Cellule animale	**Cellule végétale**
Membrane cytoplasmique, cytoplasme, noyau, mitochondrie, appareil de golgi, réticulum endoplasmique.	
▪ Forme sphérique ou arrondie ▪ Membrane plasmique ▪ Centrosome	▪ Forme polyédrique ▪ Membrane plasmique doublée d'une paroi pecto-cellulosique

▪ Petites vacuoles ▪ Inclusions (glycogène)	▪ Plasmodesme ▪ Plastes ▪ Grosse vacuole ▪ Inclusions lipidiques

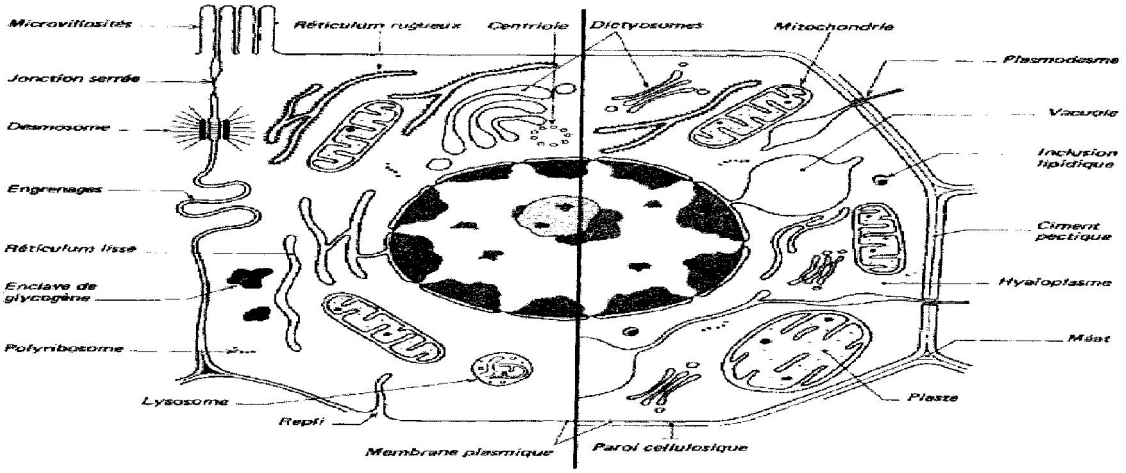


Schéma général de la structure cellulaire : cellule animale à gauche, cellule végétale à droite. Sur le noyau, on portera les légendes : enveloppe nucléaire avec pores, nucléoplasme avec euchromatine, amas de méta-chromatine, nucléole.

2. La cellule observée au microscope éléctronique

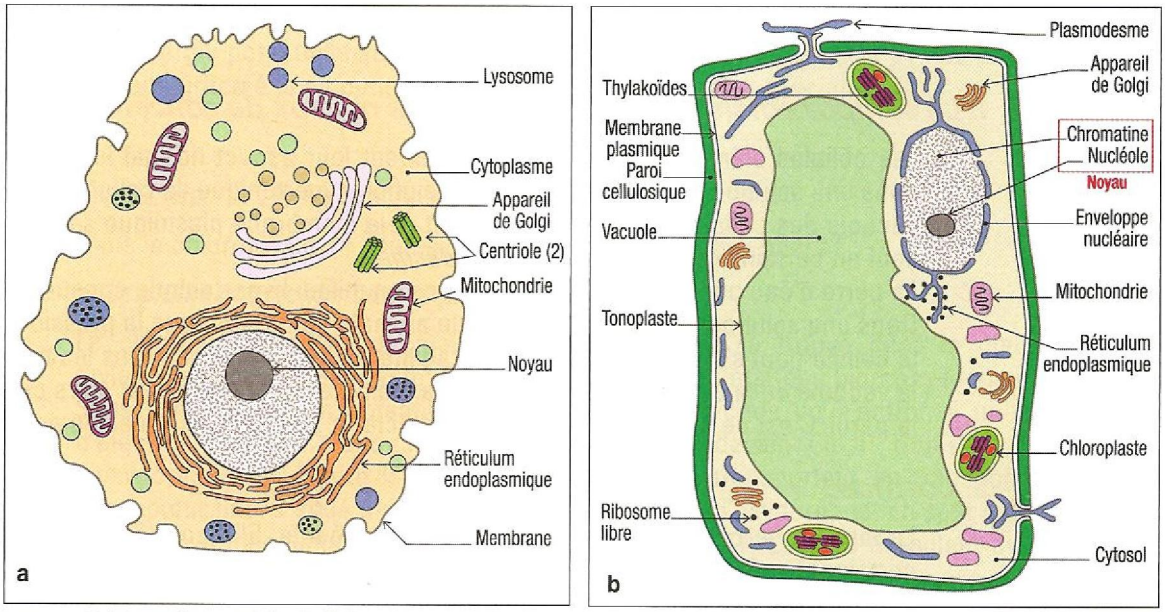


Schéma d'ensemble de l'ultrastructure d'une cellule animale (a) et végétale (b).

III. Les acides nucléiques

Les acides nucléiques sont des hétéroprotéines résultant de la combinaison d'un acide phosphorique, d'une base azotée et de sucre. Ces acides sont considérées comme des substances caractéristiques du noyau d'où leur nom d'acides nucléiques. On distingue deux types d'acides nucléiques : l'ADN ou acide désoxyribonucléique et l'ARN ou acide ribonucléique.

1) Mise en évidence et localisation

a) La méthode des colorants

- le test de Feulgen (ADN)

On utilise comme matériels des pointes de racines d'oignon que l'on soumet à l'action de l'acide chlorhydrique diluée à chaud. L'acide chlorhydrique hydrolyse le désoxyribose qui possède une fonction aldéhyde R-CHO. Cette fonction est détectée par le réactif de shift (une solution de Fushine décolorée par SO_2).

La Fushine se recolore en rose ou violet en présence de la fonction aldéhyde libre du sucre.

Après hydrolyse partielle de l'ADN, le réactif de Shift colore en violet le noyau alors que le nucléole et le cytoplasme restent incolores.

- Le test de Brachet

On peut mettre en évidence les acides nucléiques par le test de Brachet. On colore une cellule avec un mélange de colorants : la pyronine et le vert de méthyle. Le vert de méthyle colore l'ADN en vert et la pyronine colore l'ARN en rose.

Si on utilise d'abord l'ADNase (enzyme qui détruit l'ADN) ou l'ARNase avant d'utiliser le mélange de colorants, l'ADN seul ou l'ARN seul sont mis en évidence.

RQ : le vert de méthyle colore l'ADN en vert et pas d'autres substances, c'est un colorant électif.

Le noyau se colore en vert, le cytoplasme et le nucléole se colorent en rose. L'ADN est localisé dans le noyau et l'ARN est localisé dans le cytoplasme et dans les nucléoles.

b) La méthode d'autoradiographie

Cette méthode permet de mettre en évidence le lieu de synthèse des acides nucléiques et de suivre leur devenir dans la cellule grâce aux rayonnements émis par les éléments radioactifs. Elle consiste a utilisé des molécules constitutives des acides nucléiques rendues radioactives.

Ex : La thymine radioactive de l'ADN ; L'uracile radioactif de l'ARN

Ces molécules sont données à des cellules en culture qui incorporent dans leur acide nucléïque la molécule radioactive.

Les résultats montrent que l'ADN est synthétisé dans le noyau et se localise au niveau de la chromatine et ne quitte pas le noyau. L'ARN est synthétisé dans le noyau (au niveau du nucléole (dans eu-chromatine et quitte le noyau) et se localise dans le nucléole et dans le cytoplasme.

2) La structure des acides nucléiques et leur composition chimique

La structure des acides nucléiques a été connue grâce à l'analyse des produits d'hydrolyse totale ou partielle des acides nucléiques. Leur hydrolyse complète a permis d'isoler les constituants suivants :

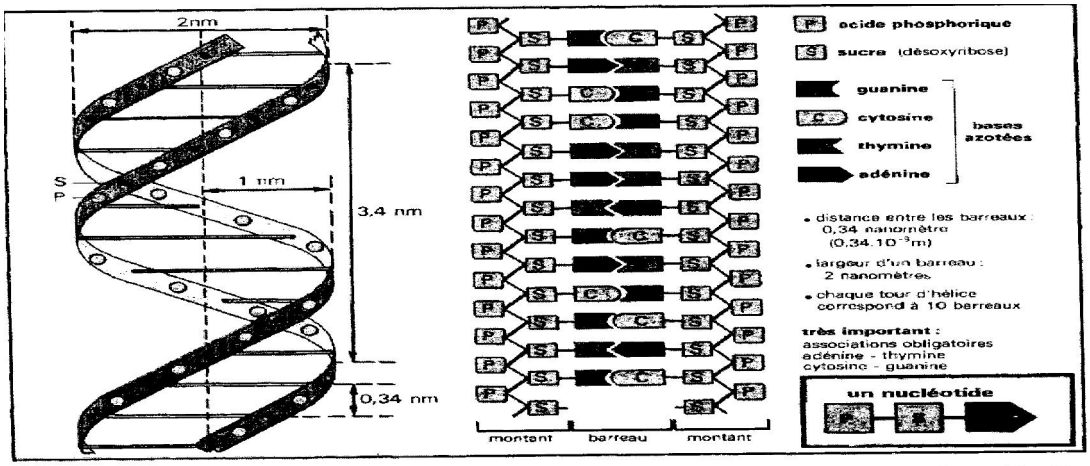
- de l'acide phosphorique $H_3\ PO_4$;
- un sucre ribose pour l'ARN ($C_5\ H_{10}\ 0_5$) ;
- un sucre le Désoxyribose pour l'ADN ($C_5\ H_{10}\ 0_4$) ;
- des bases organiques azotées de deux types : il y a les bases dérivées de la purine ou bases puriques (ce sont : l'adénine et la guanine). Les Bases dérivées de la pyrimidine ou bases pyrimidiques qui sont la thymine, l'uracile la cytosine.

L'adénine, la guanine, la cytosine se rencontrent dans les deux types d'acides nucléiques tandis que la thymine est propre à l'ADN et l'uracile est propre à l'ARN. Seule une hydrolyse partielle des acides nucléiques libèrent des composés, connus sous le non de nucléosides et de nucléotides. On appelle nucléoside l'association bases + sucres.

Ex : thymine + désoxyriboses→ thymidine ; Uracile + ribose → uridine

Le nucléotide est constitué de l'association de base, de sucre, et d'acide phosphorique.

Le nucléotide est l'unité de construction à partir de laquelle s'édifient toutes les macromolécules d'ADN et d'ARN.



La composition chimique de l'ADN est déterminée depuis 1929, mais il a fallu attendre 1953 pour identifier sa structure, c'est-à-dire connaître la disposition spatiale de ses constituants.

structure de l'ADN

En 1953 Watson et Crick ont proposé un modèle moléculaire toujours accepté aujourd'hui et maintes fois vérifiés permettant d'expliquer toutes les propriétés de l'ADN. Ils ont montré que :

- la molécule est une double chaine en spirale et antiparallèle. Chaque chaine est un polymère de nucléotides formés chacun par une molécule d'acide phosphorique, un désoxyribose et une base organique azotée. La molécule ressemble à une échelle dont les montants sont formés par une alternance d'unités de sucre et d'unités d'acide phosphorique. Les barreaux sont constitués de bases complémentaires ;
- les quatres nucléotides différents sont enchainés par des liaisons chimiques solides (liaison covalente) établies entre l'acide phosphorique d'un nucléotide et le désoxyribose du nucléotide suivant ;
- les deux chaines de la molécule d'ADN sont reliées entre elles par des liaisons transversales plus fragiles entre les deux bases de deux nucléotides face à face ;
- des analyses quantitatives faites sur des ADN très purifiés ont montré que le nombre de molécules d'adénine est toujours le même que le nombre de molécules de thymine. Il en est de même pour la cytosine et la guanine.

Ces faits ont conduit Watson et Crick à conclure qu'il existe une complémentarité entre les bases deux à deux : l'Adénine est toujours associée à la thymine et la guanine est toujours associée à la cytosine. Ainsi donc Charagaff a établi une règle :

$$\frac{A}{T} = \frac{G}{C} \Rightarrow \frac{A+G}{T+C} = 1$$ quel que soit l'être vivant

$$\frac{A+T}{G+C} =$$ est variable d'une espèce à l'autre.

Le long d'une chaine l'ordre ou la séquence des bases est apparemment quelconque.

- L'ADN est le matériel génétique de la cellule. Il régit la synthèse des protéines et se réplique avant la division cellulaire.

La structure de l'ARN est monocaténaire ; l'uracile remplace la thymine et le sucre est le ribose. Il existe 3 sortes d'ARN aux fonctions différentes :

-l'ARN_r ou ARN ribosomale qui se trouve dans les ribosomes et participe à la synthèse des protéines par la lecture des codons ;

-l'ARN_t ou ARN de transfert synthétisé dans le noyau (nucléole), il joue un rôle d'intermédiaire dans la synthèse des protéines ;

-l'ARN_m ARN messager qui est une macromolécule filamenteuse synthétisé dans le noyau. Elle forme avec les ribosomes des polyribosomes. Elle détient l'information permettant la traduction du message lors de la synthèse des protéines.

3) Comparaison ADN/ARN

	ADN	**ARN**
Aspect de la molécule	Bicaténaire et antiparallèle	Monocaténaire
Taille	Molécule longue	Molécule courte
Localisation	Essentiellement dans le noyau	-Nucléole, Cytoplasme Ribosomes
Structure moléculaire	-un acide phosphorique -un desoxyribose (pentose) -une base azotée	-un acide phosphorique -un ribose (pentose) -une base azotée
Nature et complémentarité des bases azotées	-Cytosine (C) -Guanine (G) **C** ⟷ **G** -Adénine (A) -Thymine (T) **A** ⟷ **T**	-Cytosine (C) -Guanine (G) **C** -Adénine (A) -Uracile (U) **A**
Fonction ou rôle	Matériel génétique, il régit la synthèse des protéines	Effectue la synthèse des protéines

Exercice : Complètes le tableau suivant

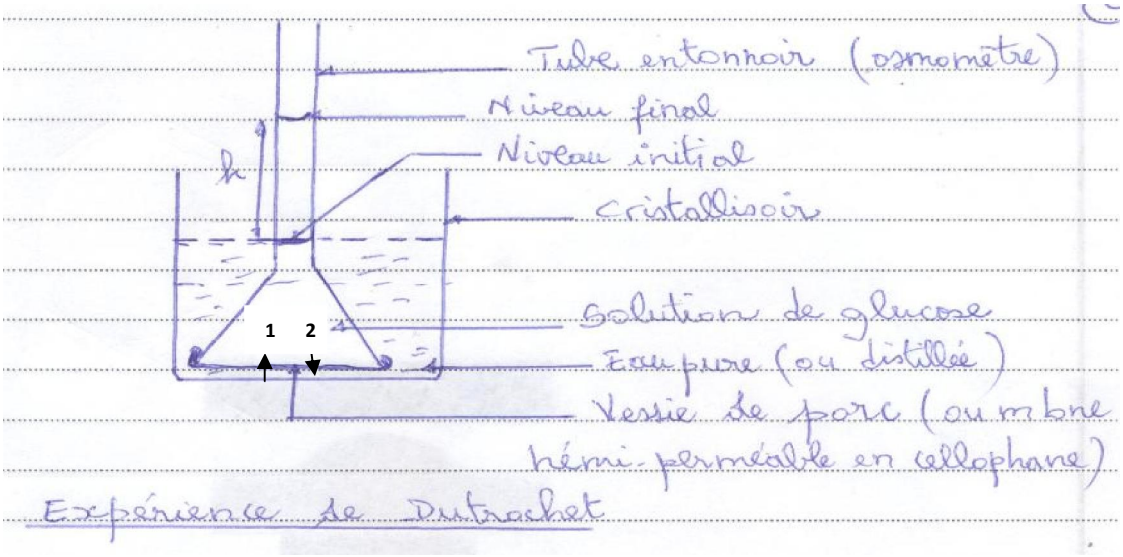
1	**Partie de la cellule ou organite** **Cytoplasmique**	**Caractéristiques** (localisation, constitution, réaction de coloration)	**Fonction ou rôle**
2	**Paroi pectocellulosique**	Propre aux cellules végétales, constituée de cellulose (Glucide), de protéines (pectine)	Protège la cellule contre l'hémolyse, lui donne une forme fixe ; échanges cellulaires.
3	**Membrane plasmique**	Formée d'une bicouche de phospholipides enchâssée de protéine et de glycoprotéines, structure en mosaïque fluide	Délimite la cellule, échanges de substances, entretient un potentiel de repos, intervient dans la reconnaissance grâce aux récepteurs
4	**Mitochondries**	Forme de bâtonnets, double membrane dont l'interne est digitée ; colorable en vert par le vert de Janus.	Siège de la synthèse de l'ATP, source d'énergie
5	**Ribosomes**	Particules constituée de 2 sous unités, ARNr et de protéines. Libres ou liés aux saccules	Synthèse des protéines
6	**RER**	Réseau de saccules couvert de ribosomes	Synthèse des protéines, des phospholipides et le cholestérol sur la face externe, transport vers le complexe golgien
7	**REL**	Réseau de saccules membraneux sans ribosomes	Synthèse des lipides et des stéroïdes, du métabolisme des lipides et de la neutralisation des drogues et des médicaments
8	**Appareil de Golgi**	Pile de sacs membraneux lisses et de vésicules située près du noyau	Isole les protéines à excrétées, stockage, maturation et libération des produits de synthèse (polysaccharides, glycoprotéines)
9	**Lysosomes**	Sacs membraneux contenant des hydrolases acides, propre aux cellules animales.	Digèrent les organites usés, digestion intracellulaire
10	**Peroxysomes**	Sacs membraneux contenant des puissantes enzymes	Détoxification de la cellule
11	**Microtubules**	Structures cylindriques constituées par assemblage de sous unités d'une protéine appelée tubuline	Soutiennent la cellule et lui confèrent une forme, interviennent dans le mouvement cellulaire
12	**Microfilaments**	Fins filaments formés d'une protéine contractile l'actine	Contraction musculaire, mouvement cellulaire et intracellulaire, formation du cytosquelette
13	**Centrioles**	Paire de corps cylindriques formés de neuf groupes de trois microtubules, propre aux cellules animales	Base des cils et flagelles, formant le fuseau mitotique et les asters
14	**Noyau**	Double membrane avec des pores nucléaires, contenant de la chromatine (ADN), ARN ; colorable en vert par le vert de méthyle ou en bleu par le bleu de méthylène, nucléole.	Centre de régulation, support de l'information génétique, centre vital (nutrition, synthèse…)
15	**Nucléoles**	Corps sphériques situés dans le noyau, constitués d'ARN et de protéines	Siège de la fabrication des sous-unités ribosomales
16	**Plaste**	Forme ovoïde, double membrane, crête longitudinales, présence de grana.	Photosynthèse
17	**Vacuole**	Colorable en rose au rouge neutre, sac membraneux rempli d'eau et de substances dissoutes, petites vacuoles dans la cellule animale et une seule grosse vacuole dans la cellule végétale	Stockage d'eau
18	**Hyaloplasme**	Substance fondamentale, constituée d'eau, de protéines, d'ARN, des ions minéraux d'inclusion lipidiques et glucidiques, de microfilaments et microtubules.	Siège des réactions biochimiques

CHAPITRE II : QUELQUES ASPECTS DE LA VIE CELLULAIRE

I. LES ECHANGES CELLULAIRES

1. Introduction à l'étude des échanges

Expérience de Dutrochet



Dans un entonnoir à long tube, dont la grande ouverture est fermée à l'aide d'un fragment de vessie de porc (membrane de cellophane), on introduit une solution de glucose colorée. On immerge l'entonnoir dans une cuve de telle sorte que le niveau des deux liquides soit le même.

- Dans un premier temps le liquide monte dans le tube : il y a entrée d'eau. Si on fait un essai à la liqueur de Fehling chauffé avec l'eau de la cuve ; il n'y a pas de précipité rouge brique. Il n'y a donc pas de présence de glucose dans la cuve. Ainsi, la vessie ou la membrane de cellophane se laisse traverser par l'eau et non par la substance dissoute. C'est une membrane semi-perméable. Le phénomène par lequel l'eau est aspirée s'appelle l'osmose. L'appareil est l'osmomètre et la pression développée pendant le phénomène de l'osmose est appelée pression osmotique ou force osmotique.
- Dans un 2^{e} temps, on constate que le liquide de la cuve se colore et prend un goût légèrement sucré : du glucose traverse la membrane pour diffuser de façon uniforme à l'intérieur et à l'extérieur de l'osmomètre : c'est le phénomène de dialyse. Le même phénomène est observé quand il s'agit de deux milieux de concentrations différentes de part et d'autre de la membrane.

On constate ainsi que :

L'eau passe du milieu le moins concentré (hypotonique) vers le milieu le plus concentrée (hypertonique) : c'est la loi de l'osmose. Le soluté passe du milieu hypertonique vers le milieu hypotonique : c'est la loi de la dialyse.

Après un certain temps d'échange les deux milieux retrouvent la même concentration : ce sont alors des milieux isotoniques.

2) Les échanges d'eau entre la cellule et le milieu extérieur

a) Chez la cellule végétale

On taille des cylindres de pomme de terre (à l'aide d'un perce-bouton). On plonge ces cylindres dans des solutions d'eau pure et de saccharose de concentrations différentes (5‰, 10 ‰, 20‰, 40‰). Après 1 h d'immersion on les enlève et on constate alors :

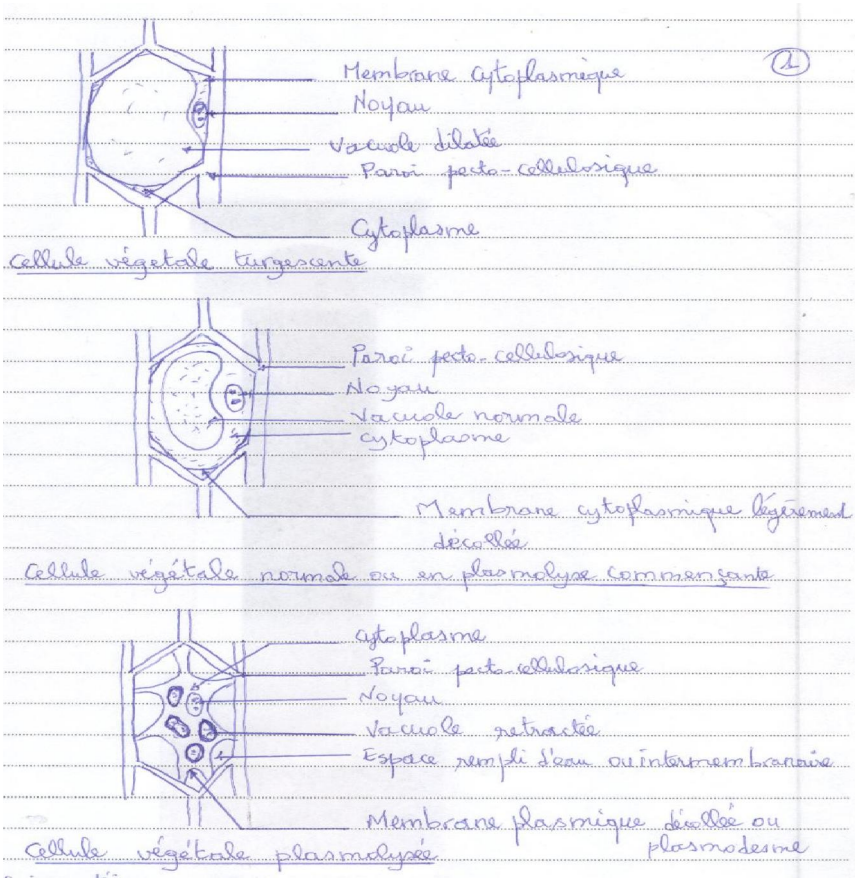
- Une augmentation de longueur dans les solutions hypotoniques d'eau pure et de 5‰.
- Une diminution de longueur dans les solutions hypertoniques (40‰).
- La solution de 10‰ n'a provoqué aucune modification.

La variation de longueur représente la somme de petites variations au niveau de chaque cellule suivant la concentration. Il y a gain ou perte d'eau des cellules.

En milieu dilué (hypotonique) les cellules absorbent de l'eau, leurs parois se distendent, la membrane cytoplasmique épouse les contours de la paroi pectocellulosique : les cellules sont dites alors turgescentes.

En milieu concentré, les cellules perdent de l'eau, la membrane cytoplasmique se décolle de la paroi, la vacuole devient plus petite et plus intensément colorée, parfois elle se fragmente : c'est la plasmolyse.

Pour une certaine concentration à 9‰ , la cellule n'est ni turgescente, ni plasmolysée. On peut noter un léger décollement de la membrane cytoplasmique dans les angles : c'est la plasmolyse commençante (la cellule normale présente cet aspect).



Dans ce cas, on admet que le liquide extérieur est isotonique du milieu intracellulaire. Il devient facile de calculer la pression osmotique normale du liquide intracellulaire.

Cette pression osmotique dépend de la concentration de la solution, de son nombre de mole, éventuellement de la masse molaire de la substance en solution ainsi que de la température.

Elle s'exprime par la relation :

$$PO = \Pi = RnT$$

Π= pression osmotique (en atmosphère)

R= k= coefficient de proportionnalité ou constante des gaz parfaits = 0,082

T= Température absolue en K (t°c + 273)

n = nombre de mole dissoute par litre de solution = ix(C/M

$\frac{C}{M}$ = concentration en mole/l

C= g/l ; M= g/mole

x‰ = x g/l ou xg/1000ml

Pour les solutions ionisées n est corrigé par ni, où i est le coefficient d'ionisation.

$$P.O. = R\ niT \text{ ou } P.O. = R.i.(C/M).T$$

$i=1+ \alpha(\gamma-1)$

α= Degré d'ionisation, mais si la dissociation est complète, $\alpha=1$

γ= Nombre d'ions formés par dissociation d'une molécule.

Rq : la P.O. totale d'une solution est la somme des P.O. exercées par chaque constituant pris isolement.

Exercice : Dans l'expérience réalisée avec les cylindres de pomme de terre, la concentration de saccharose qui ne provoque aucune modification, est de 20%. Sa température est de 17°C. Calculez la pression osmotique

Calcul de la pression osmotique

$\Pi = R\ nT$

Π= 0,082 x 200 x (273 + 17)/342=13,90 Atm $\Rightarrow \Pi$ = 13,90 Atm

Les cellules turgescentes placées dans un milieu hypertonique se plasmolysent. En milieu hypotonique, des cellules plasmolysées deviennent turgescentes. On parle alors de déplasmolyse :

-provoquée : lorsqu'on a changé les conditions de l'expérience par l'expérimenteur ;

-spontanée : lorsque les conditions de l'expérience restent inchangées. Ce qui peut s'expliquer par :

* une hydrolyse de la substance externe et de sa pénétration ;

* une pénétration lente ;

* une utilisation des réserves pour augmenter la concentration interne.

La plasmolyse et la turgescence sont des phénomènes réversibles.

Remarque : La paroi cellulaire (membrane squelettique) est souvent parfaitement perméable, elle joue un rôle passif. Les échanges sont réalisés entre cellule à travers la membrane plasmique et le cytoplasme.

b) Echanges au niveau de la cellule animale

On peut utiliser comme matériels des hématies obtenues à partir de la sédimentation du sang.

Dans 11 tubes à essai contenant des solutions de NaCl à 0, 1… 9 et 20‰ on ajoute une ou deux gouttes de culot globulaire. Après quelques temps de repos on observe :

b_1) observations macroscopiques

Dans les premiers tubes une solution rouge d'hémoglobine sans culot apparent.

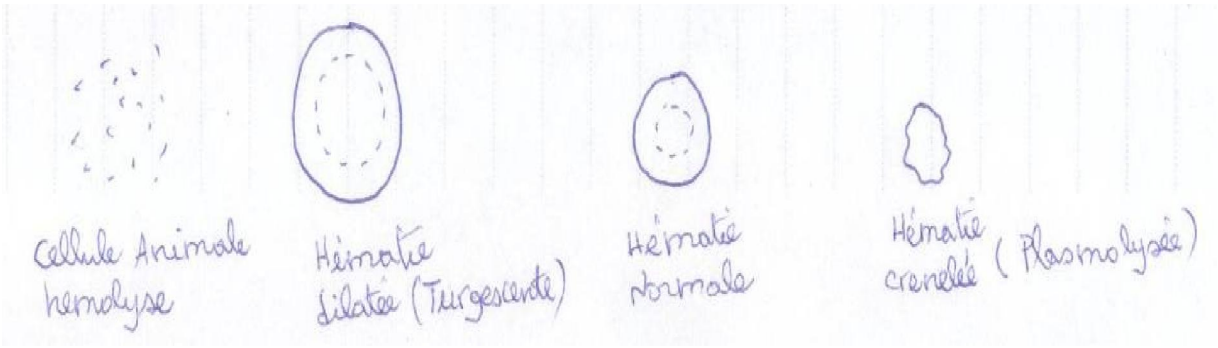
Dans les derniers tubes le liquide est incolore et il se forme un culot rouge volumineux où sont rassemblées les hématies.

Dessin : tubes avec des culots différents

b_2) observations microscopiques

L'observation microscopique permet de voir des hématies dans différentes concentrations des solutions aqueuses de NaCl :

- dans la solution à 0‰, des hématies circulaires, incolores très dilatées et même éclatées ;
- dans la solution à 6‰ des hématies dilatées ;
- dans la solution à 9‰ des hématies normales ;
- dans la solution à 20‰ des hématies crénelées c'est-à-dire à membrane rétractée.



Cellules animales crénelées, hémolysée et normales

b_3) Interprétations

- Dans la solution à 0‰ les hématies se trouvent plongées dans une solution hypotonique : l'eau pénètre dans les cellules : c'est l'endosmose. La pression osmotique étant plus forte que la résistance de la membrane, les cellules éclatent : c'est l'hémolyse.
- Dans la solution à 9‰, les cellules sont dans une solution isotonique du plasma sanguin, il n'y a pas d'échange d'eau.
- Dans la solution à 20‰ les cellules sont plasmolysées. Elles sont dans un milieu hypertonique. Elles perdent de l'eau.

Remarque :

Chez les êtres vivants normalement en milieu hypotonique (animaux d'eau douce), il existe un dispositif qui permet le rejet de l'excès d'eau. C'est le cas de la paramécie avec ses vacuoles ou vésicules pulsatiles. Chez les poissons d'eau douce l'excès d'eau est éliminé par les branchies. De plus un contrôle permanent est assuré par les reins et les glandes endocrines.

La paroi squelettique exerce une contre-pression membranaire empêchant l'éclatement de la cellule végétale.

3) Mécanisme des échanges cellulaires

a) Eau

C'est le phénomène physique de l'osmose qui explique les échanges d'eau entre les 2 milieux. Le flux d'eau est la conséquence de la différence de pression osmotique entre les deux compartiments.

b) Substances dissoutes

-La diffusion transmembranaire ou passage individuel des particules à travers la membrane : La dialyse est une diffusion libre ou transport passif ou diffusion transmembranaire d'un corps dissous à travers une membrane séparant les solutions de concentrations différentes. Cependant elle n'explique pas tout. Elle est due :

- à la taille des molécules ;
- au gradient de concentration, c'est-à-dire la différence de concentration qui existe de part et d'autre de la membrane cellulaire ;
- au rapport de solubilité de la molécule dans les lipides sur sa solubilité dans l'eau. Si c'est élevé, elle va diffuser rapidement. La diffusion passive peut être soit libre, soit facilitée.

Remarque : si la température est élevée, elle diffuse rapidement.

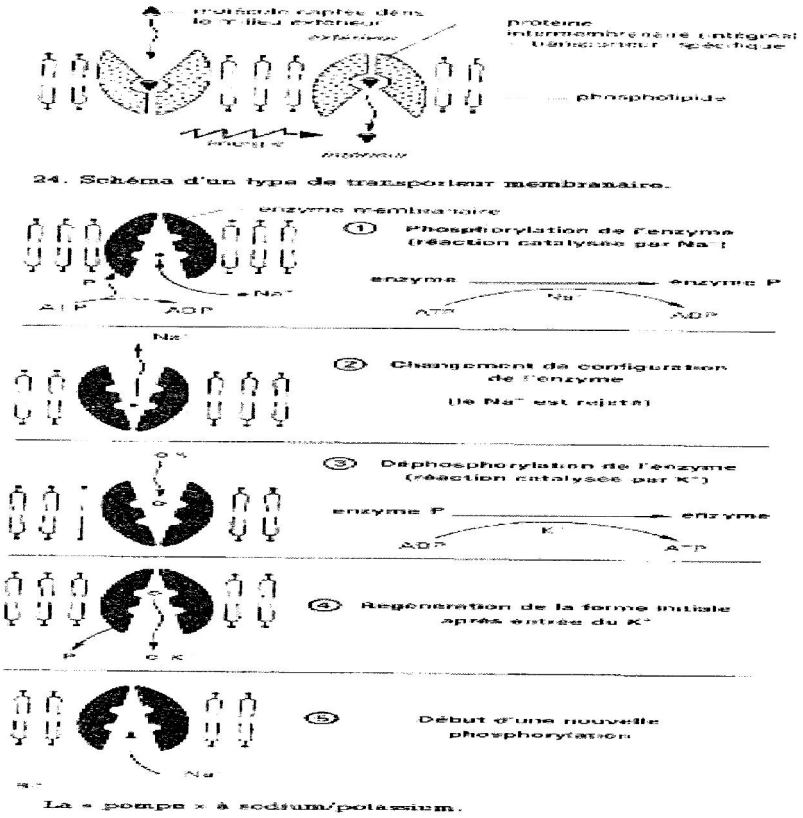
∗La diffusion passive ou diffusion libre : Il s'agit de passage de substances à travers la membrane sans une intervention active de la cellule. Elle est régie par les phénomènes physiques comme l'osmose et la dialyse. Comme

pour toutes les diffusions, elle tend à égaliser la concentration, ou le potentiel électrochimique. Elle ne requiert aucune énergie de la part de la cellule. Le débit de matière est proportionnel à la différence de concentrations, et ne peut pas être régulé par la cellule. Elle concerne les substances liposolubles car la membrane est hydrophobe. Ex : l'O_2, le CO_2, les vitamines liposolubles, l'Alcool,…

∗ **La diffusion facilitée ou transport passif :** C'est le cas où le passage se fait grâce à certains éléments de la membrane (canaux protéiques, perméase) ou des transporteurs pour certains ions, mais sans consommation d'énergie. Dans le cas de la diffusion facilitée, des protéines de transport reconnaissant des molécules ou des ions de forme définie interviennent et accélèrent la vitesse de diffusion selon leur gradient de concentration. Elle s'effectuerait en 3 étapes :

- ♣ Combinaison de la molécule transportée avec le transporteur sur la surface externe de la membrane plasmique ;
- ♣ Passage du complexe transporteur-molécule transportée ;
- ♣ Séparation du transporteur et de la molécule transportée à l'intérieur dans le hyaloplasme.

- Le phénomène du transport actif : Il s'agit d'un passage de substance à travers la membrane contre le gradient de concentration en général et qui nécessite une dépense d'énergie (ATP). Ce mécanisme utilise des transporteurs protéiques qui se combinent de façon spécifique et réversible avec les substances à transporter. La température, le blocage de la synthèse de l'ATP diminue la vitesse de pénétration de certaines substances : le sodium Na, le glucose... C'est-à-dire que la membrane joue un rôle actif qui fait intervenir des réactions biologiques avec consommation d'énergie. Ex : la pompe membranaire Na^+/K^+ (Le passage de K^+ contre le gradient de concentration).



-Phénomène électrique : La surface externe de la membrane est chargée positivement tandis que la surface interne est chargée négativement. Cette différence de potentielle implique l'existence d'un gradient électrique qui favorise l'entrée des cations et la sortie des anions.

- Les phénomènes d'endocytose et d'exocytose :

♣ **L'endocytose** : Il s'agit d'une brusque invagination de la membrane aboutissant à la formation d'une vacuole. Celle-ci est entraînée à l'intérieur avec ses contenus par les courants cytoplasmiques.

Si la vacuole est pleine seulement de liquide ambiant on dit qu'il y a pinocytose. Si elle renferme une particule solide c'est la phagocytose.

♣ **L'exocytose** : C'est le mécanisme inverse de l'endocytose : des vésicules viennent s'accoler à la membrane plasmique et par fusion membranaire, elles se vident à l'extérieur.

c) Echanges de gaz

La membrane plasmique (vivante) est perméable aux gaz. Lors de la respiration ou de la photosynthèse, il y'a échange de CO_2 et de O_2 par les cellules en fonction des besoins de l'organisme. Il y'a passage du gaz du milieu ou la pression en gaz est plus forte vers le milieu ou la pression en gaz est la plus faible.

4) Echange de substances dissoutes

-**Perméabilité orientée :** c'est lorsque la substance (vitale en général) pénétrée ne ressort plus**.**

Ex : le rouge neutre, le glucose…

-Perméabilité sélective : c'est lorsque certaines substances pénètrent et d'autres pas (dû à la taille des molécules), il y a donc une sélection au niveau de la membrane qui fonctionne comme une barrière.

Ex : le saccharose par rapport au glucose.

La cellule semble faire un choix parmi les substances dissoutes dans le milieu, il y a donc une perméabilité sélective.

-Perméabilité différentielle : c'est lorsque certaines substances pénètrent plus vite que d'autres.

On monte un fragment d'épiderme de choux de type rouge dans une goute de solution de formamide à 10‰.

Remarque : Le pH modifie la perméabilité cellulaire.

Ex : La pénétration du rouge neutre dans la cellule épidémique de l'oignon s'accomplit normalement en milieu neutre et non en milieu acide.

Exercices sur les échanges cellulaires

Exercice 1

1) On cherche à connaître les facteurs qui régissent la perméabilité à certaines substances en plongeant des cellules végétales dans des alcools de poids moléculaire (PM) croissant à la concentration N/3 :

- l'alcool éthylique (PM = 46) : pénètre très vite ;
- le glycérol (PM = 92) : pénètre un peu moins vite ;
- l'érythrol (PM = 122) : pénètre lentement ;
- le mannitol (PM = 182) : ne pénètre pas.

a) Quelles conclusions pouvez-vous tirez ?

b) Ces phénomènes s'expliquent-ils par l'osmose ? justifiez votre réponse.

c) S'il s'agissait d'une membrane inerte, qu'allait-on observer ?

2) On place des cellules dans une solution de saccharose ($C_{12}H_{22}O_{11}$) de concentration N/3. Les cellules se plasmolysent rapidement puis se déplasmolysent après un temps plus ou moins long.

Expliquez ce phénomène.

3) Les conclusions que vous avez tirées en 1a) sont-elles en conformité avec le phénomène observé en 2) ? justifiez ?

Exercice 2

Quatre lots identiques de cellules sont immergés dans des solutions de saccharose de concentrations connues et à 20°C :

1er lot……..Solution 1 (10%)

2^{e} lot……...Solution 2 (13, 5%)

3^{e} lot…….. Solution 3 (17%)

4e lot…….. Solution 4 (20, 5%)

A l'observation au microscope photonique, on constate que les cellules gardent dans la solution 1, l'aspect qu'elles ont lorsqu'elles sont placées dans de l'eau distillée ; dans la solution 2, leur membrane cytoplasmique s'est décollée très légèrement de la paroi pectocellulosique. Par contre dans les solutions 3 et 4, le contenu cellulaire s'est nettement rétracté.

1) Quel est le phénomène physique qui intervient et qui permet d'expliquer les différents aspects cellulaires observés.

2) Sachant que l'expérience se déroule à 20°C, évaluez la pression osmotique du contenu vacuolaire des cellules de la solution 2.

3) Des cellules identiques maintenues dans les solutions aqueuses des sels suivants, à 20°C :

- Sulfate de sodium (Na_2SO_4) à 1,9%)
- Nitrate de sodium ($NaNO_3$) à 1,7%
- Phosphate de sodium (Na_3PO_4) à 1,6%

On constate que les cellules prennent le même aspect que précédemment dans la solution 2

a) Quelles sont les concentrations en moles d'ions par litre de ces 3 solutions ?

b) Comment pouvez-vous expliquer le comportement des cellules en tenant compte du fait que, aux concentrations utilisées, les sels employés sont considérés comme totalement ionisés en solution aqueuse.

NB: **H=1; C=12; O=16; N=14; Na=23; P=31; S=32**

Réponses

Exercice 1

1)a) Les conclusions :

- la vitesse de pénétration des différents alcools dans la cellule végétale est inversement proportionnelle à leur poids moléculaire

- la cellule végétale n'est pas perméable à tous les alcools

b) Ces phénomènes ne s'expliquent pas par l'osmose, car nous avons à faire à une dialyse qui se produit grâce à une perméabilité différentielle.

c) Si la membrane était inerte, le diamètre de ses pores reste constant, et elle devient perméable à tous les alcools de l'expérience qui sont en réalité des micromolécules.

2) Au départ, la solution de saccharose est plus concentrée que le milieu intracellulaire, ce qui entraine une perte d'eau par les cellules d'où la plasmolyse. Avec le temps, le saccharose pénètre lentement dans les cellules jusqu'à inverser les concentrations et cela provoque une entrée d'eau dans les cellules d'où la déplasmolyse.

3) Les conclusions que nous pouvons tirer en 1a) ne sont pas conformes avec le phénomène observé en 2) : contrairement au mannitol (PM=182), le saccharose (PM=342) réussit néanmoins

à traverser la membrane cellulaire (hydrolyse de la molécule de saccharose). Il s'agit dans ce cas d'une perméabilité sélective, car les cellules ont une préférence (hydrolyse du saccharose pour le saccharose malgré son PM nettement élevé que celui du mannitol).

Exercice 2

1) *Le phénomène physique qui intervient et permet d'expliquer les différents aspects cellulaires observés est l'osmose*
2) *Calcul de la PO.* $PO=Ri(R/M)\ T$

$T= 273+20=293°K$ $C/T= 135/342=0,39 mole/l$; AN : $PO= 0,082x0, 39x293= 9,37$ atm ou 9,48 atm

3) *a) calcul des concentrations en mole d'ions/l des 3 solutions :*

- *concentration du sulfate de sodium de* Na_2SO_4

$$Na_2SO_4 \xrightarrow{H_2O} {}_2Na^+ + SO_4^{2-}$$ *i= 3 Donc n=ix(C/M) = 19x3/142=0,4mole d'ions/l*

- *concentration du nitrate de sodium de* $NaNO_3$

$$NaNO_3 \xrightarrow{H_2O} Na^+ + NO_3$$ *i= 2 Donc n=ix(C/M)=2x(17/85)=0,4 mole/l*

- *concentration du phosphate de sodium de* Na_2SO_4

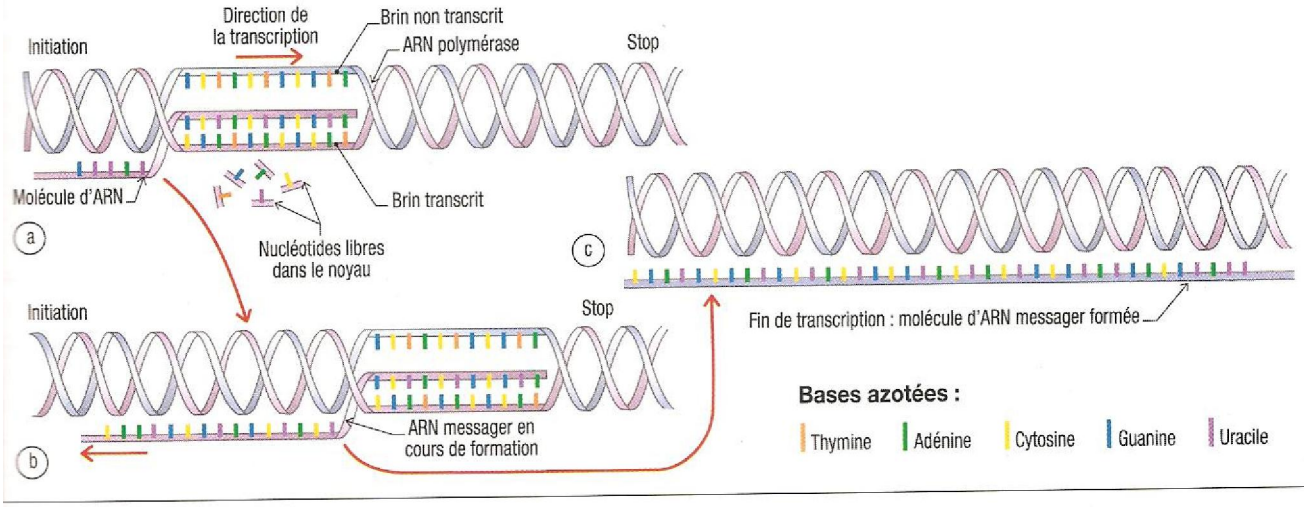
$$Na_3PO_4 \xrightarrow{H_2O} {}_3Na^+ + PO_4^{3-}$$ *i= 4 donc n=ix(C/M)=4x(16/164)=0,39 mole d'ions /l*

- *Les trois solutions ont la même concentration molaire et la même pression osmotique que la solution 2. Cela justifie le fait que les cellules aient le même comportement (plasmolyse commençante) dans ces solutions et dans la solution 2.*

II. Synthèses cellulaires : biosynthèse des protéines

1) Transcription de l'ADN en ARN

Sous l'action d'une enzyme l'ARN polymérase (ARN_{II} lié au promoteur indique le brin matrice et le sens), une double hélice d'ADN s'ouvre par dégrafage (processus asymétrique). L'énergie est fournie par l'ATP. Au contact de l'un des brins d'ADN, se forme une molécule d'ARN qui est la copie de l'ADN. La transcription se fait toujours dans le sens **3' ⟶ 5'.** Le brin copié est appelé brin transcrit, brin codant, brin matrice, brin informatif. Cet ARN, appelé ARN messager, porte l'information génétique présente dans le noyau. Il passe dans le cytoplasme par l'un des pores nucléaires. Une chaine de ribosomes se charge de lire le message. Les 2 brins d'ADN se referment après.



Document 7 : trois étapes de la transcription d'un gène.

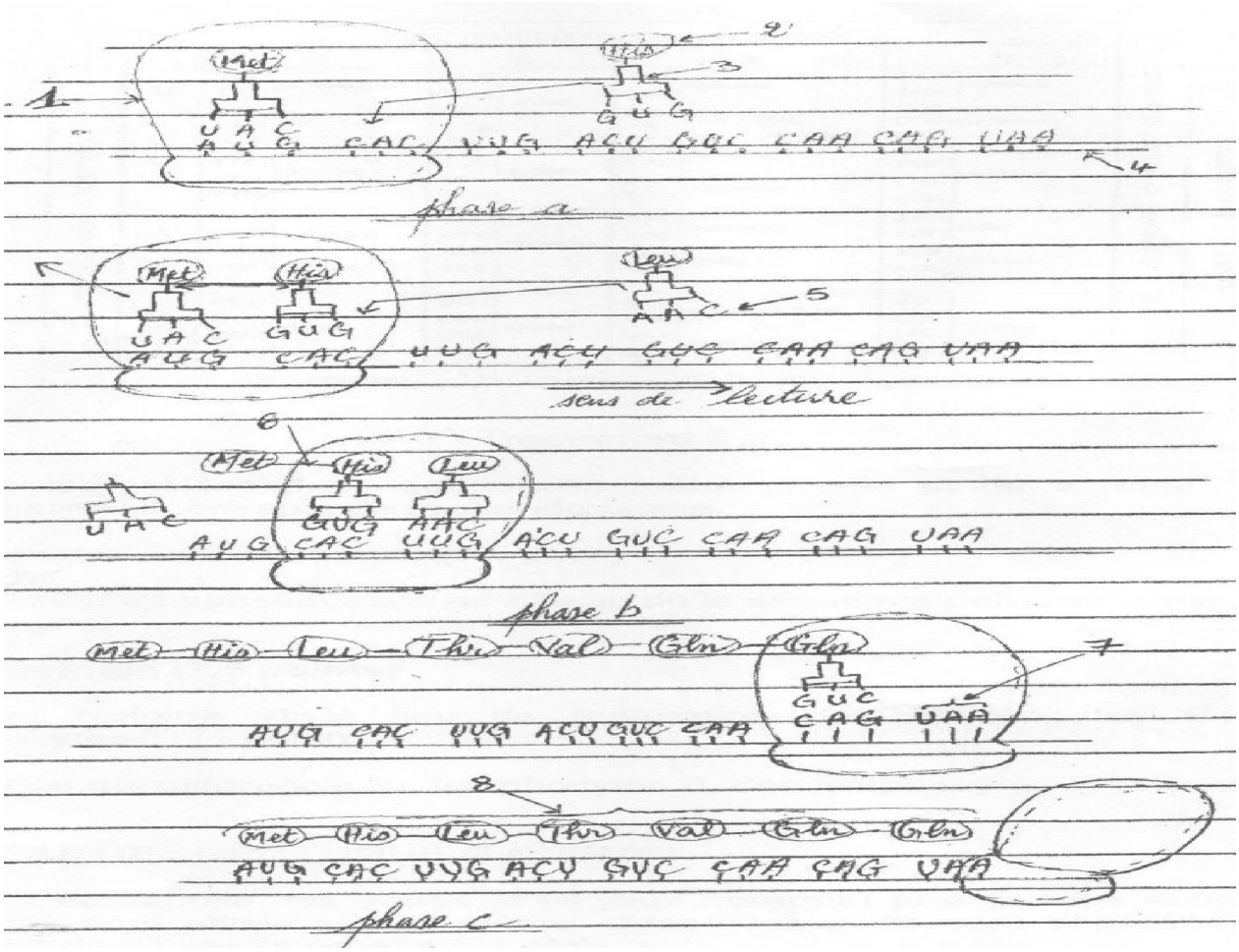
(Différentes étapes de la synthèse : dégrafée, synthèse de l'ARN, tenir compte du sens)

Rq : la transcription consiste à saisir à l'ordinateur un texte à partir de notes prises en sténo c'est-à-dire transposée d'un format à un autre.

2) Traduction

C'est la transformation du message contenu dans un acide nucléique ARN en une chaine polypeptidique. Elle se déroule dans le hyaloplasme. Ses principaux acteurs sont :

- Un détenteur de l'information génétique : l'ARN_m.
- Un système de lecture : les ribosomes (qui porte 3 sites A, P, E) : site A= site aminoacyl ; site P : site peptidyl
- Des adaptateurs : l'ARNt qui assure la correspondance entre un acide aminé et l'ARN_m. Les ARNt sont constitués d'un triplet de trois bases ou anticodons. Il existe au moins autant d'ARNt que d'acides aminés. Il existe 20 types. Chaque ARN_t comprend un site de fixation de l'acide aminé, à l'autre extrémité le site de fixation de l'anticodon, latéralement des sites de fixation de l'enzyme et de l'ARN_t sur le ribosome.
- Le stock d'acides aminés provenant de la digestion des protéines.
- Un fournisseur d'énergie (ATP) ; des systèmes enzymatiques (aminoacyl–synthétase spécifique) et des facteurs protidiques qui conditionnent le fonctionnement des ribosomes.
- Un codon qui est un triplet de base situé sur l'ARN ;
- L'anticodon est le complémentaire du codon et il est situé sur l'ARNt.



1= ribosome ; 2 = acide aminé ; 3= ARN_t ; 4= ARN_m ; 5= anticodon ; 6= liaison peptidique ; 7= Codon ; 8= polypeptide ; phase a : initiation ; phase b : élongation ; phase c : terminaison

Ribosome fonctionnel avec le site A et P et l'ARN_t

La traduction consiste au décodage du message. Chaque ribosome se fixe sur l'extrémité **5'** de la molécule d'ARN_m puis glisse le long de celle-ci avant de s'en détacher à l'extrémité **3'**. Il comporte 3 étapes successives : l'initiation, l'élongation, et la terminaison.

- **L'initiation** : elle débute par la mise en place des unités ribosomales au niveau de l'extrémité **5'** de l'ARNm, d'un ARN_t porteur de l'anticodon (UAC : complémentarité du codon initiateur) et du premier acide aminé (méthionine) dans le site **P** (le complexe ARN_t méthionine activé ou ARN_t formyl méthionine activant).

Rq : Site A : site amino-acyl

Site P : site peptidyl

- **L'élongation** : elle s'effectue par adjonction ou ajout de nouveaux acides aminés. Cet accrochage successif se fait en trois temps :

♣ **Association codon anticodon du 2è acide aminé (aa)** au niveau du site A.

♣ **Liaison peptidique** entre le 1er et le 2nd a.a. suivie de la libération de l'ARN_t au site P.

(Transfert d'énergie permettant la formation d'une liaison peptique entre les deux acides animés.)

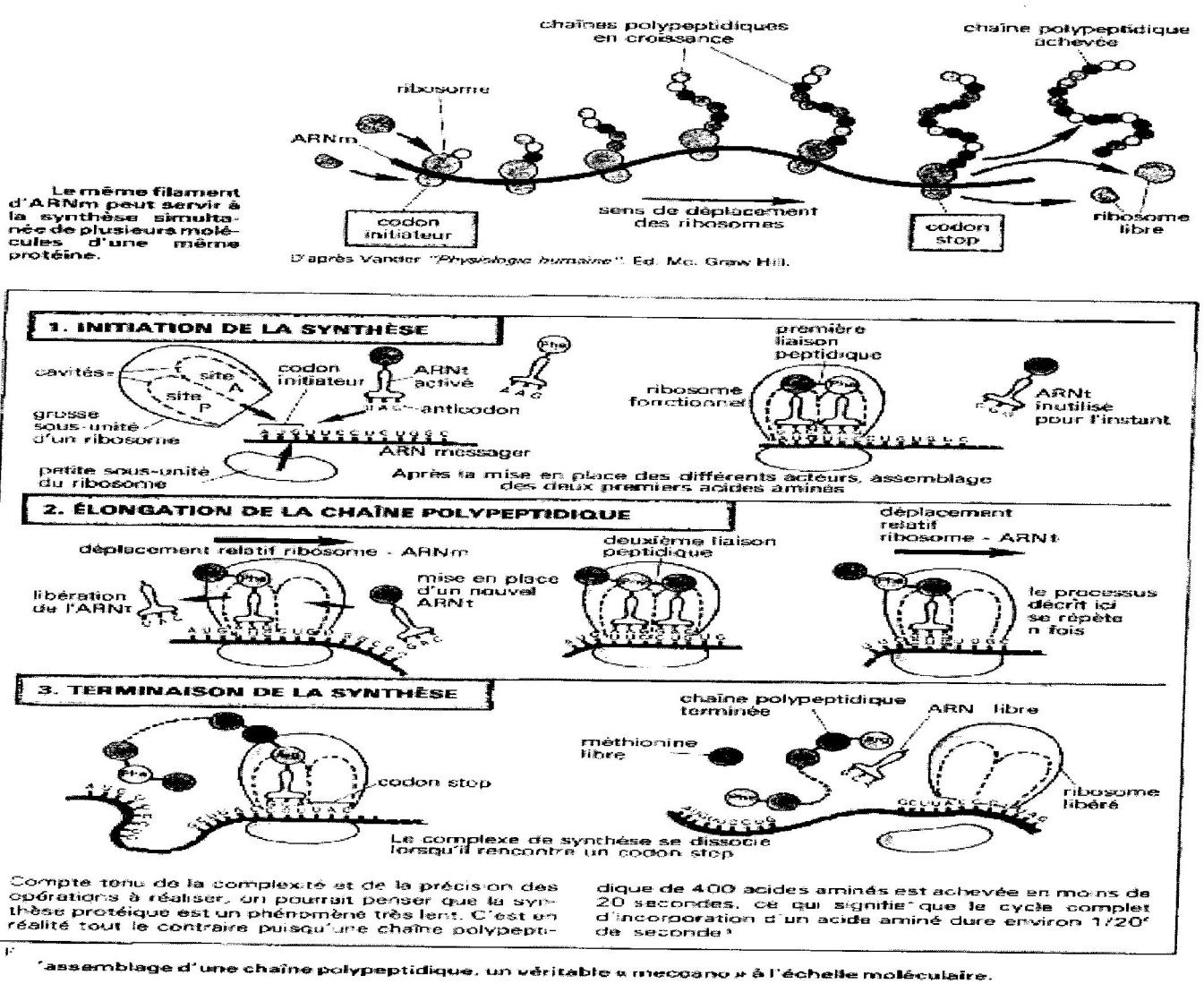
♣ **Translocation** ou décalage du ribosome sur une longueur d'un codon dans le sens 5' vers 3'. Le site A est de nouveau libre pour abriter un autre ARN_t et ainsi de suite.

- **La terminaison** : elle apparaît lors de la lecture d'un codon ponctuation ou codon stop ou codon non sens (UAA- UAG- UGA) au niveau du site A. Elle entraine la dissociation des 2 sous-unités ribosomales, l'ARN_m et la chaine polypeptidique constituée sont libérées.

La méthionine est séparée du reste de la chaine si elle (la cellule) n'en a pas besoin. Le reste de la protéine acquiert spontanément sa configuration tridimensionnelle. Le même ARN_m peut être lu par plusieurs ribosomes.

Les ribosomes libres synthétisent les protéines destinées à l'usage interne, alors que les ribosomes situés sur l'ergastoplasme synthétisent les protéines destinées à l'usage d'autres cellules.

On estime la durée de synthèse d'une protéine de 400 acides aminés en moins de 20 S.



L'assemblage d'une chaîne polypeptidique, un véritable « meccano » à l'échelle moléculaire.

Remarque :

Dans certains cas comme dans la synthèse de l'ovalbumine (chez les eucaryotes) au cours de la formation de l'ARN, s'intercale une étape intermédiaire au cours de laquelle un ARN pré-messager est synthétisé par transcription et c'est à partir de cet ARN pré-messager qu'est formé l'ARNm plus court.

Il existerait donc des segments d'ADN non transcrit au moment de la formation de l'ARNm. Ces segments sont appelés introns. Les parties d'ADN copiées par l'ARNm sont appelées des exons (les exons sont les parties de l'ADN lues). On appelle **cistron** la séquence constituée d'une suite de triplets de nucléotides dans un ordre donné correspondant à un gène. L'épissage consiste à séparer les exons des introns et à mettre bout à bout les exons.

3) Le code génétique

Le code génétique est le dictionnaire de la cellule qui permet de traduire en chaîne polypeptidique l'info génétique codé par l'ARNm.

Une fois dans le cytoplasme, une chaine de ribosome se charge de « lire » le message contenu dans l'ARN messager. Il lit ainsi le message génétique mot à mot du début jusqu'à la fin. La séquence des acides aminés qui peuvent constituer une protéine est programmée sur l'ADN donc dans sa copie transcrite.

Il existe un système de correspondance entre la séquence des 4 nucléotides de l'ARNm et la séquence des 20 acides aminés : c'est le code génétique. Parmi les possibilités de combinaison des 4 nucléotides de l'ARNm, seules les associations de trois bases (4^3) ou triplets permettent de coder pour un nombre suffisant d'acides aminés (43 soit 64 triplets). L'unité de code ou codon est un triplet.

Les 64 codons possibles pour les 20 acides aminés se repartissent de la façon suivante :

- les codons synonymes : ce sont des triplets différents mais codant pour un même acide : on dit que le code est redondant ;
- les codons ponctuations qui indiquent le début et la fin de la traduction : on dit que le message est ponctué. Ainsi 61 triplets parmi les 64 possibles désignent chacun un acide aminé précis, les trois autres commandent l'arrêt de la synthèse. On les appelle des codons stop ou codon non sens.
- qu'un codon n'appartient qu'à un seul acide aminé à la fois.

Les caractéristiques du code génétique sont :

- le code génétique est non chevauchant, c'est-à-dire que les codons sont lus l'un après l'autre ;
- le code génétique est continu : il y a lecture successive de 2 codons dont les bases sont adjacentes ;
- le code génétique est redondant ou dégénéré c'est-à-dire que certains acides aminés sont codés par des codons différents (ex : la Leucine) ;
- le code génétique est universel c'est-à-dire qu'un codon donné correspond toujours au même acide aminé chez l'homme comme chez les bactéries.

1re lettre	2e lettre U	2e lettre C	2e lettre A	2e lettre G	3e lettre
U	UUU phénylalanine (Phe) UUC UUA leucine (Leu) UUG	UCU sérine (Ser) UCC UCA UCG	UAU tyrosine (Tyr) UAC UAA NON-SENS UAG	UGU cystéine (Cys) UGC UGA NON-SENS UGG tryptophane (Trp)	U C A G
C	CUU leucine (Leu) CUC CUA CUG	CCU proline (Pro) CCC CCA CCG	CAU histidine (His) CAC CAA glutamine (Gln) CAG	CGU arginine (Arg) CGC CGA CGG	U C A G
A	AUU isoleucine (Ile) AUC AUA AUG méthionine (Met)	ACU thréonine (Thr) ACC ACA ACG	AAU asparagine (Asn) AAC AAA lysine (Lys) AAG	AGU sérine (Ser) AGC AGA arginine (Arg) AGG	U C A G
G	GUU valine (Val) GUC GUA GUG	GCU alanine (Ala) GCC GCA GCG	GAU acide aspartique (Asp) GAC GAA acide glutamique (Glu) GAG	GGU glycine (Gly) GGC GGA GGG	U C A G

4) Mutations

Le fragment linéaire de l'ADN transcrit en ARN est une unité de fonction ou gène de structure. Toute modification de la séquence de nucléotide de l'ADN peut avoir des répercussions sur la qualité du polypeptide synthétisé : c'est une mutation.

Une mutation est d'emblée héréditaire car elle affecte la molécule d'ADN. La séquence modifiée est fidèlement recopiée à chaque réplication. La mutation peut être bruyante ou silencieuse.

- Une mutation silencieuse : c'est quand il n'y a pas de répercussion sur la descendance (à cause de la redondance des codons) ;
- Une mutation bruyante : c'est quand il y a une répercussion sur la descendance.

Les différents types de mutations

On distingue :

- Des mutations ponctuelles qui n'affectent qu'un seul nucléotide. Elle se fait par :
  - ♣ La substitution : c'est le remplacement d'un nucléotide par un autre ;
  - ♣ La addition ou insertion : c'est l'ajout d'un nucléotide ;
  - ♣ La délétion : c'est la perte d'un nucléotide.
- « Des accidents » plus étendus affectant des séquences de nucléotides plus ou moins longues qui sont soit supprimées, doublées, inversées, déplacées.

Types de mutations	ARN_m correspondant au gène normal et la protéine synthétisée	ARN_m correspondant au gène muté et la protéine synthétisée
Substitution (transition) en 5è position d'un A par U sur l'ARN ou d'un T par A sur l'ADN	CCA-G**A**G-ACU Pro-Glu-Thr	CCA-G**U**G-ACU Pro-Val-Thr
Inversion (transversion) du 2é codon	UUC-**UGG**-GCU Phe-**Trp**-Ala	UUC-**GGU**-GCU Phe-**Gly**-Ala
Délétion d'un A en 4é position sur l'ARN ou d'un T en 4é position sur l'ADN	UAC-**A**CC-ACG-A Tyr-Thr-Thr	UAC-**CCA**-CGA Tyr-**Pro-Arg**-
Insertion (addition) d'un G en 4è position sur l'ARN ou d'un C en 4è position sur l'ADN	UAC-ACC-ACG Tyr-Thr-Thr	UAC-**G**AC-CAC-G Tyr-Asp-His

D'autres mutations :

- ✓ mutations géniques: sur le gène;
- ✓ mutations chromosomiques : sur le chromosome ;
- ✓ mutations génomiques : sur le nombre de chromosomes

Exercices sur la synthèse protéique

Exercice 1

Les acides nucléiques sont des macromolécules présentes dans les noyaux et dans le cytoplasme des cellules.

1) Des acides nucléiques ont été isolés d'un broyat cellulaire et soumis à l'hydrolyse totale. Indiquer les différentes molécules que l'on peut retrouver dans cet hydrolysat.
2) Soit la séquence d'un fragment de brin d'ADN isolé à partir d'E. Coli

5'GTA GCC TAC CAT AGG3'

a) On suppose qu'un ARN est transcrit à partir de cet ADN en utilisant comme matrice le brin complémentaire.

- Quel sera la séquence de cet ARN ?
- Quel peptide obtiendrait-on si la lecture commençait précisément à l'extrémité 5' de cet ARNm ?

b) On suppose qu'un ARN est transcrit à partir du brin initial.

- Quel sera la séquence de cet ARN ?
- Quel peptide obtiendrait-on ?

Exercice 2

Il existe quatre types de mutations au niveau des êtres vivants. Elles se traduisent généralement par une modification de la séquence protéique correspondante. Soit le brin codant la séquence nucléotidique qui :

-TAC-CCC-CCG-AAA-TTA-ATA-ATC-

1) En utilisant le code génétique, trouvez la séquence protéique correspondante.

Trois mutations notées A, B, C se sont produites au niveau du brin codant pour donner trois brins mutés qui sont :

- Mutation A : **-CAT-CCC-CCG-AAA-TTA-ATA-ATC-**
- Mutation B : **-TAC-CCC-CCG-AAA-TAA-TAA-TC-**
- Mutation C : **-TAC-CCC-GCC-GAA-ATT-AAT-AAT-C-**

2) En comparant le brin normal aux trois brins, identifiez les mutations A, B, C puis déduisez celle qui manque.

Exercice 3

Un ARN de synthèse ne contenant que C et U est utilisé comme ARN.

1) Déterminez tous les types de codon que l'on pourrait rencontrer dans cet ARNm.
2) En vous servant du code génétique, déterminer les acides nucléiques incorporés dans un polypeptide dont la synthèse a été codée par cet ARNm
3) Déterminer les pourcentages de ces acides aminés sachant que l'ARNm contient 60% U et 40% C.

Exercice 4

On place pendant 3 mn des filaments de moisissures (champignons) dans un milieu contenant une base azotée radioactive. Après ce temps, ces filaments sont transplantés dans un milieu non radioactif pendant un temps plus ou moins long. Les méthodes de fractionnement cellulaire et d'autoradiographie permettent d'isoler différentes fractions cellulaires et de se rendre compte de leur radioactivité.

Les résultats obtenus, en fonction du temps de passage dans le milieu non radioactif sont les suivants (le signe + indique la radioactivité des fractions) voir tableau :

1) Définir la radioactivité.
2) D'après les résultats du tableau, pouvez-vous dire quelle est la molécule radioactive qui se trouve dans le réticulum endoplasmique au temps t=10 mn ? Précisez son origine.
3) Quelle est la base azotée radioactive qui était présente dans le milieu ?

Temps de passage dans le milieu non radioactif	4 mn	10 mn	1h
Fraction noyau	+	+	-
Fraction mitochondries	-	-	-
Fraction ergastoplasme	-	+	+

Exercice 4

I) 1ère expérience : on cultive une jeune algue dans un milieu contenant de l'uracile radioactif. Au bout de 2 heures, le noyau de cette algue se révèle radioactif. Ce noyau radioactif est prélevé et placé dans le cytoplasme d'une autre jaune algue préalablement privé de son noyau et on constate que quelques heures après, ce cytoplasme devient radioactif.

2ème expérience : on cultive de nouveau une algue en présence d'uracile radioactif, puis à divers intervalle de temps, on procède par centrifugation différentielle et on recherche la présence de la radioactivité sur quelques organites. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

Temps (mn) / Organites	0	50	90	140	180
Chloroplaste	-	-	-	-	-
RER	-	-	+	+	+
Mitochondrie	-	-	-	-	-
Centrosome	-	+	+	+	-
Grain de ribosome	-	-	-	-	-

+= Présence ; - = absence

1) Parmi les organites ci-dessus cités, relevez celui ou ceux qui permettent de déterminer le caractère animal ou végétal de l'acétabularia. Citez un organite qui ne devra pas se trouver chez l'acétabularia.

2) Quelles conclusions peut-on tirer des deux expériences ?

II) Cette fois-ci on injecte dans l'algue, une solution de valine radioactive (la valine est un acide aminé). La recherche de la radioactivité sur les organites donne les résultats du tableau suivant :

Temps (mn) / Organites	0	50	90	140	180
Chloroplaste	-	-	-	-	-
RER	-	+	+	+	-
Mitochondrie	-	-	-	-	-
Centrosome	-	-	-	-	-
Grain de ribosome	-	-	+	+	+

+= Présence ; - = absence

1) Quels renseignements supplémentaires fournit cette dernière expérience ?

2) Récapitulez l'ensemble des résultats des expériences par un schéma ?

Corrigé

Exercice 1

1) *Les différentes molécules sont : les bases azotées (A, T, G, C, U), les sucres (riboses, désoxyribose), l'acide phosphorique.*

2) *a) Brin initial :* ***5' GTA GCC TAC CAT AGG 3'***

Brin complémentaire: ***3' CAT CGG ATG GTA TCC 5'***

Brin d'ARNm : ***5' GUA GCC UAC CAU AGG 3'***

Peptide: ***Val-Ala-Tyr-His-Arg***

b) Brin initial : ***5' GTA GCC TAC CAT AGG 3'***

ARNm: ***3' CAU CGG AUG GUA UCC 5'***

Ou ***5' CCU AUG GUA GGC UAC 3'***

Peptide: ***Pro-Met-Val-Gly-Tyr***

Exercice 2

1) *La séquence protéique correspondante au brin codant est:*

-TAC-CCC-CCG-AAA-TTA-ATA-ATC-

Brin d'ARN correspondant : ***- AUG-GGG-GGC-UUU-AAU-UAU-UAG-***

Séquence protéique : ***-Met-Gly-Gly-Phe-Asn-Tyr-***

2) *Les différentes mutations sont :*

- *Mutation A : inversion du premier triplet de nucléotides ;*
- *Mutation B : perte ou délétion d'un nucléotide T en position 13 ou 14 ;*
- *Mutation C : ajout ou insertion d'un nucléotide à G en position 7.*
- *La mutation qui manque est la substitution.*

Exercice 3

1) *L'autoradioactivité est une méthode qui consiste à détecter les rayonnements émis par un isotope radioactif afin de suivre le déroulement d'un phénomène.*

2) *La nature de la molécule radioactive des ergastoplasmes au temps t=10 mn est l'ARNm.*

Cet ARNm a pour origine la transcription de l'ADN du noyau en incorporant la base radioactive, puis cet ARNm passe dans le cytoplasme pour la synthèse des protéines au niveau des ergastoplasmes.

3) *Nature de la base azotée utilisée : uracile car c'est la seule base azotée spécifique à l'ARNm.*

Exercice 4

I) 1) La présence de chloroplaste permet de dire que l'acétabularia permet de dire que c'est une cellule végétale.

Cependant, il y a un organite qui ne devrait pas s'y trouver : le centrosome.

2) Conclusions :

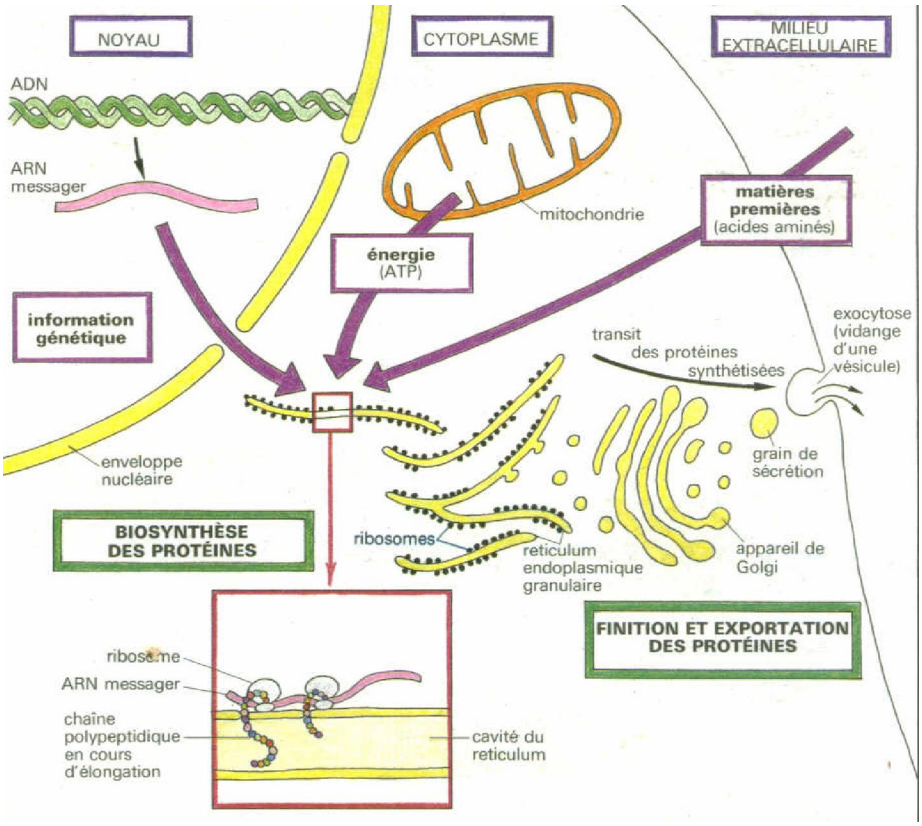
1ère expérience : la présence de la radioactivité dans le noyau puis dans le cytoplasme de la jeune algue indique qu'il y a synthèse d'ARN.

2ème expérience : la radioactivité arrivée dans le cytoplasme se localise spécifiquement dans le RER (ribosome) qui est le siège de la synthèse protéique. L'ARN vient donc s'y fixer pour permettre la traduction.

II) 1) Cette dernière expérience montre que les séquences d'acides aminés demeurent temporairement dans le RER qui est le lieu de synthèse ou de traduction grâce au ribosome.

Les acides aminés parviennent ensuite aux grains de sécrétion où ils sont stockés sous forme de protéines.

2) Schéma recap.



III. DIVISION CELLULAIRE OU MITOSE

A. Chromosomes

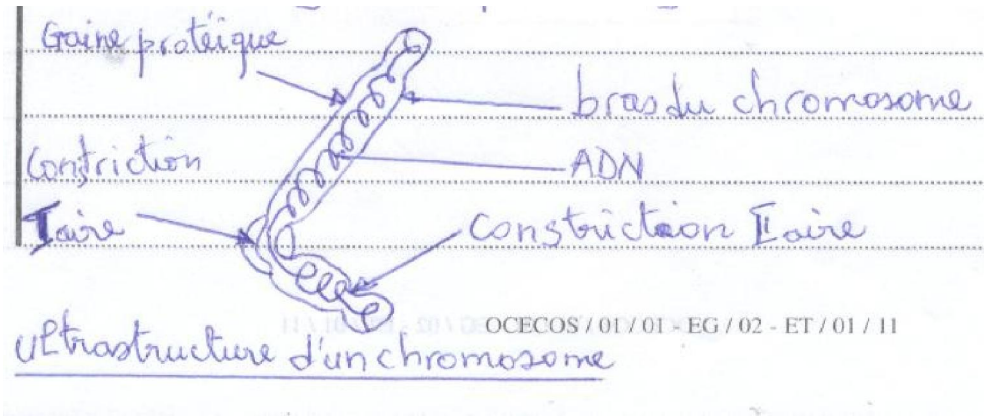
1) Structure et composition chimique

a) Structure

Dans les cellules au repos, le nucléoplasme du noyau est essentiellement constitué de chromatine. Celle-ci se présente sous forme de feuilles de filaments enchevêtrés difficiles à observer (collier de perles dont les perles sont des protéines et le filament est l'ADN à l'interphase). Durant la mitose, les filaments chromatiniens se condensent et s'individualisent sous la forme de courts bâtonnets appelés chromosomes.

b) Composition chimique

Un chromosome est formé d'une molécule d'ADN enfermée dans une gaine protéique. Le chromosome est donc une nucléoprotéine, c'est-à-dire qu'il résulte d'une combinaison de l'holoprotéine et d'un acide nucléique qui est l'ADN.



2) Forme et nombre

a) Forme

Les chromosomes sont de courts bâtonnets ayant une forme variable localisés dans le nucléoplasme, constitués de protéines, d'ADN avec 2 ou 1 unité appelée chromatide. On distingue 4 types de chromosomes en fonction de la position du centromère :

- les chromosomes métacentriques qui ont deux bras égaux ;
- les chromosomes submétacentriques qui ont deux bras inégaux,
- les chromosomes acrocentriques qui ont un seul bras,
- les chromosomes punctiformes en forme de grains.

La taille d'un chromosome varie entre 2 et 20 µm mais, il existe des chromosomes géants.

Ex : Les chromosomes des glandes salivaires de la drosophile dont la taille atteint 500 µm.

b) Nombre

Le nombre des chromosomes est caractéristique de l'espèce. Toutes les cellules d'une même espèce possèdent exactement le même nombre de chromosomes, mais le nombre varie d'une espèce à une autre.

Exemple : 20 chromosomes pour le maïs

8 chromosomes pour la drosophile

46 chromosomes pour l'homme

- Si tous les chromosomes sont classés la cellule est dite diploïde, dans ce cas le nombre de chromosomes s'exprime en fonction du nombre de paires chromosomiques et on écrit.

$2n = x$ | - n = nombre de paire (forme)
- x = nombre total de chromosome

Exemple : Chez l'homme 2n = 46 soit n= 23

Si par contre, au niveau de la cellule somatique, tous les chromosomes sont uniques en leur genre, la cellule (ou l'espèce) est dite haploïde. Exemple les gamètes.

Au sein d'une même espèce on distingue deux types de chromosomes :

- les autosomes ou chromosomes non sexuels ;
- les hétérochromosomes ou gonosomes ou chromosomes sexuels.

Dans l'espèce humaine la garniture chromosomique comporte 22 paires d'autosomes et 1 paire de gonosomes. Nombre de chromosomes chez le mâle : 44A+XY ; Nombre de chromosomes chez la femelle : 44A+XX.

- Si chez un individu diploïde, les gonosomes sont identiques, l'individu est dit homogamétique pour la paire de gonosomes sexuels. S'ils sont dissemblables, l'individu est dit hétérogamétique.

On appelle caryotype ou carte chromosomique ou la garniture chromosomique d'une cellule l'équipement chromosomique qui tient compte du nombre de chromosomes, de leur forme, de leur taille et qui caractérise l'espèce. Il permet de connaître la formule chromosomique de l'individu et de détecter d'éventuelles anomalies génétiques. Elle permet de connaitre le sexe de l'enfant avant la différenciation des organes génitaux.

Rq : chez les mammifères et les diptères, le mâle est hétérogamétique (XY) et la femelle est homogamétique. Chez les oiseaux, les reptiles et lépidoptères le mâle est homogamétique (ZZ ou XX) et la femelle est hétérogamétique (ZW ou XY).

B. Etapes de la division cellulaire

1. Définition

Les centaines de milliards de cellules, les pluricellulaires descendent tous d'une seule cellule œuf qui a subi un grand nombre de division successive pour donner un embryon constitué de plusieurs cellules.

On appelle mitose, le mode de division par lequel une cellule animale ou végétale donne naissance à deux cellules filles identiques entre elles et identiques à leur mère du point de vue garniture chromosomique (conservation du nombre, de la nature et de la forme du chromosome). C'est un phénomène universel, continu qui se déroule en temps invariable selon les organismes et les types cellulaires. C'est au cours de la mitose que les chromosomes apparaissent sous forme de courts bâtonnets.

En dehors de cette activité, les chromosomes ne sont pas visibles dans le noyau de la cellule. La mitose peut s'observer chez tous les tissus mais les meilleures observations ont été faites sur des extrémités de jeunes racines et des couches germinatives ou bourgeons. La mitose affecte l'ensemble des organites de la cellule, mais c'est le noyau qui est surtout affecté.

2. Déroulement de la mitose

La mitose concerne uniquement les cellules somatiques (non sexuelles). Elle produit des clones de cellules à partir de la division du noyau (caryocinèse) et du cytoplasme (cytodierèse).

L'observation de diverses cellules en mitose a permis de diviser la mitose en quatre phases selon le comportement des chromosomes. Ce sont : la Prophase, la Métaphase, l'Anaphase et la Télophase.

Pendant l'interphase, il y a réplication ou duplication de l'ADN et donc les chromosomes. Dans la cellule animale, le centrosome se transforme en aster et donc brillant.

2.1.) La prophase (15-60 mn)

a) Chez la cellule animale

Elle se caractérise par :

- la migration des asters vers les deux pôles opposés de la cellule. L'allongement des fibres astériennes. Les fibres astériennes et les asters forment le fuseau achromatique ;
- la membrane nucléaire et les nucléoles disparaissent ;
- dans le noyau légèrement gonflé, la chromatine qui a entamé la condensation ou spiralisation à l'interphase se poursuit pour donner des chromosomes qui sont de plus en plus visibles ;
- au milieu de la prophase chaque chromosome apparaît fissuré c'est-à-dire constitué de deux unités longitudinales appelés chromatides. Elles sont réunies par une zone non colorable appelée centromère ou constriction primaire ;
- la disparition de certains organites cellulaires.

b) Chez la cellule végétale

La cellule végétale ne possède pas de centrosome. C'est dans le cytoplasme qu'il y a une condensation en deux régions opposées de la cellule pour former des calottes polaires (substance protéique). Ces calottes polaires produisent les fibres chromatiniennes qui s'ordonnent entre les calottes polaires pour former le fuseau achromatique. Les autres phénomènes restent inchangés.

2.2) La métaphase

Elle est de courte durée. Elle est la même dans la ♂ animale que dans la ♀ végétale. A la fin de la prophase, les chromosomes ont atteint leur stade maximum de spiralisation. Les chromosomes sont courts et épais. Ils entrent en mouvement et se rassemblent dans le plan équatorial pour former une plaque équatoriale. Cette plaque équatoriale résulte de la disposition dans le plan médian de la ♂, des chromosomes bien individualisés. Chaque chromosome est relié aux deux pôles par des fibres attachées à son centromère appelées fibres chromosomiques. C'est au cours de la métaphase qu'une vue polaire de la plaque équatoriale permet de dénombrer (établissement du caryotype) et de décrire de façon précise les chromosomes.

2.3) Anaphase

Elle dure 2 mn environ. C'est la phase dynamique de la mitose. Chaque centromère se fissure (clivage) et les centromères fils solidaires s'écartent l'un de l'autre. Les chromatides sœurs migrent vers les deux pôles opposés de la cellule. On assiste à une ascension polaire en sens opposé des deux lots de chromosomes fils. Cela est dû aux fibres chromosomiques qui tirent les chromosomes vers les pôles. On aura deux lots de chromosomes, dont un dans chaque pôle. A la fin de l'Anaphase les micro-tubes se désorganisent.

Ce phénomène est identique dans les deux types de cellules.

2.4) La télophase

Elle marque la fin de la mitose et dure 30 – 60 mn. C'est une phase de réorganisation cellulaire. Parvenus au voisinage des pôles, les chromosomes d'un même lot se despiralisent et forment un réseau de chromatine. Le noyau se réorganise par la formation d'une nouvelle membrane à partir du réticulum endoplasmique, des dictyosomes et la réapparition des nucléoles et des autres organites. C'est la fin de la caryocinèse.

a) Chez la cellule animale

Il y a lyse des fibres du fuseau achromatique, effacement des asters et les deux cellules filles identiques se forment par étranglement de la membrane cytoplasmique : c'est la cytodierèse qui se fait de l'extérieur vers l'intérieur de façon centripète.

b) Chez la cellule végétale

La cellule végétale possède une paroi épaisse et rigide. Elle ne s'étrangle pas comme la cellule animale. Au moment ou le cytoplasme va se diviser dans la partie équatoriale (médiane), une cloison cellulaire se forme à partir des dictyosomes de l'appareil de Golgi et des saccules du réticulum endoplasmique. Ces derniers s'alignent pour donner une plaque appelée phragmoplaste. C'est une ébauche de la paroi pectocellulosique. Les dictyosomes sécrètent de la cellulose et des polysaccharides qui se déposent pour souder les différents éléments au niveau du phragmoplaste. Les membranes des dictyosomes confluent pour donner une membrane plasmique. Les pincements du REL par les dictyosomes ménagent des lieux d'échanges privilégiés entre cellules voisines appelées plasmodesme. Cette disposition se fait de l'intérieur vers l'extérieur : on dit que la cytodierèse est centrifuge.

Les deux cellules entrent en interphase. La mitose est donc un processus biologique qui assure une répartition égale entre deux cellules filles du matériel génétique présent dans la cellule mère. Chez les êtres unicellulaires la mitose augmente le nombre d'individus. Elle est donc synonyme de reproduction.

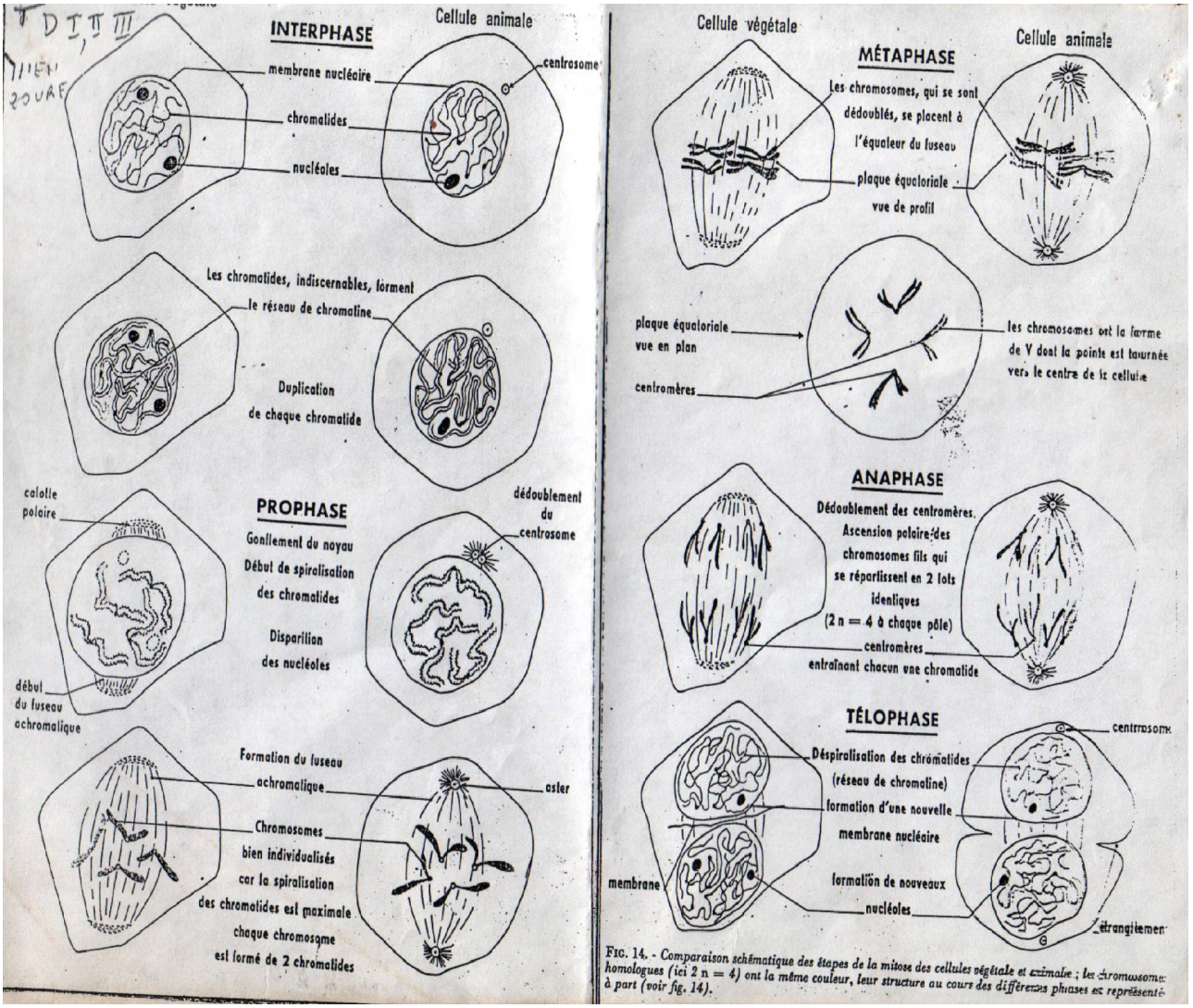
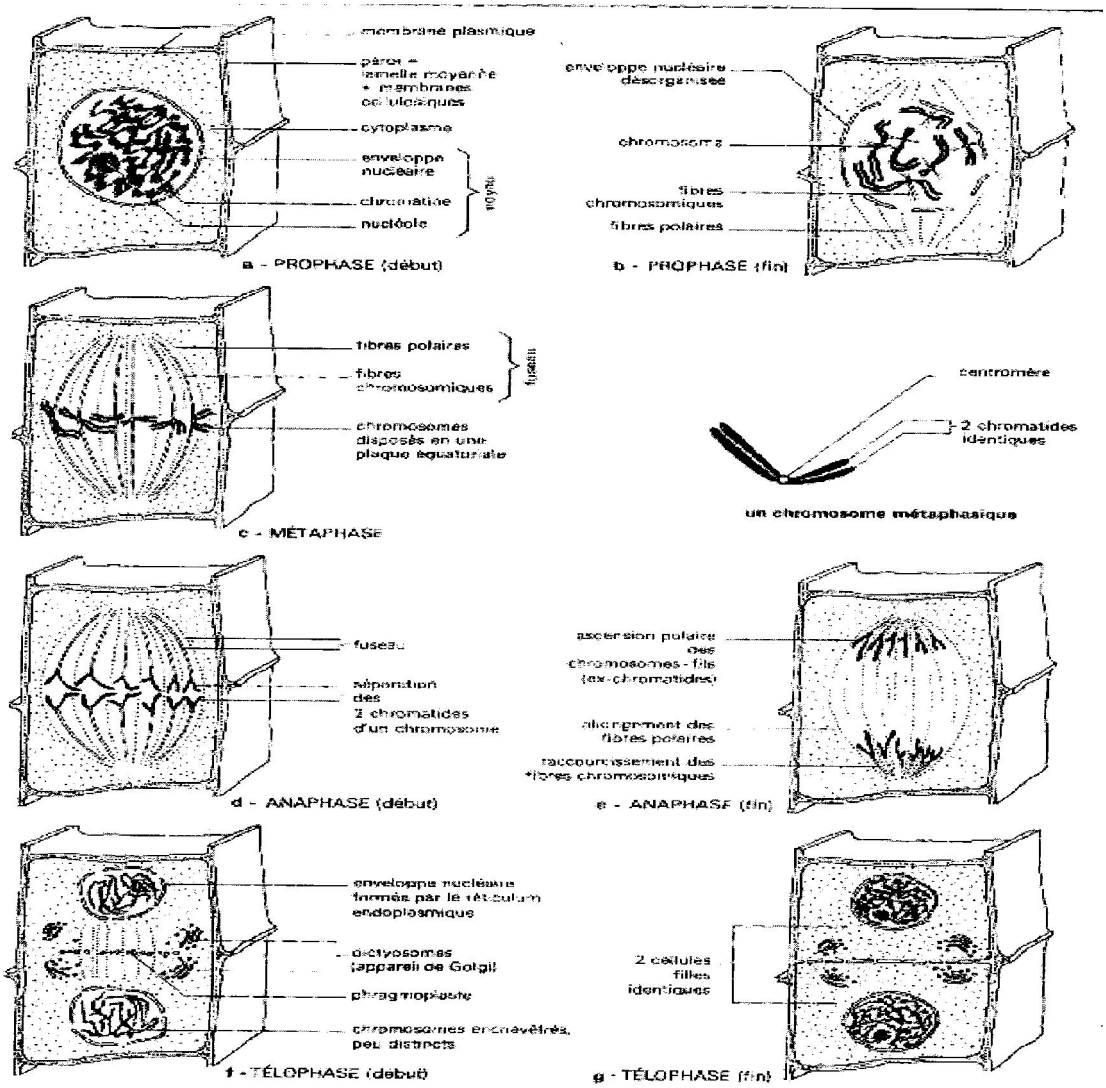


FIG. 14. - *Comparaison schématique des étapes de la mitose des cellules végétale et animale ; les chromosomes homologues (ici 2 n = 4) ont la même couleur, leur structure au cours des différentes phases est représentée à part (voir fig. 14).*



Les étapes de la mitose : ces dessins sont une synthèse d'observations de cellule végétale faites en microscopie optique et électronique.

C. Cycle cellulaire

1) Notion de cycle cellulaire

Le cycle cellulaire est l'ensemble des modifications qu'une cellule subit entre sa formation par division de la cellule mère et au moment où elle-même se divise en deux cellules filles. C'est donc mitose et interphase.

Rq : $n=2^m$ (n= nombre total de Cellule ; m=nombre de division) $\Longrightarrow$ $n=2^x$; $2^x=2^m$; x=m.

2) Evolution du chromosome au cours du cycle ou variation de la forme des chromosomes

Les chromosomes sont sous forme pâteuse en début interphase (chromatine). Ils se dupliquent pour donner 2 chromatides. Ils ont une forme filamenteuse en fin interphase et la spiralisation atteint son maximum en métaphase, d'où l'obtention de chromosomes court, épais bien visible en métaphase. Ce qui est utilisé pour établir le caryotype. Chaque chromosome est constitué de 2 chromatides. En anaphase, les chromosomes se fissurent et donnent 1 chromatide qui migre vers chaque pôle et conduit à une despiralisation des chromosomes en télophase.

a. Au niveau chromosomique : maintien du caryotype.

1 cellule mère à 2 *n* chromosomes à 1 chromatide chacun	→	1 cellule-fille à 2 *n* chromosomes à 2 chromatides chacun	→	2 cellules-filles à 2 *n* chromosomes à 1 chromatide chacun
G_1	S	G_2	M	G_1

Le nombre de chromosomes de chaque cellule-fille est identique au nombre de chromosomes de la cellule mère.

b. Au niveau de l'ADN : maintien de l'information génétique.

1 cellule mère à 1 molécule d'ADN par chromosome	→	1 cellule mère à 2 molécules d'ADN identiques par chromosome	→	2 cellules-filles à 1 molécule d'ADN par chromosome
G_1	S	G_2	M	G_1

Chaque cellule-fille reçoit donc des molécules d'ADN identiques, c'est-à-dire la même information génétique.

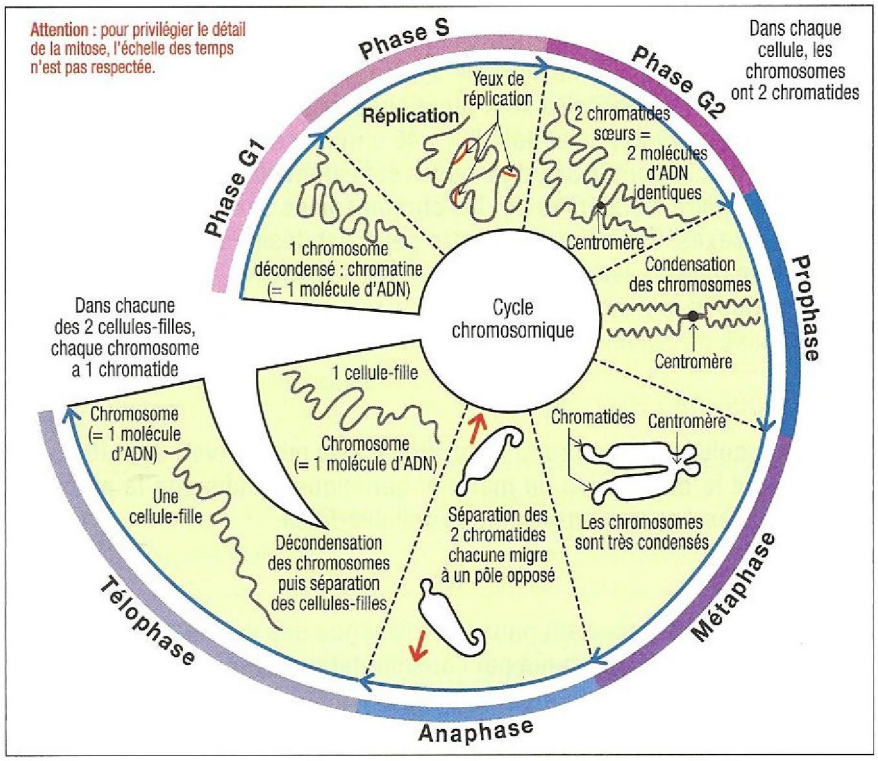
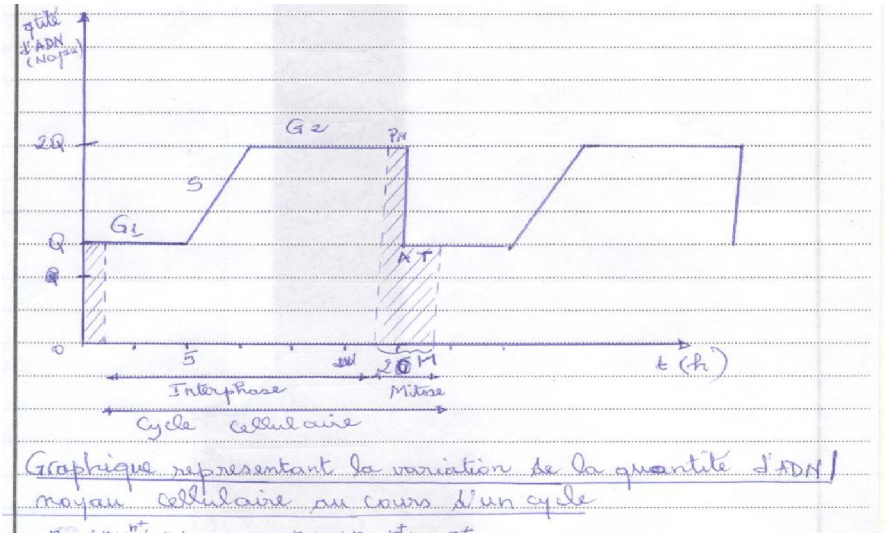


Schéma récapitulatif du cycle cellulaire.

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

On sait que chez un individu, la quantité d'ADN est la même dans toutes les cellules sauf dans les gamètes, les hématies, les cellules musculaires, les cellules du foie. Si on dose cette quantité d'ADN dans le noyau de la cellule au repos puis en cours de mitose les résultats émis donnent le graphe suivant :



Graphique représentant la variation de la quantité d'ADN/ noyau cellulaire au cours d'un cycle

La cellule qui se divise régulièrement effectue un cycle divisé en deux phases : une phase de repos apparent au cours de laquelle la cellule ne se divise pas (interphase) et une phase de mitose au cours de la laquelle la cellule se divise : c'est le cycle cellulaire.

La phase de repos appelée interphase correspond à la grande partie du cycle. Entre deux interphases on a une mitose. L'interphase est scindée en trois phases : G_1, S, G_2

Les cellules issues d'une mitose contiennent une quantité Q d'ADN égale à la moitié de la quantité 2Q d'ADN de la cellule qui leur a donné naissance ou cellule mère.

- Chacune de ces cellules ou cellules filles entre en interphase. Au début de l'interphase, la quantité d'ADN ne varie pas, la cellule est en première phase de croissance ; c'est la phase G_1, pendant laquelle la cellule emmagasine les nutriments nécessaires à sa division.
- A la fin de cette première phase, la cellule synthétise de l'ADN, des protéines. Cela correspond à la phase de synthèse ou phase S. La Cellule ($\subset$) double sa quantité d'ADN qui passe d'une quantité Q d'ADN à une quantité 2 Q d'ADN.
- Cette phase G_1 est suivie d'une 2ème phase de croissance cellulaire ou phase G_2 au cours de laquelle la $\subset$ conserve une quantité 2Q d'ADN. Ce n'est qu'à la fin de cette phase que la cellule est apte à se diviser. La division cellulaire réalise donc un partage équitable de la quantité d'ADN qui passe à Q d'ADN dans chaque $\subset$ fille.

4) Réplication de l'ADN

a) Mécanisme de la réplication

Chaque $\subset$ fille à la fin de la mitose a la même quantité d'ADN mais aussi le même message génétique.

La transformation intégrale du message est rendue possible par un mécanisme de réplication.

La réplication est la synthèse de l'ADN pendant la phase S de l'interphase. Elle est la propriété pour une molécule d'ADN de donner naissance a deux molécules filles identiques entre elles et avec la molécule mère.

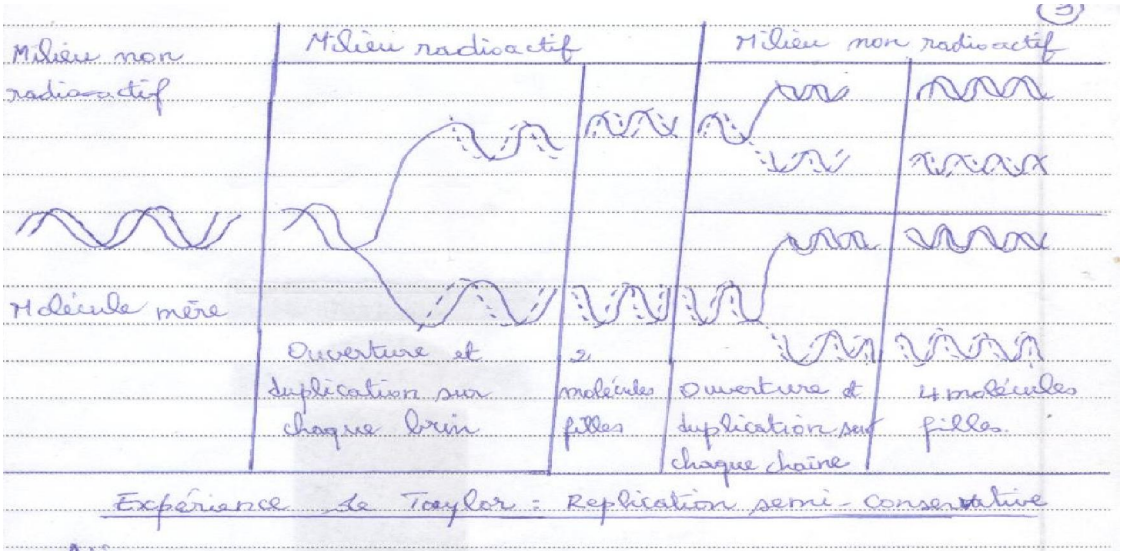
La duplication est le fait que le brin d'ADN se dédouble. Pour expliquer le mécanisme de la réplication de l'ADN plusieurs hypothèses ont été émises parmi lesquelles :

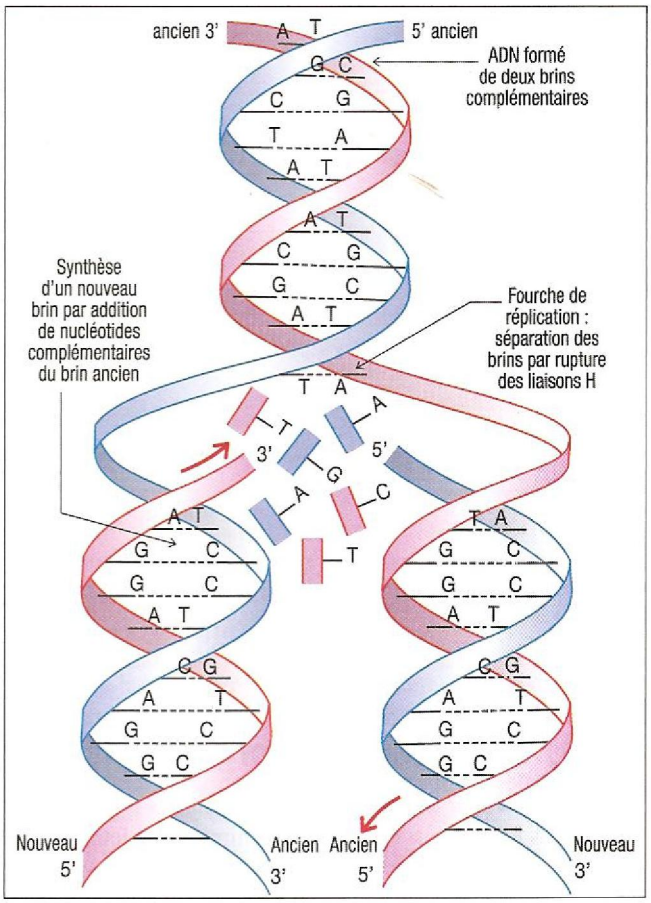
La réplication conservative et la réplication semi-conservative.

b) L'expérience de Taylor

Pour déterminer le mode de réplication de la molécule d'ADN, Taylor a réalisé l'expérience suivante. Il cultive de jeunes racines de fèves sur un milieu contenant de la Thymidine tritiée (marquée par le tritium 3H). Pour

mieux observer, il ajoute de la colchicine (substance qui empêche la séparation des chromosomes et la division cellulaire). Il maintient les cellules durant un temps égal à un cycle cellulaire. Les racines sont soigneusement lavées et transférées dans un milieu non radio actif. Les résultats obtenus sont les suivants :





Document 12 : réplication semi-conservative de l'ADN.

c) Interprétation

L'expérience de Taylor montre que la réplication se fait selon le modèle semi-conservatif, c'est-à-dire que chaque molécule fille hérite d'une chaine provenant de la molécule mère qui sert de plan de construction pour la synthèse de la deuxième chaine complémentaire. Elle incorpore les nucléotides présents dans le milieu sous la dépendance d'enzyme comme l'ADN polymérase.

Le fait que chaque cellule fille, à la fin de la mitose, a la même quantité d'ADN et la même information génétique que la cellule mère nous permet de dire que la mitose est une reproduction conforme.

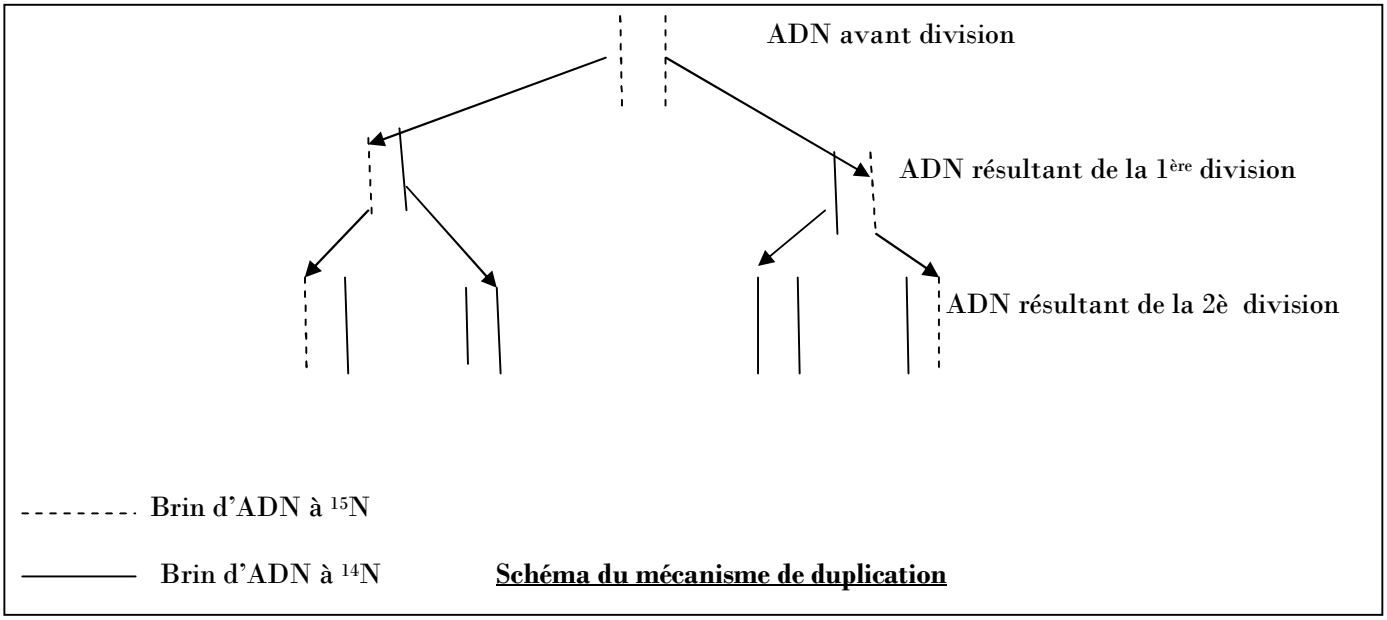


Schéma du mécanisme de duplication

Remarque : Expérience de Meselson et Stahl :

G_0= 0% (léger) radioactif, lourd 100% ; G_1=100% ADN hybride ; G_2=50% hybride; 50% léger

G_3=25% hybride; 75% Léger

D. Déterminisme et importance

1) Déterminisme

Parmi les facteurs qui déterminent l'entrée en division d'une cellule on peut citer :

- Le RNP

$$\text{Le RNP} = \frac{\text{Volume du noyau}}{\text{Volume du cytoplasme}} \} \text{ Rapport nucléoplasmique}$$

Lorsque le RNP diminue cela veut dire que le volume du cytoplasme augmente plus vite que celui du noyau : il y a mitose.

Lorsque le RNP augmente, il n'y a pas mitose, parce que le volume du noyau augmente plus vite que celui du cytoplasme.

Entre deux mitoses, une cellule augmente en volume nucléoplasmique et cytoplasmique. Elle devient alors incapable de contrôler un tel volume de cytoplasme devenu important et la cellule entre en division. La mitose tend alors à maintenir le RNP à une valeur la plus stable possible.

- Le cytoplasme intervient également en émettant alors un signal chimique qui déclenche la mitose : ce sont les signaux cytoplasmiques. En témoignent ces deux expériences :

*** L'expérience de Hertwig (1908) :** Si on ampute régulièrement un morceau de cytoplasme d'une amibe, elle ne se divise pas. Ce qui confirme l'existence d'un rapport idéal entre le volume cytoplasmique et le volume nucléaire.

* Si on fusionne deux cellules ayant des rythmes de division différents, la cellule hybride se divise au rythme de la cellule la plus rapide. Le cytoplasme contient une substance chimique qui déclenche la mitose.

- La mitose se produit, si la cellule dispose d'une quantité suffisante de réserves alimentaires et d'espace vitale.

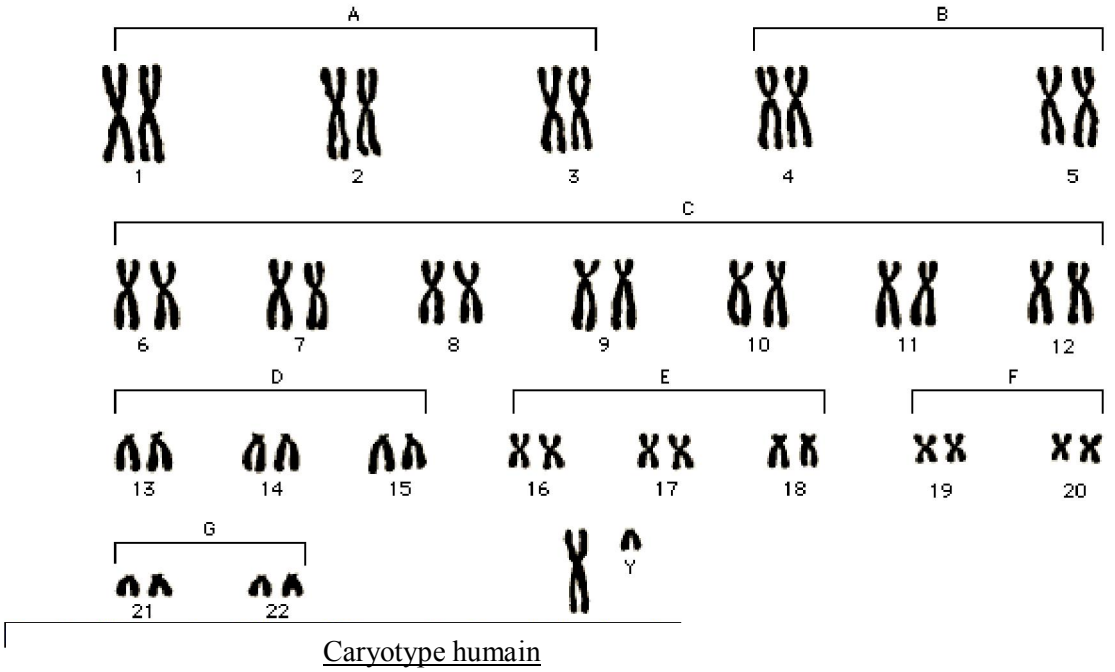
- De nombreuses hormones (sexuelles, hypophysaires, thyroïdiennes) sont des facteurs stimulants la croissance donc la mitose.

- On admet l'existence d'un « facteur signal » qui serait lié à l'existence d'un virus intégré qui déclencherait la duplication de l'ADN.

Les divisions cellulaires sont sous le contrôle de certaines corrélations établies entre elles et certains tissus. Dans certaines divisions, ces corrélations échappent partiellement au contrôle de l'organisme. Elles deviennent anarchiques et aboutissent à la formation de cancer.

2) Importance

Les mitoses maintiennent la constance du nombre et de la structure des chromosomes dans toutes les cellules de l'organisme. Cette constance existe pour tous les êtres appartenant à une même espèce. Les mitoses permettent la construction de nouveaux tissus, l'embryogénèse, le renouvellement des tissus usés, la cicatrisation des plaies et blessures. Certaines cellules ne sont pas concernées par la mitose : les cellules nerveuses, les hématies, les cellules musculaires… La mitose est une forme de reproduction pour les êtres unicellulaires.



Caryotype humain

Remarque

Pour établir un caryotype, on bloque la mitose à la métaphase en utilisant la colchicine puis on provoque un choc osmotique pour éparpiller les chromosomes ; on photographie les chromosomes et on les dispose en fonction de leur taille, leur forme… de façon décroissante.

Exercice sur la mitose

I. Complète le tableau suivant :

Durée (UA)	t_0 à t_1	t_1 à t_2	t_2 à t_3	t_3 à t_4	t_4 à t_5	t_5 à t_6	t_6 à t_7
Phases du cycle	G_1	S	G_2	Prophase	Métaphase	Anaphase	Fin Télophase
Nbre de lot de chrxs	1	1	1	1	1	2	1
Nbre de chromatides par chrxs	1	2	2	2	2	1	1
Nbre de chrxs par lot dans le cas d'une cellule à 2n=6 chrxs	6	6	6	6	6	6	6
Quantité d'ADN (x) par lot	x	2x	2x	2x	2x	X	X

II. Déterminisme de la mitose. On a recours à une technique moderne qui consiste à faire fusionner 2 cellules appartenant à des espèces différentes :

1. Les cellules de Hamster ont une phase G1 plus courte que la phase G1 de souris. Cependant quand une cellule mixte résultant de la fusion d'une cellule de Hamster et d'une cellule de souris est constituée, on constate que les deux noyaux entrent en mitose simultanément alors que le noyau de la cellule de souris aurait dû normalement le faire plus tard.

2. On greffe chez le crapaud, un noyau d'un neurone (cellule qui ne présente plus de mitose) dans le cytoplasme d'une cellule d'embryon (à rythme élevé de mitose). Le noyau du neurone passe en phase S et parfois en mitose.

En utilisant vos connaissances, émettez une hypothèse permettant d'expliquer ces faits.

Corrigé exo II

Ces résultats expérimentaux ont en commun le fait qu'une cellule en mitose déclenche celle d'une autre cellule qui normalement aurait dû se diviser plus tard (1) ou qui était incapable de le faire (2).
On peut donc émettre l'hypothèse de l'existence d'un signal chimique qui déclencherait les remaniements nucléaires préludant à la mitose.

DEUXIÈME PARTIE : LA REPRODUCTION
CHAPITRE I : ANATOMIE DES APPAREILS GÉNITAUX

A. Organisation de l'appareil génital
I. L'appareil génital mâle

Il comprend les glandes génitales, les voies génitales et l'organe externe.

1) Les glandes génitales
Elles comprennent :
- les deux testicules ou gonades : ils sont logés dans la bourse ou scrotum. Ils étaient logés dans la cavité abdominale de l'embryon. L'examen microscopique du testicule montre :
* une membrane épaisse entourant le testicule ;
* des Lobules testiculaires séparés les uns des autres par des cloisons conjonctives fines. Chaque lobule renferme des tubes pelotonnés appelés tubes séminifères.
* le peu d'espace entre les tubes est occupé par un tissu conjonctif contenant des capillaires sanguins, des grosses cellules appelées cellules interstitielles ou cellules de Leydig.

Les tubes séminifères constituent le testicule exocrine c'est-à-dire que c'est à l'intérieur que se forment les spermatozoïdes.

L'observation plus détaillée montre que la paroi de chaque tube séminifère est formée de cellules à différents stades de formation des spermatozoïdes.

L'ensemble des stades observés au cours de la formation du spermatozoïde forme la lignée germinale. Cette lignée germinale permet de reconnaître depuis la périphérie vers la lumière du tube toutes les étapes de la spermatogénèse. On a une formation centripète. La lumière du tube est occupée par les flagelles.

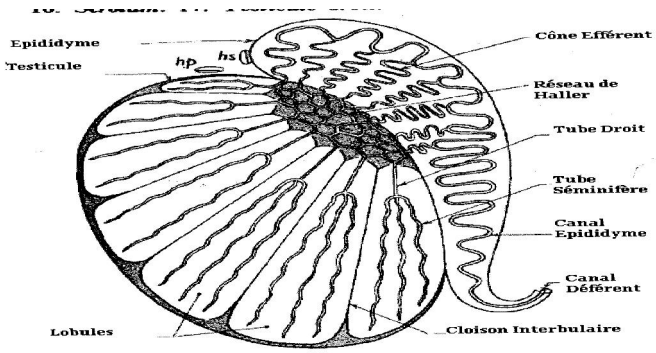
Les cellules interstitielles ou cellules de Leydig forment le testicule endocrine. Elles sont responsables de la production d'hormones (testostérone). Les cellules de sertoli sont chargées de nourrir les cellules germinales.

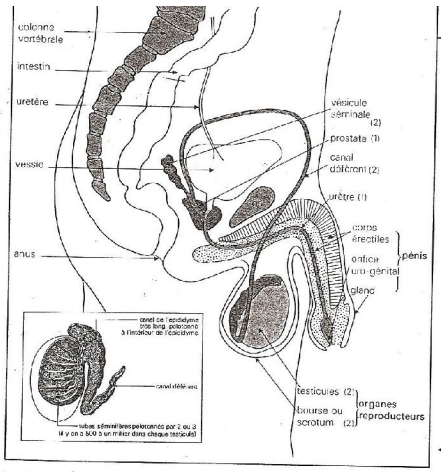
- Les glandes annexes sont les 2 vésicules séminales (production et nutrition), la prostate et chez l'homme la glande de Cooper. Elles sont reliées aux voies génitales.

2) Les voies génitales ou gonoductes
- les épididymes qui sont de fins conduits appliqués contre les testicules. Ils reçoivent les spermatozoïdes élaborés par les testicules. Ils permettent le stockage et la maturation des spermatozoïdes.
- Les canaux déférents ou spermiductes : chaque épididyme se prolonge par un canal très fin appelé canal déférent ou spermiductes. Ces canaux sont chargés de transporter les spermatozoïdes vers les glandes annexes (vésicules séminales) ou a lieu la formation du sperme.
- L'urètre ou l'uro-spermiductes : les deux spermiductes s'unissent au niveau de la prostate en un seul canal qui communique avec le canal urinaire. C'est la voie commune au sperme et à l'urine.

3) L'organe externe
L'organe externe est le pénis ou la verge. C'est l'organe d'accouplement du mâle. Il est constitué de tissus érectiles qui sont les corps caverneux et les corps spongieux qui sont capables de recevoir un flux sanguin important au moment de l'érection. Le pénis s'allonge, devient dur et rigide. On dit qu'il entre en érection. Le pénis est donc un organe érectile, sensible, source d'excitation et de plaisir. L'érection est un acte reflexe, indispensable au déroulement de l'accouplement donc de la fécondation.

Le prépuce est une fine peau qui recouvre le gland et qui est excisé lors de la circoncision.



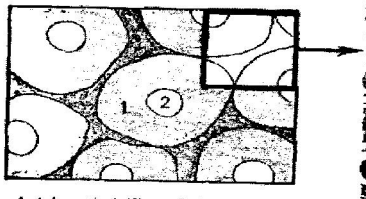


◄ ■ *Appareil génital de l'homme.*
■ *Structure du testicule.*

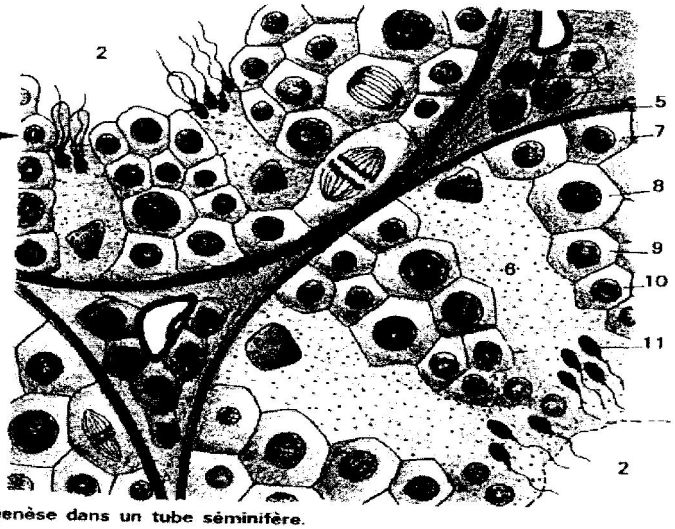
La fonction de reproduction est assurée par les appareils génitaux qui comportent des gonades (testicules et ovaires) et des voies génitales (2 spermiductes, 1 urètre chez l'homme, 2 trompes, 1 utérus et 1 vagin chez la femme).

Les testicules produisent, de façon continue depuis la puberté, de nombreux spermatozoïdes. Les ovaires expulsent généralement, de la puberté à la ménopause, un ovocyte à chaque cycle ovarien.

somes) :
– la **différenciation** des spermatides en spermatozoïdes ou spermiogenèse.



1 - tube séminifère. 2 - lumières des tubes. 3 - cellules interstitielles (cellules de Leydig). 4 - vaisseau sanguin. 5 - enveloppe conjonctive d'un tube séminifère. 6 - cellule de Sertoli. 7 à 11 : **les étapes successives de la spermatogenèse.** 7 - spermatogonie. 8 - spermatocyte I. 9 spermatocyte II. 10 spermatide. 11 - spermatozoïde.



Le déroulement de la spermatogenèse dans un tube séminifère.

II. APPAREIL GENITAL DE LA FEMME

1. Glandes génitales

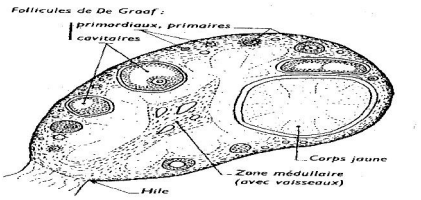
Elles sont représentées par les ovaires, qui sont de petites tailles, enrobés de tissu adipeux et de ce fait peu visibles. Elles produisent des ovules et sécrètent des hormones (estrogènes et progestérones).

On note la présence des glandes de Bartholin chez la femme, l'homologue des glandes de cooper chez le garçon.

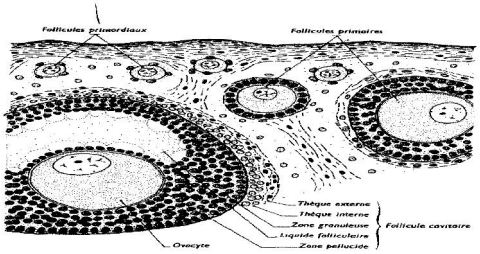
Il n'existe pas de différence fondamentale entre les ovaires de mammifères. La coupe schématique d'ovaires de Lapine montre au très faible grossissement deux régions :

-la zone médullaire qui est essentiellement constituée de tissu conjonctif lâche parcouru de vaisseaux sanguins.

-une zone corticale ou cortex ovarien qui contient des éléments de formes sphériques, de tailles variables, entourées de tissu conjonctif et appelés follicules. Dans chaque follicule évolue un gamète femelle et des cellules folliculaires chargées de nourrir, d'entretenir l'ovule et de produire d'hormones.



Coupe d'un Ovaire de la lapine



Ovaire de lapine : coupe partielle très grosse

2. Voies génitales

Les ovaires se trouvent chacun au voisinage d'un pavillon au bord dentelé (qui capte l'ovule (ou ovocyte) expulsée) qui se prolonge par un conduit appelé oviducte d'où a lieu la fécondation. L'ensemble pavillon-oviducte constitue la trompe utérine ou trompe de Fallope ou corne utérine dont la paroi musculaire est tapissée intérieurement de cellules munies de cils. Les trompes débouchent dans un organe appelé utérus ou matrice. Cet organe est un muscle creux, il comprend : le corps de l'utérus et le col de l'utérus qui fait saillie dans le vagin. La paroi de l'utérus est constituée de trois parties :

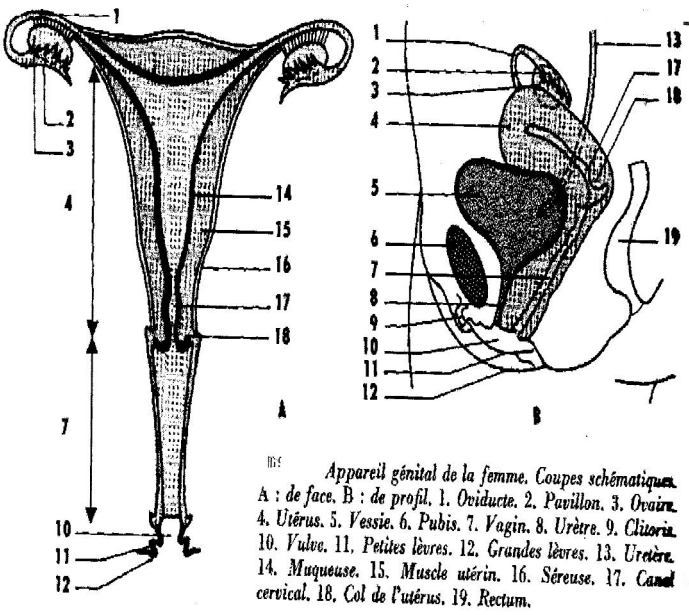
* la couche externe ou séreuse ;
* la couche moyenne ou musculeuse ou myomètre qui est l'objet de contraction ;
* la couche superficielle riche en glande qui est la muqueuse utérine ou endomètre.

3) Les organes annexes

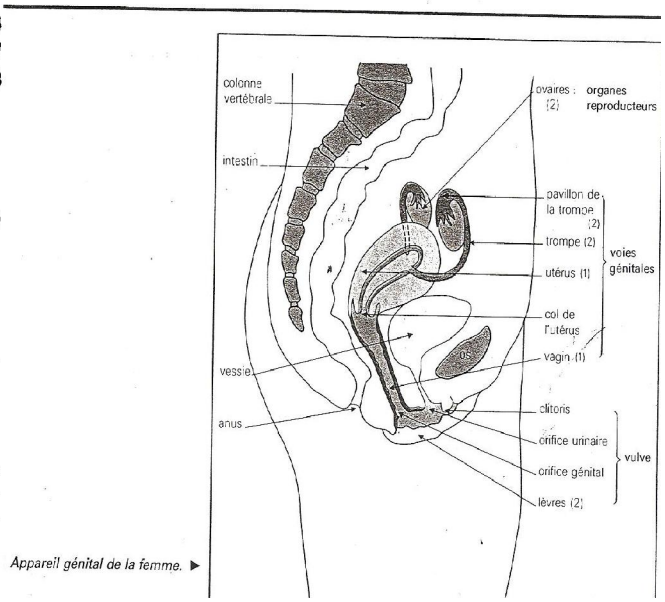
- Le vagin est l'organe d'accouplement, il est souple et s'insère en haut sur le col de l'utérus et s'ouvre au niveau de la vulve.
- La vulve est limitée par les replis de la peau et donnent latéralement les petites lèvres doublées extérieurement des grandes lèvres.
- Le clitoris est situé en avant de l'orifice urinaire. C'est un organe érectile, qui est source d'excitation et de plaisir.
- L'hymen est une fine membrane qui protège l'orifice du vagin d'où la virginité.

Remarque :

L'orifice urinaire est séparé de l'orifice génital au niveau du vestibule.



Appareil génital de la femme. Coupes schématiques. A : de face. B : de profil. 1. Oviducte. 2. Pavillon. 3. Ovaire. 4. Utérus. 5. Vessie. 6. Pubis. 7. Vagin. 8. Urètre. 9. Clitoris. 10. Vulve. 11. Petites lèvres. 12. Grandes lèvres. 13. Uretère. 14. Muqueuse. 15. Muscle utérin. 16. Séreuse. 17. Canal cervical. 18. Col de l'utérus. 19. Rectum.



Appareil génital de la femme. ▶

III. Les gamètes

1) Notion de gamètes

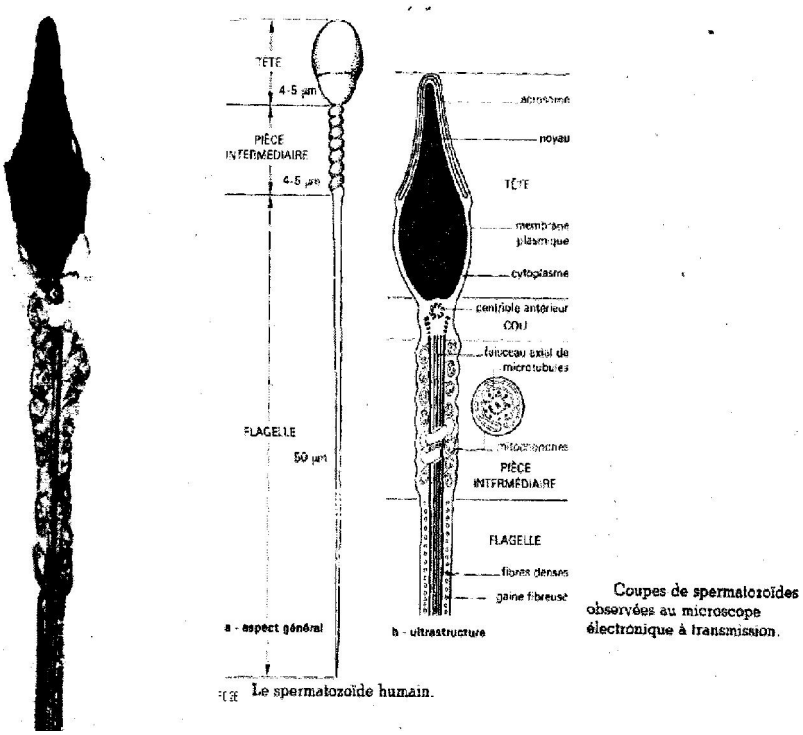
Les gamètes sont des cellules reproductrices qui sont produites par les gonades ou glandes génitales : les testicules et les ovaires.

Ils sont haploïdes et de deux types. Le spermatozoïde et l'ovule.

2) Le gamète mâle ou spermatozoïde

C'est une cellule de petite taille, mobile grâce à son flagelle environ 50 à 70µm de long et ayant une vitesse de 2cm/h. La durée de vie des spermatozoïdes à l'intérieur du canal éjaculateur est de 2 mois environ. Le nombre de spermatozoïde par éjaculat est de 60 millions environ Chaque spermatozoïde comprend :

- la tête constituée par un noyau volumineux, un cytoplasme très mince dont une partie s'en détache pour former l'acrosome qui contient des vésicules bourrées d'enzymes (protéines) ;
- la pièce intermédiaire dans laquelle se trouve des mitochondries et deux centrioles ;
- la queue ou flagelle entourée sur une partie de sa longueur par une gaine de cytoplasme. Le cytoplasme est pauvre en réserve nutritive et en eau. Cette pauvreté relative en eau confère à la cellule une plus grande longévité (3 à 7 jours).

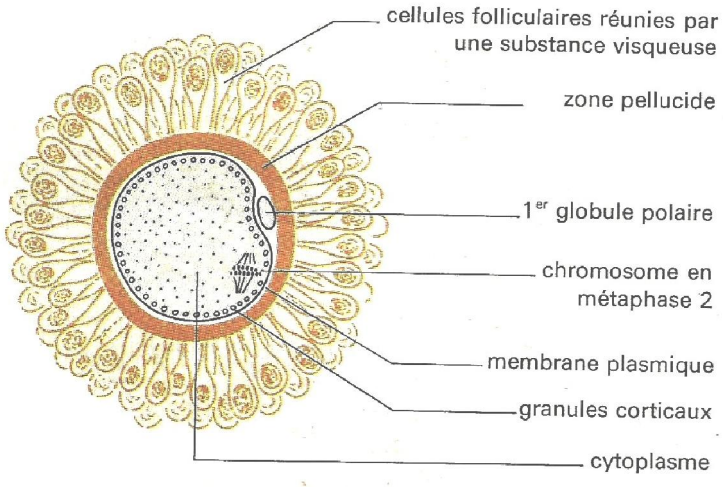


Le spermatozoïde humain.

Coupes de spermatozoïdes observées au microscope électronique à transmission.

3) Le gamète femelle ou ovule

L'ovule est une grosse cellule sphérique, immobile au cytoplasme abondant, riche en réserves nutritives appelés vitellus et en eau. Ce qui lui donne une longévité plus courte que celle du spermatozoïde.



32. Schéma d'un gamète femelle.

Chapitre II : MEIOSE ET GAMETOGENESE

I. La méiose

1. Définitions

La méiose est le mode de division par lequel une cellule animale ou végétale à 2n chromosomes et 2Q quantité d'ADN donne naissance à quatre cellules filles à n chromosomes chacune et Q quantité d'ADN. Elle affecte les cellules germinales. Elle comporte deux divisions successives avec les mêmes phases que chez une mitose normale.

- Une division réductionnelle ou héterotypique au cours de laquelle la cellule initiale à 2n chromosomes et 2 chromatides et 2Q quantité d'ADN engendre deux cellules filles à n chromosomes et 2 chromatides et 2Q quantité d'ADN.
- Une division équationnelle ou homotypique au cours de laquelle chaque cellule fille à n chromosomes et 2 chromatides à 2Q quantité d'ADN engendre 2 cellules filles chacune à n chromosomes et une chromatide et Q quantité d'ADN.

2. Etapes de la méiose

a) Mitose réductionnelle

Elle comprend quatre phrases :

☞ **prophase I**

La prophase I est longue et complexe. Elle est subdivisée en différents stades suivant l'aspect pris par les chromosomes. Les chromosomes apparaissent d'abord comme des filaments très minces formés de 2 chromatides. Les chromosomes homologues appelés bivalents s'associent point par point sur toute leur longueur et constituent des tétrades.

Après épaississement des chromosomes, l'appariement devient plus lâche. Il ne subsiste que quelques chevauchement ou enjambement appelé chiasmas ou crossing-over qui sont bien visibles en début de métaphase. Pendant la prophase, il se produit également les mêmes phénomènes mentionnés en début de mitose (prophase de mitose), à savoir : le dédoublement du centrosome, la formation d'une ébauche de fuseau de division, la disparition des organites et de l'enveloppe nucléaire, les asters amorcent leur migration vers les pôles, la formation des calottes polaires chez la cellule végétale.

Schéma d'une cellule à 2n=4

☞ **Métaphase I**

Toutes les tétrades se trouvent dans le plan équatorial, les centromères sont situés de part et d'autre du plan. Seuls les chiasmas sont sur le plan médian. Ce qui forme la plaque équatoriale.

Schéma d'une cellule à 2n=4

☞ **Anaphase I**

Les centromères ne se fissurent pas, mais les chromosomes fissurés de chaque bivalent se séparent au niveau des chiasmas et migrent vers les deux pôles opposés de la cellule. Il se constitue à chaque pôle, un lot haploïde de chromosomes. Il arrive qu'au début de leur séparation les chromatides homologues s'échangent des segments : c'est le phénomène de crossing over.

Schéma d'une cellule à 2n=4

☞ **Télophase I**

Les n chromosomes fissurés se rassemblent aux pôles, deux membranes nucléaires se forment autour de chaque lot haploïde de chromosomes. Le cytoplasme se cloisonne pour diviser la cellule initiale en deux cellules haploïdes. Il n'y aura pas de despiralisation comme dans les télophases de mitose simple. Il n'y aura pas d'interphase au vrai sens du terme. Les deux cellules filles entrent immédiatement en deuxième division de méiose ou division équationnelle.

Schéma d'une cellule à 2n=4

b) Division équationnelle

☞ **Prophase II**

Les chromosomes sont en vrac dans chaque ⊄. Les asters se dédoublent et amorcent leur migration vers les deux pôles opposés de la ⊄. Dans chaque ⊄, l'enveloppe nucléaire disparaît et le fuseau achromatique se forme.

Schéma d'une cellule à 2n=4

☞ **Métaphase II**

Les centromères des n chromosomes fissurés (à 2 chromatides) se disposent dans le plan équatorial du fuseau de division pour former la plaque équatoriale.

Schéma d'une cellule à 2n=4

☞ **Anaphase II**

Les centrosomes se clivent et libèrent les chromosomes fils. Les deux lots de chromosomes migrent en glissant par leur centromère vers les deux pôles opposés de chaque ⊄ haploïde.

Schéma d'une cellule à 2n=4

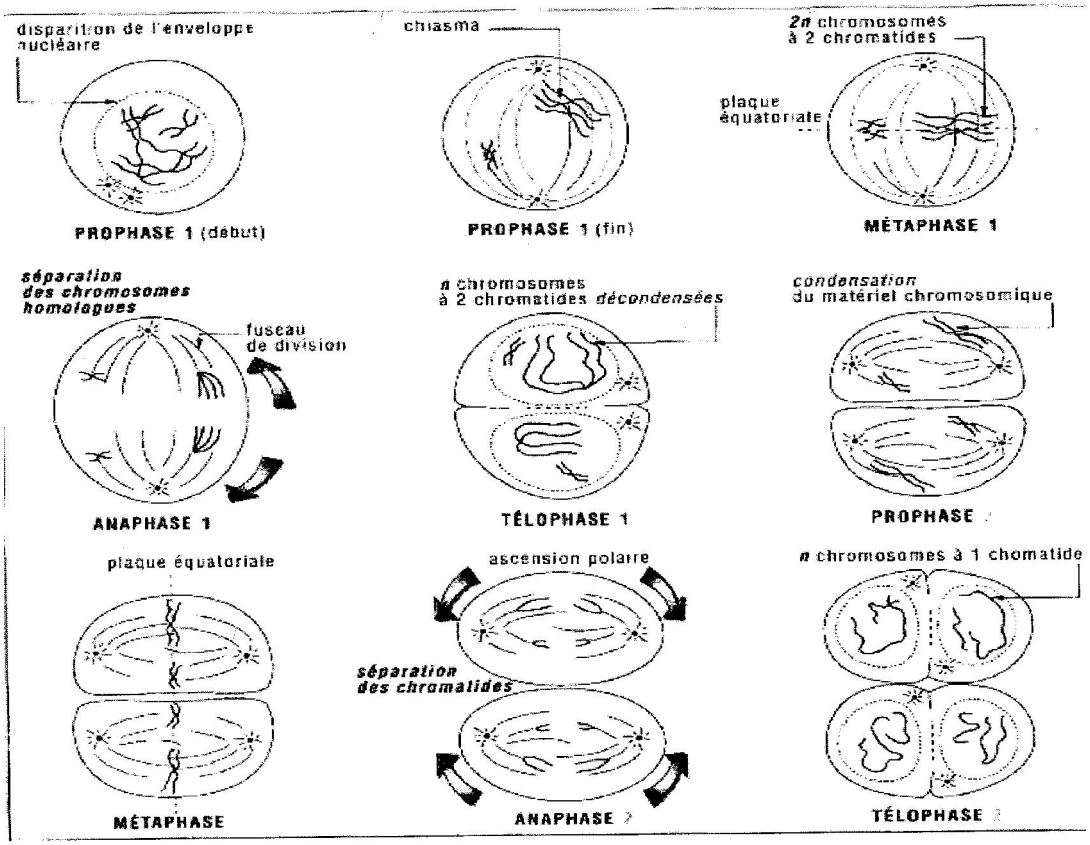
☞ **Télophase II**

Les chromosomes se despiralisent, les nucléoles réapparaissent ainsi que les organites, la membrane nucléaire se forme, le cytoplasme se cloisonne.

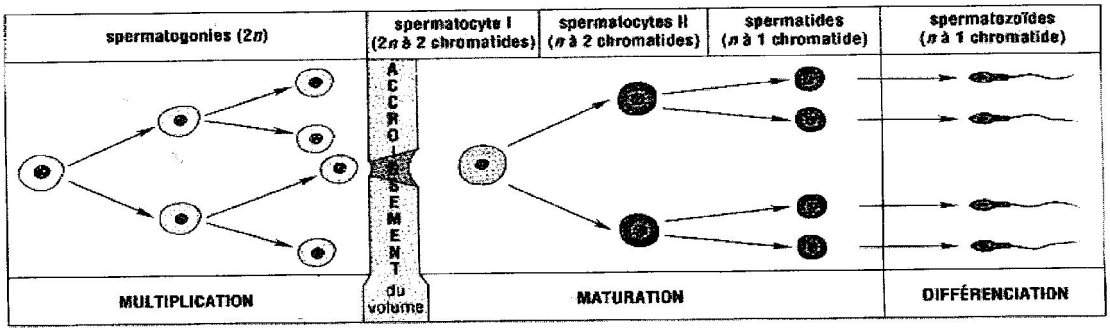
Chaque cellule haploïde résultante de la première division de méiose se divise également en deux cellules haploïdes.

Schéma d'une cellule à 2n=4

Rq : la division équationnelle est identique à une mitose simple.



Les étapes de la méiose

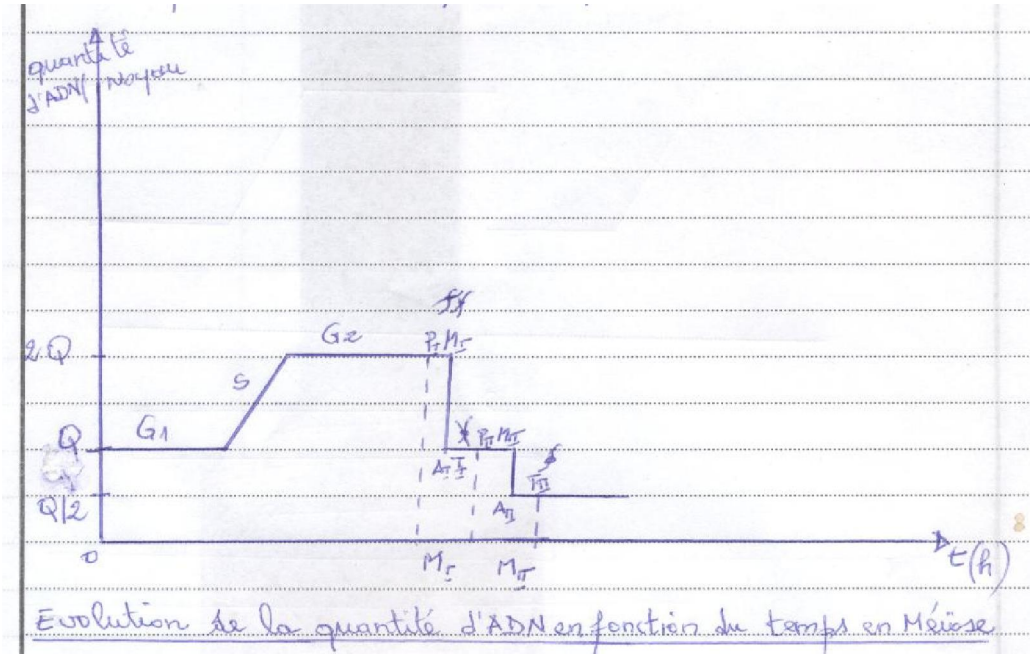


Les différentes étapes de la spermatogenèse à partir de la puberté.

Ovogenèse

3) Aspect biochimique : Evolution des chromosomes et de la quantité d'ADN

La méiose conduit à la formation à partir d'une cellule à 2n chromosomes, à 4 cellules à n chromosomes. Pour l'ensemble des 2 divisions il n'y a qu'une seule phase de synthèse S de l'ADN. Il n'y a donc qu'une seule réplication de l'ADN pour deux disjonctions successives des chromosomes lors des anaphases.



Evolution de la quantité d'ADN en fonction du temps en Méiose

	Cellule mère G_1	Cellule mère G_2	Mitose Réductionnelle	2 ¢ filles à	Mitose équationnelle	4 ¢filles à
nombre de chromosome	2n	2n		n		n
Nombre de chromatide / chromosome	1	2		2		1
Quantité Q d'ADN	2Q	4Q		2 Q		Q

4) Importance de la méiose

La méiose est un phénomène de régulation qui rend possible la reproduction sexuée. L'organisme animal ou végétal est diploïde, c'est-à-dire que la cellule possède 2n chromosomes. La réduction du nombre de chromosome à n au niveau des gamètes permet à la fécondation d'avoir 2n chromosomes.

Elle assure un brassage intrachromosomique au cours d'échange de segment de chromatides homologues ou crossing-over.

La méiose assure une ségrégation aléatoire ou brassage interchromosomique ou disjonction ou séparation des chromosomes d'origine paternelle et maternelle.

5) Anomalies

Comme anomalies nous avons la formation des gamètes à n +1 ou n – 1. Ce qui va entrainer la formation de :

Polyploïde (2n + 1…)

Aneuploïde (2n-1)

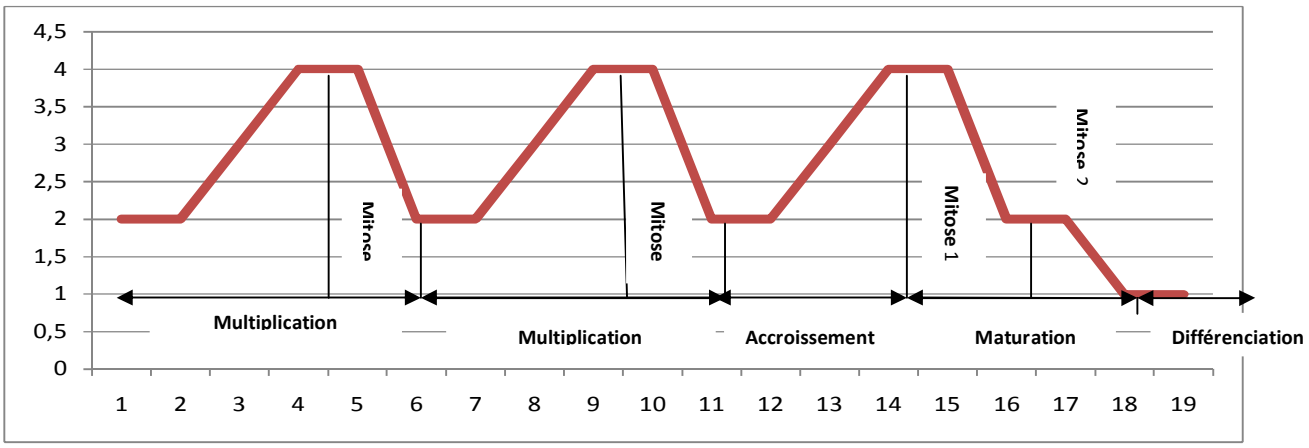
Quand l'anomalie concerne une partie importante d'un chromosome ou tout le chromosome on parle d'aberration chromosomique.

6) Comparaison mitose et méiose

Mitose	Méiose
4 étapes : prophase, métaphase, anaphase et télophase	
✓ **1 cellule mère à 2n chromosomes et 2Q d'ADN donne 2 cellules filles ;** ✓ **Reproduction conforme ;** ✓ **1 seule division ;** ✓ **¢ somatiques et les ¢ mères germinales**	✓1 cellule mère à 2n chromosomes et 2Q d'ADN donne 4 cellules haploïdes (n chromosomes) ; ✓ Obtention d'individus recombinés à partir des gamètes recombinés (crossing over) : reproduction non conforme ✓ 2 divisions, pas de despiralisation entre les 2 mitoses ; ✓ Formation de bivalents (tétrades) avec des chromosomes homologues ; ✓ Cellules germinales

II Gamétogenèse

La gamétogenèse est la formation des gamètes. Chez l'homme elle se déroule dans les glandes génitales à savoir les testicules et les ovaires.



Evolution de la quantité d'ADN lors de la gamétogénèse

1) Spermatogenèse

C'est la formation des spermatozoïdes, qui a lieu dans les testicules (tubes séminifères). L'observation d'une coupe transversale d'un testicule montre une lignée germinale à formation centripète contenant 4 étapes :

a) Multiplication ou prolifération :

Les cellules mères des spermatozoïdes ou spermatogonies souches qui sont des ♂ à 2n chromosomes se multiplient activement par mitose engendrant ainsi de nombreuses ♂ appelées spermatogonies (2n).

b) Accroissement :

Elle commence à la puberté et se poursuit jusqu'à la mort de l'individu. Les spermatogonies s'accroissent, c'est-à-dire augmentent en taille, leur noyau devient diffu et prend une forme filamenteuse. On obtient des spermatocytes de 1er ordre ou spermatocytes I (2n).

c) Maturation :

Chaque spermatocyte I subit la méiose. La division réductionnelle aboutit à la formation des ♂ haploïdes qui sont des spermatocytes II ou spermatocytes de 2ème ordre. Ils ont une durée de vie très brève. Les spermatocytes II subissent la division équationnelle pour donner naissance à des spermatides (n).

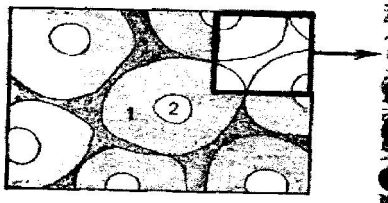
d) Différenciation ou spermiogénèse :

Sans se diviser, chaque spermatide se transforme progressivement en une petite ♂ flagellée : le spermatozoïde. Cette phase se caractérise par :

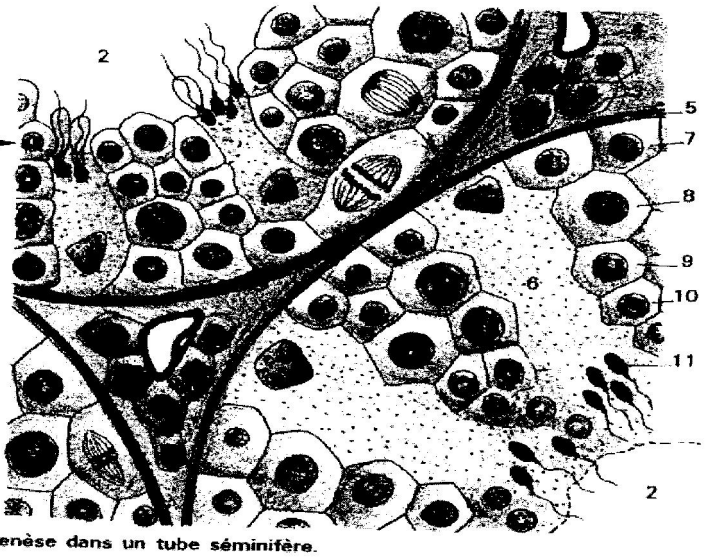
- ♣ la différenciation d'un flagelle ;
- ♣ l'élimination d'une grande partie du cytoplasme ;
- ♣ les vésicules golgiennes se fusionnent pour donner l'acrosome qui coiffe le noyau ;
- ♣ le noyau prend une forme ovoïde, aplatie et la condensation de la chromatine ;
- ♣ le centrosome gagne le pôle opposé à l'acrosome, se divise et forme le flagelle le long duquel s'étire le cytoplasme ;
- ♣ les mitochondries s'enroulent autour du flagelle (pièce intermédiaire).

La libération des spermatozoïdes s'accomplit à tout moment, en de nombreux endroits du tube séminifère. La spermatogenèse est un phénomène continu depuis la puberté jusqu'à la mort sauf qu'avec l'âge on note une diminution progressive en quantité et en qualité (andropause). Les spermatozoïdes vont poursuivre leur formation dans l'épididyme, les vésicules séminales et l'appareil génital femelle (capacitation= c'est la synthèse d'enzymes qui seront stockées dans l'acrosome et utilisées pour la lyse de la membrane ovocytaire). La spermatogénèse aboutit à la formation de 4 cellules haploïdes. La durée de formation des spermatozoïdes est d'environ 75 jours. La durée de vie des spermatozoïdes dans les voies génitales mâles (vésicules séminales) est d'environ 2 mois. A l'extérieur sa durée de vie moyenne est de 3 à 5 jours.

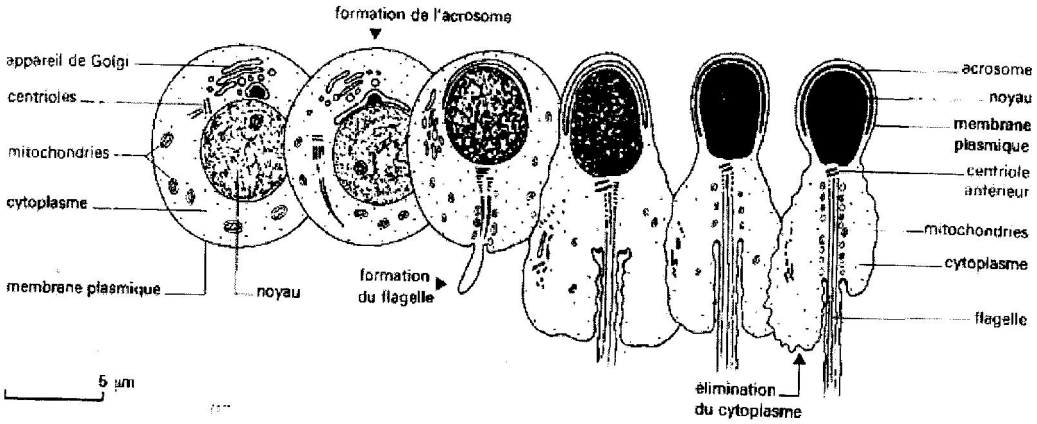
somes) :
– la **différenciation** des spermatides en spermatozoïdes ou spermiogenèse.



1 - tube séminifère. 2 - lumières des tubes. 3 - cellules interstitielles (cellules de Leydig). 4 - vaisseau sanguin. 5 - enveloppe conjonctive d'un tube séminifère. 6 - cellule de Sertoli. 7 à 11 : **les étapes successives de la spermatogenèse.** 7 - spermatogonie. 8 - spermatocyte I. 9 - spermatocyte II. 10 - spermatide. 11 - spermatozoïde.



Le déroulement de la spermatogenèse dans un tube séminifère.



Spermiogenèses chez l'Homme (microscopie électronique).

2) Ovogenèse

C'est la formation du gamète femelle, elle se déroule dans les ovaires. Elle comprend essentiellement 3 étapes qui sont :

a) 1ère étape : Multiplication :

Chez l'espèce humaine, c'est dans les premières semaines de la vie embryonnaire que les ovaires se forment. Ils contiennent des cellules mères d'ovules. Ce sont des ♀ mères diploïdes appelées ovogonies souches. Ces ovogonies se multiplient par mitoses successives pour augmenter leur nombre. Elle est achevée vers la quinzième semaine du développement embryonnaire et les deux ovaires contiennent quelques millions d'ovogonies.

b) Deuxième étape : Accroissement :

Cette étape débute dès le 3e mois de la vie embryonnaire. Les ovogonies se développent, s'accroissent et se transforment en ovocyte I ou ovocyte de 1er ordre.

c) Troisième étape : Maturation :

Juste avant la naissance, chaque ovocyte I entame la division réductionnelle et se bloque en prophase I. Au cours de cette étape, beaucoup d'ovocyte I dégénèrent : c'est l'atrésie folliculaire ou atrésie. A tel point qu'à la naissance, il ne reste plus que 2 millions d'ovocytes I à 2n chromosomes sur les 7 millions environ au départ. Ces ovocytes I s'entourent de quelques cellules folliculaires et sont appelées follicules primordiaux. Ce blocage se maintient jusqu'à la puberté (11ans). Durant cette période de blocage, l'atrésie se poursuit. A la puberté, les deux ovaires ne contiennent plus qu'un stock de 400 à 450 ovocytes I environ. A partir de la puberté, les ovaires entrent en activité : on parle d'activité post-pubertaire. Périodiquement, en alternance dans les deux ovaires, quelques follicules primordiaux, en attente depuis la naissance, vont se développer, mais un seul atteindra le stade final et les autres dégénèrent. Juste avant l'ovulation ou ponte ovulaire, la première division de méiose amorcée par l'ovocyte I se termine et donne naissance à 2 cellules de tailles inégales. L'une d'elles, grosse conserve la quasi-totalité du cytoplasme : c'est l'ovocyte II. L'autre plus petite est appelée le premier globale polaire (GP). L'ovocyte II entame la deuxième division de méiose et se bloque en métaphase II. S'il n'y a pas de fécondation l'ovocyte II et le premier globule polaire dégénèrent. S'il y a fécondation (l'agglomération des spermatozoïdes autour de l'ovocyte II active celui-ci qui poursuit la deuxième division de méiose), la 2ème division se poursuit. L'ovocyte II expulse le 2e globule polaire et devient un ovotide haploïde qui conserve la presque totalité du cytoplasme.

d) 4e étape : Différenciation :

Elle n'existe pas car l'ovotide n'a pas à acquérir des organites de mouvement.

3) Comparaison spermatogénèse ovogénèse

A la fin de la spermatogénèse il se forme 4 cellules filles identiques tandis qu'à l'ovogénèse, il se forme trois cellules filles dont l'une est plus grande que les deux autres. Les 4 cellules filles formées à la spermatogénèse subissent une différenciation pour acquérir des « organites » de locomotion tandis que les 3 cellules filles de l'ovogénèse restent telles. La spermatogénèse est continue alors que l'ovogénèse est discontinue. La spermatogénèse commence à la puberté alors que l'ovogénese commence à la vie embryonnaire et se bloque.

Ovogénèse	**spermatogénèse**
Ovogonies	spermatogonie
Ovocyte I	spermatocyte I
Ovocyte II	spermatocyte II
Ovotide ovule	spermatide spermatozoïde
Accroissement depuis la vie	accroissement à la puberté
Embryonnaire méiose -------	méiose centré

Exercice sur la gamétogénèse : complète le tableau suivant

Gamètogénèse		**Gamète mâle**					**Gamète femelle**				
		♂ obtenue	Nbre de chrxs	Qtité d'ADN	Nbre de chromatides/chrs	Nbre de ♂	♀ obtenue	Nbre de chrxs	Qtité d'ADN	Nbre de chromatides/chrs	Nbre de ♀
Multiplication		Spermatogonies	2n	2Q	1	2	Ovogonies	2n	2Q	2	2
Accroissement		Spermatocytes I	2n	4Q	2	1	Ovocytes I	2n	4Q	2	1
Maturation	**1ère division**	Spermatocytes II	n	2Q	2	2	Ovocytes II Et le 1er Globule Polaire	n	2Q	2	2
	2è division	Spermatides	n	Q	1	4	Ovotides et le 2è Globule Polaire	n	Q	1	3 ou 4
Différenciation		Spermatozoïdes	n	Q	1	4	Ovule	n	Q	1	3 ou 4

CHAPITRE III : FONCTIONNEMENT DES ORGANES GENITAUX

I. Activité de l'appareil génital mâle

1. Activité exocrine

Elle consiste en la production du spermatozoïde plus le liquide séminal. Les spermatozoïdes sont formés à l'intérieur des tubes séminifères où les cellules de sertoli les nourrissent et permettent leur différenciation. La production du sperme qui commence à la puberté marque le début du fonctionnement des vésicules séminales, de la prostate et des glandes de cooper. Ces glandes produisent le liquide séminal qui baigne, entretient et nourrit les spermatozoïdes.

2) Activité endocrine

Le testicule endocrine est représenté par les cellules interstitielles ou cellules de Leydig. Elles sont responsables de la production de l'hormone sexuelle appelée Androgène dont la plus active est la Testostérone. Elle agit en deux temps :

- Pendant la vie embryonnaire, la testostérone est secrétée par le tractus génital mâle. Elle est responsable de la différenciation des organes génitaux mâles, c'est-à-dire des caractères sexuels primaires. (En effet, la gonade embryonnaire est un organe somatique qui sera envahi plus tard par les cellules sexuelles. Des paires de conduit appelés canaux de Muller ou canaux de Wolf accompagnent les gonades. Sous l'influence des hormones sexuelles, si ce sont des hormones sexuelles mâles, les canaux de Wolf donnent les spermiductes mais si ce sont des hormones sexuelles femelles, ils s'atrophient et les canaux de Muller se transforment en trompe utérine et en utérus.)

-A partir de la puberté, elle est secrétée par les cellules interstitielles ou cellules de Leydig et stimule l'apparition des caractères sexuels secondaires. L'ensemble de ces modifications induites par l'hormone testiculaire affecte le psychisme de l'individu, son comportement et l'ensemble de sa personnalité.

De la naissance à la puberté, la testostérone assure la migration des testicules de la cavité abdominale jusqu'au scrotum. Dans le cas contraire, l'individu souffre de la cryptorchidie et il est stérile.

3. Régulation de l'activité

Le fonctionnement de l'appareil génital mâle est sous le contrôle du système nerveux et en particulier de l'hypothalamus. Ce dernier agit par l'intermédiaire d'une glande endocrine : l'hypophyse.

L'hypophyse forme avec l'hypothalamus le complexe hypothalamo-hypophysaire. Ces deux organes sont étroitement liés par la tige pituitaire qui est très richement vascularisé.

L'hypothalamus produit une neuro-hormone appelée **RF** (releasing Factor n'ayant pas encore été bien déterminé on l'appelle facteur qui agit) ou **GnRh** (Gonadotrophin Releasing hormon ou hormone de libération des gonadotrophines hypophysaires) ou gonadolibérine ou **RH** (Realising Hormon ou libérine) qui agit sur le lobe antérieur de l'hypophyse (antéhypophyse ou adénohypophyse) pour déclencher la libération d'hormones hypophysaires ou gonadostimulines qui sont de deux sortes :

- La **FSH** (Folliculo Stmulating Hormon) ou hormone de stimulation folliculaire ou folliculostimuline qui agit sur les tubes séminifères et stimule la spermatogénèse. Les cellules de Sertoli qui jouent un rôle de soutien et de nutrition, localisées dans les tubes séminifères, sécrètent une protéine (ABP) indispensable à la fixation de la testostérone sur les tubes séminifères et testiculaires.
- **ICSH** (Intersticials cells Stimulating Hormon ou hormone de stimulation des cellules interstitielles) où LH (Luteinising Hormon ou hormone lutéinique) qui stimule la production de testostérone par les cellules de Leydig.

Rétrocontrôle : Quand le taux de testostérone (> testostéronémie = 5ng/l) devient important dans le sang, il sensibilise le complexe hypothalamo-hypophysaire et l'inhibe. L'hypothalamus cesse de stimuler l'hypophyse qui arrête la sécrétion d'hormones hypophysaires : c'est le rétrocontrôle négatif ou feed-back négatif ou contrôle retour négatif. Les

androgènes sont dégradés, il s'en suit une baisse du taux des androgènes dans le sang entrainant la levée de l'inhibition du complexe hypothalamo-hypophysaire. **L'inhibine** qui est sécrétée par les cellules du tube séminifère (épithéliocyte de soutien) lorsque la numération des spermatozoïdes est élevée. Ce qui exerce un feed-back négatif sur le complexe hypothalamo-hypophysaire.

Le mécanisme de la production des hormones est appelé rétrocontrôle négatif ou feed-back négatif.

Rq :

- ♣ il n'ya pas de rétrocontrôle positif sur le complexe hypothalamo-hypophysaire chez le mâle.
- ♣ **ABP** (Androgen Binding Protein) est la protéine de liaison. Elle est sécrétée par les épithéliocytes de soutien. Elle permet aux cellules des tubes séminifères de fixer et de concentrer la testostérone. Le complexe ABP-testostérone agit sur les cellules germinales et les spermatocytes pour favoriser la poursuite de la méiose et de la spermatogénèse. La FSH rend donc ces dernières cellules réceptives aux effets stimulateurs de la testostérone.
- ♣ La production d'hormones (FSH, LH) n'est pas cyclique comme chez la femelle.

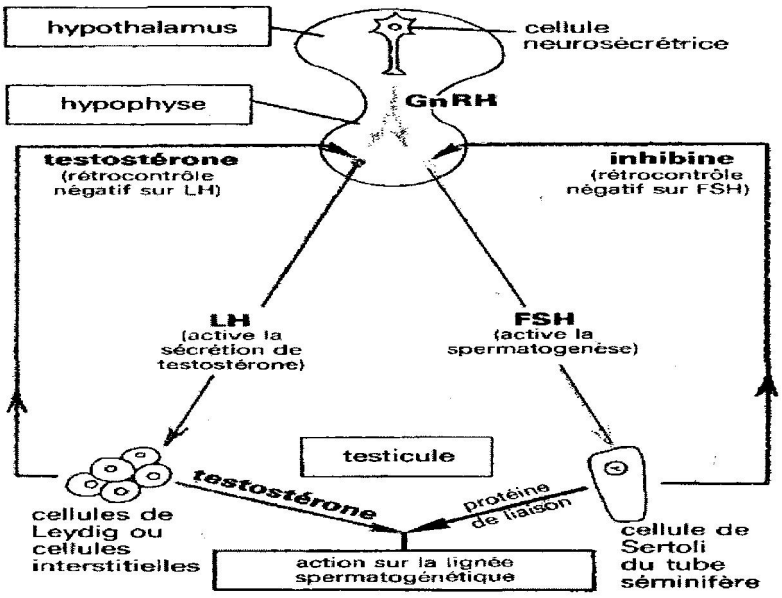


Schéma du mécanisme de la régulation hormonale

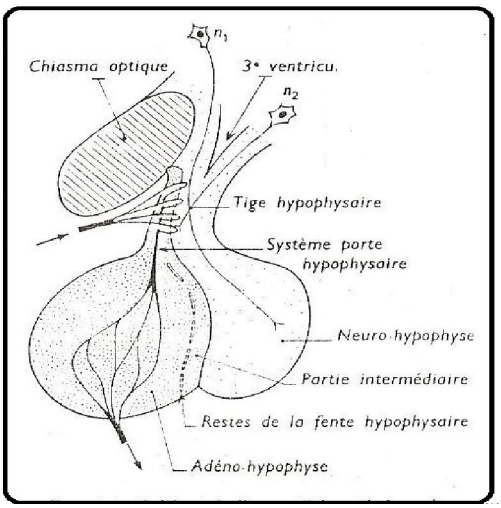
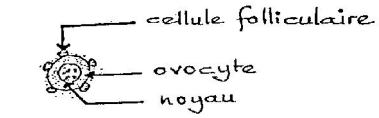


schéma de l'hypophyse

II. Activité de l'appareil génital femelle

1) La Folliculogénèse.

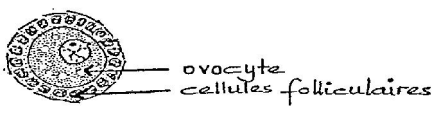
a) Les follicules primordiaux



F1 : FOLLICULE PRIMORDIAL

Ils sont petits et nombreux et sont situés à la périphérie de l'ovaire. Ils comprennent chacun un ovocyte I bloqué en prophase I entourés de quelques cellules folliculaires isolées (nutrition et entretien).

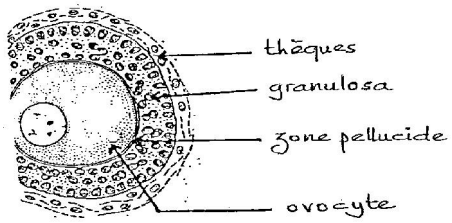
b) Les follicules primaires



F2 : FOLLICULE PRIMAIRE

Le follicule primaire est un ovocyte I plus gros bloqué en prophase I et entouré d'une couche régulière de cellules folliculaires.

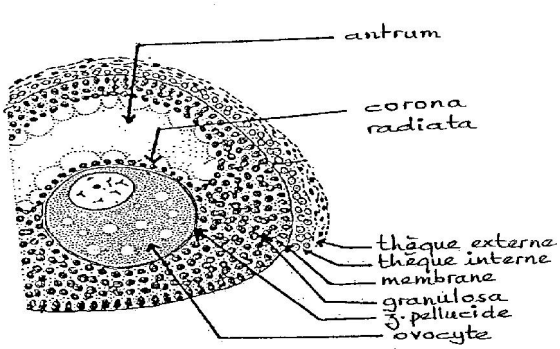
c) Les follicules secondaires ou pleins



F3 : FOLLICULE SECONDAIRE

L'ovocyte I, encore plus gros et bloqué en prophase I est entouré d'une zone pellucide elle-même entourée d'un amas de cellule folliculaire appelé Granulosa. La Granulosa est limitée par une membrane folliculaire appelée membrane de Slavjanski. A la périphérie de cette membrane se développe deux thèques : une thèque interne formée de cellules glandulaires qui va jouer un rôle endocrinien et une thèque externe fibreuse constituée de tissus conjonctifs qui joue un rôle protecteur.

d) Les follicules cavitaires ou tertiaires

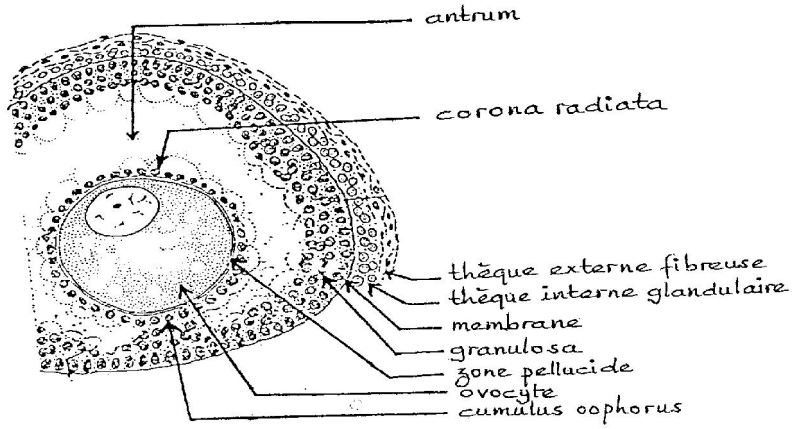


F4 : FOLLICULE TERTIAIRE

L'ovocyte I déjà entouré d'une zone pellucide et de la granulosa se creuse d'une cavité appelée Antrum qui se remplit progressivement de liquide folliculaire visqueux. A partir du follicule cavitaire, il n'ya plus d'augmentation du volume de l'ovocyte I.

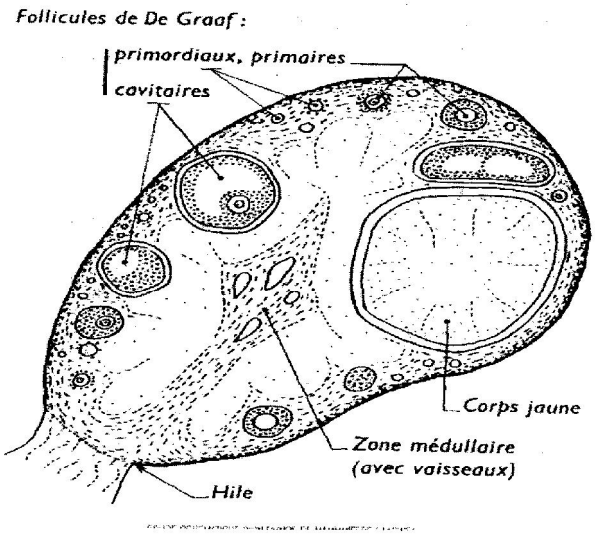
e) Les follicules mûrs ou de DE GRAAF (Rainer DE GRAAF : médecin hollandais)

Au fur et à mesure que la cavité folliculaire se développe et sous la pression du liquide folliculaire, l'ovocyte I porté par un amas de cellule folliculaire appelé corona radiata est repoussé vers la périphérie. Les cellules restantes forment un amas de cellules folliculaires qui supporte l'ovocyte I et appelé cumulus oophorus. L'ovocyte I est prêt à être expulsé. Le follicule mûr fait sailli à la surface de l'ovaire. L'ovocyte I termine la division réductionnelle (méiose I) expulse le premier globule polaire et entame la division équationnelle (Méiose II) puis se bloque en métaphase II. On a alors un ovocyte II bloqué en Métaphase II. Ce dernier sera expulsé par l'ovaire : c'est l'ovulation ou ponte ovulaire.

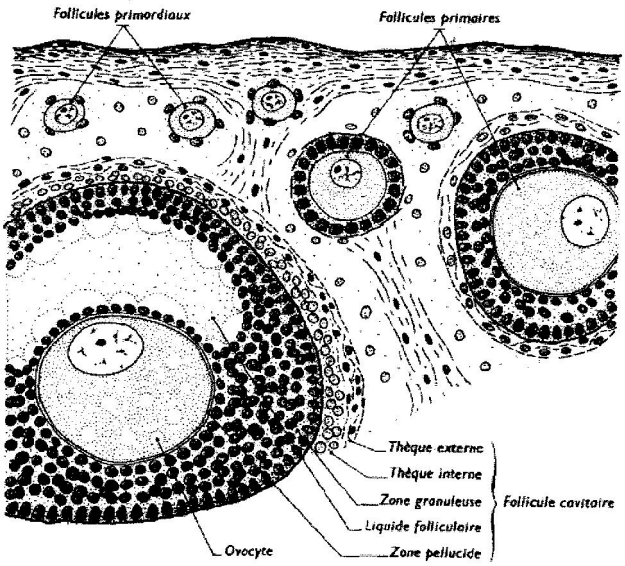


F5 : FOLLICULE MÛR OU DE DE GRAAF

Rq : la Folliculogénèse est cyclique. Elle commence le premier jour des règles avec les follicules primordiaux, le 14ème jour elle atteint le stade mûr pour un cycle de 28 jours. Puis se forme le corps jaune qui va persister jusqu'au 21ème environ et dégénéré s'il n'ya pas fécondation.



Coupe d'un Ovaire de la lapine

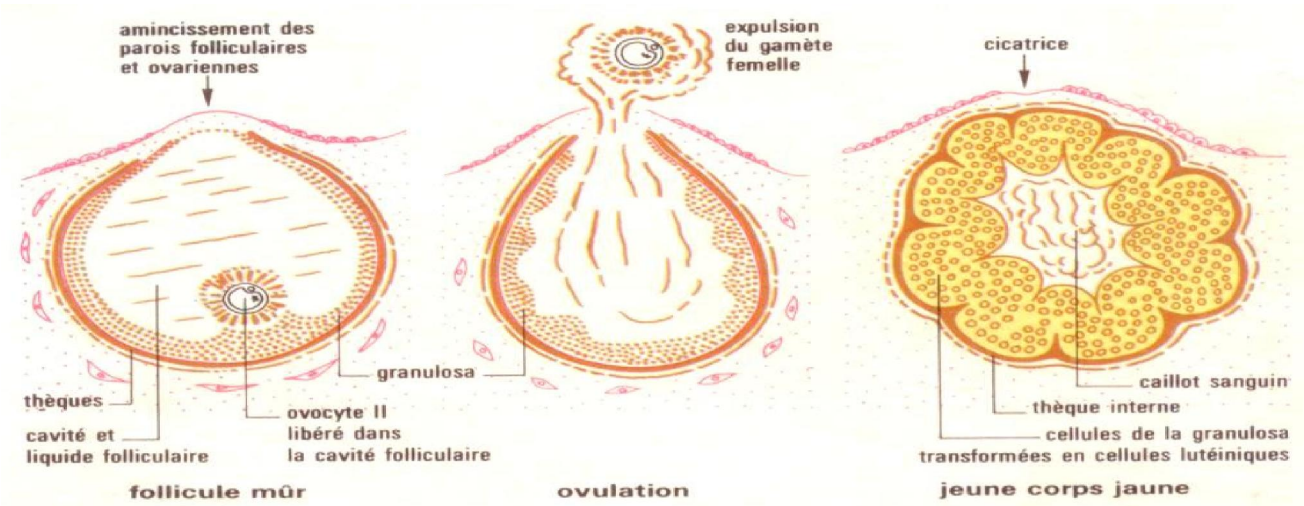


Coupe partielle d'ovaire de lapine

2) Le corps jaune

Le reste du follicule se transforme en corps jaune. Cette transformation résulte de l'accroissement et de la multiplication du reste des cellules folliculaires qui se dispersent en travée rayonnante. Cet ensemble de cellules est dit cellules lutéinisantes qui sécrètent un pigment jaune, la lutéine ou progestérone. Le corps jaune joue un rôle endocrinien important. Il se développe et atteint le maximum de son développement 7 jours après l'ovulation. S'il n'y a pas fécondation, il devient le corps blanc et il dégénère. Cette dégénérescence aboutit à l'apparition des menstrues ou règles.

S'il y a fécondation, le corps jaune persiste et devient le corps gestatif.



3) Régulation de l'activité génital de la femme

a) Cycle menstruel

La puberté marque l'entrée en fonction de l'appareil génital de la femme. Si chez le mâle, le fonctionnement de l'appareil génital est continu et ne présente aucun signe extérieur visible, chez la femme par contre, elle est marquée par des modifications rythmiques et régulières constituants le cycle menstruel. Ces modifications affectent notamment les ovaires, l'utérus et le vagin. Il est actif depuis la puberté (11-13 ans) jusqu'à la ménopause (45-50 ans). La ménopause correspond à l'arrêt de fonctionnement des organes sexuels et des cycles menstruels.

Le cycle menstruel comprend trois phases qui sont :

- La phase folliculaire ou phase pré-œstrus ou phase pré-ovulatoire : elle dure du 1er jour des règles au 14è jour (pour un cycle de 28 jrs). Durant cette phase :

❖ **Au niveau du complexe hythalamo-hypophysaire** : sous l'effet de stimulation de l'hypophyse par les RF ou RH ou GnRH (secrétée de façon pulsatile par l'hypothalamus), l'adénohypophyse secrète les gonadostimulines (FSH et LH). La FSH est sécrétée en grande quantité et la LH en petite quantité.

❖ **Au niveau des ovaires :** sous l'action de la FSH, un des follicules en attente depuis la naissance va se développer. Au fur et à mesure qu'il se développe, sa thèque interne et ses cellules folliculaires secrètent des hormones ovariennes appelées œstrogènes. Il y a trois sortes d'œstrogènes : l'œstradiol qui est la plus importante et la plus active, l'œstriol et l'œstrone. Au cours de l'embryogénèse ces hormones sont sécrétées par le tractus génital femelle et sont responsables de l'apparition des caractères sexuels primaires. A partir de la puberté, elles stimulent le maintien et le fonctionnement des voies génitales et l'apparition des caractères sexuels secondaires.

❖ **Au niveau de l'utérus** : les règles résultent de la dégradation de la muqueuse utérine. Immédiatement donc après les règles et sous l'influence des œstrogènes, on assiste à un épaississement progressif de la cavité utérine. Les cellules épithéliales de la cavité utérine vont se proliférer par mitose successive, les glandes utérines se développent ainsi que les vaisseaux sanguins. On constate également une contraction fréquente des muscles lisses et une augmentation du poids de l'utérus.

❖ **Au niveau du vagin** : la phase folliculaire se traduit par la phase de kératinisation. Au cours de cette phase, l'épithélium vaginal s'épaissit et se charge d'une protéine appelée kératine. La phase de kératinisation est très importante chez les autres mammifères mais elle est peu marquée chez la femme.

- L'ovulation ou œstrus : Peu avant le 14e jour le follicule a atteint son maximum de développement et le taux d'œstrogènes est élevé dans le sang (présente un pic le 13e jour). Ce taux stimule l'hypophyse qui sécrète la FSH en faible quantité (feed-back négatif) et la LH en grande quantité (feed-back positif) avec un pic le 14e jour. Sous la stimulation de la LH, la pression du liquide folliculaire augmente et provoque l'expulsion de l'ovocyte II donc l'ovulation suit toujours le pic de la LH. Chez la femme, l'ovulation est accompagnée de l'émission de glaire cervicale très fluide, d'une remonté thermique parfois de petites douleurs et même de saignement. Elle est marquée par la période de rut ou œstrus. Chez certaines espèces l'ovulation est marquée par l'accouplement.

- La phase lutéinique

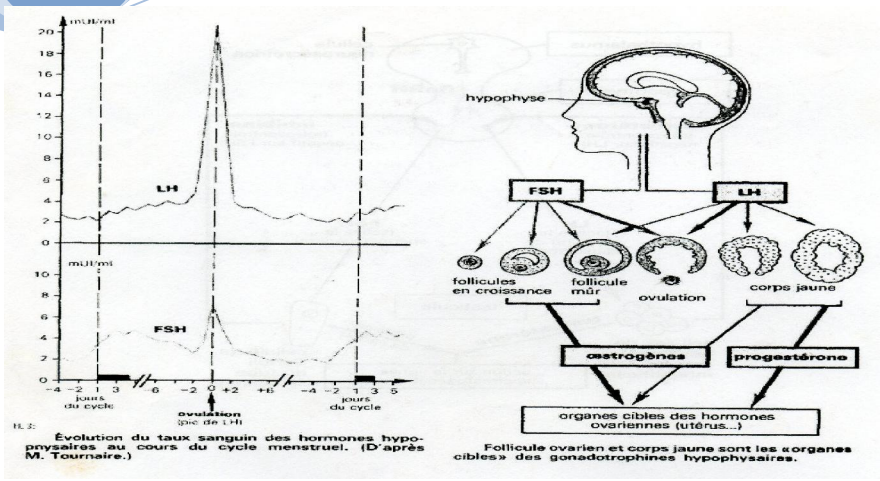
❖ **Au niveau des hormones ovariennes :** la production d'œstrogènes subit un fléchissement après l'ovulation et présente un second pic plus discret le 22e jour environ. Pendant cette phase, le complexe hypothalamo-hypophysaire continue à produire de la LH.

❖ **Au niveau des ovaires :** sous l'action de la LH, le reste du follicule se transforme en corps jaune. Le corps jaune sécrète alors deux types d'hormones : des œstrogènes et de la progestérone en grande quantité. La production de la progestérone ou lutéine ou encore appelée hormone maternelle prépare la gestation ou grossesse.

❖ **Au niveau de l'utérus :** sous l'action de la progestérone, l'endomètre continue sa prolifération, les glandes utérines sont hypertrophiées et contournées, leur activité devient très intense, les très nombreux capillaires sanguins sont spiralés et dilatés. L'épithélium de la muqueuse se déchiquète et forme la dentelle utérine. La progestérone inhibe les contractions de la muqueuse utérine et crée le silence utérin pour permettre la fixation de l'embryon dans son nid.

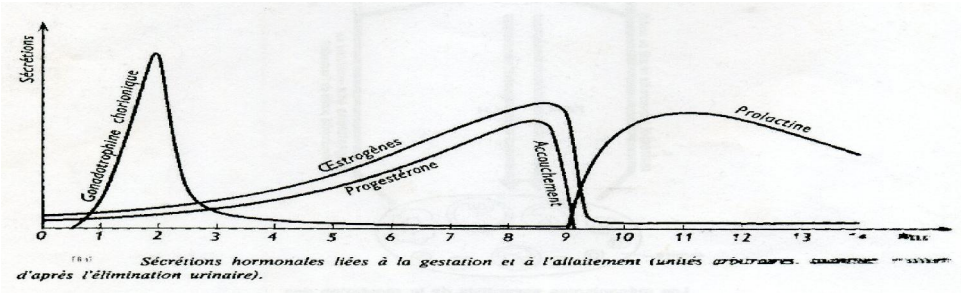
❖ **Au niveau du vagin :** sous la stimulation de la progestérone, le vagin secrète un mucus qui a pour fonction de nourrir les spermatozoïdes et de leur faire acquérir leur aptitude à féconder c'est-à-dire la capacitation.

❖ **Au niveau du complexe hypothalamo–hypophysaire :** le corps jaune atteint le maximum de son développement au 21e jour environ du cycle. Par conséquent les secrétions d'œstrogènes et de progestérone ont atteint leur maximum ; le taux élevé de ces hormones entraîne un feed-back négatif sur le complexe hypothalamo–hypophysaire entrainant une diminution de LH et de FSH qui bloque tout développement folliculaire.

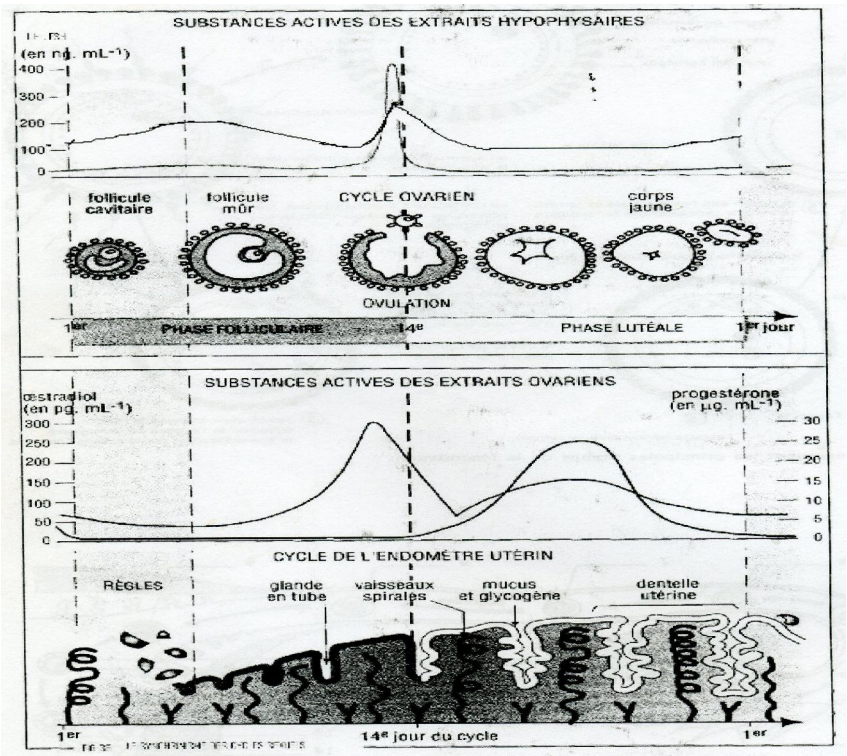


Évolution du taux sanguin des hormones hypophysaires au cours du cycle menstruel. (D'après M. Tournaire.)

Follicule ovarien et corps jaune sont les «organes cibles» des gonadotrophines hypophysaires.



Sécrétions hormonales liées à la gestation et à l'allaitement (unités d'après l'élimination urinaire).



Dessin graphique représentant les courbes d'évolution des hormones ovariennes et hypophysaires.

- **Au niveau de l'organisme** : s'il n'y a pas fécondation, la diminution du taux de la LH et de FSH provoque la décroissance du corps jaune et forme le corps blanc suivi de sa dégénérescence. Cela entraine une chute du taux d'œstrogènes et de progestérone dans le sang. La dentelle utérine n'est plus entretenue, elle se désagrège, les vaisseaux sanguins éclatent et entrainent une hémorragie : ce sont les règles ou menstrues. Cette chute du taux d'hormones ovariques dans le sang libère le complexe hypothalamo-hypophysaire qui reprend la production de LH et de FSH permettant la reprise du cycle ovarien.

S'il y a fécondation le corps jaune persiste et prend le nom de corps gestatif. La progestérone stimule la respiration ce qui a pour conséquence l'augmentation de la température corporelle après l'ovulation. Elle stimule également le développement des seins.

Remarque : les deux ovaires fonctionnent de manière alternative. La dégénérescence du corps jaune dans un ovaire déclenche automatiquement le fonctionnement du 2e ovaire.

b) Le contrôle hormonal du fonctionnement

- Contrôle hypothalamo-hypophysaire du cycle ovarien : l'hypothalamus sécrète de la GnRH qui est déversée dans l'adénohypophyse. L'hypophyse sécrète :

❖ FSH : hormone folliculo stimulante qui est une glycoprotéine. Cette hormone stimule la croissance et la maturation des follicules donc des cellules folliculaires de la granulosa et des cellules thècales. Cette hormone stimule indirectement la sécrétion d'œstrogènes en présence de LH.

❖ LH : hormone lutéinisante qui est une glycoprotéine, cette hormone agit en synergie avec la FSH. Elle contribue au développement des follicules et provoque l'ovulation. Elle induit la formation du corps jaune et donc indirectement la production de progestérone.

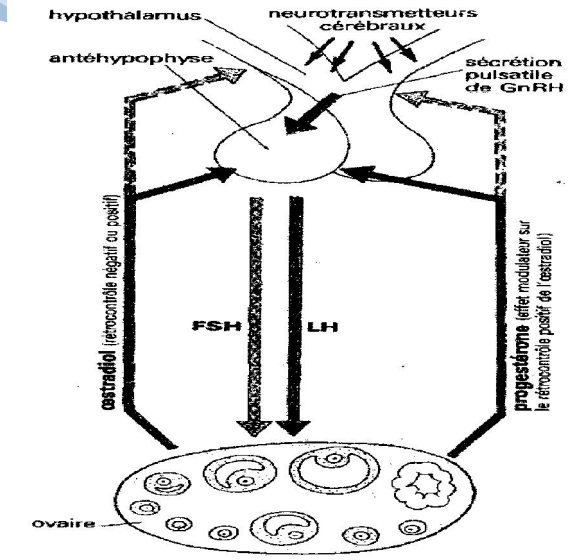
- Le rétrocontrôle ovarien sur le CHH ou feedback

❖ En début de cycle, aucun follicule n'est très développé. L'œstradiol est en faible concentration donc levée du feedback négatif (il y a un rétrocontrôle positif des œstrogènes) sur le Complexe Hypothalamo-Hypophysaire. Le taux de FSH augmente légèrement, ce qui stimule le développement folliculaire.

❖ Quelques follicules grossissent, il y a alors une augmentation du taux d'œstrogène produit par les follicules et donc un rétrocontrôle négatif plus important. Puis, chute du taux de FSH et seul le follicule dominant poursuit son évolution.

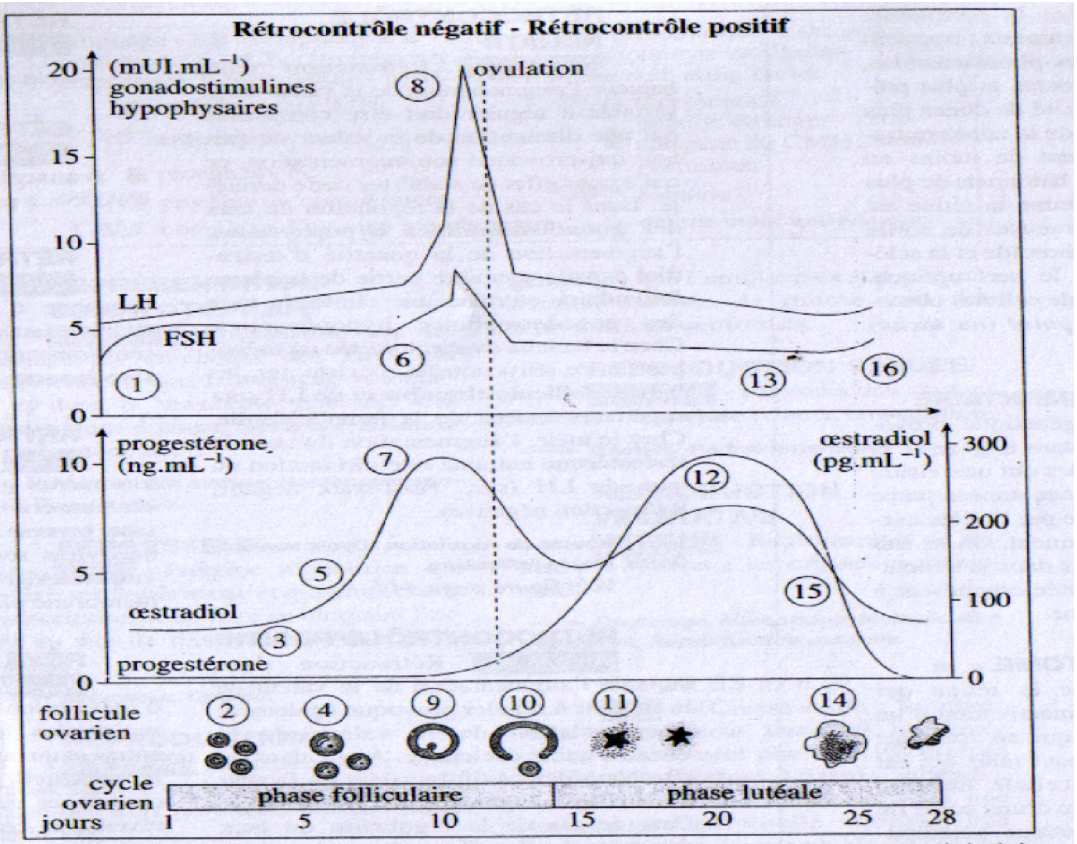
❖ En fin de phase folliculaire, si l'imprégnation de l'hypophyse par les œstrogènes est suffisante en quantité et en durée, on a un rétrocontrôle positif des œstrogènes sur le Complexe Hypothalamo-Hypophysaire. Il y a augmentation des sécrétions des gonadostimulines et en particulier de LH qui augmente, d'où le pic de LH qui déclenche l'ovulation.

❖ En phase lutéinique, le pic de LH de l'ovulation est aussi nécessaire à la mise en place du corps jaune. La LH stimule la production de progestérone par le corps jaune qui secrète aussi des œstrogènes. Le couple œstrogène/progestérone exerce un feed-back négatif sur le Complexe Hypothalamo-Hypophysaire et il n'y a pas de développement de nouveaux follicules. En fin de cycle, il y a une chute de concentration d'œstrogènes et de progestérone car le corps jaune dégénère. Ainsi le rétrocontrôle négatif diminue, la FSH augmente et l'on redémarre un nouveau cycle.



Les mécanismes essentiels de la régulation des cycles : sous l'influence d'une sécrétion pulsatile de GnRH.

Rq : la perfusion, la greffe, les injections d'extraits (hypophysaires, testiculaires et ovariens) visent à mettre en évidence le mode d'action des hormones qui se fait par voie sanguine ou hormonale.



1. Au début d'un cycle ovarien, il y a peu d'œstradiol circulant, ce qui induit l'augmentation de la production de folliculostimuline (FSH) et de LH. **2.** Ces gonadostimulines entraînent le développement de plusieurs follicules tertiaires. **3.** Ces follicules produisent de plus en plus d'œstradiol. **4.** Parmi ceux-ci, un follicule devient dominant, les autres régressent. **5.** La multiplication des cellules de la granulosa et de la thèque interne entraîne une augmentation de la quantité d'œstradiol. **6.** L'œstradiol exerce alors un rétrocontrôle négatif sur la folliculostimuline. **7.** L'augmentation de la taille du follicule dominant est responsable du pic d'œstradiol. **8.** Ce pic d'œstradiol est maintenant responsable du pic de LH (rétrocontrôle positif de l'œstradiol sur la GnRH). **9.** L'ovocyte II bloqué en prophase I de méiose poursuit sa division jusqu'au stade ovocyte II bloqué en métaphase II grâce au taux de LH. **10.** Le taux de LH déclenche l'ovulation. **11.** Les cellules folliculaires se chargent d'un pigment jaune, le follicule devient le corps jaune. **12.** Ce dernier produit de l'œstradiol et de la progestérone. **13.** Ces hormones ovariennes exercent un rétrocontrôle négatif sur la LH et la FSH dont les concentrations chutent. **14.** Faute de ces gonadostimulines, le corps jaune régresse. **15.** La régression du corps jaune entraîne une diminution de la sécrétion d'œstradiol et de progestérone. **16.** Ces faibles concentrations en hormones ovariennes stimulent la production des gonadotrophines hypophysaires.

III. Fécondation et gestation

1) Fécondation

a) Définition

La fécondation est la rencontre et la fusion des cellules sexuelles pour donner un œuf ou zygote. Cette rencontre n'a lieu que lorsque les conditions temporelles imposées par la survie de chaque gamète le permettent. Si le rapport sexuel a lieu en dehors de la ponte ovulaire, les spermatozoïdes sont tués par les sécrétions vaginales, (le col de l'utérus est obstrué par un bouchon de mucus pendant la gestation).

b) Lieu de la fécondation

Le gamète féminin expulsé de l'ovaire à l'ovulation est capté par le pavillon de la trompe. L'ovocyte II descend dans la trompe grâce aux contractions de celle-ci et aux mouvements des cils vibratiles qui tapissent sa paroi. Il est ensuite retenu au niveau de l'ampoule c'est-à-dire le tiers antérieur de la trompe.

c) Etapes de la fécondation

☞ **Cheminement des spermatozoïdes dans les voies génitales masculines :** Entre deux éjaculations, les spermatozoïdes s'accumulent dans l'épididyme où ils acquièrent un pouvoir fécondant : la capacitation (Il est en effet impossible de réaliser une fécondation artificielle avec des spermatozoïdes prélevés directement dans les testicules).

En entrant dans l'épididyme les spermatozoïdes sont incapables de se déplacer. Ils deviennent mobiles et sont revêtus d'un enduit protéique à leur sortie de l'épididyme. Cet enduit protéique les empêchera d'être reconnus comme étrangers dans les voies génitales de la femme.

Lors d'une éjaculation, les spermatozoïdes dilués dans le liquide séminale sont transférés rapidement (depuis l'épididyme) jusqu'au vagin. Ce liquide secrété par les vésicules séminales et la prostate permet la nage des spermatozoïdes et contient des aliments indispensables tels que le fructose.

☞ **Cheminement des spermatozoïdes dans les voies génitales féminines :** Le sperme libéré lors du coït sur le col de l'utérus contient plusieurs millions de spermatozoïdes. Cette population de spermatozoïdes est soumise à une élimination systématique dans les conduits féminins ; le vagin toujours un peu acide est un milieu défavorable.

Lors de la traversée du col de l'utérus ; la glaire cervicale filtre les spermatozoïdes en éliminant 99% d'entre eux (spermatozoïdes anomaux ou peu mobiles) pendant la période ovulatoire.

La glaire cervicale élimine le liquide séminal et lave les spermatozoïdes.

On estime que le tiers seulement des spermatozoïdes ayant franchi le col de l'utérus parvient jusqu'à l'orifice de la trompe.

Les spermatozoïdes « rescapés » progressent rapidement dans les trompes grâce à la poussée de leur flagelle et surtout aux contractions des muscles utérins. Une heure environ après l'éjaculation près d'un millier d'entre eux et sont au lieu de la fécondation.

Durant le transit dans les voies génitales femelles, celles-ci secrètent des enzymes qui éliminent l'enduit protecteur des spermatozoïdes et mettent à nu l'acrosome qui va à son tour libérer ses enzymes.

☞ **La reconnaissance spécifique, le piégeage des spermatozoïdes et la traversée des enveloppes de l'ovocyte II** : Le spermatozoïde et l'ovocyte se reconnaissent comme compatible de la même espèce. Cette reconnaissance est effectuée entre les protéines composant la zone pellucide (enveloppant l'ovocyte pendant sa maturation) et des récepteurs présents sur la membrane du spermatozoïde. (Ce mécanisme de reconnaissance spécifique est surtout utile pour les animaux à fécondation externe comme les poissons. Des expériences ont montré qu'une fécondation entre deux espèces différentes n'était pas possible, du fait de la différence de génomes entre les espèces).

Le gamète femelle entouré d'une masse visqueuse ferme le canal de la trompe :

- les spermatozoïdes qui remontent la trompe sont piégés par la masse visqueuse.

Ils rencontrent donc le gamète femelle entourés de cellules folliculaires.

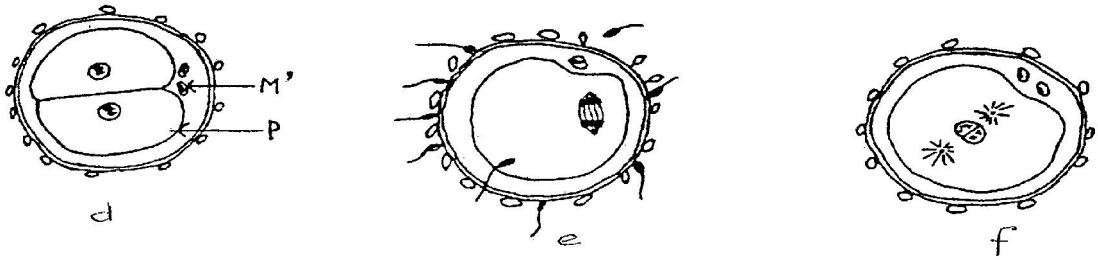
- les spermatozoïdes sont ramenés au voisinage de l'ovocyte II par la rétraction des pédoncules des cellules folliculaires.
- les acrosomes libèrent les enzymes qui permettent à un spermatozoïde de perforer la zone pellucide et d'entrer en contact avec la membrane plasmique de l'ovocyte II.

☞ **L'entrée d'un spermatozoïde, formation de la membrane de fécondation, l'activation de l'ovocyte II, reprise de la méiose et amphimixie.**

Un spermatozoïde pénètre dans le cytoplasme de l'ovocyte II ; ce qui provoque l'activation de ce dernier. Cette activation se traduit par les phénomènes suivants :

- les granules corticaux expulsent leur contenu dans l'espace periovocytaire pour former une membrane de fécondation, ce qui rend l'ovocyte II imperméable aux autres spermatozoïdes, donc évite la polyspermie ;
- il y a aussi une rétraction du cytoplasme ;
- le noyau de l'ovocyte poursuit sa division : La deuxième division méiotique qui était bloquée en métaphase II s'achève et il y a émission du 2ème globule polaire ; l'ovocyte II devient ovotide puis ovule.
- Les noyaux des deux gamètes se gonflent et deviennent des pronuclei. Le pronucleus mâle effectue une rotation d'environ 180° de manière à ce que sa pièce intermédiaire soit tournée vers le pronucleus femelle. Les deux pronuclei s'attirent mutuellement et il se forme un aster spermatique entre eux. Il y a dédoublement puis séparation des asters.

Les deux pronuclei fusionnent : c'est la **caryogamie** ou amphimixie aboutissant à la formation d'un œuf ou zygote.



Annotation :

b : rencontre des gamètes ;

e : entrée de la tête du spermatozoïde dans le cytoplasme de l'ovocyte II ;

c : formation des pronuclei (mâle et femelle) et émission du deuxième globule polaire ;

f : fusion des pronuclei et formation d'un œuf ou zygote ;

a : l'œuf formé entre en division mitotique ;

d : fin de la première mitose et formation de deux cellules filles ;

M : premier globule polaire ;

N' : pronucleus mâle ;

N : pronucleus femelle ; K : cellule folliculaire ; M : 2ème globule polaire ; P : cellule fille.

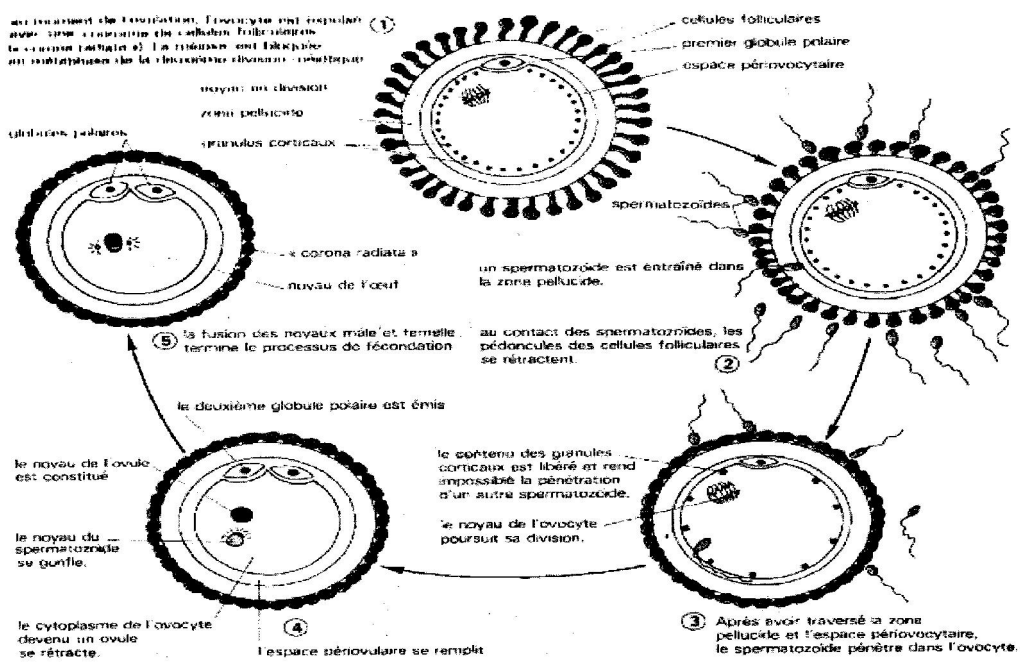
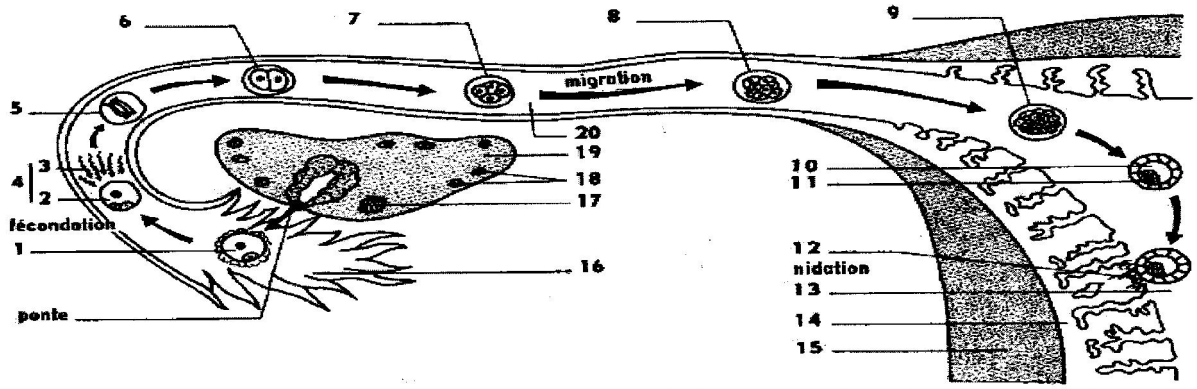


Schéma résumant les principales étapes de la fécondation.



De la fécondation à la nidation. 1. Ovocyte de deuxième ordre (« ovule ») et globule polaire. 2. Ovotide et globules polaires. 3. Spermatozoïdes. 4. Rencontre des gamètes et fécondation. 5. Première division. 6. Stade deux cellules. 7. Stade quatre cellules. 8. Stade huit cellules. 9. Stade n cellules. 10. Cavité. 11. Bouton embryonnaire. 12. Villosités et nidation. 13. Utérus. 14. Muqueuse utérine. 15. Muscle utérin. 16. Pavillon. 17. Corps jaune dégénéré. 18. Ovocytes, follicules primordiaux. 19. Ovaire. 20. Oviducte.

Schéma des étapes de la fécondation

2) Gestation

Après la fécondation dans le tiers supérieur de la trompe, l'œuf formé entame une série de mitose appelée **segmentation.** 30 h après la fécondation, le zygote contient deux cellules, 60 h après on a une structure à 8 cellules (le blastocyste). La fixation de « l'œuf » ou (morula) dans la cavité utérine (ou **nidation)** a lieu 7 jours environs après la fécondation : c'est la nidation. Durant le déroulement de la grossesse, le corps jaune est entretenu par la sécrétion de HCG (Hormone Chorionique Gonadotrophine). Cette hormone similaire à la LH est sécrétée par le trophoblaste (cellules embryonnaire à l'origine de la formation du placenta).

Après la nidation, le massif cellulaire forme d'une part, l'embryon et, d'autre part, les annexes embryonnaires qui sont :

- le chorion : c'est une ébauche fœtale issue du trophoblaste et qui constitue une enveloppe ;
- l'Amnios ou liquide amniotique qui est enfermé dans la poche amniotique ou poche des eaux, délimitée par une membrane amniotique ;
- le placenta qui a une double origine maternelle et fœtale. Il assure une triple fonction :

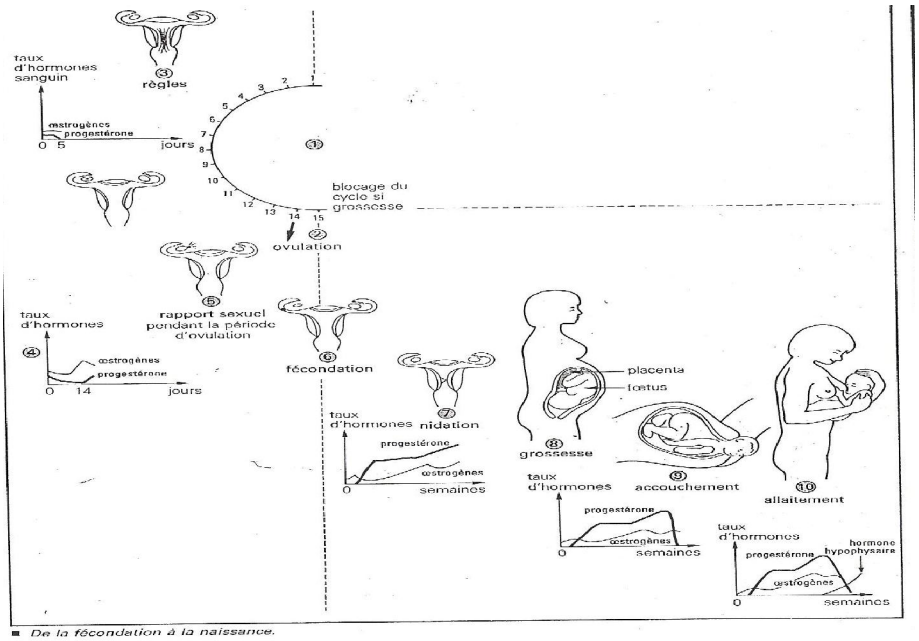
* Il est le lieu d'échange nutritif (eau, oxygène, gaz carbonique, alcool, médicament…). Cette fonction est assurée par la perméabilité qui s'effectue dans les deux sens. Au niveau du placenta, il n'y a pas de communication sanguine

directe entre la circulation sanguine de l'enfant et celle de la mère. Les échanges se font par simple diffusion, les capillaires sanguins sont contigus. Le placenta est un filtre sélectif qui s'oppose au passage des substances toxiques et des microbes (sauf les microbes de la rubéole, la toxoplasmose, les virus…).

* Le placenta joue un rôle endocrinien. Le placenta inhibe la sécrétion par l'hypophyse de la prolactine. Il produit la HCG comparable à la LH qui stimule la production par le corps jaune des œstrogènes et de la progestérone (durant les 4 premiers mois environ). L'équilibre est désormais assuré par le fœtus ce qui permet le silence utérin. Par la suite, le placenta sécrète lui-même de la progestérone et des œstrogènes. Le placenta sécrète aussi l'hormone placentaire lactogène (HPL) permettant le développement des glandes mammaires.

* le placenta a une structure constituée de villosités ou crampes ce qui permet la fixation du fœtus sur la paroi utérine.

- Le cordon ombilical qui est le lien entre le fœtus et le placenta. Il contient des vaisseaux sanguins.



■ *De la fécondation à la naissance.*

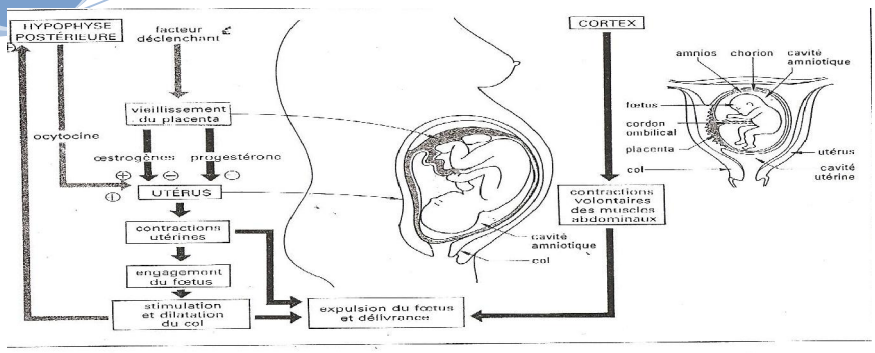
— Chez la femme, les ovaires et l'utérus ont un fonctionnement cyclique (environ 28 jours) ①.
— L'ovulation est la période du cycle où le gamète femelle (ovocyte) est expulsé de l'ovaire et recueilli par les voies génitales ②.
— Le cycle utérin, lié au cycle ovarien, est marqué par les modifications de la muqueuse utérine, dont la destruction provoque l'apparition des règles ③.
— Des hormones (œstrogènes, progestérone), dont le taux sanguin varie au cours du cycle, règlent le bon fonctionnement des cycles sexuels ④.
— Un rapport sexuel, en période d'ovulation, peut entraîner une fécondation ⑤.
— La fécondation a lieu, en général, dans les trompes. Elle aboutit à une cellule-œuf et marque le début d'une grossesse ⑥.
— La cellule-œuf se divise rapidement et forme un embryon qui se fixe dans la muqueuse utérine : c'est la nidation ⑦.
— Le placenta, zone d'échanges entre mère et enfant, permet le développement du fœtus ⑧.
— L'accouchement marque la fin de la grossesse ⑨.
— La lactation maintient une relation privilégiée entre la mère et le nouveau-né en fournissant à ce dernier un aliment adapté ⑩.

IV. Accouchement et lactation

1) Accouchement

L'accouchement ou la parturition ou encore la mise bas intervient chez l'Homme 265 jours environ après la fécondation. Il est déclenché par plusieurs facteurs qui sont :

- Les facteurs mécaniques : le développement du fœtus entraine une augmentation du volume de celui-ci, cela provoque la dilatation de l'utérus et l'étirement de la musculature utérine. Les fibres musculaires sont excitées et elles entrent en contraction. Cette série de contractions de plus en plus croissante du muscle utérin est appelé début de travail.
- Les facteurs hormonaux : la fin de la gestation est marquée par un déséquilibre hormonal dû à la chute du taux de progestérone et une élévation du taux d'œstrogènes. Les œstrogènes stimulent alors les contractions du muscle utérin. Ces contractions se renforcent et deviennent de plus en plus rapprochées. Elles sont à l'origine des reflexes hypothalamo–hypophysaires qui libèrent une hormone hypophysaire qui est l'ocytocine (par la posthypophyse du fœtus et de la mère) et les prostaglandines (placenta). Celles-ci renforcent les contractions de l'utérus et provoquent la rupture de la poche des eaux et l'écoulement du liquide amniotique. Environ 2 heures après la rupture de la poche des eaux, le fœtus est expulsé. L'expulsion du placenta ou délivrance survient une demi-heure après l'expulsion du fœtus.



2. La période fœtale : du 3e au 9e mois (dessin ci-dessus)

- **Elle s'étend du 3e au 9e mois** de la grossesse, dont la durée est en moyenne de 270 jours à partir de la fécondation ou de 284 jours à partir du premier jour du cycle menstruel précédant la conception. Le fœtus poursuit son développement au sein de la cavité amniotique, remplie d'un liquide jouant un rôle protecteur, et limitée par des enveloppes constituant les annexes :
  — l'une externe, issue du trophoblaste (cellules externes du blastocyste) : le chorion ;
  — l'autre interne, issue du bouton embryonnaire : l'amnios. Le fœtus est relié, par le cordon ombilical, au placenta qui assure sa protection immunitaire et au niveau duquel se réalisent avec l'organisme maternel les échanges gazeux et nutritifs indispensables à la vie et au développement du fœtus.
- **Au cours de la période fœtale**, la taille et la masse du fœtus subissent une forte croissance (3 cm et 10 g à 2 mois ; 50 cm et 3 200 g à la naissance), et ses organes achèvent leur maturation conformément au programme génétique mis en œuvre.

3. La parturition ou accouchement (dessin ci-dessus)

- **L'accouchement** est déterminé par la baisse des taux plasmatiques de certaines hormones (progestérone, œstrogènes), qui déclenche les contractions utérines ; celles-ci sont ensuite entretenues et activées par la sécrétion d'une hormone, l'ocytocine, au niveau du lobe postérieur de l'hypophyse, par la sécrétion de prostaglandines par l'utérus et par les stimulations du col.
- **Les différentes phases de l'accouchement sont :**
  — l'engagement du fœtus et la rupture de la poche des eaux (cavité amniotique) ;
  — le début des contractions utérines, l'effacement et la dilatation du col ;
  — la descente, le dégagement de la tête et l'expulsion du fœtus sous l'action conjuguée des contractions utérines et de contractions volontaires des muscles de la paroi abdominale ;
  — la rétraction de l'utérus provoquant le décollement du placenta, puis son expulsion et celle des annexes embryonnaires (délivrance).

Cavité amniotique : espace rempli du liquide amniotique compris entre l'amnios (enveloppe interne) et le fœtus, et qui joue un rôle essentiel dans la protection du fœtus.

Chorion : enveloppe externe du fœtus en relation étroite avec l'endomètre et à l'origine du placenta.

Parturition : ensemble des phénomènes physiologiques qui conduisent à l'expulsion du fœtus et de ses annexes hors de l'organisme maternel.

Placenta : organe reliant le fœtus à l'utérus et qui règle les échanges entre le fœtus et l'organisme maternel pendant la gestation.

2) Lactation

Aussitôt après l'accouchement, l'adénohypophyse secrète une hormone appelée la prolactine qui déclenche la montée laiteuse et l'ocytocine par la posthypophyse. La lactation sera entretenue par l'allaitement (excitation des tétons : messages nerveux afférents). En effet, la succion exercée sur le mamelon par le nouveau-né est à l'origine des reflexes neuro-hypophysaires qui maintiennent la production de la prolactine (production du lait) et de l'ocytocine (éjection du lait).

De plus, le taux élevé de ces hormones dans le sang inhibe la sécrétion de FSH et de LH ce qui bloque le cycle ovarien.

Après 2 à 3 mois d'allaitement, la sécrétion lactée diminue ainsi que le taux d'ocytocine et de prolactine dans le sang. Ce qui entraine la levée de l'inhibition du CH-H. La sécrétion de la FSH et de la LH reprend et entraine la reprise du cycle ovarien et du cycle menstruel, on parle de retour des couches.

Le colostrum est la 1ère émission de lait. C'est un liquide jaunâtre, sécrété par les glandes mammaires. Il est constitué de lactose (en petite quantité que le lait), peu de matières grasses, beaucoup de protéines, de vitamines A, de minéraux, d'anticorps (immunoglobulines IgA qui protège le bébé contre les infections bactériennes). Le lait maternel produit par les glandes mammaires à partir du plasma est très riche en anticorps et est constitué d'eau, de vitamines, de minéraux, de substances organiques...

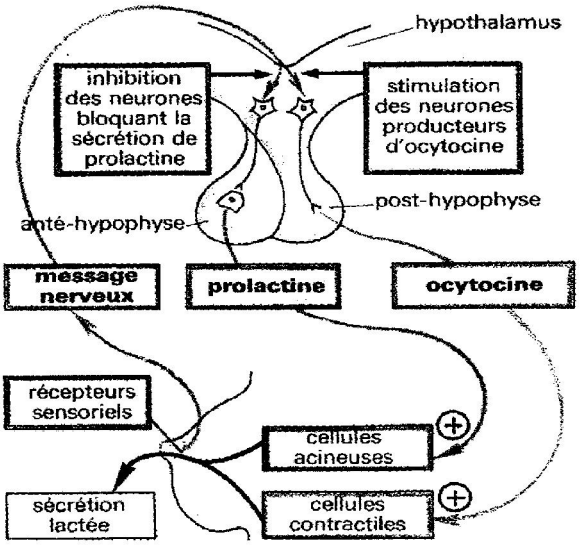
Œstrogènes → Augmentation du Nombre de récepteurs Utérins de l'ocytocine

Ocytocine + En provenance du fœtus et de la neurohypophyse de la mère → Utérus → Stimulation de contractions utérines **Feed-back**

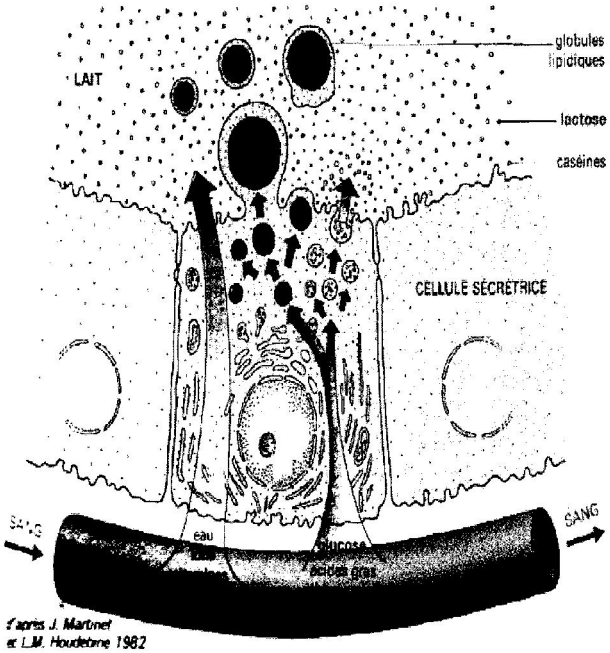
Stimulation de la sécrétion par le placenta de + **Prostaglandines** → Rendent les contractions utérines plus vigoureuses

Fœtus

<u>Mécanisme de l'accouchement</u>



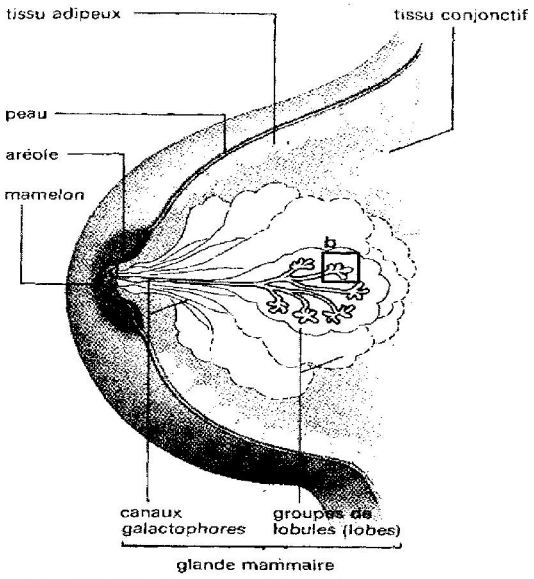
Un mécanisme neuro-hormonal remarquable.



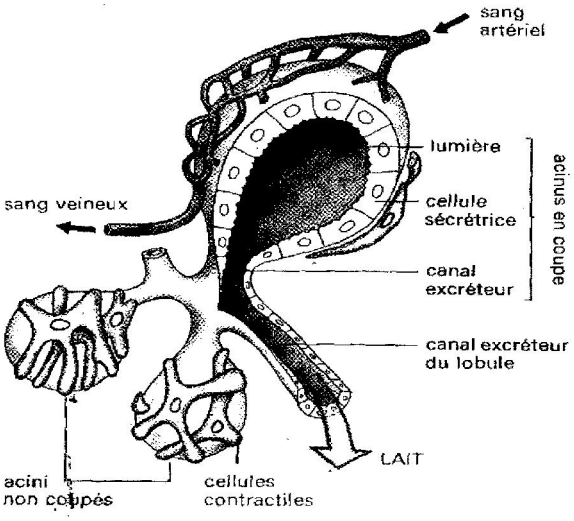
d'après J. Martinet et J.M. Houdebine 1982

Certains constituants (eau, ions, immunoglobulines, vitamines) sont directement transférés du plasma au lait sans subir de modifications :
— d'autres (Ca, P) sont concentrés,
— la plupart sont élaborés à partir de nutriments puisés dans le plasma :
- le glucose est utilisé pour synthétiser le lactose,
- les acides aminés pour synthétiser les protéines,
- les acides gras pour synthétiser les lipides.

5. L'élaboration du lait.



coupe du sein



structure d'un lobule *d'après D. Rotten 1982*

Exercices sur la reproduction

Exercice 1

Hormones	Glandes	Rôles
Prolactine		
Ocytocine		
Testostérone		
Progestérone		
Œstrogènes		
GnRh ou RH ou RF		
FSH		
LH		
HCG		
Prostaglandines		
HPL		

Exercice 2

Pour connaître chez la rate le déterminisme du cycle ovarien dont la durée est de 5 jours, on réalise les expériences suivantes :

- Expérience n°1 : Chez les femelles castrées, l'hypophyse augmente de volume et, dans le sang, on peut doser une quantité anormalement élevée de FSH et de LH. Si on injecte alors des quantités bien dosées d'œstrogènes, la sécrétion de FSH et de LH se stabilise autour du taux normal.

- Expérience n°2 : L'ablation de l'hypophyse pratiquée le 3ème jour du cycle provoque l'atrophie des ovaires. Le taux d'œstrogènes dans le sang est alors inférieur à la normale et on ne décèle jamais de progestérone.

- Expérience n°3 : La greffe d'hypophyse corrigera les effets de l'ablation si celle-ci est faite à son emplacement d'origine.

- Expérience n°4 : On peut provoquer également chez des femelles non castrées une hypersécrétion des hormones hypophysaire en stimulant électriquement l'hypothalamus de façon régulière et localisée.

1°) Interprétez chaque expérience et concluez.

2°) Représentez au moyen d'un schéma simple les types de relations existant entre les organes mis en jeu.

Exercice n°3

1) Pour préciser les rôles respectifs de l'hypophyse et des ovaires, on pratique cinq opérations différentes sur cinq souris femelles, de même poids et au même stade de leur cycle sexuel. Après quelques jours, on pèse l'utérus de chaque souris et on détermine l'état des ovaires. Les résultats sont consignés dans un tableau ci-dessous.

On rappelle que l'hypophyse est reliée à l'hypothalamus par la tige pituitaire. De l'analyse des résultats indiquez quelles sont ces précisions. Pour conclure, représentez par un schéma les relations existantes entre l'hypothalamus, l'hypophyse, les ovaires et l'utérus.

	Opérations	Poids de l'utérus	Etats des ovaires
Souris 1	Ovariectomie (ablation des ovaires)	42 mg	
Souris 2	Ovariectomie suivie de la greffe des ovaires sous la peau.	110 mg	Normal
Souris 3	Ovariectomie suivie d'une injection intramusculaire d'œstrogènes	125 mg	
Souris 4	Hypophysectomie (ablation de l'hypophyse)	43 mg	Pas de cycle
Souris 5	Section pituitaire et mise en place d'une barrière mécanique empêchant la régénération des vaisseaux sanguins au-delà de la section	60 mg	Cycle normal
Souris en œstrus (témoin)		110 mg	Normal
Souris hors œstrus		45 mg	Normal

2) Sur 3 lots de rates présentant un cycle de 5 jours, avec une ovulation à 1 heure du matin le 4 è jour. Everett réalise les expériences suivantes :

- 1er lot : les rates sont hypophysectomisées et le 3ème jour du cycle, si cette opération est effectuée avant 16 heures, l'ovulation qui suit est bloquée. Par contre, elle a lieu normalement si l'opération est faite après 16 heures.
- 2ème lot : les rates subissent une injection d'œstrogènes le 2ème jour du cycle avant 14 heures, l'ovulation est avancée de 24 heures.
- 3ème lot : les rates subissent l'injection d'une forte dose de progestérone le 2ème jour du cycle, l'ovulation est bloquée pendant plusieurs cycles. Ces résultats apportent des précisions sur les relations entre le complexe hypothalamo-hypophysaire et les ovaires. De l'analyse des résultats, indiquez quelles sont ces précisions. Pour conclure, représentez par un schéma les relations qui existent entre l'hypothalamus, l'hypophyse, les ovaires et l'utérus.

Exercice n°4

On réalise une série d'expériences chez un homme dont les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

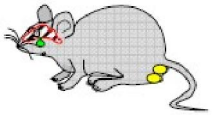
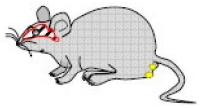
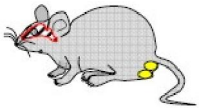
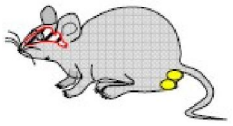
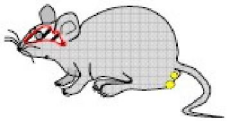
Expériences	Résultats
a) Ablation médicale des testicules	Stérilité Diminution de l'instinct sexuel
b) Injection d'extraits testiculaires au sujet castré	La stérilité demeure
c) Ligature des canaux déférents ou spermiductes avec les testicules en place	La stérilité demeure Restitution de l'instinct sexuel
d) Ablation médicale de l'hypophyse	Atrophie des cellules interstitielles Absence de spermatogénèse
e) Injection d'extraits hypophysaires au sujet hypophysectomisé	Croissance des cellules interstitielles Reprise de la spermatogénèse

1) A partir de l'analyse des expériences a, b, c, déduisez les fonctions des testicules.
2) A partir de l'analyse des expériences d, e, expliquez l'action de l'hypophyse sur les testicules.
3) Faites un schéma récapitulatif de la régulation des fonctions testiculaires en vous basant sur ces 5 expériences.

Exercice 5

Chez les mammifères, des anomalies du fonctionnement hormonal de l'hypophyse conduisent à des perturbations des fonctions testiculaires.

À partir de l'interprétation des expériences et de leurs résultats (document ci-dessous), déterminez les relations mises en évidence entre l'hypophyse et les testicules chez les mammifères.

Témoin	**Illustration**	**Résultats observés**
souris mâle pubère intacte		- production normale de spermatozoïdes - sécrétion normale de testostérone
Expériences réalisées chez des souris	**Illustration**	**Résultats observés**
Expérience 1 : ablation de l'hypophyse		- régression des testicules s'accompagnant d'une stérilité - arrêt de la sécrétion de testostérone
Expérience 2 : ablation de l'hypophyse suivie d'injections dans la circulation sanguine de LH et FSH		- production normale de spermatozoïdes - sécrétion normale de testostérone
Expérience 3 : ablation de l'hypophyse suivie d'injections dans la circulation sanguine de FSH		- taille des testicules identique à celle de l'expérience témoin avec production de spermatozoïdes incomplètement formés - absence de sécrétion de testostérone
Expérience 4 : ablation de l'hypophyse suivie d'injections dans la circulation sanguine de LH		- régression des testicules s'accompagnant d'une absence de production de spermatozoïdes - sécrétion de testostérone

Légende :

 Encéphale avec hypophyse

 Testicules

REPONSES

Exercice 1

Hormones	***Glandes***	***Rôles***
Prolactine	*Antéhypophyse*	*Sécrétion du lait*
Ocytocine	*Posthypophyse ou neurohypophyse*	*Ejection du lait ; renforce les contractions de l'utérus*
Testostérone	*Testicule*	*Caractères sexuels I et II*
Progestérone	*Granulosa, corps jaune, placenta*	*Gestation, silence utérin, développement des seins, épaississement de la paroi de l'utérus.*
Œstrogènes	*Granulosa, thèque interne, corps jaune, placenta*	*Caractères sexuels I et II, contraction utérine, développement des seins*
GnRh ou RH ou RF	*Hypothalamus*	*Agit sur l'hypophyse à sécréter la LH et la FSH*
FSH	*Antéhypophyse*	*Folliculogénèse, spermatogénèse, ovogénèse*
LH	*Antéhypophyse*	*Ovulation, stimule la production de testostérone, d'oestrogènes, de progestérone*
HCG	*Placenta*	*Gestation, formation du corps jaune*
Prostaglandines	*Placenta*	*Parturition*
HPL	*Placenta*	*Développement des glandes mammaires*

Exercice 2

1) *Interprétation*

- ***Expérience 1 :*** *les œstrogènes exercent un rétrocontrôle négatif sur l'hypophyse antérieure en limitant la libération de LH et de FSH.*
- ***Expérience 2 :*** *l'hypophyse stimule le fonctionnement ovarien.*
- ***Expérience 3 :*** *la stimulation observée est de nature hormonale mais, pour qu'elle existe, il y a nécessité d'une liaison entre hypophyse et hypothalamus.*
- ***Expérience 4 :*** *la libération d'hormones est dépendante d'une stimulation d'origine hypothalamique.*

Conclusion : *Les hormones agissent par voie sanguine et il y a une interaction entre les organes producteurs de ces hormones.*

2) *Schéma des relations existant entre les organes mis en jeu*

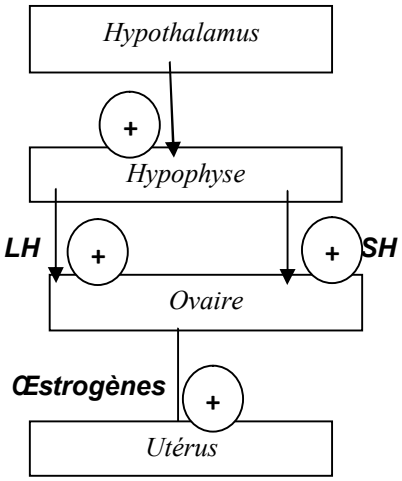


Schéma récapitulatif des relations qui existent entre l'hypothalamus, l'hypophyse, les ovaires et l'utérus

Exercice 3

1) *Analyse et interprétation*

- *Souris 1 : l'ovariectomie entraine une atrophie des ovaires. Les ovaires sont responsables de l'épaississement de l'utérus.*
- *Souris 2 : la greffe d'ovaires sous la peau entraine un développement normal de l'utérus. Les ovaires commandent le développement de l'utérus par voie hormonale.*
- *Souris 3 : l'injection intramusculaire d'œstrogènes provoque un épaississement de la muqueuse utérine. Les ovaires secrètent des œstrogènes dans le sang qui agit sur la muqueuse utérine.*
- *Souris 4 : l'hypophysectomie entraine une atrophie de la muqueuse utérine et un arrêt du cycle. L'hypophyse intervient dans le cycle utérin et ovarien. En effet, elle secrète des hormones hypophysaires qui stimulent l'activité des ovaires notamment la sécrétion des œstrogènes à l'origine du cycle utérin.*
- *Souris 5 : la section de la tige pituitaire entraine une régression de l'utérus. La tige pituitaire est indispensable à l'action hypophysaire. En effet, l'hypothalamus libère des GnRH dans le système sanguin de la tige pituitaire qui les conduit jusqu'aux cellules cibles de l'hypophyse.*

2) *Analyse, interprétation et schéma récapitulatif*

1er lot : *l'hypophyse est indispensable pour l'ovulation avant 16h mais après 16h, elle n'est plus indispensable. Le pic de LH qui déclenche l'ovulation est atteinte avant 16h.*

2è lot : *l'injection d'estrogènes le 2ème jour du cycle avant 14 heures, entraine une ovulation précoce. Le fort taux des œstrogènes déclenche le pic de LH provoquant une ovulation précoce. Il s'agit d'un rétrocontrôle positif. Mais parallèlement, il y a rétrocontrôle négatif sur la FSH.*

3è lot : *le fort taux de progestérone bloque l'ovulation. La progestérone exerce un rétrocontrôle négatif sur la sécrétion de LH.*

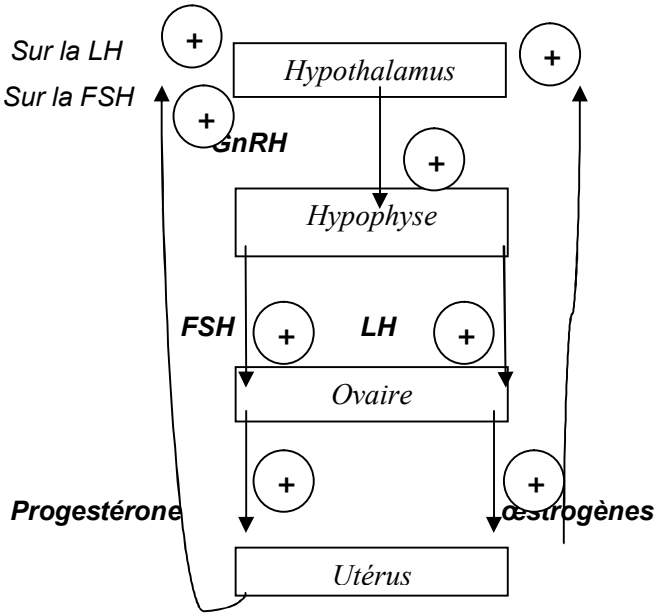


Schéma récapitulatif des relations qui existent entre l'hypothalamus, l'hypophyse, les ovaires et l'utérus

Exercice 3

1) *Les expériences a, b et c montrent que les testicules commandent l'instinct sexuel par voie hormonale et la fertilité au niveau des canaux déférents.*
2) *Les expériences d et e montrent que l'hypophyse commande l'activité testiculaire par voie hormonale. Elle stimule la croissance des cellules interstitielles et la spermatogénèse par l'intermédiaire des gonadostimulines (FSH et LH) sécrétées dans le sang.*

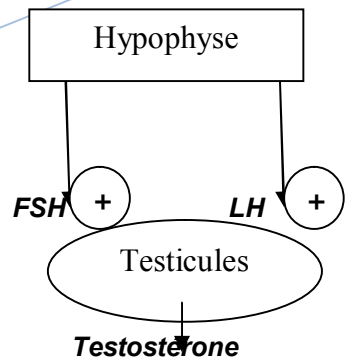


Schéma récapitulatif de la régulation des fonctions testiculaires

CHAPITRE I : ETUDE DE LA VARIATION (*uniquement en Terminale* D)

A. Notion d'espèce

Au vu du nombre immense des animaux et des végétaux, les naturalistes ont éprouvé le besoin de les classer selon un ordre logique et de les identifier par un nom international. La science qui étudie cette classification est la systématique ou taxonomie. Elle regroupe les espèces en genre, en famille, en ordre, en classe, en embranchement et en règne. L'espèce est l'unité fondamentale de la systématique. La langue utilisée par les naturalistes pour nommer une espèce est le latin. Charles Von Linné, naturaliste suédois, à la suite de ses prédécesseurs proposa le système de nomination des êtres vivants appelé Nomenclature binaire ou binominale. D'après ce système tout individu est désigné par deux mots latins. Le premier mot qui commence par une lettre majuscule indique le genre, le second mot qui est en minuscule désigne l'épithète et les deux mots désigne l'espèce et doivent être obligatoirement soulignés.

Ex : *Homo sapiens* : Homme

Securidaca longepedunculata

Agama agama : margouillat.

1. Critères

Les critères utilisés pour désigner les espèces sont : la morphologie, l'interfécondité et l'écologie.

a) Morphologie

On groupe les espèces en considérant leur ressemblance. Il apparaît insuffisant pour rendre compte de la notion d'espèce.

Ex : l'ascaris de l'homme et celui du porc sont étrangement semblables, mais constituent deux espèces différentes.

b) Interfécondité

Les individus d'une même espèce sont interféconds et produisent des descendants féconds, mais par contre sont stériles avec les autres espèces.

Ex : Ane x Jument ⇒ Mulet

Etalon x Anesse ⇒ Bardot stériles

c) Ecologie

L'isolement géographique peut engendrer aussi une stérilité intra-spécifique.

Ex : La grenouille européenne est différente de la grenouille américaine.

2. Définitions

L'espèce peut être définie comme un ensemble d'individus vivant dans un même biotope qui sont interféconds avec des descendants féconds et qui se ressemblent entre eux.

Une population est une collectivité d'individus appartenant à la même espèce, vivant dans une aire géographique déterminée et se reproduisant effectivement entre eux. Ex. : population de manguier, de chèvres.

Lorsqu'on croise des individus présentant le même caractère et qu'on obtient le même caractère, on peut dire que ces individus sont de lignée pure. Ce sont des individus qui présentent indéfiniment le caractère recherché s'ils sont croisés entre eux.

B. Variation

La propriété que l'on étudie sur les individus appartenant à une même espèce est un caractère.

Un caractère est statistique s'il peut prendre plusieurs valeurs ou présenter des qualités différentes. La variation traduit les différences au sein d'une descendance. La variation a pour but l'étude des caractères fluctuants au sein d'une même espèce. Ex : une graine peut être noire ou blanche, grosse ou petite. Les variations peuvent être mesurables

(quantitative), ou non mesurable, basée sur la nature et les conséquences (variation qualitative). Les variations peuvent être génétique ou écologique (non héréditaire).

I. Etude quantitative de la variation : notion de biométrie

L'application de la méthode statistique à la biologie est appelée biométrie. La variation peut être continue ou discontinue.

1) Variation discontinue

Dans une population de haricots on récolte des gousses et on compte le nombre de graines dans toutes les gousses cueillies. Leur nombre varie de 1- 10. Le nombre représente la variation X. On définit des classes qui sont caractérisées chacune par une valeur de la variable. Dans une classe, le nombre de fois que l'on compte ou que l'on rencontre la variable x c'est-à-dire le nombre de gousses est la fréquence f. A partir de ces valeurs trouvées, on peut dresser un tableau de distribution de fréquence. Le nombre de graines étant nécessairement un nombre entier la variation est discontinue.

Classe : variable x nombre de graines/gousse	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fréquence : nombre de gousses	14	2	3	28	32	40	25	8	6	1

2) Variation continue

On mesure par exemple la longueur des gousses de haricot au mm près. La variable x peut prendre un nombre élevé de valeurs intermédiaires entre deux valeurs limites. La valeur ou variable x est continue et la population est repartie en classe limitée par des intervalles réguliers. A partir de ces valeurs trouvées, on peut dresser le tableau de distribution de fréquence relative à la longueur des gousses.

Classe : valeur limitée	[89,5 94,5]	] 94,5 – 99,5]	] 99,5-104,5]	] 104,5-109,5]	] 109,5-114,5]
Valeur centrale	92	97	102	107	112
Fréquence	2	3	4	2	1

Remarque : Le mode est la valeur de la classe ayant l'effectif le plus élevé. Une population uni-modale est une population qui a un seul mode donc homogène. Une population plurimodale est une population hétérogène. A partir de ces données, on peut représenter pour la distribution continue un histogramme, une courbe de fréquence, un polygone de fréquence. Pour la variation discontinue on peut représenter un diagramme en bâton ou en bâtonnet, un polygone de fréquence et une courbe de fréquence.

On peut calculer certaines valeurs telles que :

Moyenne : **x = m =** $\Sigma\frac{fixi}{fi}$ **: Définition**

Variance = **V=** $\Sigma\frac{xifi\ (xi-x)^2}{\lambda fi}$ **Définition**

Ecart type = $\vartheta = \sqrt{v} = \frac{\sqrt{\Sigma fi(x-x)^2}}{\Sigma fi}$ **Définition**

II. Etude qualitative de la variation

1) Variation génétique

a) La mutation

La mutation est une variation qui fait apparaître un nouveau caractère qui est d'emblée héréditaire. Ex : la drépanocytose qui est une mutation au niveau de l'hémoglobine.

On a deux types de mutations :

- la mutation chromosomique : le crossing-over, le brassage interchromosomique à la méiose entre les chromosomes des deux parents.
- la mutation génomique qui concerne le nombre de chromosomes : trisomie 21 ou polysomie ou polyploïdie.

2) Somation ou variation somatique

Ce sont des variations lentes qui se développent progressivement sous l'action du milieu extérieur. Les facteurs sont : l'écologie (climatique, édaphique, biotique), l'éthologie, le socioculturel. Ces variations ne sont pas héréditaires, car elles n'affectent jamais les cellules reproductrices mais le soma. On réserve le terme de fluctuation aux variations qui apparaissent dès la naissance.

3) Mutation ou variation germinale

Ce sont des variations brusques, immédiatement héréditaires car affectant le génotype (germen).

Ex : Défaut de mélanine, perte des organes…

Les mutations sont importantes car elles sont à la base de nouvelles races (variétés) chez les espèces domestiques et les plantes cultivées.

III. Variation et sélection naturelle et artificielle

1. La sélection naturelle

Il s'agit d'une concurrence vitale. Seuls les individus aptes c'est-à-dire robustes, rapides, résistants aux maladies qui survivent, fécondent et sont retenus par la sélection naturelle.

2. Sélection artificielle

On peut à partir d'une population à fréquence bimodale (2 modes) faire une sélection.

Ex : on prélève des graines lourdes, on les sème et on les croise entre elles. On obtient des descendants à fréquence bimodale dont le mode est plus élevé que les deux modes des 2 types de populations initiales. Ensuite, partant des graines prises parmi les plus légères, on obtient des distributions à fréquence uni-modale autour du mode le moins élevé. A partir d'une population de graines, on a pu isoler des graines lourdes et des graines légères. Cette population de départ est hétérogène. On dit que la sélection a été efficace. La sélection est dite artificielle si les individus à graines lourdes au cours des croisements avec des individus à graines lourdes donnent une descendance à graines lourdes. On peut dire que cette population est issue d'une lignée pure. La fréquence et le mode sont héréditaires et ce sont les cellules reproductrices ou germen qui transmettent les caractères héréditaires.

CHAPITRE II : LOIS STATISTIQUES DE LA TRANSMISSION DES CARACTERES : LOIS DE MENDEL

I. Définitions

-La **génétique** est la science de l'hérédité et des mécanismes de transmission des caractères des parents à leurs enfants.

-Hérédité est la transmission des caractères d'un être vivant à ses descendants.

-Le **gène** est l'unité héréditaire, c'est la plus petite information que l'on puisse transmettre. Il gouverne un caractère donné par l'intermédiaire d'une fonction précise. Il dirige la synthèse des constituants cellulaires notamment les protéines plasmatiques ou catalytiques. Les gènes sont donc des séquences d'ADN. Ils sont donc capables de se reproduire en restant semblables à eux-mêmes. (On considère que les gènes sont disposés linéairement sur les chromosomes comme les perles d'un collier.) Les gènes sont la carte d'identité génétique des êtres vivants.

-Les allèles sont les différentes manifestations possibles du gène.

-Le **locus** (les loci) est la position occupée par chaque gène sur le chromosome.

-Les gènes qui codent pour le même trait et occupent le même locus de chromosomes homologues sont appelés allèles. Si les allèles d'une paire sont identiques pour ce trait, l'individu est dit **homozygote** (AA, aa). Si les allèles d'une paire sont différents, la personne est **hétérozygote** (Aa).

-Les **gènes liés** sont des gènes situés sur le même chromosome. La distance séparant les deux loci peut être grande ou petite. Cette liaison est appelée **linkage (liaison génique)**. Le linkage est absolu quand il ne donne pas lieu à un crossing-over, il est partiel quand il donne lieu à un crossing-over.

-Les **gènes sont dits indépendants** lorsqu'ils sont portés par des paires de chromosomes différents.

-Les **gènes autosomiques** sont des gènes portés par des autosomes. Les gènes hétérochromosomiques sont des gènes portés par des gonosomes (X ou Y).

-Le **génome** est l'ensemble des gènes de la cellule.

-Le **génotype** est le matériel ou le patrimoine génétique d'une cellule qui fait l'objet d'une étude.

-Le **phénotype** est l'ensemble des caractères apparents permettant de reconnaître un individu. C'est en somme la façon dont ces gènes sont exprimés.

-Caractères : c'est tout aspect morphologique, physiologique, ou psychologique d'un individu.

-La **dominance** : lorsque deux allèles d'un même couple sont différents, il peut arriver qu'un seul allèle exprime son caractère : il est dit dominant. L'autre qui est masqué est dit récessif. Il ne manifeste son action que si l'individu est homozygote. La notion de dominance se base sur la seule observation d'un phénotype. Il est plus correct de parler de caractères dominants.

-La **codominance** ou **absence de dominance** ou **dominance incomplète** ou **inter-dominance :** si deux allèles différents d'un même couple sont de même « force », ils conjuguent leur effet pour exprimer leur caractère intermédiaire ou mixte, on dit qu'ils sont codominants.

-La lignée pure : ce sont des individus dont la descendance obtenue par autofécondation ou par croisement consanguin est indéfiniment identique à la variété ou à la race parentale.

-Hybride : ce sont des individus descendants du croisement entre parents issus de 2 lignées pures.

-**Hémizygote :** un organisme est dit hémizygote pour un gène particulier si ce dernier n'est présent qu'à un seul exemplaire ou une seule copie (et donc présent qu'à un seul allèle) à un seul locus donné pour un organisme diploïde lors d'une délétion ou sur le chromosome X chez le mâle et pas sur Y.

- Gène létal : c'est un gène qui à l'état homozygote provoque la mort de l'individu.

- Polygénie : plusieurs gènes gouvernent un caractère.

- Pléiotropie : plusieurs caractères sont gouvernés par un seul gène.

II. Croisement

Il consiste à faire reproduire entre eux deux individus différents par un ou plusieurs caractères, pour étudier la répartition des caractères au niveau de leur descendance.

Ex : On croise une fleur mâle (étamine) à une fleur femelle (pistil).

La F_1 (fécondation n°1) constitue les individus de la première génération issue du croissement entre parents. Ces individus sont généralement hybrides.

Les individus de la F_1 croisés entre eux donnent les individus de la deuxième génération la F_2.

Le **rétrocroisement** ou **Back cross** ou **croisement retour** consiste à croiser un individu de la F_1 ou de la F_2 à l'un des parents homozygotes.

Le **test cross** ou **croisement test** consiste à croiser un individu de la F_1 avec un parent récessif et de race pure. Dans le test-cross il s'agira de croiser un individu de phénotype dominant et de génotype inconnu :

- Si le génotype est inconnu, les proportions phénotypiques des descendants permettent de déterminer x (génotype inconnu).
- Si le génotype est connu, les proportions phénotypiques des descendants permettent de déterminer le comportement des allèles lors de la formation des gamètes dans le cas de plusieurs gènes.

Remarque : on réserve le terme de race pure aux animaux et de variété pure aux végétaux.

III. Echiquier du croisement

C'est un tableau à double entrée dont les entrées horizontales et verticales correspondent aux types de gamètes. La fréquence ou la probabilité d'une case donnée du tableau de fécondation est égale au produit des fréquences des gamètes correspondants. Pour cela, on tient compte du phénotype et du génotype des parents et de la formule et des proportions des gamètes.

Ex : graines pleines dominant et graines déprimées récessives

Graines pleines : « D » et graines déprimées « d »

Gamètes mâles / **Gamètes femelles**	**50%D**	**50%d**
50%D	25%DD [D]	25%Dd [D]
50%d	25%Dd [D]	25%dd [d]

IV. Symboles

1) Allèles

- **Cas de dominance totale** :

➢ **A partir de l'allèle récessif** : dans ce cas, l'allèle est symbolisé par l'initial du caractère en minuscule et le majuscule de la même lettre pour le dominant.

Ex : graines pleines dominant et graines déprimées récessives

Graines pleines : « D » et graines déprimées « d »

➢ **A partir de l'allèle dominant** : dans ce cas, l'allèle est symbolisé par l'initial du caractère en majuscule du dominant et le minuscule de la même lettre pour le récessif.

Ex : graines pleines dominant et graines déprimées récessif

Graines pleines « P » et graines déprimées « p »

➢ **A partir de l'initial de chaque allèle : ex :** graines pleines « P » et graines déprimées « d ». Cette méthode est déconseillée car elle pourrait ressembler à deux gènes et en cas de deux gènes, elle pourrait être confuse.

➢ **Cas de souches sauvages et mutantes** : le symbole de l'allèle sauvage est représenté par l'initial en minuscule de l'allèle récessif affecté du signe « + » ou « + » tout simplement et garde la même lettre seulement pour le mutant. « + » est mis pour le caractère sauvage.

Ex : chez la drosophile corps gris est sauvage et dominant sur corps noir qui est mutant. Corps gris « n+ » ou « + » et corps noir « n ».

- **Si les deux allèles sont codominants**, ils sont tous représentés par des lettres majuscules des initiales des allèles.

Ex : Pour les fleurs ; fleurs rouges et blanches sont codominants : fleurs rouges « R » et fleurs blanches « B ».

2) Phénotype

Il est représenté par une lettre majuscule ou minuscule correspondant aux caractères exprimés et placés entre parenthèse ou entre crochet. Dans le cas de codominance les deux lettres majuscules sont placées entre parenthèses ou entre crochet pour l'individu intermédiaire.

3) Génotype

Il est représenté par des lettres majuscules et/ou des lettres minuscules et séparées par deux barres de fraction (et des tirets) indiquant (pour le cas des autosomes que les loci sont portés par) des chromosomes homologues. Ce type de notation permet de savoir si les gènes sont liées ou pas. Le génotype peut s'écrire aussi de façon linéaire surtout lorsqu'aucune information ne vous permet de savoir si les gènes sont liés ou non.

-Exemple 1 : un seul gène

➢ **cas d'un sujet homozygote pour l'allèle dominant**

Couleur des poils : souris grise dominant

G : souris grise

- Phénotype [G] ou (G)
- Génotype GG ou G ┼┼G

➢ **Cas d'un sujet homozygote pour l'allèle récessif**

Récessif g : souris blanche récessif

- Phénotype : [g] ou (g)
- Génotype : gg ou g┼┼ g

➢ **cas d'un sujet hétérozygote l'allèle G dominant sur g**

- Phénotype : [G]
- Génotype Gg ou G ┼┼g

➢ **Cas d'un sujet hétérozygote pour des allèles codominants**

Couleur des fleurs : B ⇒ blanc

R ⇒ rouge

- Génotype RB ou R┼┼B
- Phénotype [RB]

-Exemple 2 : 2 gènes liées

➢ Soit la drosophile ayant pour caractère sauvage pour des **homozygotes dominants** :

- Corps gris : n^+
- Ailes longues : vg^+
- Génotype : $\frac{n+ \quad vg+|}{n+ \quad vg+}$
- Phénotype : [n^+ vg^+]

➢ **Homozygote récessif**

- Génotype

$$\frac{n\ \ vg}{n\ \ vg}$$

- Phénotype : [n vg]

➢ **Hétérozygote**

- Phénotype : [n^+ vg^+]
- Génotype :

$$\frac{n+\ \ vg+}{n\ \ vg} \quad \text{ou} \quad \frac{n+\ \ vg}{n\ \ vg+}$$

- **Exemple 3 : 2 gènes indépendants.**

Aspect des graines : graines lisses : L ; graines ridées : l

Couleur des graines : graines jaunes : J ; graines vertes : j

➢ **Homozygote dominant**

- Phénotypes : [LJ]
- Génotypes : L┼┼L J┬┬J

➢ **Homozygote récessif**

- Phénotype : [lj]
- Génotype : l┼┼l j┬┬j

➢ **Hétérozygote**

- Phénotype : [LJ]
- Génotype : L┼┼l J┬┬j

Remarque : l'utilisation de la double barre de fraction facilite l'interprétation chromosomique des résultats du croisement car chaque barre symbolise dans ce cas un chromosome.

- **Exemple 4 : un seul gène lié au sexe**

➢ Le daltonisme est une tare récessive liée au sexe et portée par le chromosome X, soit d cet allèle

Homme daltonien :

- Génotype : Xd Y ;
- Phénotype : [d]

Femme daltonienne :

- Génotype : Xd Xd
- phénotype : [d]

➢ Homozygote dominant :

Femme normale :

- Phénotype : [D]
- Génotype : XD XD

➢ Hétérozygote

- Phénotype : [D]
- Génotype : XD Xd

- **Exemple 5 : 2 gènes liés au sexe (X)**

Cas de l'hémophilie (h), récessif et normal dominant (H) ; et cas du daltonisme (d) récessif et normal dominant (D)

- Homozygote dominant
  - Phénotype : [HD]
  - Génotype : $X_D^H X_D^H$
- Hétérozygote
  - Phénotype : [HD]
  - Génotype : $X_D^H X_d^h$ ou $X_d^H X_D^h$ (selon les données)
- Homozygote récessif
  - Phénotype : [hd]
  - Génotype : $X_d^h X_d^h$

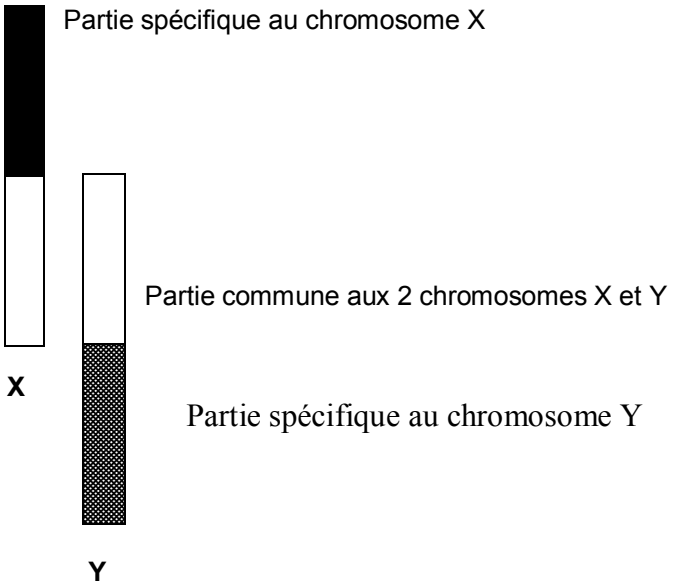


Schéma des chromosomes sexuels

V. Méthodologie pour l'étude en génétique

1) Analyse

- Rechercher le nombre de caractères, la nature du caractère, le nombre de gènes ;
- Rechercher le modèle théorique à étudier ;
- Etat de dominance ;
- Le choix des symboles des allèles.
- Calcul des proportions :
  - l'analyse des résultats ;
  - comparer ces proportions avec les proportions de Mendel ;
  - le type de chromosome ;
  - gènes liés : la distance entre les gènes.
- Les chromosomes sexuels (répartition des individus en fonction du sexe, le résultat est différent avec le croisement inverse).

2) Interprétation (chromosomique)

- 1er croissement

* phénotypes parentaux ;
* génotypes parentaux ;
* gamètes et proportions parentaux ;

* F1 : génotypes ; phénotypes ; les proportions

- 2e croisement

* phénotypes F1 ;

* génotypes F1 ;

* gamètes et proportions F1 ;

* échiquier de croisement ;

* bilan F2 (phénotype et génotype) ;

* comparaison avec les résultats.

3) Conclusion

- Pour un cas de gènes liés, établir la carte factorielle.

VI. Lois statistiques de la transmission des caractères héréditaires : Lois de Mendel

1. Monohybridisme

Le monohybridisme est le croisement de deux lignées pures qui diffère par un seul caractère.

a) Cas ou un allèle est dominant

Exercice : on croise deux variétés de pois, l'une à aspect lisse, l'autre à aspect ridé. Toutes les graines récoltées en F_1 sont lisses. Après avoir semé les graines lisses de la F_1 on laisse s'autoféconder les plantes qui en sont issues. On récolte les plantes de cette deuxième génération F_2. Sur un total de F_2 : 7324 graines on a 5474 graines lisses et 1850 graines ridées. On constate qu'à l'issue d'un croisement entre les individus de la F_2, que :

- les pieds issus des graines ridées donnent exclusivement des graines ridées ;
- les graines lisses donnent un mélange de graines ridées et lisses.

Quelles explications peut-on donner à ces résultats.

Correction

-Les 2 individus sont différents par un seul caractère : l'aspect de la graine : il s'agirait d'un cas de monohybridisme, à dominance totale et à gène autosomique.

-La F_1 est homogène : la 1ère loi de Mendel ou loi d'uniformité des hybrides des individus de la F_1 est vérifiée : **« lorsque les parents sont de lignée pure les individus de la F_1 se ressemblent entre eux ».**

-Tous les individus de la F_1 se ressemblant et ont un aspect des graines lisses on peut dire que le caractère lisse domine le caractère ridé qui est récessif

-Choix des allèles :

- Soit L l'allèle responsable du caractère graine lisse
- Soit l l'allèle responsable du caractère graine ridée

Loi de pureté des gamètes : « les parents étant de race pure, chaque individu produira un seul type de gamète »

-calcul des proportions

F_2 : 7324

Lisses : 5474 $\Rightarrow \frac{5474}{7324}$ x 100 = 75%

* ridées 1850 $\Rightarrow \frac{1850}{7324}$ x 10 = 25%

- ridé est récessif et homozygote

Lisses est dominant et la F_2 est hétérozygote

Ces résultats montrent que **la 2ème loi de Mendel est vérifiée : « on retrouve en F_2 les caractères des parents et de la F_1 dans les proportions fixes de ¾ et ¼ »**

Bilan phénotypiques

1er croisement, Phénotypes, Génotypes, Gamètes avec les proportions

$F_{1=}$ génotype, phénotype et proportion

2è Croisement

Phénotypes, Génotypes, Gamètes avec les proportions

Echiquier de croisement

Bilan phénotypique et Conclusion

Conclusion

Les résultats théoriques sont conformes au résultat du croisement effectué.

Tous les individus de la F_1 se ressemblant cela nous amène à la première Loi de Mendel qui dit que

Lorsque les parents sont de lignées pures (races pures et variété pures) les individus de la F_1 se ressemblent entre eux c'est la loi d'uniformité des hybrides de la F_1.

Conclusion

Les résultats théoriques sont conformes aux résultats du croisement effectué ;

Les résultats du quatrième croissement nous amènent à énoncer **la 2ème loi de Mendel qui est la loi de disjonctions des caractères : « on retrouve en F_2 les caractères des parents et de la F_1 dans les proportions fixes ¾, ¼ ».**

Il s'agit d'un cas de monohybridisme, à dominance totale et à gène autosomique.

b) Rétrocroisement

En croisant un hybride de la F_1 avec la souche présentant le caractère récessif, on obtiendra des graines lisses et des graines ridées dont les proportions statistiques sont les suivantes : 50% de graines lisses hétérozygotes Ll et 50% de graines ridées ll.

Expliquez ces résultats.

Croisement

♂ F_1 X ♀ [l]

Gen : Ll x ll

Gam : 50% L ; x 100% l

50% l

L'échiquier donne

♀ [l] ♂ F_1	**50% L**	**50% l**
100% l	50% Ll [L]	50% ll [l]

Bilan : 50% [L] ; 50% [l]

Les proportions 50% et 50% sont celles d'un test-cross de monohybridisme à dominance totale et à gène autosomique.

Le rétrocroisement avec le parent récessif permet de connaître rapidement si un individu présentant le caractère dominant est homozygote ou hétérozygote pour ce caractère.

2. Dihybridisme

Il y a **dihybridisme** quand les parents diffèrent l'un de l'autre par deux couples de caractères.

Exercice

Mendel croise deux lignes pures de pois différents par deux couples de caractères à savoir l'aspect et la couleur de la graine.

- " graines lisses et jaunes"
- "Graines ridées et vertes"

En F_1 tous les individus sont à graines lisses et jaunes. En F_2, l'autofécondation des individus de la F1 donne les résultats suivants : sur 15 plantes, on récolte 556 graines reparties de la manière suivante :

* 315 lisses et jaunes
* 101 ridées et jaunes

* 108 lisses et vertes

* 32 ridées et vertes

Interpréter les résultats.

Correction

Les individus sont différents par 2 caractères : l'aspect et la couleur de la graine, il s'agirait d'un dihybridisme

La 1ère loi de Mendel est vérifiée

L'aspect lisse et la couleur jaune dominent respectivement l'aspect ridé et la couleur verte.

Les parents étant de lignée pure donc homozygote, chaque individu produira un seul type de gamète.

Calcul des proportions des individus de la F_2

9-3-3-1 :

La 2ème loi de Mendel est vérifiée car on a une ségrégation indépendante.

Ces proportions sont celles d'un dihybridisme à dominance totale, à gènes indépendants et portés par des autosomes.

* choix des allèles

Soit L et J les allèles gouvernant respectivement l'aspect lisse et la couleur jaune.

Soit l et j les allèles gouvernent respectivement les caractères rides

1er croisement

Phénotype, Génotype, Gamètes

F_1 100%

2ème croisement

Phénotype, Génotype, Gamètes

Echiquier

Bilan phénotypique :

On obtient 9 génotypes et 4 phénotypes dans des proportions : 9/16 ; 3/16 ; 3/16 ; 1/16.

Ainsi grâce au dihybridisme on a obtenu deux nouvelles lignées pures LL jj et ll JJ qui peuvent être conservés indéfiniment par autofécondation. C'est par ces procédés que les agronomes et les éleveurs créent de nouvelles lignées pures ; c'est ainsi que Mendel énonça sa **3ème loi ou loi de ségrégation indépendant des caractères : « Les caractères gouvernés par les différents couples d'allèles mêlés chez les parents de race pure se disjoignent indépendamment les uns des autres lors de la formation des gamètes chez l'hybride ».**

3. Généralisation

Nombre de couples d'allèles	Nombre de catégories de gamètes produits par l'hybride F1	Nombre de combinaison en F2	Nombre de génotype F2	Nombre de phénotypes en F2 et répartition de ces phénotypes dans le cas d'une dominance complète
1. Monohybridisme	2	4	3	$(3+1)^1$
2. Dihybridisme	4	16	9	$(3+1)^2$ = 9-3-3-1
n. Polyhybridisme	2^n	$(2^n)^2$	3^n	$(3+1)^n$

Dihybridisme : cas de dominance complète et gènes non lié Dessin

Chapitre III : INTERPRETATION CHROMOSOMIQUE DES LOIS DE MENDEL : LES TRAVAUX DE MORGAN

(Exception aux lois de Mendel)

Lois de Mendel :

-Un caractère commandé par un seul gène (présent dans la cellule et ne parle pas des chromosomes)

-Pour un gène, il y a 2 allèles (1 allèle dominant et 1 allèle récessif)

-Gènes autosomaux

-Les individus sont tous viables

-2 ou plusieurs caractères qui sont considérés conjointement dans les chromosomes. Ces 2 ou plusieurs caractères sont indépendants et sans interactions les uns sur les autres

-Mendel ne s'intéresse qu'à la diploïdie

I. Hérédité autosomale ou non liée au sexe

1. Cas de codominance

Lorsqu'on obtient un individu qui est intermédiaire entre ces deux parents, on parle de codominance.

Exercice : *Mirabilis jalapa* est une plante chez laquelle on a isolé deux variétés, l'une à fleurs rouges et l'autre à fleurs blanches. Lorsqu'on croise ces deux plantes on obtient une plante à fleur rose en F_1. On a trois phénotypes en F_2 avec les proportions suivantes :

- Fleurs rouges ¼
- Fleurs roses ½
- Fleurs blanches ¼

Interpréter ces résultats.

Interprétation

Les 2 variétés différentes par un seul caractère : la couleur de la fleur : c'est un monohybridisme

On note l'apparition d'une nouvelle couleur la couleur, rose, intermédiaire entre le rouge et le blanc.

Tous les individus de la F_1 se ressemblent entre eux mais ne ressemblent à aucun des parents.

Les propositions obtenues en F_2

$\frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}$ Nous permettent de supposer qu'il s'agit d'un cas de monohybridisme avec codominance et porté par des autosomes, d'où le choix des allèles

- Soit R l'allèle gouvernant le caractère couleur rouge
- Soit B l'allèle gouvernant le caractère couleur blanche

1er croisement (parent, phe geno gam F_1 et les proportions)

2ème croisement (parent, phe geno gam F_1 et les proportions)

Bilan et conclusion

Dans le cas d'un monohybridisme on a les proportions suivantes :

3 phénotypes : ¼, ½ ; ¼

Dihybridisme à gène indépendant ou un caractère présente une codominance on obtient 6 phénotypes dont les proportions sont (3/4 ; ¼) (1/4 ; ½ ; ¼) = 3-6-3-2-1-1

Si les deux caractères présentent une codominance on obtient en F_2, 9 phénotypes dont les proportions sont les suivantes : (1/4 ; ½ ; 14) (1/4 ; 1/2 ; 1/4) = 1, 2, 2, 4, 2-1-2-1-1

2. Interprétation chromosomique

a) Monohybridisme (voir Mendel et utilisé les chromosomes p112)

b) Dihybridisme

b_1) Gènes indépendants (voir exo de Mendel et utilisé les chromosomes p114)

b_2) Gènes liés

- **Le linkage peut être absolu**

Dans certains croisements, on constate que certains caractères apparaissent toujours sur le même chromosome et en des loci différents. C'est donc dire que certains gènes paraissent liés. Ce phénomène est appelé liaison génique ou linkage.

Dans le cas d'un linkage absolu, pour un polyhybridisme, on a les proportions d'un monohybridisme de la F_2 (3/4 ; ¼).

Exercice :

On croise 2 variétés pures de maïs : des graines pleines et colorées avec des graines déprimées et incolores. A la première génération, toutes les graines sont pleines et colorées. Des graines de F_1 sont croisées avec des graines incolores et déprimées. On obtient une descendance comprenant :

- 4032 graines pleines et colorées ;
- 4035 graines déprimées et incolores.

  Interprétez ces résultats.

  Résolution

- Dihybridisme
- F_1 : 1ère loi de Mendel vérifiée
- Caractères pleins et colorés dominent respectivement déprimés et incolores
- Calcul des proportions du 2ème croisement : 50 % et 50 % ; ces proportions correspondent à celles d'un test cross de monohybridisme à dominance totale et comme nous sommes dans un cas de dihybridisme, on pourrait dire qu'il s'agit d'un cas de test cross de dihybridisme à dominance totale, à gènes totalement liés et autosomiques.
- Choix des symboles des allèles :
  - « P » : graines pleines
  - « p » : graines déprimées
  - « C » : graines colorées
  - « c » graines incolores

1er croisement Phénotype, Génotype, Gamètes

F_1 100% [PC]

- 2ème croisement (test cross)
  - Echiquier
  - Bilan : 50% [PC] ; 50% [pc]
  - Conclusion : RTCRE ; il s'agit d'un cas de dihybridisme à dominance totale, à gènes totalement liés et autosomiques.
- **Le linkage peut être partiel**

Cette situation ne peut s'expliquer que par un phénomène de crossing-over.

Exercice

On croise deux drosophiles de race pure. L'une a corps gris et ailes longues et l'autre à corps noir et ailes vestigiales.

Tous les individus de la F_1 ont le corps gris et les ailes longues. On croise deux individus de la F_1 et on obtient en F_2 ¾ d'individus à corps gris et ailes longues et ¼ d'individus à corps noir et ailes vestigiales. On croise ensuite un mâle de la F_1 avec une femelle récessive, on obtient autant de drosophiles aux ailes longues et corps gris que de drosophiles aux corps noirs et ailes vestigiales. On croise une femelle de la F_1 avec un mâle au corps noir et ailes vestigiales. Ce croisement donne les résultats suivants :

- ♣ 41,5% de drosophiles à corps gris et ailes longues ;

- ♣ 41,5% de drosophiles à corps noir et ailes vestigiales ;
- ♣ 8,5% de drosophiles à corps gris et ailes vestigiales ;
- ♣ 8,5% de drosophiles à corps noir et ailes longues.

Expliquez ces résultats et illustrez le phénomène qui est à l'origine des résultats du dernier croisement.

Correction de l'exercice

Les individus différents par 2 caractères, à savoir : la couleur du corps et la forme des ailes c'est donc un dihybridisme.

En F1 tous les individus se ressemblent et ressemblent à l'un des parents. La 1ère loi de Mendel est vérifiée. Cela n'a été possible que si la couleur grise est dominante par rapport à la couleur noire. L'aspect long est dominant/ aspect vestigiale.

En F2 les proportions on a

¾ d'individus corps gris et ailes longues

¼ d'individus corps noirs et ailes vestigiales

Cela vérifie la 2eme loi de Mendel pour un cas de monohybridisme avec dominance.

* le 3eme croisement montre : 50% et 50% c'est un test cross d'un mono-hybridisme, on peut supposer que les gènes sont liés.

* Choix des allèles.

Soit « G » l'allèle gouvernant couleur grise ; soit g l'allèle gouvernant couleur noire

Soit « L » l'allèle gouvernant caractère long ; soit l l'allèle gouvernant caractère vestigiale.

* le 4eme examen montre des résultats différents de ceux du 3eme examen. On a la présence des hybrides nouveaux différents de ceux des parents. On peut donc supposer qu'il y a eu crossing-over à la prophase **I** lors de la formation des gamètes femelles. Le linkage est partiel chez la femelle.

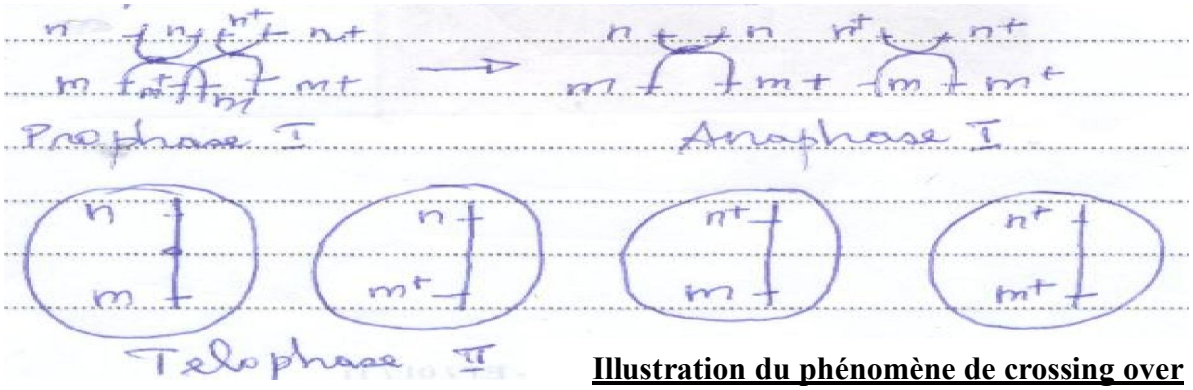


Illustration du phénomène de crossing over

Les résultats obtenus à savoir 41,5% ; 41,5% pour les gamètes parentaux ; 8,5% et 8,5% pour les nouveaux individus recombinés contrairement aux 50%, 50%, montrent que la liaison n'est pas absolue chez la femelle. Alors l'hybride femelle a formé 4 types de gamètes dont 2 recombinées (Gl et gL). On peut dire que la liaison a été absolue dans 83% des cas et a échoué dans 17% des cas. L'obtention des gamètes nouveaux implique le phénomène de crossing-over à la prophase I de la méiose. Les proportions des gamètes recombinées étant inférieures à celles des gamètes parentaux, on peut dire que le crossing-over ne s'effectue pas à chaque méiose, mais sur un certain nombre de méiose. Ainsi donc, on peut déterminer **P** qui est le pourcentage de recombinaison.

$$P = \frac{\Sigma \text{ Des individus recombinés} \times 100}{\text{Total des individus}}$$

Phénotypes parentaux : **(1-P)/2** Phénotypes des recombinés : **P/2**

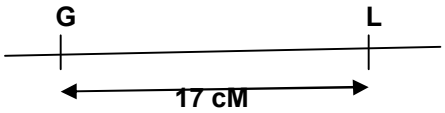
Remarque$_1$: chez la drosophile le linkage est absolu chez le mâle ; chez le ver à soie le linkage est absolu chez la femelle. La probabilité qu'un crossing-over se fasse est d'autant plus grande que la distance séparant les deux gènes est élevée.

3. Carte factorielle

La carte factorielle est la représentation de la distance séparant les 2 gènes. La distance est déterminée par P. Ce qui est matérialisé par une droite avec les loci et la distance séparant les deux loci.

Exemple : en se basant sur l'exercice précédent, établissez la carte factorielle ou carte génique.

AN : P= (8,5+8,5)= 17%=17cM



II. Hérédité liée au sexe

On a considéré jusqu'à présent que les gènes responsables de l'expression de certains caractères étaient portés par des autosomes et donc par des chromosomes homologues. Mais en plus de ces autosomes, il existe chez de nombreux êtres vivants des chromosomes particuliers qui se présentent différemment chez le mâle comme chez la femelle. Dans l'un des sexes appelé sexe hétérogamétique, la paire de chromosomes est constituée de 2 chromosomes différents conventionnellement dénommé XY. Dans l'autre paire, dite homogamétique les 2 chromosomes sont identiques XX. Ces chromosomes dits sexuels ou hétérochromosomes ont une constitution particulière. En effet, les gènes situés sur le chromosome X n'ont pas souvent de correspondant sur le chromosome Y. Si le gène est lié au sexe, on obtient en F_1 et en F_2 des résultats différents de celui de Mendel. ***Dans la pratique, on se rend compte qu'un caractère est lié au sexe lorsqu'on a effectué un croisement réciproque ou inverse, lorsqu'il y a une répartition des individus en fonction du sexe, et lorsque les résultats de la F_1 du premier croisement sont différents de la F_1 du deuxième croisement***. Il peut arriver qu'un gène soit porté par Y ; dans ce cas, les femelles (chez les mammifères ou la femelle est homogamétique) ne possèdent jamais ce caractère. Chez les diptères et chez les mammifères, le mâle est hétérogamétique XY. Chez les papillons, les oiseaux, les batraciens… c'est le sexe féminin qui est hétérogamétique. La portion non homologue de Y porte des gènes appelés SRY qui sont responsables des traits masculins (Testicules de la présence de poils sur le pavillon de l'oreille). Il ne faut pas confondre hérédité liée au sexe c'est-à-dire portée par les hétérochromosomes et hérédité influencée par le sexe (gène autosomale dominant chez le mâle et récessif chez la femelle).

Ex : le gène « calvitie » est dominant chez l'homme et récessif chez la femme

a) Monohybridisme

Exercice

Morgan croise deux drosophiles de race pure. Un mâle aux yeux blancs mutant avec une femelle aux yeux rouges type sauvage. La F_1 est formée d'individus ayant tous le même phénotype sauvage. La F_2 comprend des femelles aux yeux rouges et des mâles qui ont pour moitié des yeux rouges et pour moitié des yeux blancs. Ensuite une femelle de race pure aux yeux blancs est croisée avec un mâle aux yeux rouges. En F_1 toutes les femelles ont des yeux rouges et tous les mâles ont des yeux blancs. En F_2 on obtient 115 femelles aux yeux rouges ; 118 mâles aux yeux rouges, 123 femelles aux yeux blancs, 119 mâles aux yeux blancs.

Interprétez ces résultats.

Correction

- Il y a transmission d'un seul caractère, à savoir, la couleur des yeux : C'est un monohybridisme.
- En F1 les individus ont les yeux rouges : la 1ère loi de Mendel à savoir la loi d'uniformité des hybrides de la F1 est vérifiée en F1 le caractère couleur est dominant
- Le caractère yeux rouges domine le caractère yeux blancs qui est récessif
- Il y a une répartition des individus en fonction du sexe et les résultats du croisement réciproque ou inverse sont différents : il pourrait s'agir d'un cas de monohybridisme à dominance totale et à gène lié au sexe.
- Mâle comme femelle porte le caractère, on pourrait dire que le gène est porté par le chromosome X

Calcul des proportions

En F_2 chez le ♂ yeux rouges 50% ; ♂ Yeux blancs 50% ; ♀ Yeux rouges 100%

- Choix des allèles

Soit "b" l'allèle responsable caractère couleur blanche et "b+" l'allèle gouvernant le caractère couleur rouge. Le croisement réciproque modifie la F_1. Les parents étant de race pure ils émettront chacun un seul type de gamète.

1er croisement (parent, phen, gen, gam F1 et proportions)

2ème croisement (parent, phen, gen, gam F2 échiquier de croisement et proportions)

1er croisement réciproque

2ème croisement réciproque

b) Dihybridisme

A) On a réalisé deux croisements de drosophiles :

Premier croisement : On a croisé des drosophiles femelles au corps gris et aux ailes normalement nervurées, avec des drosophiles mâles au corps jaune aux ailes dépourvues de nervures transversales. Les drosophiles femelles et mâles sont de race pure.

En F_1, tous les individus obtenus ont le corps gris et les ailes normalement nervurées.

Deuxième croisement : on a croisé des drosophiles mâles au corps gris et aux ailes normalement nervurées avec des drosophiles femelles au corps jaune et aux ailes dépourvues de nervures transversales. Les drosophiles mâles et femelles croisées sont de race pure.

En F_1, toutes les drosophiles femelles ont le corps gris et les ailes normalement nervurées et tous les mâles ont le corps jaune et les ailes dépourvues de nervures transversales.

1) Quels renseignements vous apporte la comparaison des résultats obtenus en F_1 dans les deux croisements ?
2) Indiquez, pour chaque croisement, le génotype des parents et des individus obtenus en F_1.

B) On a croisé entre eux les individus obtenus en F_1 à l'issue du premier croisement. On a alors obtenu les résultats consignés dans le tableau (tableau 1).

1) Quels types de gamètes a produit la drosophile mâle F_1 ?
2) Quels sont et dans quelles proportions, les types de gamètes produits par la drosophile femelle F_1 ?
3) Schématisez le comportement des chromosomes qui, au cours de la méiose, permet d'expliquer les résultats obtenus.

Phénotypes	**Sexe**	
	Femelle	**Mâle**
Corps gris, ailes normalement nervurées	3743	1621
Corps gris, ailes sans nervures transversales	0	254
Corps jaune, ailes sans nervures transversales	0	1625
Corps jaune, ailes normalement nervurées	0	250

Tableau des résultats

Résolution : Dihybridisme avec gènes liés au sexe et porté par le chromosome X et avec crossing over. Calculez la colonne des mâles uniquement.

CHAPITRE IV : HEREDITE HUMAINE

I. Complexité de la génétique humaine

Il y a des maladies qui depuis longtemps ont été retrouvées chez les descendants que chez les parents. On s'est alors demandé qu'est-ce qui est acquis ? Qu'est-ce qui est transmis ?

On remarque des traits de ressemblance entre enfants et parents. Dans le domaine scientifique, les gens hésitaient à s'aventurer dans la génétique humaine pour plusieurs raisons :

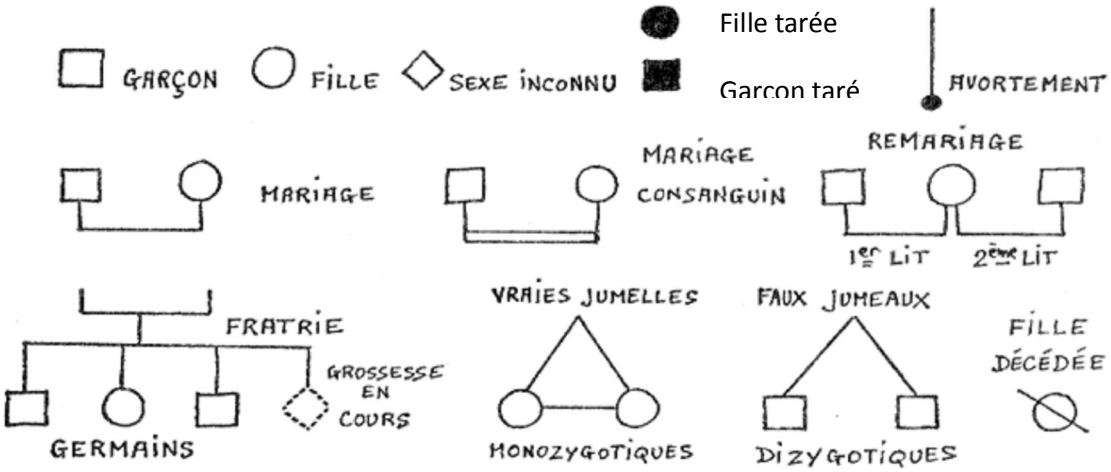
- la nature de l'homme, car la fécondité est faible ;
- la succession des générations est trop espacée. Par exemple 25 ans environ entre deux générations.
- l'homme ne peut être utilisé comme matériel ;
- la nature du génome humain 2n = 46 est très élevée avec des chromosomes de petites tailles ;
- l'expression variable des caractères ;
- certains refusent le progrès (la peur du clonage) ;
- les contraintes religieuses.

Pour contourner un certains nombre de ces obstacles, deux méthodes sont utilisées pour l'étude. Il s'agit :

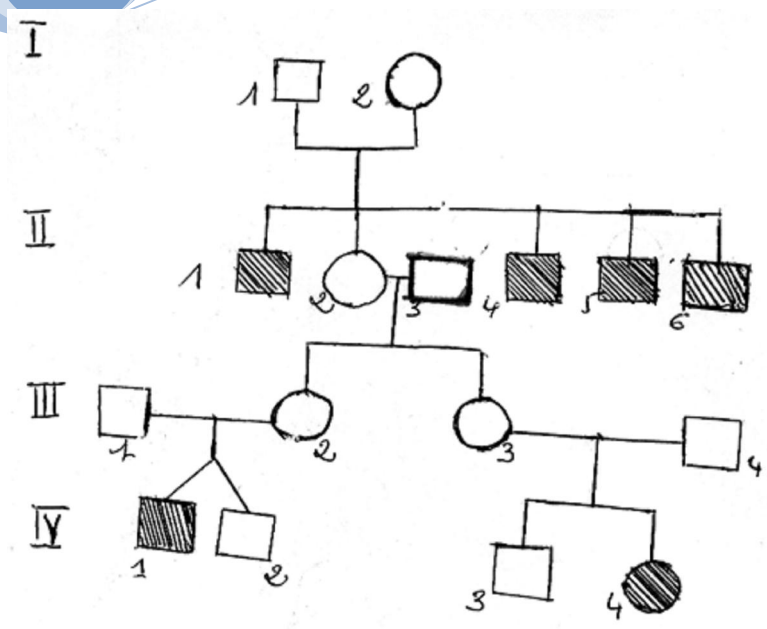
- des enquêtes ;
- des analyses d'arbre généalogique.

II. Arbre généalogique

1) Symbole



Exemple de Pédigrée



Légende :

Individu mâle portant la tare — Individu femelle portant la tare

Individu mâle sain — Individu femelle sain

2) Définitions

Un arbre généalogique : c'est une méthode qui permet de suivre un trait génétique dans plusieurs générations et de prédire le génotype de la future progéniture ou c'est une figure en forme d'arbre dont les rameaux partant d'une souche commune représentent la filiation des membres d'une famille.

Les générations en chiffres romains : Première génération, II. deuxième génération, III. troisième génération

Les individus sont numérotés par génération en chiffre arabe de la gauche vers la droite, du plus ancien au plus jeune. Mais on peut les numéroter de 1 à n sans tenir compte des générations.

A la fin de l'élaboration de l'arbre généalogique, il faut faire la légende.

On appelle fratrie des enfants appartenant à la même famille.

- Les frères germains sont des frères issus d'un même père et d'une même mère
- Les cousins germains : sont des frères issus du frère ou de la sœur du père ou de la mère
- Un proposant est une personne qui est à l'origine de la recherche et de l'établissement d'un arbre généalogique.
- Des individus consanguins : ce sont des individus qui sont parents du côté paternel (cousin) par opposition à frère utérin (même mère).

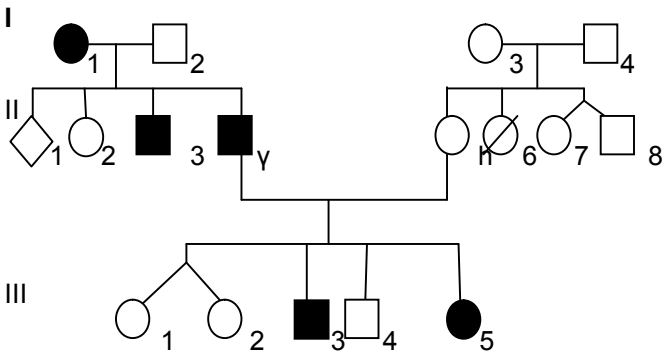
3) Représentation de pédigrée

Une femme tarée se marie à un homme. Le couple a 4 enfants dont 2 garçons malades, une fille et un individu de sexe inconnu. Un des garçons (γ) se marie à une fille (h). La fille a 3 frères dont une est morte à bas âge et une jumelle avec un garçon. Le couple (γh) a 5 enfants dont 2 fausses jumelles, 2 garçons dont un est taré et une fille tarée.

Représentez le pédigrée de cette famille.

Corrigé

Représentation du pédigrée



Légende :

- : Individu femelle sain
- : Individu mâle sain
- : Individu femelle taré
- : Individu mâle taré
- : Fille décédée
- : Individu de sexe inconnu

III. Etude du pédigrée

1) Dominance ou récessivité

- La tare est dominante, si elle ne saute pas de génération et si tout individu taré a au moins l'un de ses parents tarés.
- La tare est récessive, si elle saute de génération et si tout enfant taré a ses parents tarés ou apparemment sains.

2) Localisation chromosomique

a) Hérédité liée aux chromosomes sexuels

- **Le gène responsable du caractère est porté par le chromosome sexuel Y :** Ce sont les gènes « holandriques ». Les caractères dont ils sont responsables se transmettent toujours de père en fils. Cas de la polytrichose (poils dans le pavillon de l'oreille).

Lorsque le gène est porté par Y, seuls les garçons seraient tarés et hériteraient la tare de leur père lui-même taré.

- **Le gène responsable du caractère est porté par le chromosome sexuel X :**

- **Tare dominante :** si la tare est dominante, tout garçon taré aurait sa mère tarée ; toute fille tarée aurait au moins l'un de ses parents tarés.

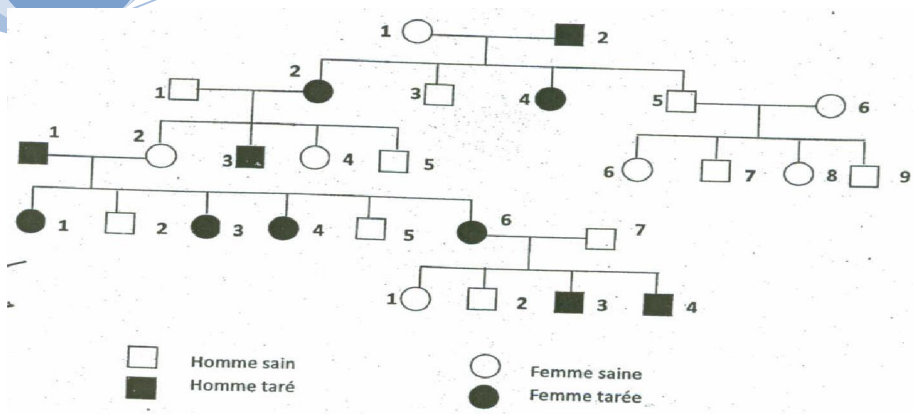
Exercice

Le pédigrée ci-dessous représente l'arbre généalogique d'une famille au sein de laquelle se transmet une tare.

1) L'allèle responsable de la tare est-il dominant ou récessif (mode de transmission) ?

2) Quel est la localisation chromosomique?

3) Donnez les génotypes des individus suivants : I_2 ; II_4 ; III_2 ; IV_5.



1) La tare est dominante, si elle ne saute pas de génération et si tout individu taré a au moins l'un de ses parents tarés.

2) Localisation chromosomique :

- Supposons que la tare est portée par Y : seuls les garçons seront tarés et hériteraient la tare de leur père lui-même taré. Hypothèse rejetée.
- Supposons que la tare est portée par X : tout garçon taré aurait sa mère tarée ; toute fille tarée aurait au moins l'un de ses parents tarés. Hypothèse recevable.
- Supposons que la tare est autosomale : tout enfant taré aurait au moins l'un de ses parents taré. Hypothèse recevable.

La tare change de sexe par génération et comme il y a une prédominance des tarés en fonction du sexe, on dit que la tare est portée par le chromosome sexuel X.

3) Génotypes

T : tare ; t : sain

I_2: X_TY ; II_4 : X_TX_t ; III_2 : X_tX_t ; IV_5 : X_tY

- **Tare récessive :** si la tare est récessive tout garçon taré aurait sa mère porteuse saine ou tarée ; et toute fille tarée aurait son père taré et sa mère tarée ou porteuse saine.

Remarque : lorsque la tare change de sexe par génération et lorsqu'il y a une prédominance des tarés en fonction du sexe, on dit que la tare est portée par le chromosome sexuel X.

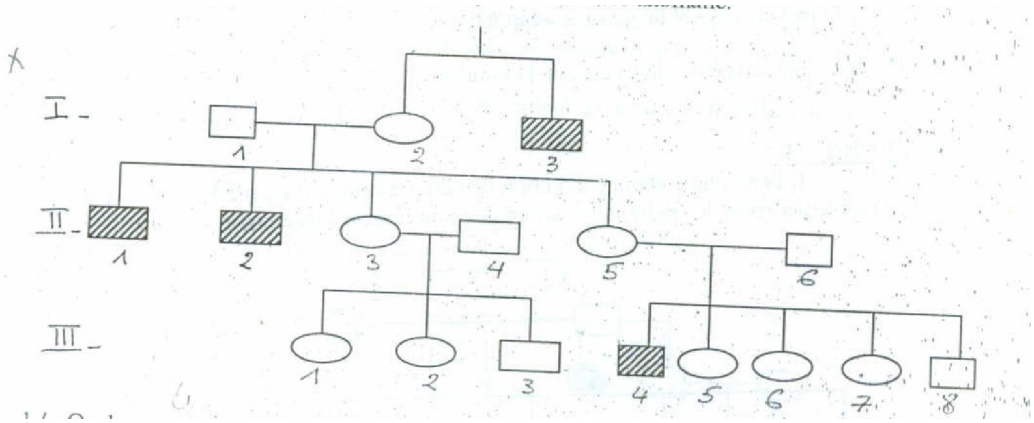
Exemple :

- Le daltonisme : C'est une anomalie de la vision des couleurs qui se manifestent par le fait que les sujets atteints n'arrivent pas à distinguer le rouge du vert. Le gène responsable du daltonisme est récessif et est porté par le chromosome X.
- L'hémophilie : L'hémophilie est liée à la déficience du facteur anti-hémophilique responsable de la coagulation du sang. L'observation de la transmission du caractère hémophile montre que la maladie n'atteint que les hommes. Le gène responsable est localisé sur le chromosome X et est récessif. L'homme hémophile est de génotype Xh Y. Il y a peu de chance d'avoir une femme hémophile car :
  - Le gène (h) est peu répandu

- Il faut la rencontre d'un homme hémophilique et d'une femme vectrice (XH Xh)
- En union consanguine les œufs Xh Xh ne sont pas viables.

Remarque : Le rachitisme familial est gouverné par un gène dominant porté par le chromosome X.

Exercice



Voici le pédigrée d'une famille présentant une anomalie qui est le daltonisme.

1) Quel est le mode de transmission de cette tare ?
2) Quelle est la localisation chromosomique ?

Correction

4) Mode de transmission : si la tare est récessive tout garçon taré aurait sa mère porteuse saine ou tarée ; ce qui est le cas pour II_1 qui est taré et a sa mère I_2 porteuse saine.

5) Localisation chromosomique :

- Supposons que la tare est portée par Y : seuls les garçons seront tarés et hériteraient de la tare de leur père lui-même taré. Hypothèse rejetée.
- Supposons que la tare est portée par X : si la tare est récessive tout garçon taré aurait sa mère porteuse saine ou tarée ; Hypothèse recevable.
- Supposons que la tare est portée par un autosome : tout enfant taré devrait avoir ses parents tarés ou porteurs sains tout enfant taré devrait avoir ses parents tarés ou porteurs sains. Hypothèse recevable.
- La tare est donc portée par X car il y a plus de garçon taré que de filles tarées.

b) Hérédité autosomale

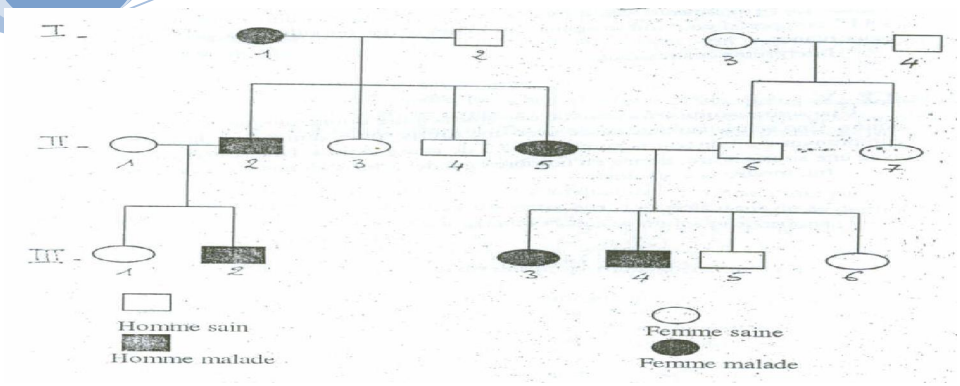
- Tare dominante : tout enfant taré aurait au moins l'un de ses parents taré.

- Tare récessive : tout enfant taré devrait avoir ses parents tarés ou porteurs sains.

Exercice

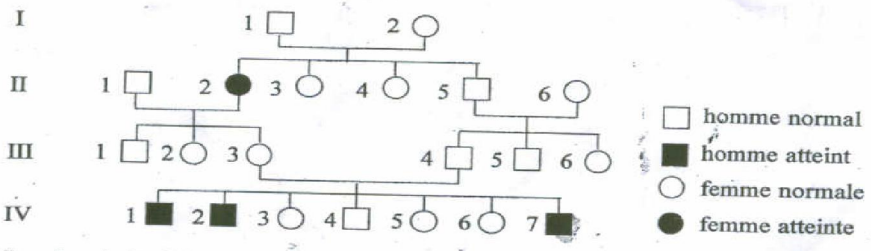
Le document ci-dessous représente l'arbre généalogique d'une famille dont certains individus sont atteints d'une maladie déterminée par un allèle défectueux.

1) Déterminez la dominance ou la récessivité ?
2) Quelle est la localisation chromosomique ?
3) Déterminez le ou les génotypes des individus suivants : I_1 ; I_2 ; I_3.



Exercice

Certains sujets sont atteints d'une maladie, la phénylcétonurie qui se traduit par une trop grande élimination d'acide phénylpyruvique dans l'urine.
Soit l'arbre généalogique d'une famille présentant des cas de phénylcétonurie sur lequel sont représentés les phénotypes des individus la composant.
D'après l'analyse de cet arbre généalogique :



1°) Le gène de la phénylcétonurie est-il dominant ou récessif ? Justifiez votre réponse.
2°) Ce gène est-il localisé sur les chromosomes sexuels ? Justifiez votre réponse.
3°) Quels peuvent être les génotypes des sujets I_1 ; I_2 ; II_2 ; II_5 ; III_3 ; III_4 ?

Remarque : Si le gène n'est ni porté par Y, ni X il est donc autosomal

- Quelques maladies et malformations héréditaires :

- Le caractère albinos est récessif par rapport à la pigmentation normale.
- La polydactylie : 6 doigts est dominant par rapport à 5 doigts.
- Latéralité : droitier est dominant par rapport à gaucher.
- La drépanocytose : c'est une maladie héréditaire répandue dans les populations d'Afrique Tropicale. Elle se transmet selon le mode autosomique codominant. Cette maladie moléculaire est due à la mutation d'un gène responsable de la synthèse d'hémoglobine dans le sang. L'hémoglobine anormale HbS diffère de l'hémoglobine normale HbA par le remplacement d'un acide aminé (acide glutamique) par un autre (valine) en position 6 sur l'une des quatre chaines de l'hémoglobine.

Les sujets sains sont de génotypes AA.
Les sujets hétérozygotes sont de génotypes AC ou AS et sont en situation de codominance. Ils sont sensibles aux conditions d'oxygénation et de nutrition.
Les sujets SS sont très anémiques.

IV. Aberrations chromosomiques

Le diagnostic des aberrations chromosomiques se fait par caryotypage.

1) Aberrations chromosomiques liées au nombre de chromosomes

a) Trisomie 21

La garniture chromosomique de l'homme est 2n = 46 soit 22 paires d'autosomes et une paire de gonosomes. Il arrive qu'on rencontre des anomalies dans le nombre des chromosomes. La plus fréquente est celle qui concerne la paire des chromosomes n°21 que l'on trouve chez les individus à l'état triploïdie (III). La garniture chromosomique devient alors : 2n+1= 45A+ XY ou 2n+1= 45A + XX. Il en résulte une maladie du nom de trisomie 21 ou mongolisme ou syndrome de down.

L'individu malade a une petite taille, un visage aplatie, des yeux en amande, des replis verticaux de la paupière près du nez, une déficience mentale, des lèvres épaisses, des doigts larges et courts, une malformation du cœur, une sensibilité aux infections.

La trisomie 21 est due à la non disjonction des chromosomes de la 21^{e} paire au moment de la méiose à l'anaphase I. Cette aberration chromosomique est fréquente chez des personnes âgées.

b) Trisomie 18

Cette maladie est due à la non disjonction des chromosomes autosomaux n°18 lors de la méiose et la garniture chromosomique est de : 2n+1= 45A+ XY ou 2n+1= 45A + XX. Les conséquences sont : une anomalie du crâne, de la face, des pieds, des mains, des malformations viscérales (cœur, rein), une évolution toujours mortelle avant l'âge d'un an.

RQ : **Trisomie 13** 2n+1= 45A+ XY ou 2n+1= 45A+ XX

c) Syndrome de Turner, syndrome de Klinefelter

-**Syndrome de Turner :** Cette maladie est due à la non disjonction des chromosomes sexuels. Les garçons YO (2n-1= 44A+ Y0) meurent à bas âge et les filles XO (2n-1= 44A+ X0) ont une anomalie au niveau des organes génitaux (peu développés), une petite taille (1,5 m), faible développement des caractères sexuels (impubérisme), atrophie des ovaires, une stérilité, quelques malformations bénignes (au niveau du coude, du cou), l'absence de caractères sexuels secondaires peut être corrigée par traitement hormonal...

-Syndrome de Klinefelter : chez les filles triples (XXX) avec 2n+1= 44A+ XXX. Elles ont des ovaires sous développées et une fécondité diminuée. Les individus (XXY) avec 2n+1= 44A+ XXY, sont des hommes stériles (testicules atrophiés, sans production de spermatozoïdes), pilosités peu développés, développement intellectuel le plus souvent anormal.

2) Aberrations chromosomiques liées à la structure des chromosomes (voire chap sur les synthèses cellulaires)

b) Translocation

c) Délétion

QUATRIÈME PARTIE : FONCTION DE RELATION

CHAPITRE I : LE TISSU NERVEUX ET SES PROPRIETES

I. Structure du tissu nerveux

1. La substance blanche

La substance blanche est externe au niveau de la moelle épinière et interne au niveau de l'encéphale (sauf le bulbe rachidien qui est contraire). L'observation de cette substance montre un prolongement cytoplasmique constitué de fibres nerveuses (gaine de myéline, gaine de Schwann) qui donnent la couleur blanche.

2. Substance grise

L'observation au microscope optique d'une coupe réalisée dans la moelle épinière d'un bœuf et coloré montre une substance grise qui est interne. La forme de la substance grise est en H ou X avec des cornes antérieures et postérieures. Une préparation constituée d'un fragment de la corne antérieure et colorée au bleu de méthylène montée et observée au microscope optique au grossissement 100 montre de nombreuses fibres et quelques éléments bien colorés, présentant une forme plus ou moins étoilée. Au fort grossissement, on constate que ces éléments étoilés sont appelés corps cellulaires. Les corps cellulaires sont constitués d'un noyau renfermant un gros nucléole, des corps de nissl, l'appareil de golgi… Le cytoplasme présente des ramifications qui donnent un aspect étoilé à la cellule. Le prolongement cytoplasmique qui s'amincit est appelé dendrites.

L'observation de l'écorce cérébral ou cortex montre des corps cellulaires avec des dendrites autour.

Remarque : on note la présence des corps cellulaires dans les ganglions rachidiens.

3. Structure d'un nerf

Le tissu nerveux est l'ensemble des neurones et des cellules gliales ou névroglies qui forment les centres nerveux et les nerfs.

Les cellules gliales sont nettement plus nombreuses que les neurones. Elles occupent tous les espaces entre elles et jouent un rôle de soutien, de nutrition, de phagocyte et de production de myéline.

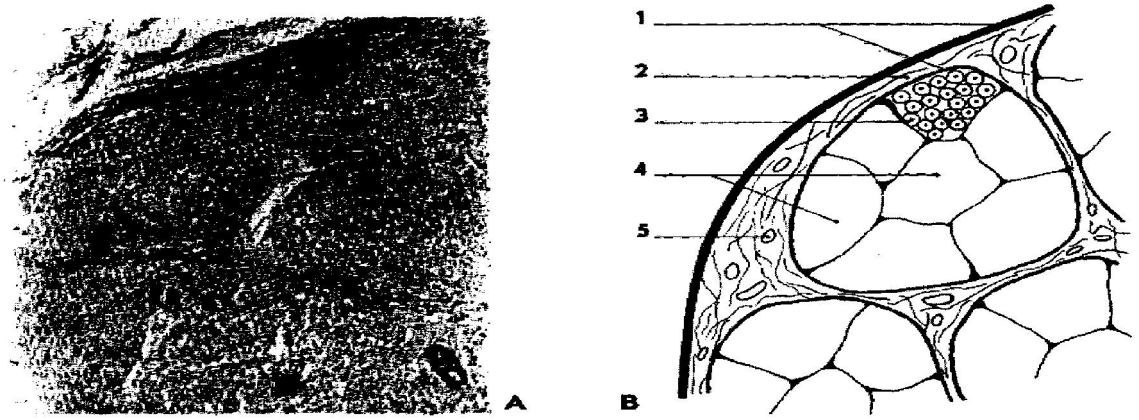
a. Observation d'une préparation dilacérée d'un nerf

Cette observation montre :

- que le nerf est formé d'une multitude d'éléments allongés fibreux et orientés dans le même sens : les fibres nerveuses ;
- une préparation colorée au bleu de méthylène ou à l'acide osmique permet de découvrir que chaque fibre :
- est constitué par un filament cytoplasmique appelé cylindraxe ou axone.
- le cylindraxe est entouré d'une gaine constituée par une substance lipidique complexe contenant de l'azote, du phosphore et appelé gaine de myéline.
- Cette gaine entourée par la gaine de Schwann (cellules à noyau) est interrompue au niveau des étranglements de Ranvier.

b) Coupe transversale d'un nerf

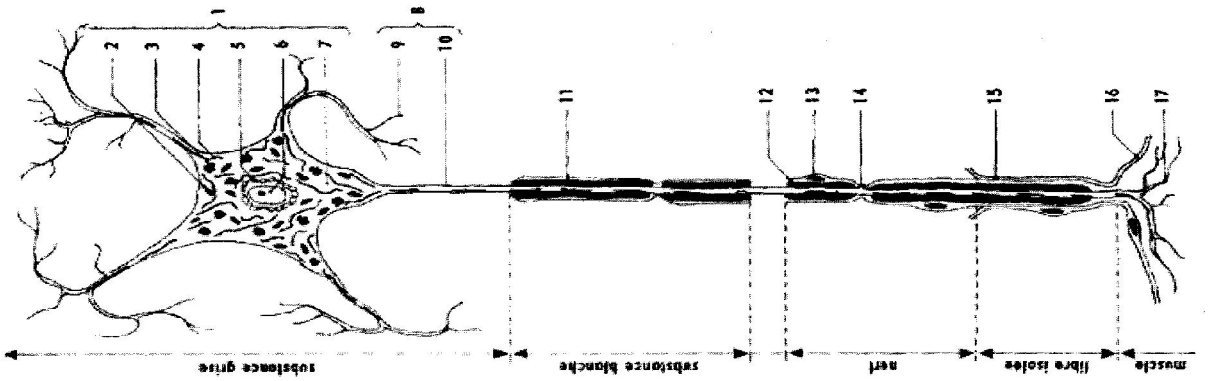
Le microscope optique montre des fibres nerveuses avec leurs gaines groupées en faisceaux, limitées par une enveloppe conjonctive appelée périnèvre. L'ensemble des faisceaux est entouré par une deuxième enveloppe conjonctive qui est l'enveloppe du nerf appelée épinèvre. Entre les faisceaux se situe un tissu conjonctif lâche contenant des vaisseaux sanguins.



A. *Microphotographie de la coupe transversale d'un nerf.* B. *Interprétation schématique.* 1. *Epinèvre et périnèvre.* 2. *Gaine conjonctive.* 3. *Fibre nerveuse.* 4. *Faisceaux de fibres.* 5. *Vaisseau sanguin.*

4. Structure d'un neurone

Le neurone ou cellule nerveuse est une cellule hautement différenciée formée par un corps cellulaire et la fibre nerveuse qui s'y attache. Le neurone comprend : le corps cellulaire, le cylindraxe et l'arborisation terminale.



1 : Corps Cellulaire, 2 : Mitochondries, 3 : Corps De Nissl, 4 : Neurofibrilles, 5 : Réseau 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 : Etranglement De Ranvier, 15 : Gaine Conjonctive, 16 : Membrane De La Fibre Musculaire, 17 : Arborisation Terminale.

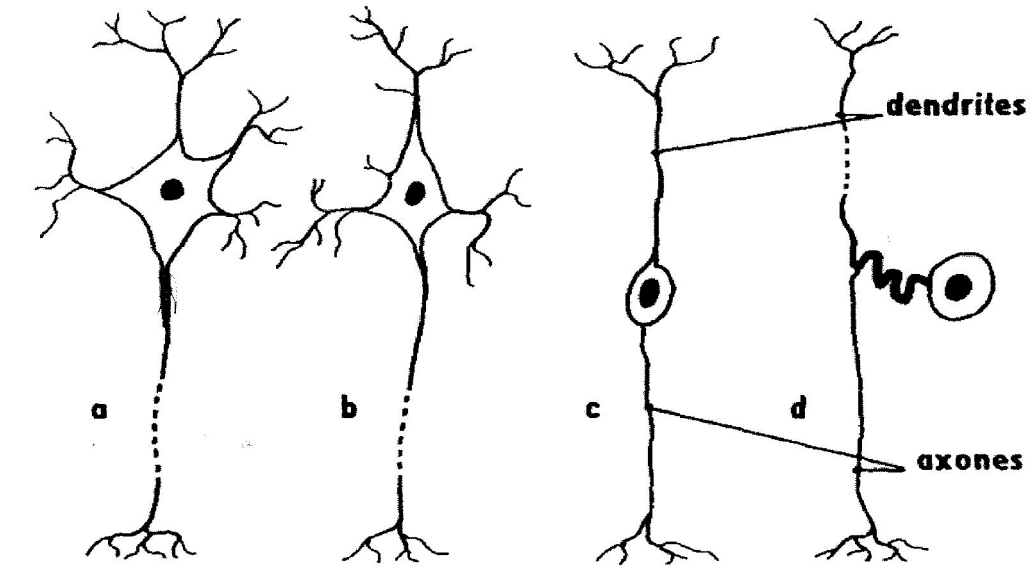
a. Les différents types de neurones

Les neurones peuvent avoir des formes variés qui peuvent être caractéristiques de certains centres nerveux. Ce sont :

- Les neurones multipolaires : ce sont des neurones qui ont un corps cellulaire étoilé volumineux et observé dans la corne antérieure de la moelle épinière.
- Les neurones pyramidaux : ils sont observés dans le cortex cérébral ou l'écorce grise du cerveau.
- Les neurones bipolaires : ce sont des neurones qui ont une seule dendrite ramifiée à son extrémité.

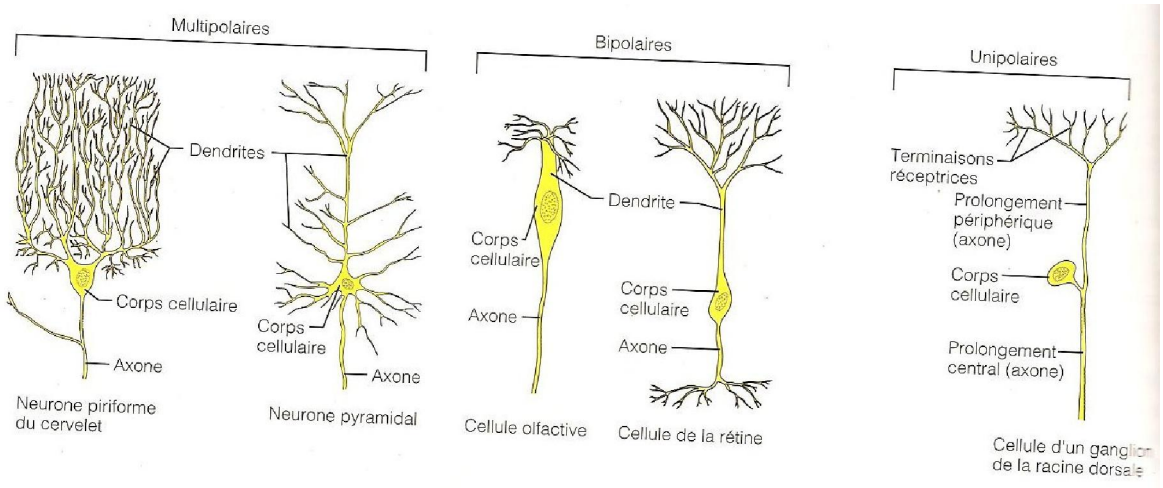
Ex : Les neurones de la rétine, du cervelet.

- Les neurones unipolaires ou en T : ce sont des neurones des ganglions spinaux



Les différents types de neurones

a) Neurone multipolaire
b) Neurone pyramidal
c) Neurone bipolaire
d) Neurone en T (unipolaire)



b. Caractéristiques d'un neurone

Le neurone est une cellule hautement différenciée, il ne se divise plus de sorte que le nombre de neurones est déterminé avant la naissance. Si à la suite d'un accident les neurones sont détruits, ils ne sont pas remplacés.

Le neurone ne possède pas de centriole. Il est la cellule qui résiste le moins bien au manque d'oxygène, de nutriments et est sensible aux drogues et aux excitants.

c. Rapport d'un neurone avec les cellules voisines

Les neurones ne sont pas indépendants les uns des autres. L'articulation de deux neurones se fait, soit :

- entre l'axone et les dendrites : c'est une synapse axo-dendritique ;
- entre l'arborisation terminale et le corps cellulaire : c'est une synapse axo–somatique ;
- rarement entre axone: c'est une synapse axo-axonique ;

- les boutons synaptiques qui déterminent chaque fibre représentent un lien entre deux neurones différents. La synapse est le point de contact entre deux neurones. Elle comprend deux disques formés par les membranes plasmiques des deux neurones :

- l'une mince appelée membrane présynaptique appartient au premier neurone ;
- l'autre épaisse appelée membrane postynaptique appartient aux neurones suivants ;
- entre les deux la fente synaptique ;
- les synapses renferment des vésicules appelés vésicules synaptiques.

Remarque :

La chaine neuronique est la disposition des neurones en chaine. Il y a contigüité et non continuité. Chaque neurone établit des synapses et en reçoit.

Schéma page 81 et 30

II. Propriétés du tissu nerveux : Electrophysiologie

1. Propriétés biologiques

Le neurone est une cellule fragile, hautement différenciée qui a perdu le pouvoir de se diviser. A la naissance tout individu possède un nombre déterminé de neurones, mais ils ne sont pas tous en état de fonctionner car la myélinisation des fibres est inachevée (jusqu'à l'âge de 3 ans) et les ramifications dendritiques non achevées (jusqu'à l'âge de 30–40 ans).

Le neurone est une cellule vulnérable aux différents facteurs du milieu (température, pH, teneur en O_2, en glucose, en vitamines : PP, B_1…)

- Après section de l'axone, il y a désagrégation de la portion distale, c'est-à-dire la portion séparée du corps cellulaire avec digestion de la myéline et des morceaux de l'axone par les cellules de la gaine de Schwann : on parle de la dégénérescence Wallerienne (Waller 1951). Cette dégénérescence peut entrainer la dégénérescence des neurones post-synaptiques. Le segment proximal peut régénérer progressivement et s'engager dans la gaine de **Schwann vide** : c'est la régénérescence (technique utilisée pour la greffe nerveuse). Ces faits montrent que le corps cellulaire du neurone est indispensable à la fibre nerveuse. **Expérience 29**

2. Propriétés physiologiques

On suspend grenouille spinale à une potence. On dégage le **gastrocnémien** de la patte postérieure en conservant le nerf sciatique : c'est la préparation nerf-muscle. Si on pince un peu le nerf, le muscle se contracte. Ce qui montre les deux propriétés essentielles du nerf donc de la fibre nerveuse : l'**Excitabilité et la conductibilité.**

Le muscle a reçu le message grâce à la naissance au point excité d'une perturbation ou signal appelée influx neveux.

a) Excitabilité

a_1) Les excitants

Les excitants sont de nature variée :

- **Mécanique** : piqûre, pincement
- **Thermique :** chaud et froid
- **Chimique :** acide et base
- **Electrique :** choc électrique avec des électrodes

a_2 conditions de l'excitation

Pour que le neurone réponde à une excitation, il faut :

- Une brusque variation de l'intensité de l'excitant

Exemple : ouverture ou fermeture du courant

- Une intensité suffisante de l'excitant

✓ On appelle intensité seuil la valeur minimale d'intensité capable de déclencher la petite réponse.

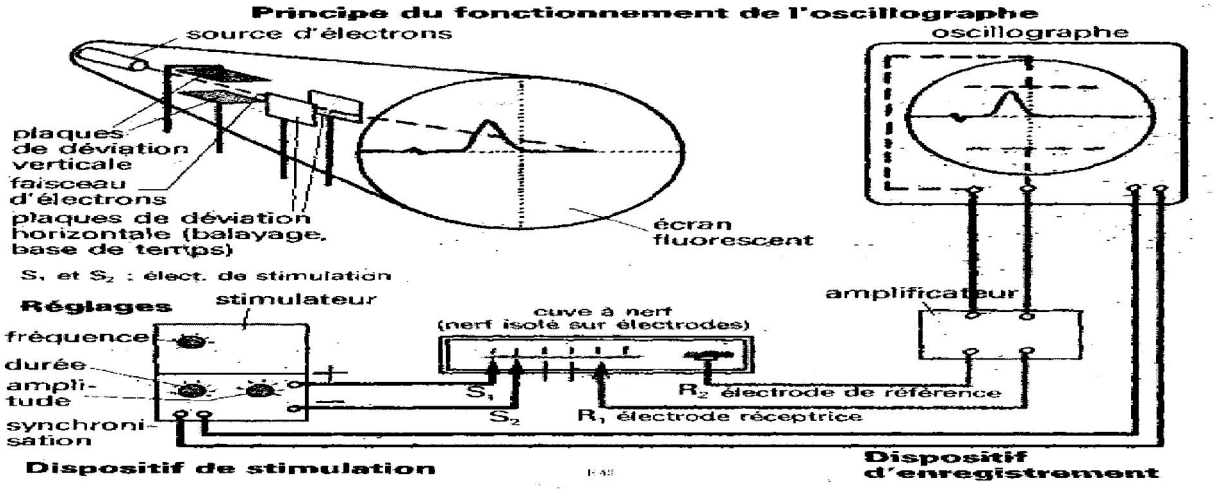
- Une durée suffisante d'action de l'excitant.

a_3 Technique d'étude

- Sur le neurone : l'étude se fait sur des fibres isolées de grandes tailles (**l'axone géant de calmar de 1mm**) et on se sert de microélectrodes (tube de verre effile ayant -1µm de diamètre) pouvant être introduit dans la fibre sans la léser. Un **oscilloscope cathodique** et un **amplificateur**.
- Sur le nerf : suivant le type d'appareil que l'on possède :

✓ on utilise des **stimulateurs uniques** ou une **série de modules** : on peut contrôler la fréquence, la tension et la durée de passage du courant.

✓ Une cuve à nerf munie de plusieurs électrodes : les deux électrodes reliées au stimulateur sont dites électrodes excitatrices. Les deux autres reliées aux plaques horizontales de l'oscilloscope cathodique par l'intermédiaire d'un amplificateur sont dites électrodes réceptrices. Donc une déviation dans le sens vertical sur l'écran marque une ddp entre les deux électrodes réceptrices.



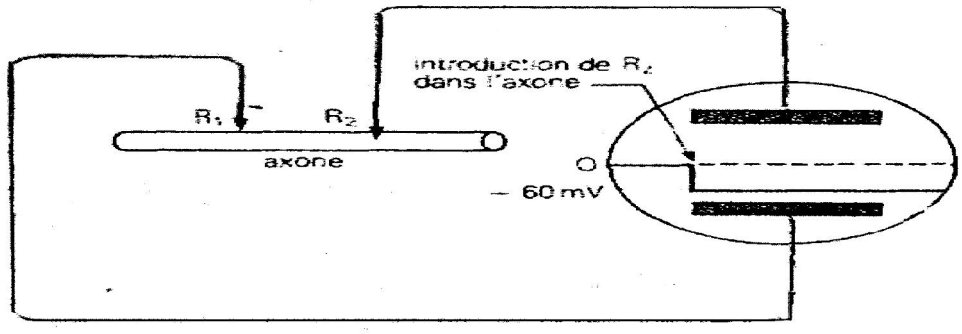
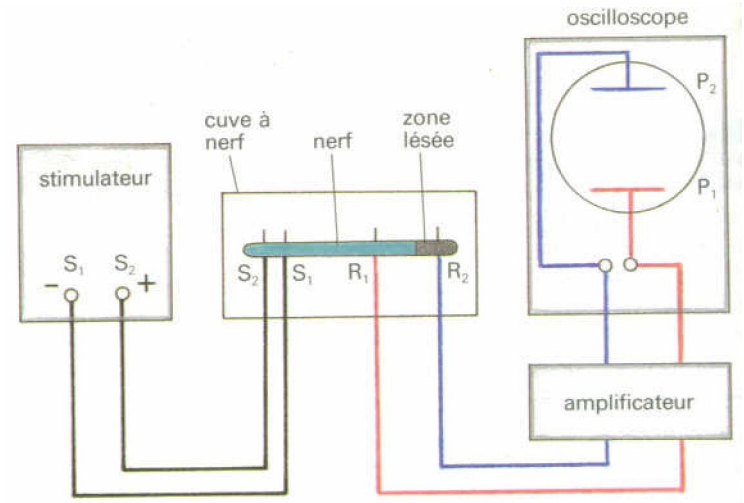


FIG 53 *Enregistrement d'un axone au repos.*



a_4 Résultats

Si l'intensité de stimulation est suffisante on observe sur l'écran de l'oscilloscope un premier accident appelé **artéfact de stimulation** suivi d'une réponse du nerf qui se traduit par une courbe : le potentiel d'action. L'artéfact est dû à la diffusion du courant dans l' « **organe** ». Il (artéfact) se produit au même moment que l'excitation et constitue un bon repère dans

le temps. Entre **l'artéfact** et le PA s'écoule une période dite temps de latence très brève. Si on fait varier le stimulus, l'artéfact est maintenu mais le PA peut ne pas apparaître.

a_5 Relation intensité et durée d'action

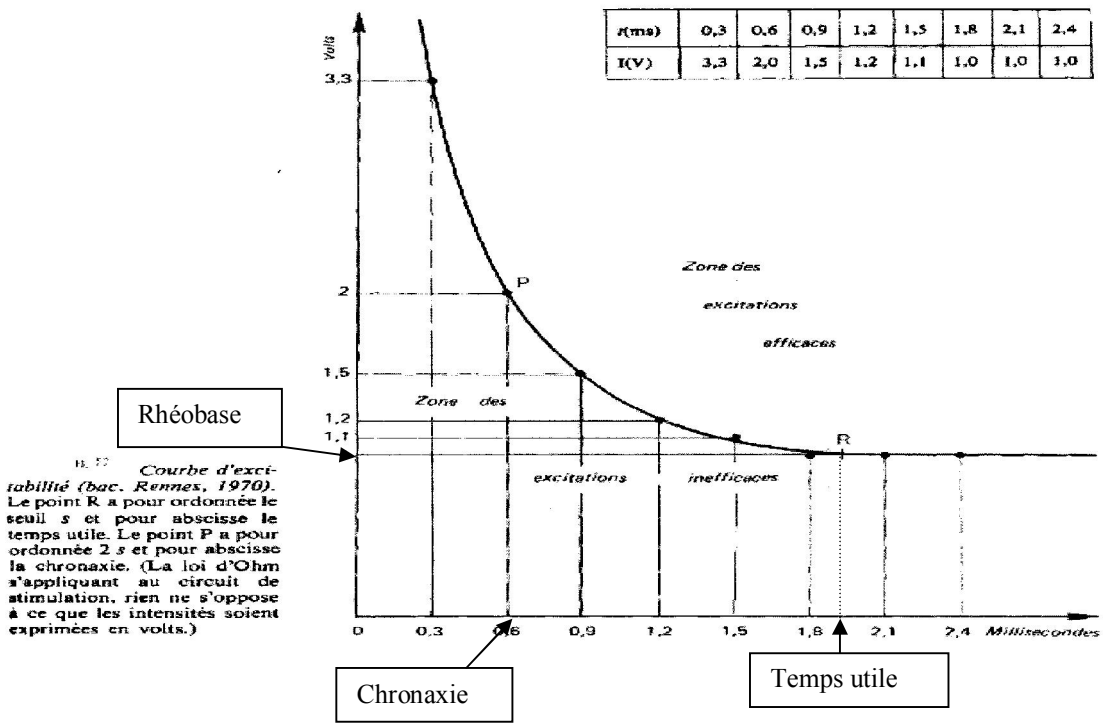
Le temps de stimulation étant fixe et suffisant, on fait varier l'intensité de stimulation jusqu'à l'obtention d'une réponse minimale qui est la rhéobase.

La rhéobase est l'intensité minimale en dessous de laquelle un nerf n'est pas excitable quel que soit le temps mis pour la stimulation.

- L'intensité de stimulation étant fixe, on fait varier la durée de stimulation et on note la valeur limite pour laquelle on obtient un potentiel d'action (PA). Le temps utile est le temps d'application le plus court de la stimulation pour lequel la rhéobase est efficace.
- On recommence la même expérience en prenant chaque fois une intensité beaucoup plus grande et on note les résultats. On porte ensuite sur un graphe les différentes valeurs. La courbe présente une limite de seuil d'excitation ou zone liminaire :

- tous les points situés dans la concavité de la courbe correspondent à des excitations efficaces, donc au-dessus du seuil ou supraliminaire ;
- les points situés à l'extérieur de la courbe correspondent à des stimuli inefficaces. Ils sont en-dessous du seuil d'excitation donc **infraliminaire**.

- **La chronaxie d'un nerf** est le temps minimal pendant lequel doit lui être appliqué un courant d'intensité double à la rhéobase pour qu'il soit le siège d'un influx nerveux. On peut dire que c'est la valeur du temps (t) correspondant à une intensité égale à 2 seuils. Un nerf est d'autant plus excitable que la zone des excitations inefficaces est réduite. La chronaxie est d'autant plus courte que l'excitabilité du nerf est plus grande.



Courbe d'excitabilité (bac. Rennes, 1970). Le point R a pour ordonnée le seuil *s* et pour abscisse le temps utile. Le point P a pour ordonnée 2 *s* et pour abscisse la chronaxie. (La loi d'Ohm s'appliquant au circuit de stimulation, rien ne s'oppose à ce que les intensités soient exprimées en volts.)

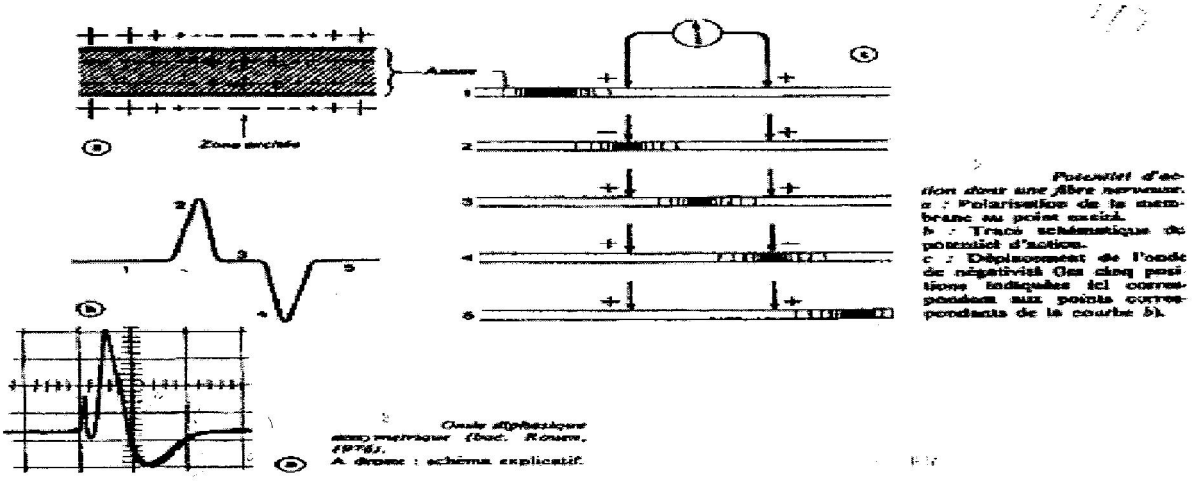
a_6 Les phénomènes électriques liés à la genèse de l'influx nerveux.

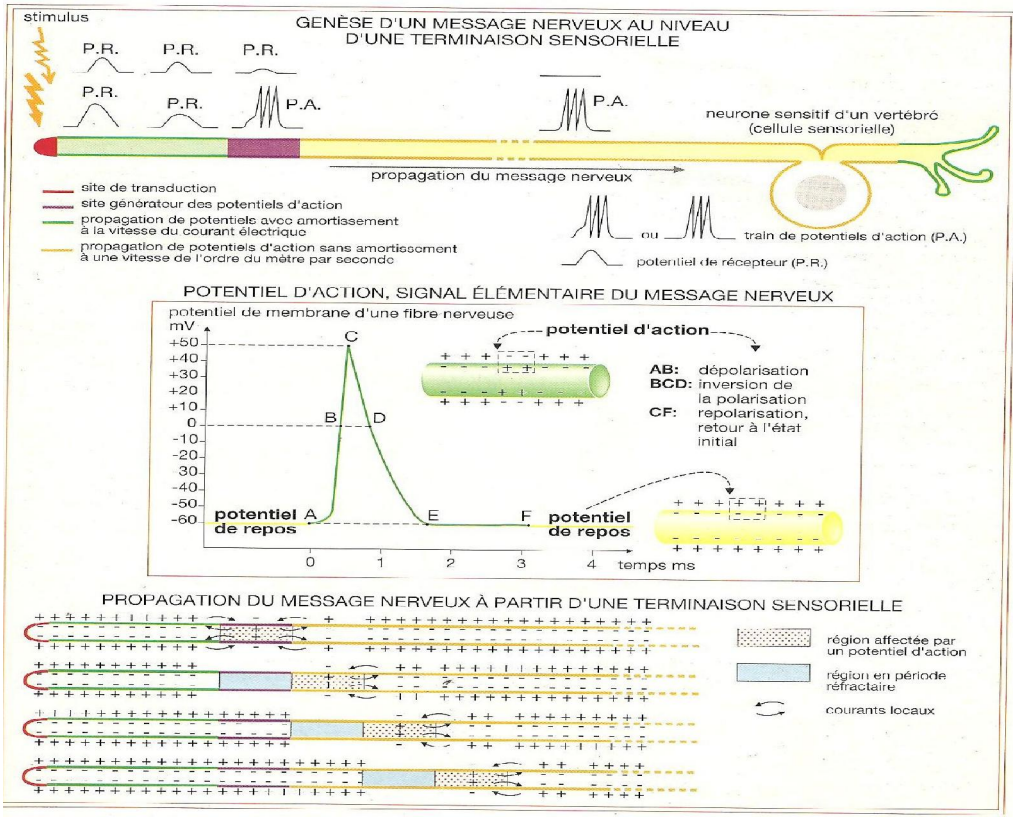
- **Le potentiel de repos** (**PR**) : sur une fibre isolée, on place une électrode réceptrice dite électrode indifférente sur la surface externe de la fibre placée dans un liquide physiologique et une microélectrode est enfoncée dans la fibre. Les deux électrodes sont reliées à un amplificateur puis à un oscilloscope cathodique. On constate alors sur l'écran qu'il y a un balayage horizontal qui n'est pas à 0 mais à -70mV.

Si les deux électrodes étaient reliées à un galvanomètre, on constaterait une déviation de l'aiguille de 0 à -70 mV. Cela montre une d.d.p entre l'intérieur et l'extérieur de la fibre même si elle n'est pas parcourue par un influx nerveux. Cette

d.d.p est appelée potentiel de repos. On dit alors que la fibre nerveuse au repos est polarisée. Si les deux électrodes réceptrices sont toutes à la fois à l'intérieur ou à l'extérieur de la fibre, il n'y a rien (balayage horizontal à 0 mV).

- **Le potentiel d'action (PA) :** On utilise le montage décrit au début avec un nerf sciatique de grenouille allongée sur deux électrodes excitatrices et 2 électrodes réceptrices à la surface du nerf. Après excitation, l'intensité seuil est atteinte. On observe sur l'écran de l'oscilloscope une courbe à 2 sommets inversés : une courbe diphasique.





A= Artéfact de stimulation traduisant l'instant de stimulation

AB = Temps de latence qui correspond à la période située entre le début de la stimulation et le début de la réponse.

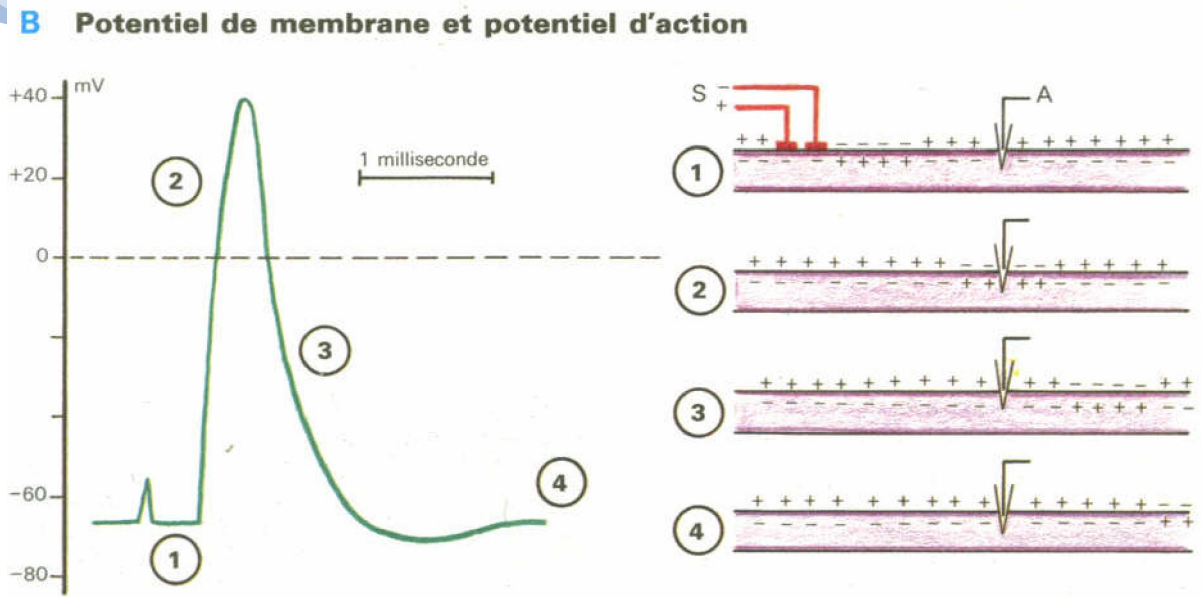
BC = arrivée de l'influx nerveux sur l'électrode réceptrice n°1, dépolarisation sur ER1

CD = repolarisation sur ER1

DE = dépolarisation sur ER2

EF = repolarisasion sur ER2

Remarque : PA monophasique :



* souvent la 2ème partie de l'onde diphasique est d'une amplitude plus faible car la dépolarisation atteint la deuxième électrode réceptrice avant que la première ne soit totalement repolarisée.

* Si les électrodes réceptrices sont suffisamment éloignées, la courbe diphasique est parfaitement symétrique.

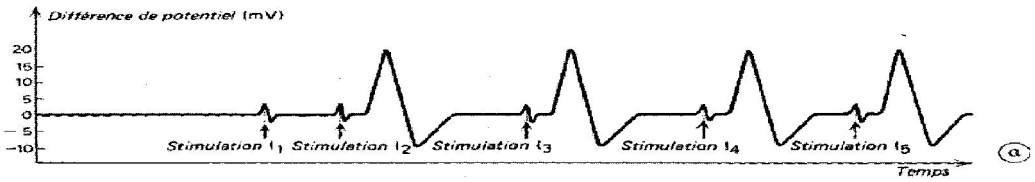
* Le potentiel d'action monophasique peut être obtenu :

- ♣ Si le nerf est altéré entre deux électrodes réceptrices ;
- ♣ Si l'électrode réceptrice la plus éloignée est simplement plongée dans le liquide physiologique ;
- ♣ Si on utilise une seule ER ;
- ♣ Au niveau de la fibre isolée, si les électrodes réceptrices sont l'une à l'extérieur et l'autre à l'intérieur et proche de la première.

a_7 Variation de l'intensité de stimulation par rapport à l'amplitude de la réponse

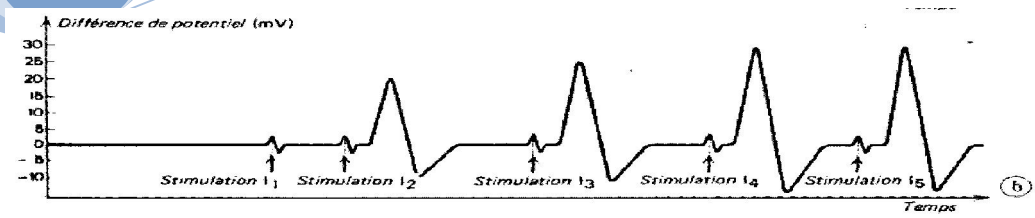
Pour qu'il y'ait PA ou réponse, l'intensité de stimulation doit être supérieure ou égale à l'intensité liminaire ou intensité seuil. Si l'intensité de l'excitation est inférieure à l'intensité seuil, l'oscilloscope n'enregistre que l'Artéfact. Toutefois si l'ER est situé très près du point excité, l'oscilloscope enregistre un PA très faible mais ce potentiel s'éteint rapidement. Dans certains cas, 2 excitations successives légèrement inférieures à l'intensité seuil donnent un PA. C'est comme s'il y avait une somation des excitations (sommation temporelle). Si le seuil est dépassé, 2 cas sont à considérer :

- **Cas d'une fibre isolée :** Dès que le seuil est atteint ou dépassé, la réponse est immédiate et maximale. La fibre obéit à la loi du tout ou rien. L'amplitude d'un PA est en moyenne de 110mV (-70mV à +40mV). Une stimulation d'intensité supraliminaire n'a aucune influence sur l'amplitude de la réponse, mais des facteurs physiologiques (températures, lésions…) peuvent influencer l'amplitude de la réponse.



$I_1 < I_2 < I_3 < I_4 < I_5$

- Pour **un nerf entier :** l'amplitude du PA augmente avec l'intensité des excitations. A partir d'une certaine intensité, l'amplitude de la réponse ne varie plus même si on augmente l'intensité. On peut représenter la courbe de l'amplitude de la réponse en fonction de l'intensité de stimulation.



Potentiels d'action dus à des stimulations d'intensité croissante.
a : Cas d'une fibre nerveuse isolée.
b : Cas d'un nerf entier (bac. Dijon, 1977).

$I_1 < I_2 < I_3 < I_4 < I_5$

L'allure de la courbe s'explique par le fait que le nerf est constitué de plusieurs fibres de seuil différent. Une faible intensité de stimulation touche un petit nombre de fibres. Plus l'intensité de stimulation croit, plus le nombre de fibres recruté ou excité augmente. Quand toutes les fibres sont touchées, l'amplitude de la réponse ne peut plus augmenter et demeure stationnaire. C'est le phénomène de recrutement des fibres ou sommation spatiale.



a_8 Interprétation ionique du PR et du PA

- Le potentiel de repos : - 70mV est dû à une répartition inégale des ions K^+, Na^+ et des protéines (A^-) de part et d'autre de la membrane. En effet, le milieu intracellulaire est plus riche en ion K^+, A^- protéinates et le milieu extra cellulaire est plus riche en ion Na^+ ; Cl^-. Cette répartition inégale est en réalité un état d'équilibre dynamique déterminé par :

* Le faite que dans la cellule au repos la membrane est très perméable, aux ions K^+ qu'aux ions Na^+ et imperméable aux ions protéinates (A^-). On va donc assister à une diffusion sélective des ions K^+ et Na^+ contre leur gradient de concentration. (Un passage presqu'exclusif des ions de l'intérieur vers l'extérieur.) Ce qui explique la charge positive constatée sur la face extérieure de la membrane et négative à l'intérieur donc à l'origine du PR.

* L'intervention d'un complexe protéine membranaire ATPase Na^+/K^+ dépendante qui assure, grâce à l'hydrolyse de l'ATP, un transport actif des ions Na^+, K^+ contre leur gradient de concentration. Le PR est donc le résultat de transport passif, mais aussi de transport actif d'ion entre le milieu extracellulaire et le neurone. C'est donc une activité de la cellule vivante.

Remarque : la différence de concentration n'est pas particulière à la cellule nerveuse, c'est pourquoi elle est encore appelée potentiel de membrane ou PM.

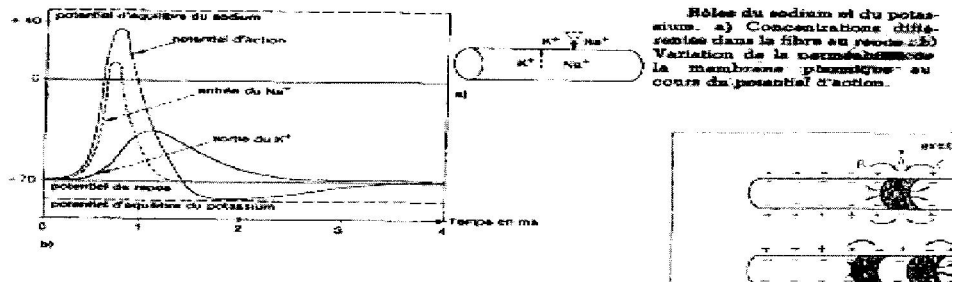
	Liquide intracellulaire (mmol)	**Liquide extracellulaire (mmol)**
Na^+	15	150
K^+	150	5
Cl^-	10	120
A^-	100	0,2

RQ : la ddp s'explique par 3 Na^+ éjectés pour 2 K^+ qui entre par la pompe à Na^+/K^+ qui maintient ce déséquilibre électrique.

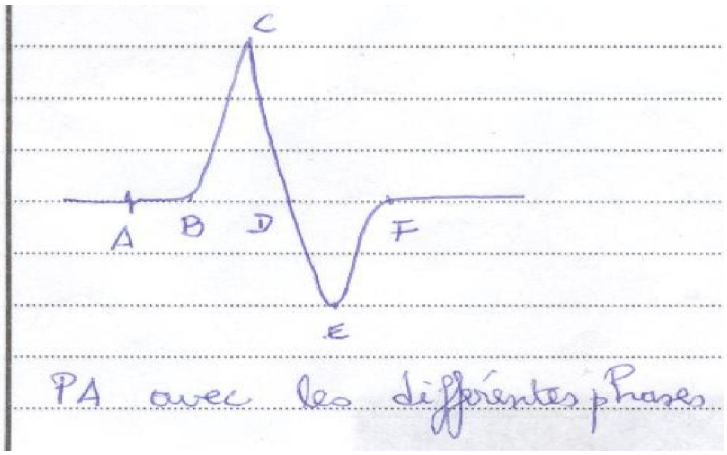
- **Le potentiel d'action :** Dans la membrane il existe pour chaque ion un canal spécifique de passage. Le PA correspond à une modification locale et passagère de la perméabilité membranaire due à l'excitation et pouvant s'interpréter aussi :

* Dans un premier temps par une ouverture des canaux à sodium (Na^+) dont une entrée massive de sodium par simple diffusion. Cette entrée provoque à cet endroit une inversion de polarisation ; on parle de dépolarisation de la membrane.
* Dans un second temps il y a la fermeture des canaux à sodium, la membrane redevient imperméable aux ions sodium tandis que la perméabilité aux ions potassium augmente progressivement dû à l'ouverture des canaux potassium. La sortie de K^+ vers le milieu extérieur permet le retour du potentiel de repos : c'est la repolarisation de la membrane.

Tout cela se fait en 1 ms. Au repos, le mécanisme de la pompe Na^+/K^+ rétablit lentement l'équilibre ionique initial.
L'hyperpolarisation s'explique par la fermeture lente des canaux potassiques.



Perméabilité aux ions K^+
Perméabilité aux ions Na^+
AB : Dépolarisation
CDE : hyperpolarisation (l'hyperpolarisation s'explique par la fermeture lente des canaux potassique.)
BC : repolarisation

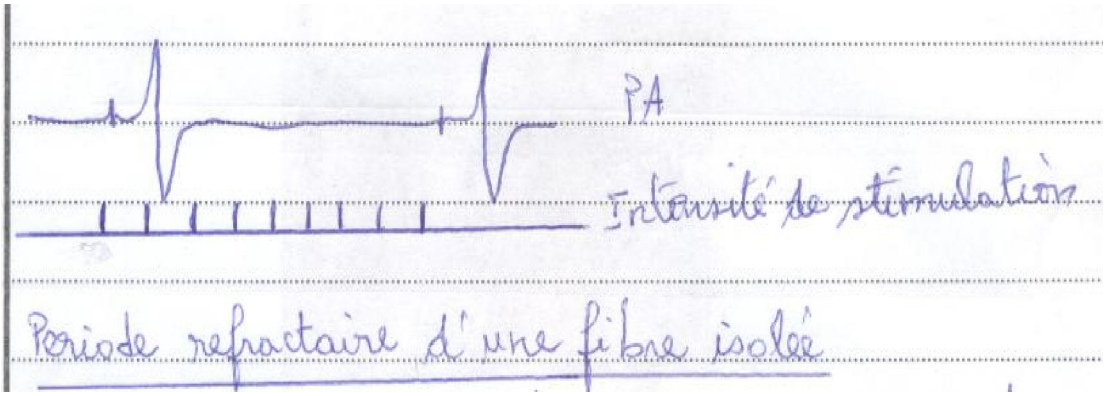


Rq : Dans le cas d'un potentiel d'action diphasique symétrique on a :
AB : dépolarisation sur la première électrode ;
BC : répolarisation sur la première électrode ;
CD : dépolarisation sur la deuxième électrode ;
DE : repolarisation sur la deuxième électrode.

Phase	Interprétation électrique du phénomène	Interprétation ionique du phénomène
A : artéfact	PR : charges positive à l'extérieur et négative à l'intérieur	Fermeture des canaux potassiques et sodiques. Déséquilibre ionique maintenu grâce à l'action de la pompe Na^+/K^+
AB : temps de latence	PR	Fermeture des canaux potassiques et sodiques. Déséquilibre ionique maintenu grâce à l'action de la pompe Na^+/K^+
BC	Dépolarisation sur R1	Fermeture des canaux K^+ ; ouverture des canaux Na^+, entrée massive de Na^+
CD	Repolarisation sur R1	Fermeture des canaux Na^+ ; ouverture des canaux K^+ ; sortie massive de K^+
DE	Dépolarisation sur R2	Idem BC
EF	Repolarisation sur R2	Idem CD
Après F	PR	Idem A

a_9 Période réfractaire et la fréquence des excitations

-Cas d'une fibre isolée : Sur une fibre isolée on envoie des stimuli de même grandeur. Ensuite on fait varier le délai séparant la première stimulation de la seconde. On constate que la fibre reste réfractaire à un second stimulus pendant une courte durée. La période réfractaire est due à une zone d'inexcitabilité ou zone réfractaire qui suit l'onde de négativité. Cette zone empêche le retour de la dépolarisation assurant ainsi la propagation de cette dernière. Ce qui revient à dire qu'un nouveau PA ne peut apparaître que lorsque le précédent s'est éloigné.



$I_1=I_2=I_3=I_4=I_5…I_9$

- Cas d'un nerf : Avec un intervalle de temps suffisant, les 2 stimuli entrainent deux réponses identiques. En réduisant progressivement cet intervalle on constate que la seconde réponse s'affaiblit (période réfractaire relative) puis disparaît complètement (période réfractaire absolue). Pour le cas du nerf, les amplitudes du PA augmentent avec le délai. Ces résultats montrent que toutes les fibres du nerf n'ont pas la même période réfractaire.



$I_1=I_2=I_3=I_4=I_5…I_9$

b) Conductibilité

La conductibilité est la propriété du nerf ou de la fibre nerveuse à propager l'influx nerveux.

b_1 Condition physiologique

Un nerf comprimé, ligaturé, chauffé, anesthésié, refroidi ne se laisse pas traverser par l'influx nerveux, alors qu'il assure la conduction du courant. Cela explique la participation active de la fibre ou du nerf dans la conduction de l'influx nerveux. Cette propriété nécessite l'intégrité du nerf.

b_2 Sens de conduction

Si on excite une fibre nerveuse isolée dans les conditions expérimentales suivantes, on recueille un PA sur les écrans de l'oscilloscope.

Dessin

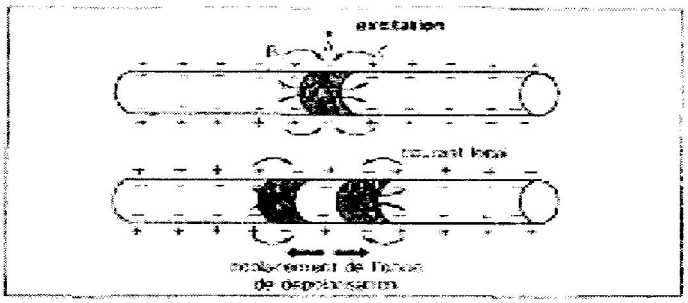
L'influx nerveux peut se déplacer dans les 2 sens. Mais sur le vivant c'est-à-dire entre 2 neurones l'influx nerveux ne se propage que dans un seul sens. La propagation de l'influx nerveux se fait en un sens unique, c'est-à-dire du corps cellulaire vers l'arborisation terminale car toutes les synapses se comportent comme des valves qui ne transmettent le message que dans un seul sens.

b_3 Vitesse de transmission de l'influx nerveux

Cette vitesse dépend de plusieurs facteurs :

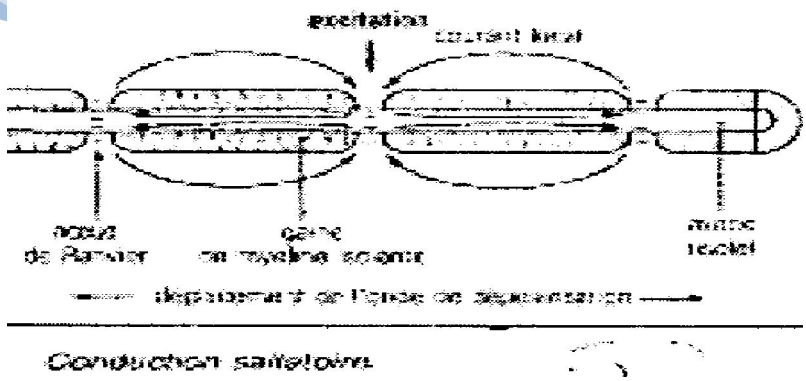
-La nature de la fibre

* Au niveau de fibres non myélinisées, les charges se déplacent de proche en proche. C'est une conduction continue. On parle de la **théorie des courants locaux**. Ex : fibre musculaire = fibre sans myéline.



Courants locaux dans un axone amyélinique isolé.

***Les fibres myélinisées conduisent 50 fois plus vite que les fibres non myélinisées :** Dans les **fibres myélinisées** (nerf sciatique), la myéline sert d'isolant, la membrane n'est polarisée qu'au niveau des nœuds de Ranvier, si bien que les charges doivent effectuer un saut d'un étranglement au suivant. **Ce mode de conduction discontinue est qualifié de conduction saltatoire.**



-Le diamètre de la fibre et la nature de l'animal : Elle croit avec le diamètre de la fibre. Elle est élevée chez les animaux à sang chaud.

Remarque : L'influx nerveux est différent du courant électrique car c'est un phénomène ionique contrôlé par une membrane biologique.

-Le type de nerf

Il existe deux types de nerf :

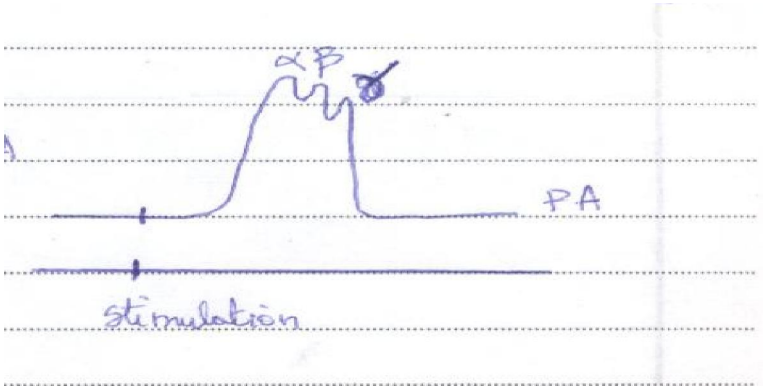
- les nerfs homogènes sont formés par des fibres ayant la même vitesse de conduction ;
- les nerfs hétérogènes sont formés par des fibres ayant des vitesses de conduction différentes. Ainsi on distingue :

♣ Fibres rapides (groupeα) = 120m/s

♣ Fibres lentes (groupeβ)= 15m/s

♣ Fibre très lentes (groupeγ) = 0,4 m/s

Pour mettre en évidence les différents groupes on place les ER loin des EE. Chaque fibre ayant sa propre vitesse de conduction et son propre temps de latence on enregistre :



Rq : condition d'une fibre rapide : diamètre grand, myéline épaisse, étranglement de Ranvier espacé, rhéobase faible, période réfractaire courte.

b_4 Calcul de la vitesse

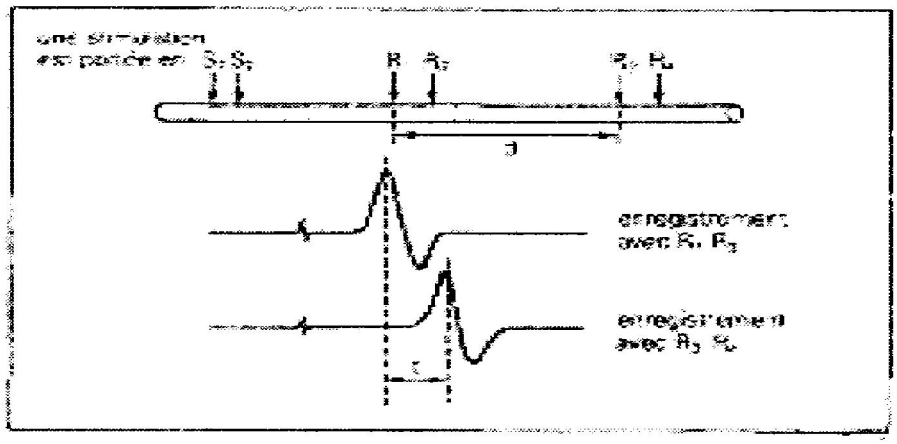
1er cas : La distance entre la cathode et la 1ère ER est d_1.

2ème cas : la distance entre la cathode et la 1ere électrode réceptrice du second groupe est d_2.

Si l'on superpose les 2 PA en faisant coïncider l'artéfact on constate un décalage au niveau des PA.

Soit Δt le temps mis pour réaliser ce décalage. La vitesse est alors

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



Mesure de la vitesse de conduction.

3) Les propriétés sécrétrices des neurones

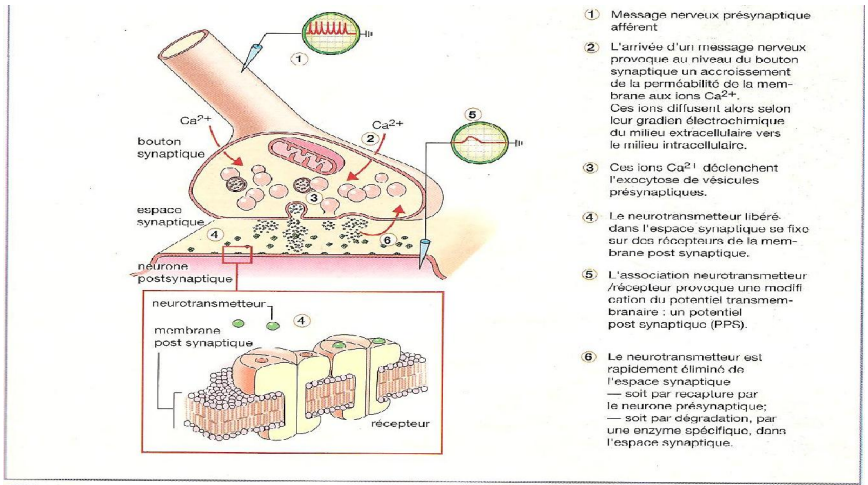
Il existe deux modes de transmissions du message nerveux au niveau des synapses :

- la transmission électrique ou transmission directe : le PA présynaptique stimule électriquement le neurone postsynaptique ;
- la transmission chimique ou indirecte qui utilise des neuromédiateurs.

a. Mécanisme de transmission synaptique ou transmission chimique

Le cycle de fonctionnement d'une synapse à transmission chimique se renouvelle au rythme des PA propagés le long du neurone pré-synaptique. Les étapes qui permettent d'expliquer ce mécanisme sont :

- arrivée du PA au niveau de la synapse, suivie d'une entrée massive de Ca^{2+} à travers la membrane pré-synaptique ;
- libération dans la fente synaptique par exocytose d'un certain nombre de molécules de neurotransmetteurs stockés jusque-là dans les vésicules du cytoplasme axonique ;
- fixation des molécules de neurotransmetteurs sur des récepteurs spécifiques de la membrane postsynaptique ;
- naissance d'un nouveau PA qui va se propager le long de la membrane postsynaptique ;
- hydrolyse du neurotransmetteur par une enzyme (ex : Acétylcholinestérase…) présente à forte concentration dans la fente synaptique ;
- recapture par la terminaison pré-synaptique de certains produits de l'hydrolyse qui peuvent ainsi servir à la synthèse de nouvelles molécules de neurotransmetteurs.



4 **Transmission chimique de l'information au niveau de la synapse :** représentation schématique et étapes de la neurotransmission.

b. Les différents types de neurotransmetteur

Il existe des substances chimiques appelées neurotransmetteurs ou neuromédiateurs synthétisés par les neurones et accumulées dans les vésicules synaptiques. Les plus fréquents sont :

- l'acétylcholine qui est constitué d'acide acétique et de choline. Ce neurotransmetteur joue un rôle excitateur pour les muscles ou inhibiteur pour les effecteurs viscéraux ;
- la noradrénaline ou sympathine ;
- la sérotonine, la dopamine et des amines biogènes qui sont excitatrices ou inhibitrices selon le type de récepteur ;
- le GABA (Gamma amino butyric acid) est inhibiteur en général.

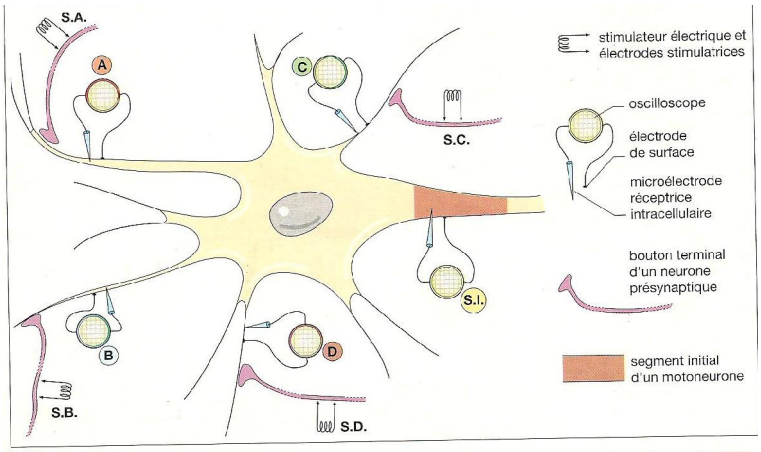
c) Mode d'action des neurotransmetteurs

Lorsque l'influx nerveux arrive à l'extrémité d'une arborisation terminale, il doit franchir la synapse avant d'être transmis à d'autres neurones. Il existe alors un intervalle de temps appelé délai synaptique avant qu'une réponse post-synaptique soit obtenue. Cela s'explique par le fait que l'arrivée du PA pré-synaptique déclenche la perméabilité de la membrane aux ions calcium (Ca^{2+}) puis la libération par exocytose dans la fente synaptique d'un neurotransmetteur. Ce dernier en contact avec le récepteur situé sur la membrane postsynaptique va déclencher la naissance d'un nouveau PA qui va se propager sur le neurone postsynaptique.

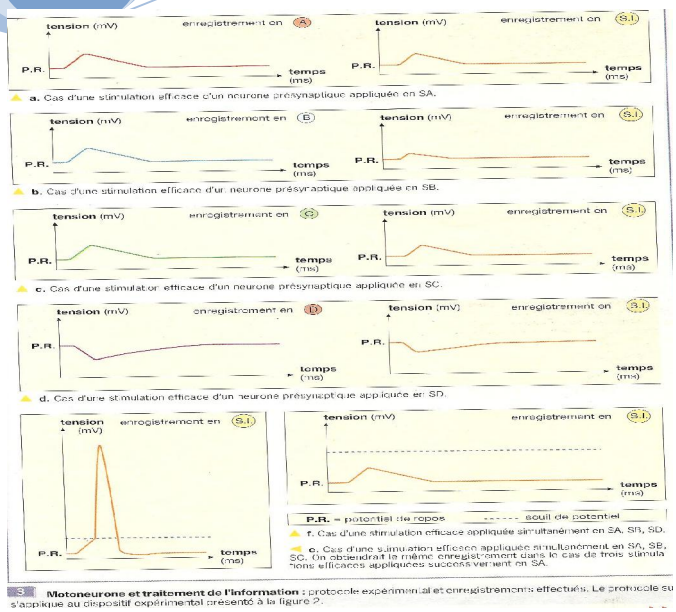
d) Action sur la membrane post synaptique

Dans la structure de la membrane postsynaptique se trouvent de grosses molécules qui sont des récepteurs spécifiques d'un neurotransmetteur.

Ex : L'acétylcholine se fixe au récepteur cholinergique formant un complexe récepteur transmetteur. Ce complexe va modifier la perméabilité de la membrane puis la naissance d'un PA qui va parcourir tout le neurone post synaptique.



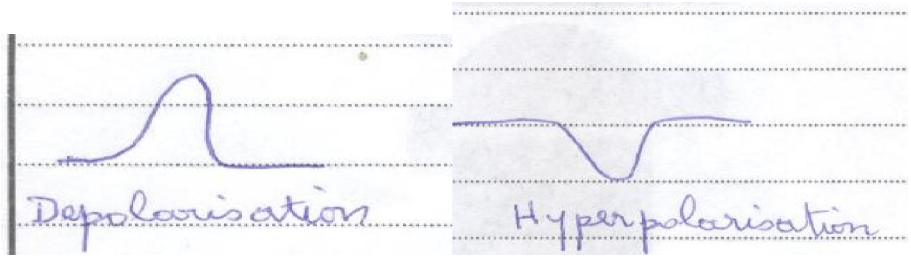
2 **L'intervention d'un motoneurone dans le traitement des messages nerveux peut être mise en évidence expérimentalement :** dispositifs de stimulation et d'enregistrement.



Motoneurone et traitement de l'information : protocole expérimental et enregistrements effectués. Le protocole suivant s'applique au dispositif expérimental présenté à la figure 2.

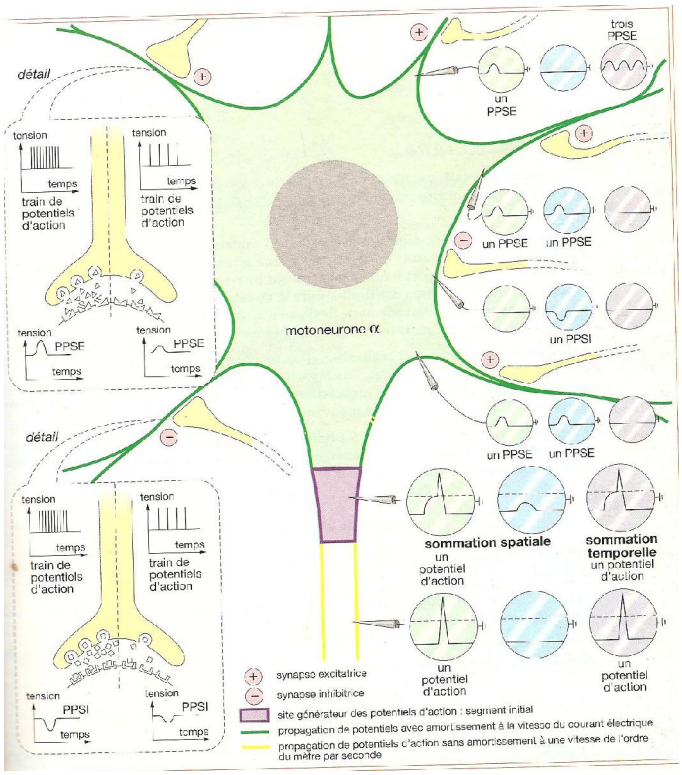
Le type de PA peut être :

- Excitateur : on a un potentiel postsynaptique excitateur (PPSE) : il se traduit par une entrée massive d'ion Na+ et une faible sortie de K+ donc une légère dépolarisation ; la synapse est dite excitatrice. **(1)**



(**1**) **(2)**

- Inhibiteur : on a un potentiel postsynaptique inhibiteur (PPSI) : il se caractérise par une sortie uniquement de K+ et une entrée des ions Cl^- donc une hyperpolarisation, la synapse est dite inhibitrice. **(2)**



e) Facteurs modifiant le fonctionnement synaptique

- Il existe des substances chimiques comme les drogues qui :

- bloquent ou occupent les récepteurs des neuromédiateurs sans les stimuler ;
- inactivent le complexe neuromédiateurs-récepteurs ;
- bloquent la libération des neuromédiateurs ;
- miment l'action des neuromédiateurs comme la sérotonine avec la LSD ( ), la nicotine qui agit sur certains récepteurs de l'acetylcholine ;
- bloquent la transmission du message comme les tranquillisants (morphine, héroïne…) ;
- s'opposent à la recapture des neuromédiateurs par le neurone présynaptique et prolonge l'effet du médiateur : les amphétamines et la cocaïne s'opposent à la recapture de la noradrénaline ;
- facilitent la libération des neuromédiateurs en excès : les amphétamines agissent sur les vésicules de stockage en facilitant la libération de la dopamine…

- les actions de certaines substances sont :

- certains excitants comme l'alcool diminuent la vitesse de transmission de l'influx nerveux ;
- la caféine et la théine favorisent la propagation du message postsynaptique ;
- la cocaïne s'oppose au transfert des ions Na+ à travers la membrane, bloque la propagation de l'influx nerveux.
- La **substance P** (pain = douleur) est un neuropeptide, qui joue le rôle de transmetteur de la douleur ; elle est le neurotransmetteur des neurones sensitifs. Les enképhalines sont des substances constituées de deux peptides de cinq acides aminés ; ce sont des neurotransmetteurs « anti-douleur » agissant sur les mêmes récepteurs que la morphine. La morphine et les enképhalines (neuromodulateurs) entrainent l'inhibition de la sécrétion de la substance P d'où l'absence de douleur.
- Le **curare** empêche la fixation de neurotransmetteur II sur le récepteur.
- L'absence de nutriments peut empêcher la synthèse de neurotransmetteur.
- La maladie de **Parkinson** est due à l'absence de l'enzyme permettant la synthèse de la dopamine, ce qui va entrainer des troubles moteurs (présente chez les personnes de plus de 50 ans et se caractérise par des mouvements lents, tremblements au repos surtout de la main).
- La maladie **d'Alzheimer** se manifeste par des troubles de mémoire, la régression intellectuelle progressive (chez les adultes). Elle est due à une concentration en acétylcholine anormalement basse dans le cortex cérébral et dans les structures comme l'hippocampe (mémoire).
- La **chorée** de **Huntington** (ou danse de saint Guy) est une maladie génétique, due à l'absence d'un neurotransmetteur en général inhibiteur le GABA. Elle se manifeste par des troubles moteurs et une détérioration progressive des facultés mentales.

Autres maux : épilepsie, stress.

Exercices sur le tissu nerveux et ses propriétés

SUJET N°1
Première partie : Physiologie

Exercice n°1 (8 pts)

A / En 1850, Helmholtz, un physiologiste étudie le mécanisme de la propagation de l'influx nerveux dans un nerf. La figure 1 en annexe indique le protocole expérimental. Il réalise une série d'expérience.

Expérience n°1 : il stimule à l'aide des électrodes excitatrices la fibre nerveuse à intervalle de temps régulier avec un courant d'intensité croissante ($I_1 < I_2 < I_3$...). Il obtient des résultats suivants (figure 2 du document 1).

Expérience n°2 : il réalise une série d'excitations très rapprochées avec une intensité suffisante ($I_1 = I_2 = I_{3...}$). Il obtient les résultats de la figure 3 document 1.

Expérience n°3 : par une seule excitation efficace, il enregistre le potentiel d'action et le flux des ions Na^+ et K^+ à travers la membrane de la fibre (figure 4 document 1).

Expérience n°4 : il reprend l'expérience n°1, mais remplace la fibre nerveuse par un nerf. Les résultats sont les suivants (figure 5 document 1).

1) a) Analysez les résultats des expériences n°1 (figure 2) et n°4 (figure 5). 1pt
   b) Quelle conclusion pouvez-vous tirer de cette analyse ? (0,5 pt)
2) Expliquez les résultats de l'expérience n°2 (figure 3) 1 pt.

3) A partir de l'analyse de la figure n°4, expliquez l'origine du potentiel d'action. 1,5 pt

B/ On excite un nerf de grenouille, dans des conditions expérimentales différentes avec des courants dont l'intensité et la durée de passage sont indiquées ci-dessous et correspondent aux valeurs limites efficaces.

Expérience A

Durée en ms	1,5	2	3	5	7	10	15
Intensité en mv	8	4,8	4	3,2	2,8	1,8	1,8

Expérience B

Durée en ms	0,5	0,6	1,2	1,5	2	3	6	10	15
Intensité en mv	8	5,5	3,5	2,5	2,3	2	1,5	1,3	1,3

Expérience C

Durée en ms	0,08	0,1	0,2	0,3	0,5	1	5	10	15
Intensité en mv	6	3	2	1,1	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3

1) Tracez les courbes d'excitabilité (Intensité en fonction de la durée) correspondant aux trois expériences et annotez les. 1,5 pt

2) Dans quelle expérience le nerf se révèle –t-il le plus excitable ? Justifiez votre réponse. 0,5 pt

3) Un seul point de chaque courbe suffit pour caractériser l'excitabilité de chacun de ces états. Indiquez-en les coordonnées pour chaque courbe. 1,5 pt

4) La question 3 vous permet-elle de confirmer votre réponse à la question 2 ? 0,5 pt

Exercice n°2

On se propose d'étudier la transmission de l'influx nerveux au niveau de la synapse. L'expérience (document 3) suivante est réalisée sur les neurones d'un ganglion de mollusque. Dans ce ganglion, deux neurones présynaptiques A et B contractent un synapse avec un neurone C dit postsynaptique. Il est possible de stimuler individuellement séparément ou simultanément les neurones A et B et d'enregistrer leur activité ainsi que celle du neurone C. Il est également possible d'injecter des substances chimiques dans le soma et d'étudier leur influence.

On stimule efficacement à tour de rôle les neurones A et B, on enregistre une activité électrique que celle de C. Une seconde expérience est réalisée après injection de cholinestérase dans le soma du neurone B. Les résultats sont consignés dans le tableau.

(-) : absence de réponse

(+) : réponse donc propagation de l'influx nerveux

	Stimulation de A	Stimulation de B	
		Seule	Après injection de cholinestérase
Réponse de A	+	-	-
Réponse de B	-	+	+
Réponse de C	+	+	-

1) a) Quelles explications pouvez-vous donner à ces résultats ? 2 pts

b) Quelles hypothèses pouvez-vous formuler quand au mode de transmission de l'influx nerveux ? 2 pts

2) Le document 3 montre l'électronographie de la zone synaptique entre le neurone A et le neurone C.

a) Identifier les structures numérotées. 2 pts

b) L'influx franchit une synapse en une milliseconde. Quels phénomènes se déroulent pendant cette période ? 1,75 pt)

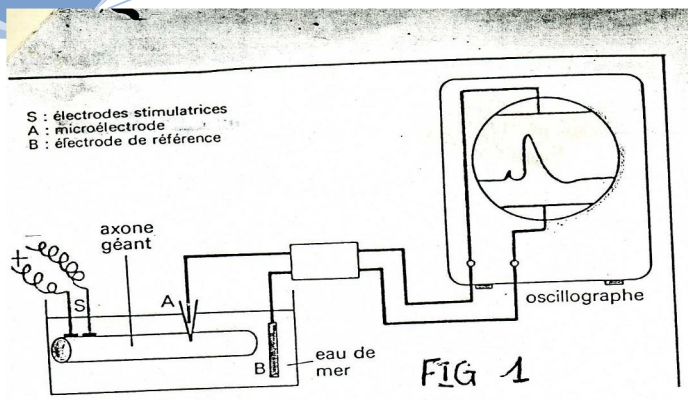


FIG 1

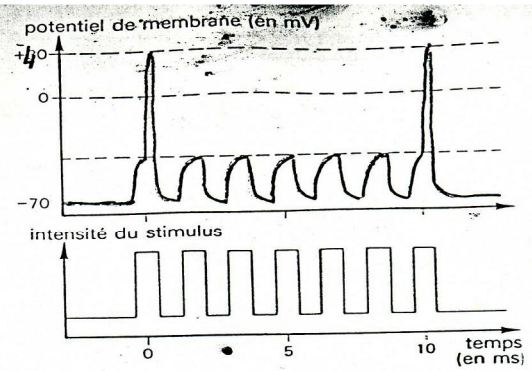
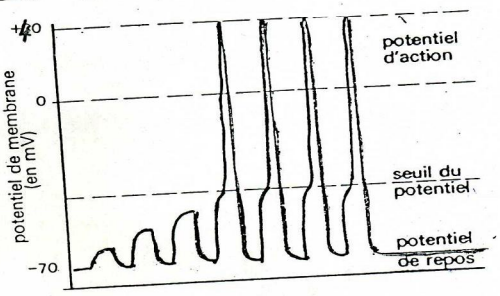
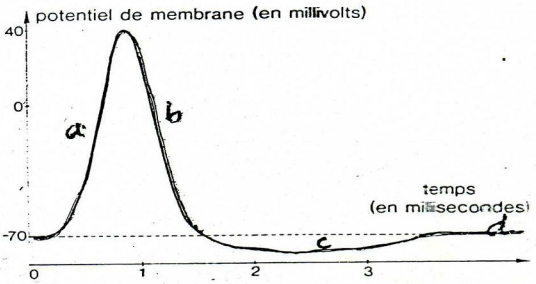


FIG 3





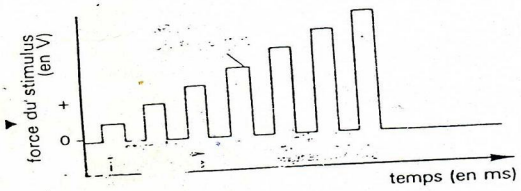


FIG 2

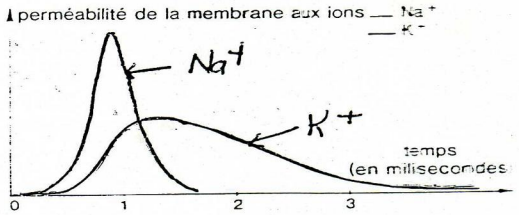
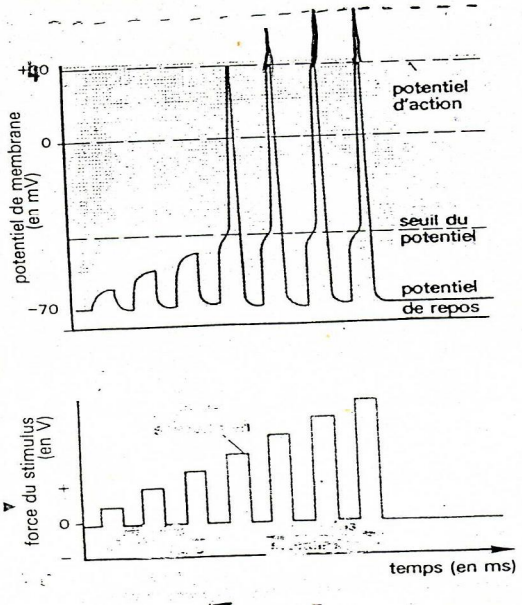
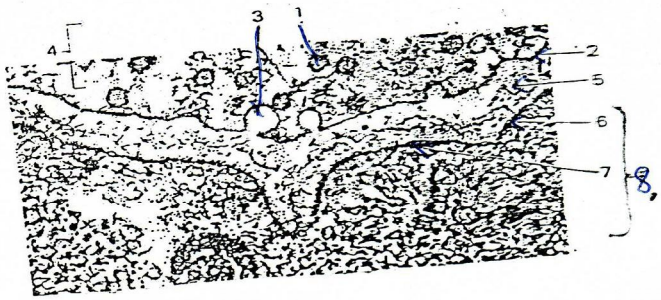


FIG 4

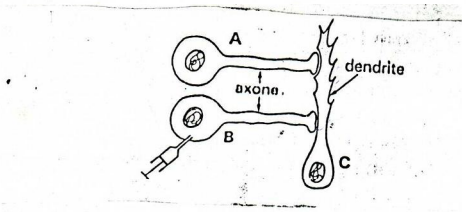
DOCUMENT 1





Document 2

Fig : 5



Document 3

Exercice 3

La maladie d'Alzheimer touche essentiellement les personnes âgées. Un de ses symptômes majeurs est la perte de mémoire.

1°) A la recherche d'éventuelles anomalies biochimiques, les chercheurs ont mesuré les concentrations de nombreux neurotransmetteurs dans le cerveau de sujets normaux. Ils trouvent que chez les sujets normaux et chez les malades, la plupart des neurotransmetteurs sont présents à des doses comparables, à l'exception de l'acétylcholine qui est moins abondant chez les malades.

L'injection de l'atropine, substance qui bloque certains récepteurs de l'acétylcholine dans le cerveau de sujets sains, entraine une perte de mémoire.

En rapprochant les différentes données, quelles sont les explications possibles que l'on peut donner sur l'origine de la maladie ?

2°) L'examen clinique du système nerveux central de sujets atteints de la maladie, montre une dégénérescence massive de noyaux gris de base qui sont des points de départ des neurones sécréteurs de l'acétylcholine. Ces neurones se prolongent dans le cortex cérébral.

a) Quelles précisions apportent ces observations ?

b) Compte tenu de ce qui précède, comment peut-on théoriquement supprimer les symptômes majeurs de la maladie d'Alzheimer ?

Corrigés

Exercice 1

A) 1) a) Analyse

Expérience 1 : *les 3 premières stimulations donnent des artéfacts. Le seuil d'excitation n'est pas atteint.*

Expérience 4 : *A partir de la 4è stimulation on observe un PA qui se propage avec une amplitude constante. L'intensité de la 4è stimulation est efficace et fait naître un PA.*

Le nerf étant constitué de fibres nerveuses, l'amplitude de stimulation augmente avec le nombre de fibres recruté. L'amplitude du PA cesse de croître dès que la totalité des fibres est stimulée.

b) Le PA d'une fibre nerveuse obéit à la loi du tout ou rien, alors que le nerf obéit à la loi du recrutement.

2) *Expérience 2 : après une 1ère stimulation efficace, les 5 stimulations de même intensité que la 1ère n'entraine aucun PA.*

Ceci est dû à la période d'inexcitabilité de la fibre appelé période réfractaire.

3) *Le PA est dû à une inversion locale de la polarisation membranaire. Mais cette inversion est due à la modification de la perméable membranaire aux ions Na^+ et K^+. les phénomènes suivants se déroulent lors de la naissance d'un PA.*

- ***a*** *: ouverture des canaux Na^+, entrée massive du Na^+. Cette entrée de charges positives provoque la dépolarisation membranaire. Cette perméabilité aux ions Na^+ atteint rapidement son maximum.*
- ***b*** *: ouverture des canaux K^+ et fermeture des canaux Na^+, d'où une sortie de K^+. Cette sortie provoque le retour à la polarisation normale.*
- ***c*** *: fermeture lente des canaux K^+, sortie lente de K^+, d'où l'hyperpolarisation.*
- ***d :*** *restauration des concentrations initiales grâce à la pompe Na^+/K^+. ce qui entraine un rétablissement de la polarisation.*

B) 1) *courbe d'excitabilité*

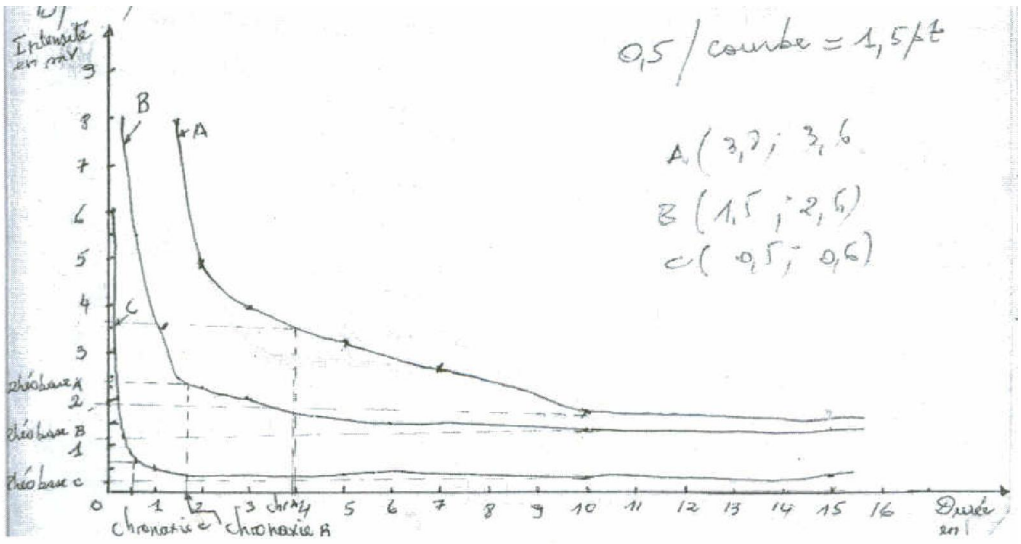


Schéma : courbe d'excitabilité

Sur chaque courbe :

- *la partie au-dessus est la zone des excitations efficaces ;*
- *la partie en-dessous est la zone des excitations inefficaces.*

• *Expérience A : rhéobase = 1,8 mV ; Expérience B : rhéobase = 1,3 mV ; Expérience C : rhéobase = 0,3 mV*

2) *Sur le graphique, la surface des excitations efficaces est la plus grande en C. C est donc l'état le plus excitable du nerf.*

3) *Par convention, on prend sur la courbe le point d'ordonnée : I=2rhéobase. L'abscisse correspondante est la chronaxie inversement proportionnelle à l'excitabilité du nerf.*

- *Expérience A : I_A=2Rhéobase A= 3,6 mV ; chronaxie A= 3,8 ms ;*
- *Expérience B : IB=2Rhéobase B=2,6 mV ; chronaxie B= 1,5 ms ;*
- *Expérience C : IC=2rhéobase C=0,6 mV ; chronaxie C=0,5 ms.*

NB : on peut déterminer graphiquement ces points.

4) *Oui ; elle nous permet de confirmer la réponse à la question 2, car plus un nerf est excitable, plus sa chronaxie est faible. Ainsi l'expérience C avec une chronaxie de 0,5 ms est l'état le plus excitable du nerf.*

Exercice 2

1) *a) Une stimulation efficace en A déclenche une réponse du neurone post-synaptique C. la stimulation du neurone présynaptique B déclenche la réponse du neurone postsynaptique C mais pas celle du neurone présynaptique A. l'influx nerveux ou PA ne se propage que dans un seul sens à savoir soma-axone-arborisation terminale-soma et dendrites.*

b) Les hypothèses sur le mode de transmission de l'influx nerveux :

- *La synapse développe un champ électrique : transmission électrique directe ;*
- *La libération d'une substance à la suite de l'arrivée du PA au niveau de la synapse. Ce qui provoque la libération d'une substance qui stimule le neurone interconnecté : transmission chimique indirecte.*

2) *a) 1- Vésicules synaptiques ; 2- Membrane plasmique du neurone A ;*
3- Fusion vésicule synaptique-membrane plasmique ; 4- Elément présynaptique ;
5- Fente synaptique ; 6- Membrane plasmique du neurone postsynaptique
7- Epaississement de la membrane plasmique du neurone postsynaptique ; 8- dendrite de C

b) les évènements déterminant de la transmission chimique de l'influx nerveux de la transmission synaptique chimique de l'influx nerveux de B à C peuvent être résumés :

1- *arrivée du PA au niveau des terminaisons nerveuses ;*
2- *ouverture des canaux calcium de la membrane plasmique de B et entrée d'ions Ca^{2+} dans B ;*
3- *exocytose des vésicules synaptiques et expulsion des molécules d'acétylcholine dans la fente synaptique ;*
4- *migration de l'acétylcholine ;*
5- *captation de l'acétylcholine par un récepteur spécifique ;*
6- *ouverture des canaux sodium de la membrane plasmique du neurone C, naissance d'un influx nerveux du neurone C et fermeture des canaux calcium.*
7- *Séparation de l'acétylcholine en acide acétique et en choline grâce à l'acétylcholinestérase.*

Exercice 3

1°) Explications :

- *Les sujets malades ont un faible taux d'acétylcholine*
- *Le blocage des récepteurs à acétylcholine cause des pertes de mémoire*

On peut donc penser que le symptôme majeur de la maladie (perte de mémoire) est du soit à une à une déficience en acétylcholine, soit à une défaillance des récepteurs de l'acétylcholine.

2°) a) Les pertes de mémoire sont dues à une déficience en acétylcholine suite à une lésion des noyaux des neurones sécréteurs d'acétylcholine.

b°) Théoriquement, on pourrait supprimer les symptômes par une administration de l'acétylcholine.

Chapitre II : Système nerveux et le comportement moteur

I. Acte reflexe

1) Quelques exemples

a. Reflexe rotulien chez l'homme

Dans la région du genou, si on frappe d'un coup sec juste sous la rotule d'un sujet assis, jambes pendantes sur une table haute, on observe une extension de la jambe : c'est le reflexe rotulien.

b) Reflexe plantaire

Lorsqu'on chatouille très légèrement la plante du pied d'un sujet étendue sur le dos, on observe un fléchissement des orteils : c'est le reflexe plantaire.

c) Autres réflexes

- les réflexes glandulaires : sécrétion de larme, de salive, d'hormones…
- le réflexe de fermeture des paupières
- le réflexe de posture
- Le réflexe de moro chez le nouveau-né.

2) Définition et caractères de l'acte reflexe

L'acte reflexe est une réaction involontaire provoquée par l'excitation inconsciente des terminaisons nerveuses. C'est un acte coordonné, prévisible, immédiat, inévitable et adopté pour un but précis. Dans l'accomplissement d'un acte reflexe interviennent les organes suivants :

- un récepteur sensitif ;
- un conducteur nerveux sensitif (centripète) ;
- un centre nerveux reflexe ;
- un conducteur nerveux moteur (centrifuge) ;
- un organe effecteur.

II. Etude expérimentale de reflexes médullaires chez la grenouille

1. Conditions expérimentales

Pour l'étude des réflexes médullaires, les expériences avaient été menées sur une grenouille décérébrée. Sur une grenouille décérébrée suspendue à une potence parfaitement inerte, si on pince ou si on dépose du coton imbibé d'acide dilué sur la patte postérieure, la grenouille retire sa patte : c'est un réflexe de flexion. La même réponse est obtenue si on plonge le pied dans l'eau glacée ou si on utilise du courant électrique suffisant. Seuls le temps de latence et l'amplitude varient selon le type de stimulant.

2) Structures nécessaires à l'accomplissement du reflexe

a) organe récepteur

On plonge l'orteil gauche dans l'éther ou le chloroforme pendant quelques minutes et immédiatement on les plonge dans une solution supraliminaire d'acide, aucun résultat ne se produit. Mais quand on plonge les orteils droits dans la même solution, les pattes gauches et droites se plient. Quelques instants, après on peut observer les mêmes réactions avec le pied gauche comme si de rien n'était. Ainsi, l'éther ne détruit pas la peau, mais a simplement anesthésié les récepteurs sensoriels de la peau. Ces derniers reçoivent l'excitation et la transforme en influx nerveux sensitif.

b. organe conducteur

On sectionne le nerf sciatique de la cuisse du membre gauche d'une grenouille décérébrée et on fait les tests suivants :

-les doigts du pied gauche sont plongés dans la solution très concentrée d'acide chlorhydrique : on n'obtient aucune réponse ;

-si on excite les doigts du pied droit avec la solution très concentrée, seul le pied gauche ne répond pas. Le nerf sciatique à un rôle conducteur ;

-si on excite le bout central du nerf sectionné avec la solution de concentration moyenne d'HCl, on observe la flexion du membre postérieur droit. Le nerf sciatique conduit des influx centripètes. Il contient des fibres sensitives. Si on excite par contre le bout périphérique, on observe un mouvement de la jambe du pied gauche. Le nerf sciatique conduit des influx centrifuges provoquant des contractions musculaires. Il contient également des fibres motrices : C'est un nerf mixte.

c) Centre reflexe : Moelle épinière

La destruction de la moelle épinière d'une grenouille spinale en enfonçant dans le canal rachidien une aiguille métallique élimine tout reflexe. L'animal ne réagit pas. La M.E est indispensable à la réalisation de tout réflexe. C'est un centre nerveux. Elle réfléchit les influx nerveux sensitifs vers les muscles sous forme d'influx nerveux moteurs.

d) Organe effecteur : muscle

On coupe le tendon du muscle gastrocnémien gauche. L'extrémité du pied gauche plongé dans des solutions supraliminaires n'entraine aucune réponse de la patte gauche. Les muscles sont aussi responsables du mouvement ; on les nomme effecteurs.

III.Interprétation histologique des réflexes

1) Cas d'un réflexe simple

a) Travaux de Belle &Magendie

Ils mirent à nu la racine postérieure de la moelle épinière et par des expériences de section et d'excitation, ils purent mettre en évidence la propriété mixte du nerf rachidien.

- Une section du nerf sciatique en un point S_4 (au niveau du nerf rachidien) provoque une paralysie et une insensibilité des régions innervées par ce nerf. Le nerf contient des fibres sensitives et motrices. On observe également une dégénérescence de toutes les fibres situées avant la section. Les péricaryons sont situés de côté de la moelle épinière.

-La section S_1 avant le ganglion rachidien entraine une insensibilité totale de la région innervée par le nerf mais pas de paralysie. Une excitation en E_1 (avant la section) ne donne pas de résultat par contre une excitation E_2 (après la section) donne un résultat. On peut dire que la racine postérieure conduit l'influx nerveux centripète. Elle contient des fibres nerveuses sensitives. La section provoque aussi une dégénérescence des fibres sensitives situées dans le tronçon périphérique. Les corps cellulaires pourraient être situés du côté de la ME.

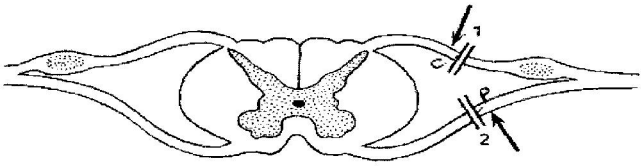
-La section S_2 située après le ganglion rachidien sur la racine postérieure provoque une dégénérescence des fibres sensitives situées dans le tronçon central. Les corps cellulaires des fibres sensitives sont dans le ganglion rachidien.

- Une section S_3 sur la racine antérieure entraine une paralysie des muscles correspondants mais pas une insensibilité. Une excitation avant la section ne donne rien ; par contre une excitation après la section entraine une contraction musculaire. La portion située après la section dégénère.

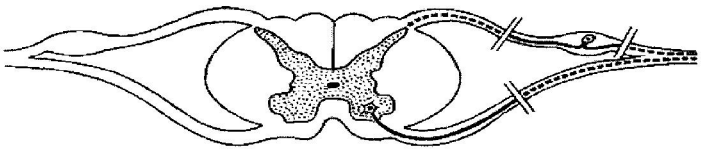
- La racine antérieure conduit l'influx nerveux moteur, elle contient des fibres motrices. On observe une dégénérescence de fibres motrices situées dans le tronçon périphérique. Les corps cellulaires des fibres motrices sont dans la substance grise de la M.E.

- La section des nerfs rachidiens entraine la dégénérescence des cylindraxes des tronçons périphériques : c'est la dégénérescence Wallérienne.

Les cylindraxes restés intactes dans le bout central s'accroissent pour reconstituer la partie manquante : c'est la régénération.



Expérience de Magendie.
Traits parallèles : section de la racine postérieure (1) et de la racine antérieure (2).
Flèches : excitation du bout central de la racine postérieure et du bout périphérique de la racine antérieure.



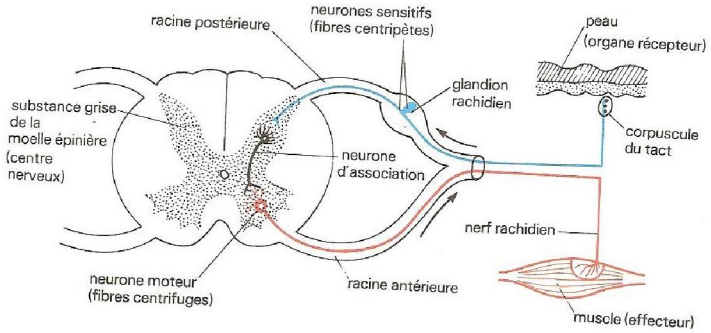
Expérience de dégénérescence : la portion de fibre séparée du corps cellulaire dégénère.

b. Notion d'arc reflexe

L'arc reflexe est le trajet suivi par l'influx nerveux depuis le point excité jusqu'à l'effecteur en passant par le centre nerveux.

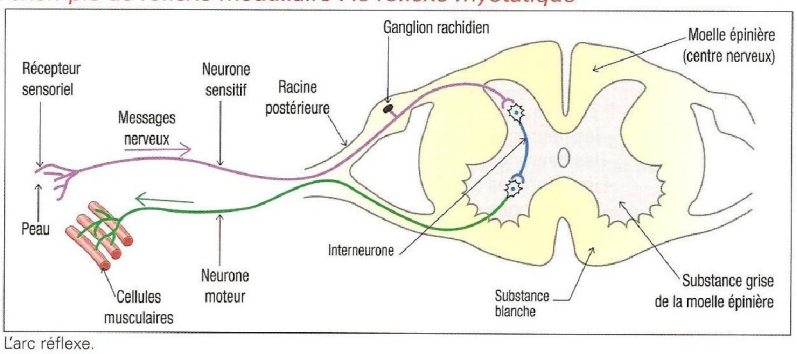
Les résultats de Magendie ont permis de connaître le trajet suivi par l'influx nerveux au cours d'un acte reflexe. L'arc reflexe comprend deux neurones principaux :

- le premier neurone est un neurone en T dont le corps cellulaire est situé dans le ganglion spinal. Son axone pénètre dans la ME par la racine postérieure ;
- le second neurone est centrifuge. C'est un neurone multipolaire. Son corps cellulaire est situé dans la corne antérieure de la ME. Son axone quitte la moelle épinière par la racine antérieure.



Reflexe unilatérale

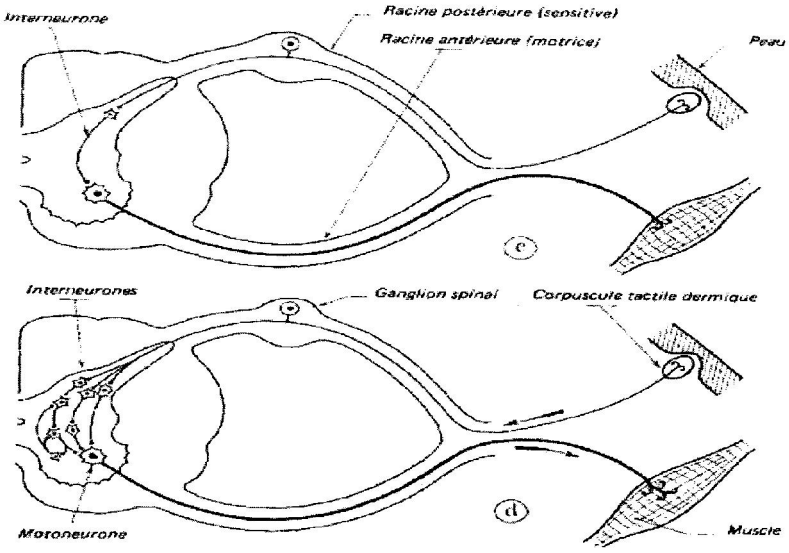
Un exemple de réflexe médullaire : le réflexe myotatique



L'arc réflexe.

La vitesse de l'influx nerveux est fonction du nombre de neurones intervenant dans l'accomplissement de l'arc reflexe. Si un neurone en T est directement lié au motoneurone, l'arc est dit monosynaptique et la réponse est très rapide (Reflexe rotulien). Lorsque le temps est long on suppose l'existence de neurones d'association ou neurones intermédiaires ou Inter-Neurones donc le délai synaptique est plus grand. Les fibres sensitives présentent des

collatérales longues ou des collatérales courtes. Lorsque l'arc reflexe comporte un ou plusieurs neurones d'associations, il est dit polysynaptique.



BOST

c-d : Un réflexe polysynaptique à point de départ cutané. En c, schéma simplifié comportant un seul interneurone. En d, schéma plus complet comportant plusieurs chaines d'interneurones.

2. Lois de PFLÜGER

Expérience

Avec des solutions d'acide acétique de concentration croissantes que l'on met dans les verres à montre. On plonge l'une des pattes postérieures dans chacune des solutions et on observe la réaction de l'animal. Mais on prend soin de laver et d'essuyer au préalable la peau après chacun des essais successifs. On obtient les résultats suivants :

Solution acide	N°	Réponses	Type de reflexe
+Diluée	1	Aucune réponse	Nul
	2	Aucune réponse	Nul
	3	Flexion des doigts la patte excitée	Localisé
	4	Flexion de la patte postérieure	Unilatéral
	5	Flexion des 2 pattes postérieures	Symétrique
	6	Flexion des 4 pattes	Irradié
-Diluée	7	Mouvement des 4 pattes et du tronc	Généralisé

La solution 3 correspond à l'intensité seuil. Les concentrations inférieures sont dites infraliminaires et supérieures sont dites supraliminaires. Plus la concentration est élevée plus la réponse est complexe. D'où les lois sont connues sous le nom de loi de PFLÜGER.

Ainsi plus l'intensité du stimulus est forte, plus le nombre de muscles intéressés est important.

Toutefois une excitation légèrement inférieure au seuil d'excitation mais répétée permet d'obtenir une réponse. Les effets des excitations paraissent s'additionner : c'est la loi de sommation temporelle.

Les excitations d'intensités croissantes produisent des influx nerveux qui parviennent à recruter des neurones collectifs de plus en plus nombreux. Ces influx nerveux vont intéresser un plus grand nombre de neurones moteurs d'où l'entrée en action de nombreux groupes de muscles.

- La réaction initiale est simple, localisée ou unilatérale : Ce qui correspond à un arc reflexe.

-La loi de symétrie s'expliquerait par le recrutement des neurones d'associations horizontaux ou transverses.

-La loi d'irradiation : les neurones d'association verticaux transmettent l'excitation à des motoneurones situés à d'autres niveaux de la moelle épinière.

-La loi de généralisation s'expliquerait par la présence des neurones d'associations transverses et verticaux.

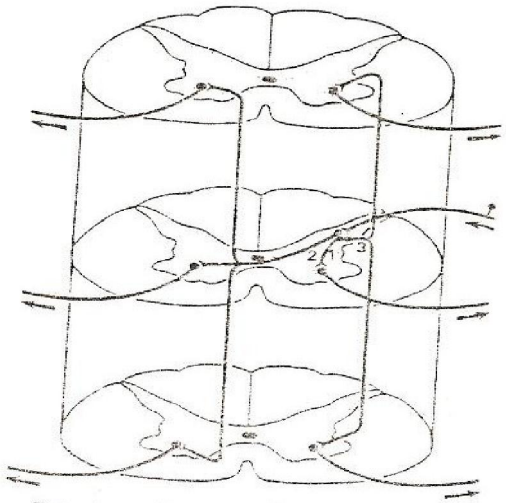
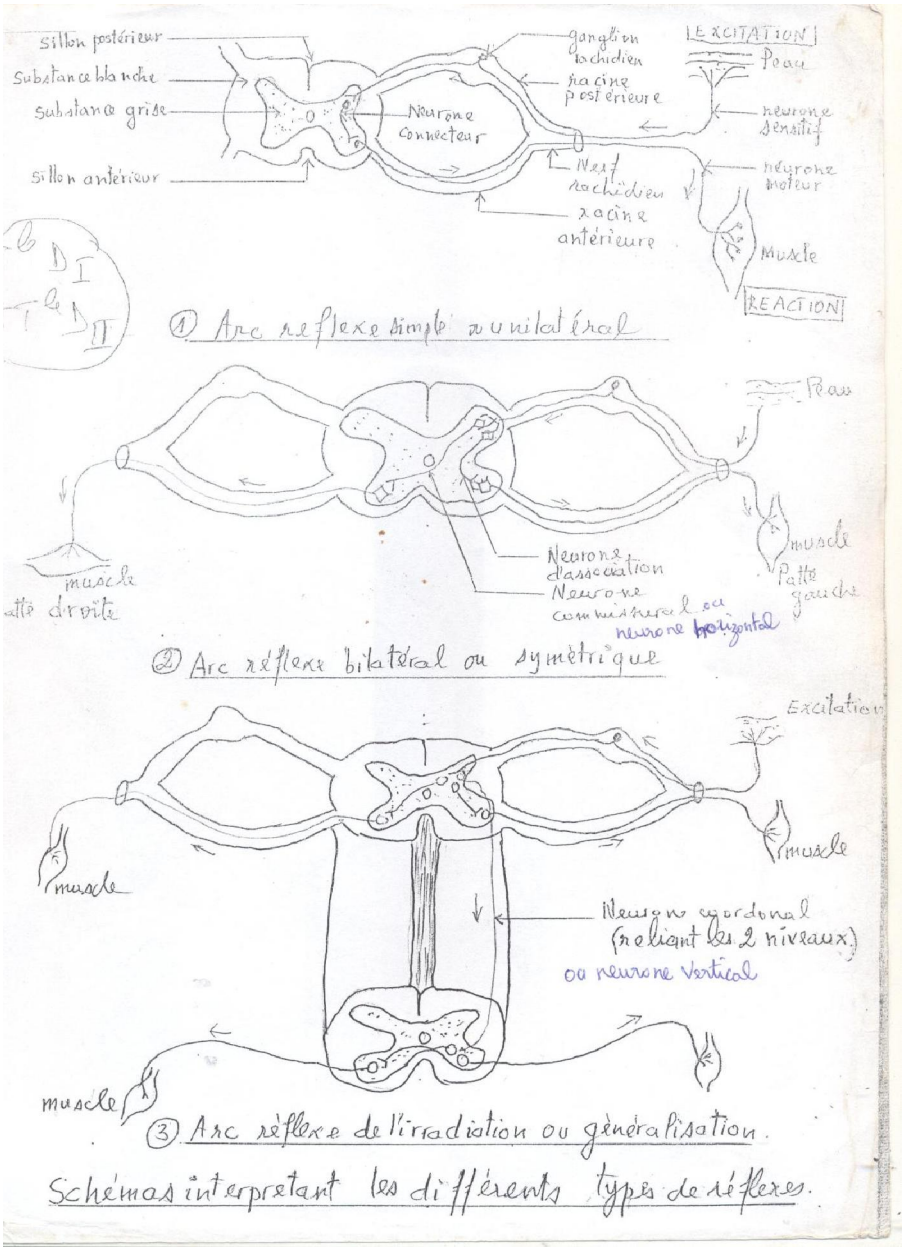


FIG. 5. — *Neurones d'association dans la moelle épinière.*



Remarque

Les influx nerveux provoquent non seulement l'activité des neurones du muscle fléchisseur mais aussi l'inhibition des motoneurones des muscles antagonistes : c'est la loi de Sherrington.

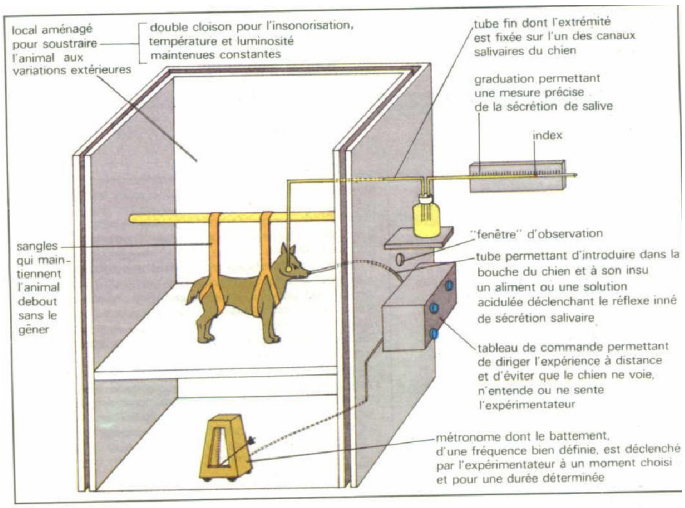
La ME coordonne l'activité des muscles dans le sens de l'efficacité : on dit qu'il y a intégration.

IV Reflexes conditionnels

1. Travaux de Pavlov

a) Préparation de l'animal

Le chien enfermé dans une pièce close parfaitement isolé, est maintenu en place par des sangles. Sur le canal d'une des glandes salivaires on pratique une fistule c'est-à-dire qu'on fait une incision par laquelle on introduit un tube fin dans le canal de la glande. La salive qui s'écoule par la canule est recueillie dans un ballon en verre gradué. Ce qui permet d'apprécier la quantité de salive secrétée. Plusieurs types d'excitations sont utilisés. Ce sont les excitants visuels (lampe), auditifs (diapason, sifflet, métronome…), cutanés (choc électrique) ou la présence d'un aliment.



b) Expérience

- L'expérimentateur administre un morceau de viande au chien on et constate aussitôt qu'il y a sécrétion salivaire. Cette sécrétion se produit même si les hémisphères cérébraux sont détruits.

A ce chien on fait entendre les bruits rythmés d'un métronome, la salivation n'a pas lieu. L'animal dresse seulement ses oreilles et se retourne en direction de l'appareil : c'est un réflexe d'investigation. Si l'essai est renouvelé plusieurs fois, l'animal ne réagit plus. Il est devenu indifférent. Il y a eu habituation.

- L'expérimentateur associe les deux excitants pendant plusieurs jours de suite. L'administration de la viande est précédée de l'émission du bruit du métronome. Il y a salivation. Pavlov soumet le chien au seul bruit du métronome sans lui donner à manger. Il constate alors une sécrétion de salive comme si on lui avait donné à manger. Mais cette émission cessait définitivement après ablation des hémisphères cérébraux du chien.

c) Interprétation

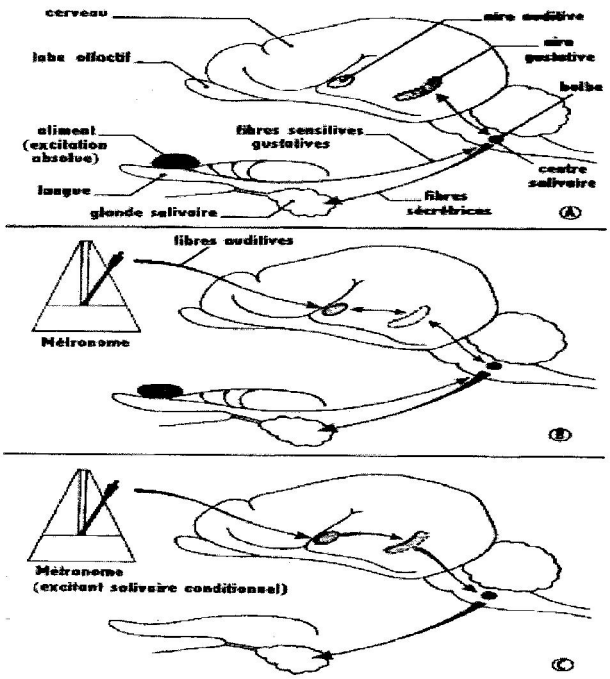
L'introduction de tout aliment dans la bouche de tout animal déclenche la sécrétion de la salive. Cette sécrétion est un réflexe inné (héréditaire) indépendant de la volonté. Il est déterminé par les propriétés physiques et chimiques des substances qui entrent en contact avec la muqueuse buccale. Ce sont des excitants dits absolus. Ce reflexe disparaît si le nerf se rendant aux glandes salivaires est sectionné ou si le bulbe ou la moelle épinière sont détruits.

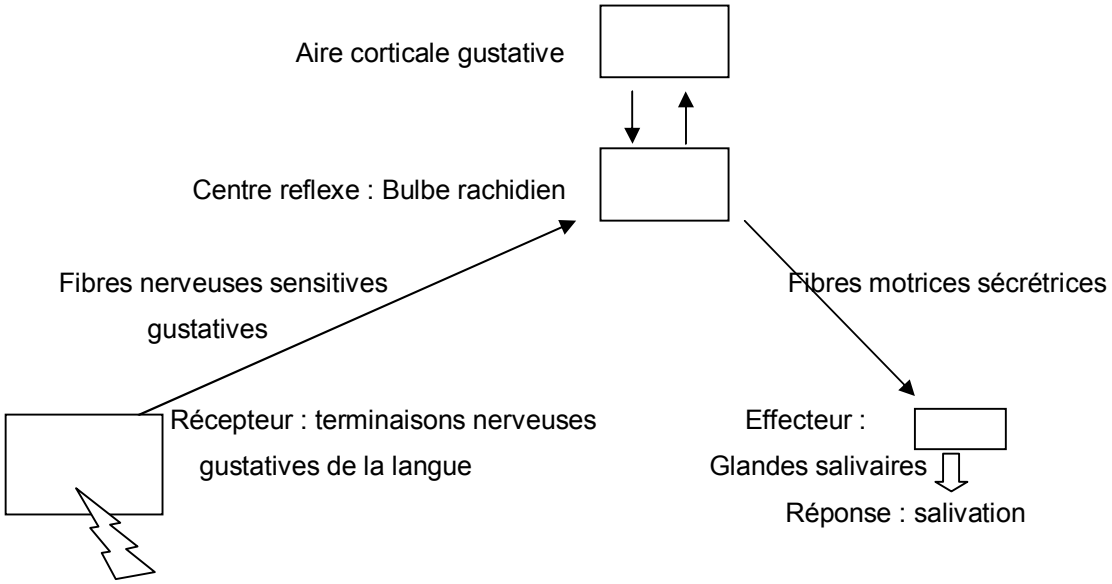
Schéma résumant le mécanisme de l'établissement d'un réflexe salivaire conditionnel (C) chez le Chien, à partir d'un réflexe absolu (A).

A. L'aliment, excitant naturel, provoque l'excitation du centre salivaire qui déclenche la sécrétion. En même temps une liaison s'établit avec le centre gustatif.

B. Un son, qui provoque une excitation aboutissant à l'aire auditive, étant associé à plusieurs reprises à l'administration de nourriture, une nouvelle association naît entre l'aire gustative et l'aire auditive.

C. Du fait des associations qui se sont établies, le son, agissant seul, provoque une excitation qui aboutit à l'aire auditive, se transmet à l'aire gustative puis au centre salivaire qui déclenche la sécrétion. Le son est devenu un excitant salivaire : c'est un excitant conditionnel.





Stimulus absolu (inconditionnel : viande)

Schéma de mise en œuvre de la sécrétion salivaire innée

L'expérience de Pavlov montre que les bruits du métronome constituent un autre stimulus (qui s'est substitué à l'excitant absolu) agissant sur un autre récepteur qui est l'oreille. En effet, sous l'action de cet excitant un influx nerveux sensitif naît au niveau de l'oreille, atteint l'écorce cérébrale d'où part un autre influx nerveux sensitif jusqu'au bulbe rachidien qui envoie un influx nerveux moteur aux glandes salivaires. (Ce reflexe fait apparaître un centre nerveux qui est la substance réticulée (ensemble de neurones très ramifiés, situés dans les zones profondes de l'encéphale, qui joueraient un rôle important dans l'établissement des réflexes conditionnels), de l'hypothalamus.) On peut donc dire qu'un circuit nouveau entre les aires auditives et gustatives s'est formé.

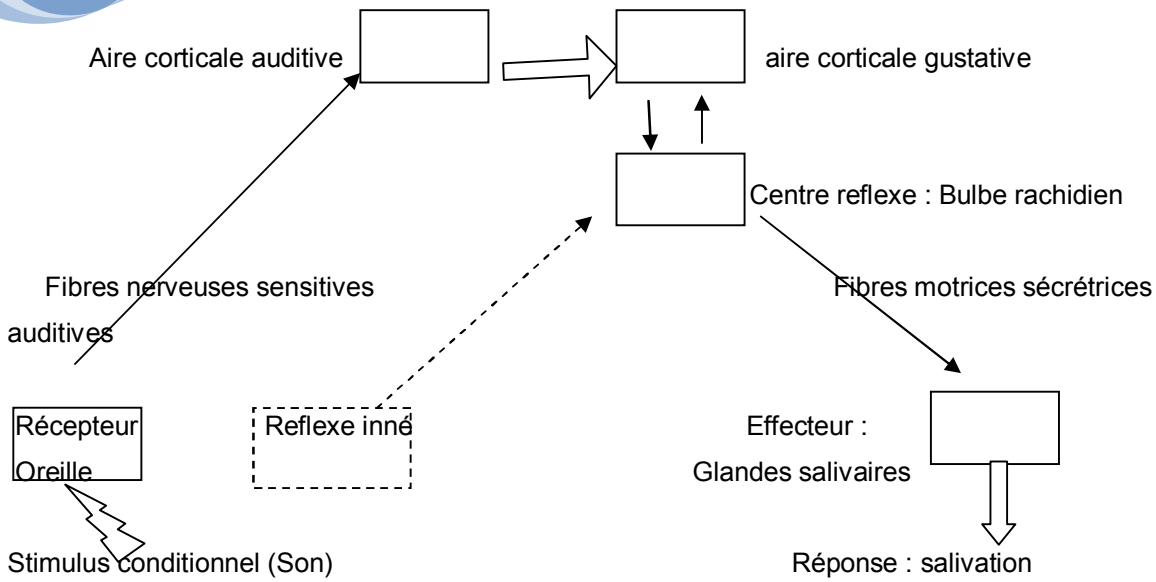


Schéma de mise en jeu de la sécrétion salivaire conditionnelle

2) Conditionnement opérant de Skinner

a. Description

Skinner (Psychologue américain) a mis au point une « cage de base » qu'il utilise principalement avec des pigeons et des souris. Dans la situation type, la souris est dans la cage avec un petit levier relié à un distributeur de nourriture. La souris explore la cage, elle appuie par hasard sur le levier et elle est immédiatement récompensée par une ration de nourriture (fromage). Si l'acte opérant (appuie sur le levier) est à nouveau suivi du renforcement (distribution de nourriture) l'animal va appuyer sur le levier avec de moins en moins d'hésitation.

b. Caractéristiques

Le conditionnement opérant diffère du conditionnement classique pavlovien. En effet, dans le conditionnement classique le sujet subit le milieu, il ne le modifie pas, il s'y adapte. Le sujet répond au stimulus conditionnel fournit par l'expérimentateur : c'est un conditionnement répondant. De même, c'est l'expérimentateur qui fournit l'excitant absolu pour le conditionnement.

Dans le conditionnement opérant c'est le sujet lui-même qui agit sur le milieu accidentellement, puis de façon automatique ou volontaire. Le rendement est positif si c'est le sujet qui déclenche l'apparition de la récompense sans qu'il y ait une stimulation extérieur. Il est dit négatif, si le sujet peut déclencher une punition, dans ce cas il apprendra à éviter cette situation.

3) Caractéristiques des réflexes conditionnels

- L'excitant conditionnel doit être bien déterminé.
- Le reflexe conditionnel est acquis au cours de l'existence de l'animal et il se crée à partir d'un réflexe inné.
- Il faut que l'agent primitivement sans action soit associé plusieurs fois à l'excitant absolu.
- Un réflexe conditionnel ne se crée que si l'excitant conditionnel précède l'excitant absolu.
- Il est nécessaire que l'animal se trouve dans certaines conditions physiologiques c'est-à-dire que l'animal doit avoir faim. Il faut éviter tout objet ou bruit qui peut distraire l'animal.
- Le reflexe conditionnel peut s'affaiblir et disparaître s'il n'est pas entretenu.

4) Quelques exemples de reflexes conditionnels

On peut citer entre autres :

- le cas d'un conducteur qui appuis sur le frein à la vue d'un danger ;

- le cas de l'écriture ;
- le dressage des animaux, le langage…

V. Classification et importance des reflexes

1. Classification

a) Les réflexes absolus

Ce sont des réflexes qui se manifestent dès la naissance de l'animal et qui ne dépendent pas de la structure du système nerveux.

a $_1$. Selon le centre nerveux

- On distingue les réflexes encéphaliques :
  - le tronc cérébral : le bulbe rachidien, la protubérance annulaire. Ex : occlusion des paupières, abaissement de la mâchoire inférieure à la suite de la morsure de la langue, mastication pendant le sommeil, déglutition, salivation, sudation, reflexe cardio-modérateur…
  - Le cervelet : équilibre et locomotion.
  - Les couches optiques et les corps striés : émotion, régulation du tonus musculaire.
- Les réflexes médullaires : le **réflexe rotulien, le réflexe plantaire, le réflexe cardio–accélérateur.**

a $_2$) Selon la position du récepteur

- les réflexes **extéroceptifs** : ce sont des réflexes dont les récepteurs sont situés à la périphérie du corps, dans les couches superficielles et recueillent le stimulus provenant de l'environnement (**nez, bouche, oreille, peau, œil**). Ils ont pour but de protéger les individus contre les dangers. Ce sont des réflexes de **protection** et de **défense**. Ils possèdent des neurones d'associations qui peuvent être inhibés par le cerveau.

- Les réflexes **intéroceptifs ou végétatifs** : les récepteurs sont situés à l'intérieur de l'organisme et règlent le fonctionnement des organes et des glandes (**cœur, muscle de la paroi abdominale, les organes du tube digestif**.). Ex : sudation, salivation, sécrétion de suc, d'hormones, de vaisseaux sanguins, le cœur, le muscle…

- Reflexes **proprioceptifs** : Les récepteurs sont situés dans les profondeurs de l'organe lui-même : le **réflexe rotulien, le réflexe d'équilibre du corps, le tonus musculaire, la coordination des mouvements, le réflexe de posture, de redressement**…

b. Reflexe conditionnel ou acquis

C'est un ensemble d'actes involontaires résultant d'un apprentissage, d'une habitude après répétition. Selon les conditions de vie de l'animal, ils peuvent se développer, se modifier ou s'éteindre. Ces reflexes ont pour centre nerveux : le thalamus, la formation réticulée, le cerveau.

2) Importance des reflexes

Les réflexes ont pour but de protéger les individus contre les dangers, de permettre le fonctionnement des organes, de dresser les animaux…

Exercices sur les reflexes

Exercice n°1

Définis les termes suivants :

Réflexe, réflexe inné ou absolu, réflexe acquis ou conditionnel, stimulus neutre, stimulus absolu, stimulus conditionnel, réflexe conditionnel « opérant », réflexe « répondant ».

Exercice n°2

Un chien a été conditionné à saliver quand il entend un son de fréquence 1000 Hz. Toutes les 15 mn, on lui fait entendre un son dont la fréquence est indiquée dans le tableau ci-dessous et on recueille sa salive durant 30 secondes. On obtient les résultats consignés dans le même tableau.

1) Décrivez le protocole expérimental permettant de conditionner un animal.
2) Analysez les résultats expérimentaux présentés dans le tableau et dégagez la caractéristique importante.
3) Faites un schéma simple expliquant le mécanisme.

Heure	**Fréquence du son en Hz**	**Gouttes de salive recueillies**
14H	1000	18
14H15	1012	00
14H30	1000	18
14H45	1005	00
15H	1012	00
15H15	1020	00
15H30	1000	18
15H45	1000	18

Exercice 3

Un chien a été conditionné à saliver par association d'un agent primitivement indifférent (son de 1500 vibrations/S) et d'un agent gustatif efficace (morceau de viande). Après 7 associations des deux agents, dans un ordre déterminé (son puis viande), on remarque que le chien salive sous la seule influence du son de 1500 vibrations/s. Le réflexe étant alors acquis, on réalise les expériences dont les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous. (Le premier résultat est enregistré à 13h).

1) Analyser le tableau
2) Quel caractère important du réflexe conditionnel est ici mis en évidence ?
3) Faites un schéma simple expliquant le mécanisme

Heure	Excitant utilisé	Quantité de salive obtenue : nombre de gouttes par 30 secondes
13h	Son de 1500 vibrations/s	10
13h10	Son de 1500 vibrations/s	9
13h20	Son de 1500 vibrations/s	7
13h30	Son de 1500 vibrations/s	5
13h40	Son de 1500 vibrations/s	2
13h50	Son de 1500 vibrations/s	0
14h	Son de 1500 vibrations/s	0

Exercice 4

On a représenté sur la figure ci-contre, une partie des nerfs innervant la glande sous-maxillaire (glande salivaire). Dans le but de dégager le mécanisme de la sécrétion salivaire, on pratique les expériences suivantes :

- **Expérience A :** l'introduction de vinaigre dans la gueule d'un chien provoque une sécrétion salivaire importante.
- **Expérience B :** la stimulation électrique d'un point précis du bulbe rachidien provoque également la salivation.
- **Expérience C :** on sectionne en I le nerf appelé « corde du tympan », puis on stimule le bout périphérique du nerf sectionné ; la glande sous-maxillaire déverse alors une salive abondante.
- **Expérience D :** la corde du tympan étant intacte, on sectionne en II le nerf lingual. La stimulation du bout périphérique du nerf sectionné n'est suivie d'aucune salivation ; en revanche, si on stimule le bout central de ce nerf, la glande déverse une salive abondante.

1) Interprétez avec précision chacune des expériences et définissez le rôle de chacun des éléments anatomiques évoqués.

2) Sur un schéma simple, représentez le trajet de l'influx nerveux responsable de la réaction salivaire observée lorsqu'on introduit du vinaigre dans la gueule d'un chien. Comment pouvez-vous désigner ce type de réaction ?

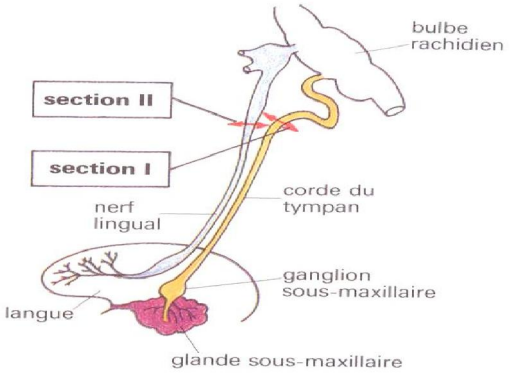


Figure exercice 4

EXERCICE 5

Des rats à jeun sont soumis à une série d'expériences consistant à parcourir un labyrinthe pour atteindre leur nourriture. On réalise un essai par jour et pour chaque essai on note le temps de parcours. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Numéros des essais	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temps de parcours	160	150	80	60	55	40	25	20	20	20

2) Quel type de réaction étudie-t-on ?

3) a) tracez la courbe représentant le temps de parcours en fonction des essais.

b) Analysez la courbe.

c) En déduire la qualité cérébrale mise en œuvre.

4) Après le 10ème essai, les rats sont nourris normalement pendant dix jours, puis on reprend la même expérience pour 3 essais. Le temps moyen de parcours est de 120 secondes. Quel caractères important de cette réaction pouvez-vous en déduire ? justifiez.

Corrigés

Exercice 1 :

Un réflexe est un mouvement automatique indépendant de la volonté.

Un réflexe inné est un mouvement involontaire induit par un stimulus inné, permanent et présent chez tous les animaux de la même espèce.

Un réflexe conditionnel est un réflexe acquis par apprentissage.

Un stimulus neutre est un stimulus qui n'induit pas de réflexe inné.

Un stimulus absolu est un excitant qui induit un réflexe inné ou inconditionnel.

Un stimulus conditionnel est un stimulus qui induit un réflexe conditionnel.

Un réflexe conditionnel « opérant » est un réflexe au cours duquel c'est l'animal qui agit sur son milieu.

Un réflexe conditionnel « répondant » est un réflexe passif au cours duquel l'animal répond à des stimulations issues de l'environnement.

Exercice 2

1) *Protocol expérimental :*
   - *On soumet le chien à un stimulus absolu (viande), ce qui déclenche une salivation ;*
   - *On soumet le chien à un stimulus neutre (un bruit ou une lumière), ce qui ne déclenche pas de salivation ;*
   - *On associe les deux stimuli : on soumet d'abord le chien au stimulus neutre (bruit) et immédiatement après, on soumet le chien à un stimulus absolu (viande), ce qui déclenche la salivation ;*
   - *Après avoir répété plusieurs fois l'expérience d'association (stimulus neutre suivi de stimulus absolu), on soumet le chien au stimulus neutre : il y a salivation.*

2) *Pour les fréquences de 1000 Hz, le chien salive. Cependant pour des fréquences supérieures ou inférieures le chien ne salive pas. La caractéristique : un stimulus conditionnel précis et précédent le stimulus absolu et associé à ce dernier.*

Exercice 3

1) Les résultats du tableau montrent que la quantité de salive sécrétée diminue avec le temps lorsqu'on n'utilise que le son chez le chien déjà conditionné.

2) Il y a extinction des réflexes conditionnels lorsqu'ils ne sont pas entretenus par le stimulus absolu.

3) Schéma récapitulatif

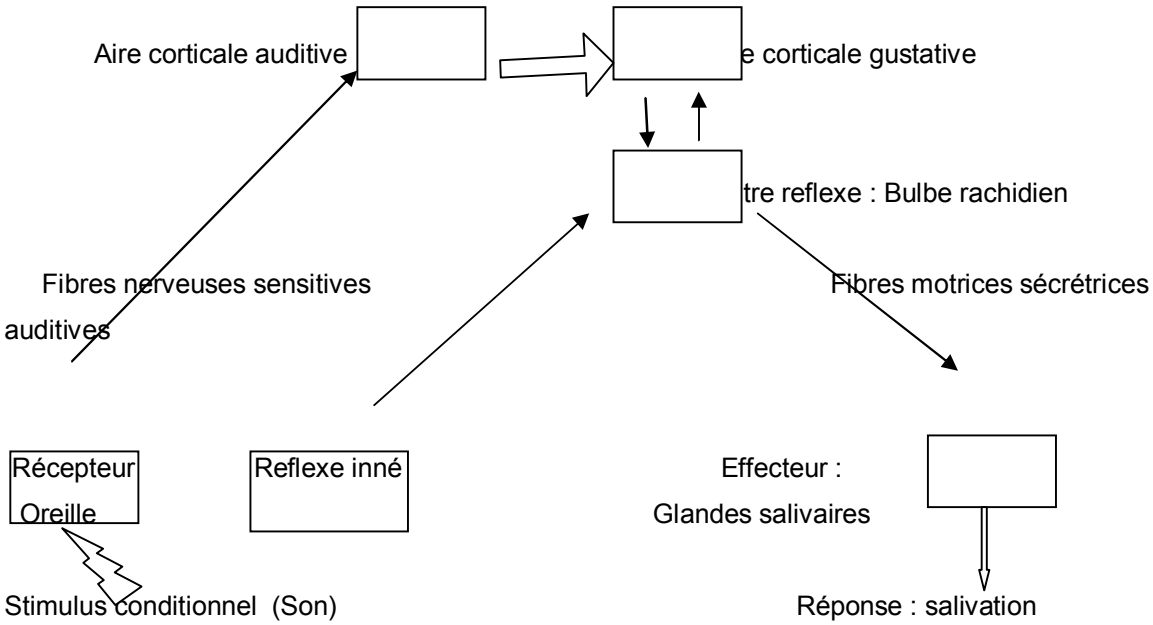


Schéma de mise en jeu de la sécrétion salivaire conditionnelle

Exercice 4

1) Interprétation :

- *Expérience A : le vinaigre est un stimulus chimique excitant les récepteurs situés dans la gueule de l'animal. Cette excitation provoque une salivation réflexe.*
- *Expérience B : le bulbe rachidien est le centre nerveux de ce réflexe.*
- *Expérience C : la corde du tympan est le nerf efférent conduisant les influx nerveux du bulbe à la glande salivaire.*
- *Expérience D : le nerf lingual est le nerf afférent conduisant au bulbe les influx émis par les récepteurs périphériques.*

2) Schéma

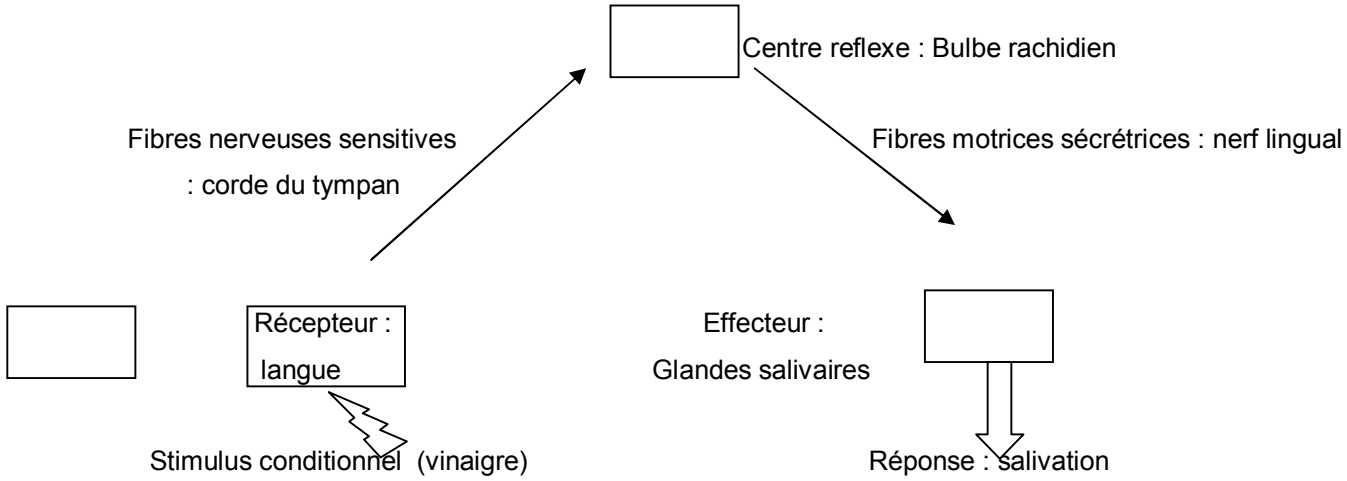
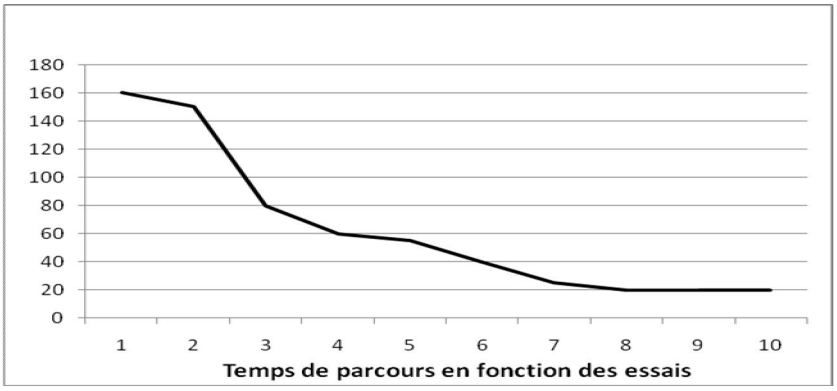


Schéma du trajet de l'influx nerveux : reflexe inné

EXERCICE 5

1) Type de réaction : c'est un reflexe conditionnel.

2) a) traçons la courbe



b) Analyse de la courbe

Courbe décroissante.

c) La qualité cérébrale mise en œuvre est la capacité pour le cerveau de créer un autre circuit par apprentissage (conditionnement opérant)

3) Caractère et justification : c'est un reflexe acquis, car elle s'acquiert au cours de l'apprentissage et qui disparait s'il n'est pas entretenu.

CINQUIEME PARTIE : UNITE PHYSIOLOGIQUE DE L'ORGANISME

CHAPITRE I : ACTIVITE CARDIAQUE

I. Anatomie du cœur

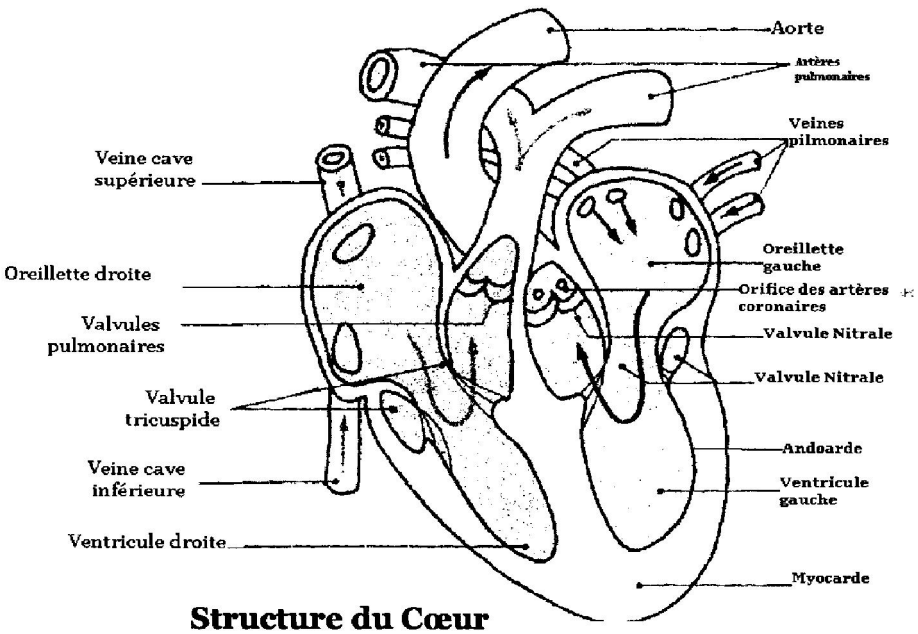
1. Morphologie

a. Cœur de mammifère

Le cœur a une forme conique avec la pointe ou apex orientée vers la gauche. Il a un poids qui varie entre 250g et 350g.

Le cœur est enveloppé dans un sac constitué de tissu conjonctif à double paroi appelé péricarde. Une coupe longitudinale du cœur d'un mammifère montre :

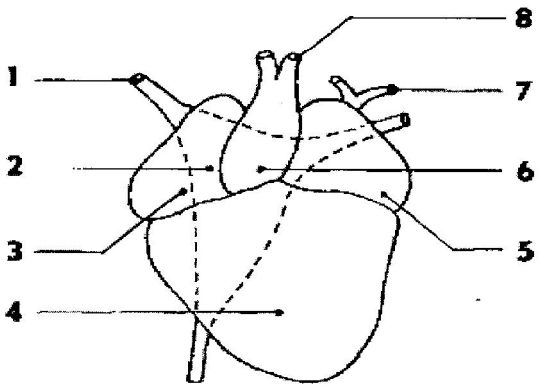
	Face ventrale	Face dorsale
Partie supérieure	- 2 oreillettes - Artères * Aorte rattachée au ventricule gauche * pulmonaire rattachée au ventricule droit	- Veines * caves rattachées à l'oreillette droite * 4 veines pulmonaires rattachées à l'oreillette gauche
Partie inférieure	- Ventricules - Sillon parcouru par les vaisseaux	- Ventricules



Structure du Cœur de mammifère

b) Le cœur de grenouille

Le cœur de grenouille est constitué du bulbe artériel, d'un sinus veineux, de 2 oreillettes et d'un seul ventricule (dont les contractions ne sont pas simultanées). La contraction des oreillettes ou systole auriculaire précède la systole ventriculaire. Le sang chassé par la contraction du ventricule passe dans un bulbe artériel d'où partent les artères. Le sang revenant au cœur par les veines caves arrive dans un organe contractile appelé sinus veineux dont la contraction précède celle des oreillettes.



Cœur de Grenouille, face antérieure. 1. Veine cave supérieure. 2. Sinus veineux. 3. Oreillette droite. 4. Ventricule. 5. Oreillette gauche. 6. Bulbe artériel. 7. Veines pulmonaires. 8. Artères.

2) Histologie du cœur de Mammifère

Le cœur est un muscle creux spécial, car il est involontaire. La contraction assure la circulation du sang dans l'organisme. On dit qu'il joue un rôle de pompe ou propulseur. Il est formé de trois tissus :

- le péricarde est un tissu conjonctif, résistant qui enveloppe le cœur ;

- le myocarde ou tissu musculaire est composé principalement de cellules musculaires cardiaques. C'est la tunique dotée de la capacité de se contracter. Les fibres cardiaques bifurquées en Y ou X s'unissent suivant des disques inter-cardiaques. Les fibres musculaires sont courtes, épaisses, ramifiées. Chaque fibre est formée par :

* Un sarcolemme (membrane plasmique);

* un sarcoplasme très riche en myoglobine contenant un seul noyau ou deux ;

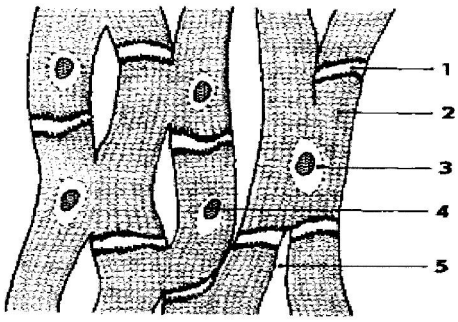
* Des myofibrilles et de nombreuses mitochondries. Les myofibrilles se continuent d'une cellule à la suivante (et tout se passe comme si le myocarde présentait une structure syncitiale). Les fibres musculaires striées forment un réseau et sont traversées par des cloisons en escaliers appelés stries scalariformes ;

* On trouve des fibres cardiaques pauvres en fibrilles et ayant conservé l'aspect de cellules musculaires embryonnaires. Ce tissu spécial est appelé tissu nodal. Il se présente sous forme d'amas. On distingue :

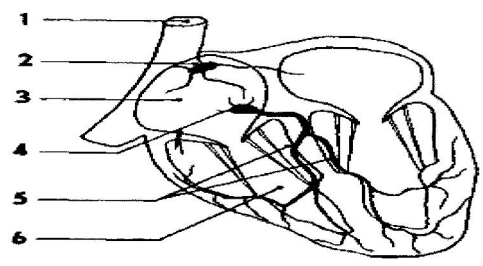
- un premier amas situé dans la paroi de l'oreillette droite au point d'arriver des veines caves : c'est le nœud sinusal ou nœud de Keith et Flack ;
- un deuxième amas situé au niveau de la cloison auriculo-ventriculaire droite au-dessus de la valve interne, de la valve tricuspide : c'est le nœud septal ou nœud d'Aschoff TAWARA ou nœud auriculo-ventriculaire ;
- le faisceau de His qui, partant du nœud septal descend de part et d'autre de la cloison inter-ventriculaire pour se ramifier dans la paroi de chaque ventricule où il se forme le réseau de Purkinje ;

- l'endocarde tapisse les cavités cardiaques. C'est une continuité de l'endothélium des vaisseaux sanguins et diminue la friction du sang contre les parois cardiaques.

Rq : le tissu nodal est spécifique au cœur de mammifère.



Fibres musculaires du myocarde. 1. Strie scalariforme. 2. Fibre striée. 3. Sarcoplasme. 4. Noyau. 5. Conjonctif.



Tissu nodal du cœur des Mammifères. 1. Veine cave supérieure. 2. Nœud sinusal. 3. Oreillette droite. 4. Nœud septal. 5. Faisceau de His. 6. Ventricule droit.

II. Physiologie du cœur

A. Contraction cardiaque

1. Manifestations externes

- Lorsqu'on applique son oreille ou un stéthoscope (auscultation) contre la poitrine d'une personne au niveau du cœur (thorax), on perçoit des chocs, des bruits rythmiques séparés par des silences qui se répètent régulièrement : c'est le bruit du cœur. Ce bruit se traduit par la fermeture des valves auriculo-ventriculaires, puis de la fermeture des valves de l'aorte.

- Lorsqu'on prend le pouls d'une personne, l'extrémité des doigts enregistrent des chocs périodiques dont la fréquence est la même que celle des battements cardiaques. Ce sont des chocs ondo-sanguines sur les parois des vaisseaux sanguins (artères).

- Le rythme cardiaque est le nombre de battements cardiaques en une minute

Rythme cardiaque = fréquence cardiaque

2) Paramètres de l'activité cardiaque

-La fréquence cardiaque est le nombre de battements du cœur par minute (pour un homme adulte on a 70 battements/mn).

- L'amplitude cardiaque : voir tableau

- Débit cardiaque : c'est la quantité de sang éjectée par chaque ventricule en 1 mn (5l/mn). Le volume systolique est la quantité de sang expulsée par un ventricule à chaque contraction. On calcule le débit cardiaque (Dc) en multipliant la fréquence cardiaque par le volume systolique Dc = Fc x Vs

- ✓ Dc : Débit cardiaque en l/mn ;
- ✓ Fc : Fréquence cardiaque en coup/mn ;
- ✓ Vs : Volume systolique en l/coup.

3) Mesure de la pression artérielle

La pression artérielle est la pression exercée par le sang sur la paroi des artères. La tension artérielle qui est en réalité la force de réaction élastique de la paroi des artères à la pression que le sang exerce sur elle.

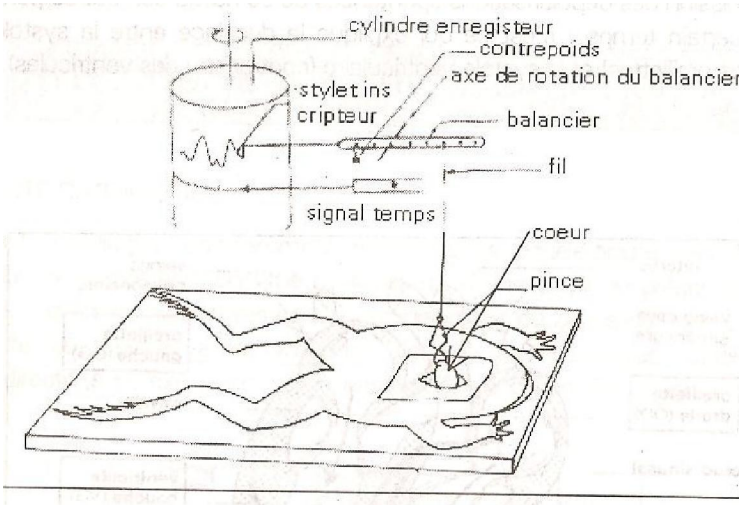
Pour mesurer la pression artérielle, on mesure la pression artérielle systémique brachiale par la méthode auscultatoire. On enroule le brassard gonflable autour du bras, juste au-dessus du coude, et on le gonfle grâce à la poire jusqu'à ce que la pression intérieure du brassard dépasse la pression systolique. A ce moment, le sang cesse de s'écouler dans le bras, et on ne peut plus entendre, ni sentir le pouls brachial. On réduit graduellement la pression à l'intérieur du brassard en ouvrant la poire, tout en auscultant l'artère brachiale à l'aide d'un stéthoscope. La valeur indiquée sur le manomètre au moment où on entend les premiers bruits représente la pression systolique ventriculaire ou hypertension ou tension maximale. La pression continue de baisser dans le brassard, ces bruits se font de plus en plus forts et plus distincts. Ils s'évanouissent lorsque cesse la compression de l'artère et le sang s'écoule librement. La valeur indiquée au moment où les bruits s'éteignent représente la pression diastolique ou tension minimale ou hypotension. Elle est de 110 ou 140 mmHg/ 75 ou 80 mmHg. Elle est très élevée le matin sous l'influence du taux d'acidité. La pression artérielle varie en

fonction de l'âge, du sexe, du poids, de la race, de l'humeur, de l'activité… lorsque la tension est permanemment supérieure à 16/9,5, on dit que c'est l'hypertension.

4. Enregistrement des contractions cardiaques par la cardiographie

a) Montage

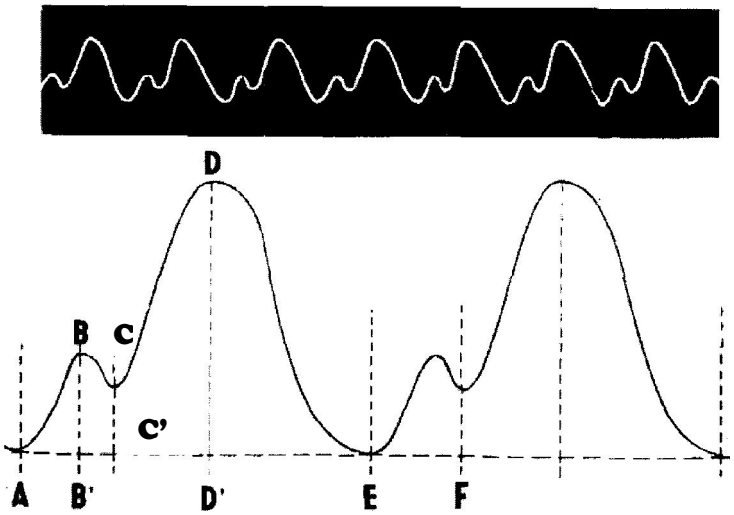
L'enregistrement graphique de la contraction cardiaque se fait grâce au cardiographe dont celui à balancier comprenant un balancier mobile autour d'un axe dont un bras est relié à la pointe du cœur par un fil terminé par une pince métallique appelée serre-fil. Un autre bras est muni d'un stylet enregistreur qui enregistre les mouvements sur un cylindre à mouvement uniforme.



Document 3 : Cardiographe à balancier

Schéma du cardiographe à balancier

b) Cardiogramme



RG 67 *Cardiogramme normal de Grenouille et analyse du tracé.*

	Révolution cardiaque	Systole auriculaire	Diastole auriculaire	Systole ventriculaire	Diastole générale
Amplitude	DD'	BB'	CC'	DD'	DE
Durée	AE	AB'	B'C'	C'D'	D'E

Le cœur battant normalement, le cardiogramme sera caractérisé par des accidents qui se reproduisent sur un rythme invariable. Chaque accident ou révolution cardiaque ou cycle cardiaque comprend :

- une phase ascendante AB qui correspond à la systole auriculaire c'est-à-dire la contraction des oreillettes (le sang est chassé dans les ventricules) ;

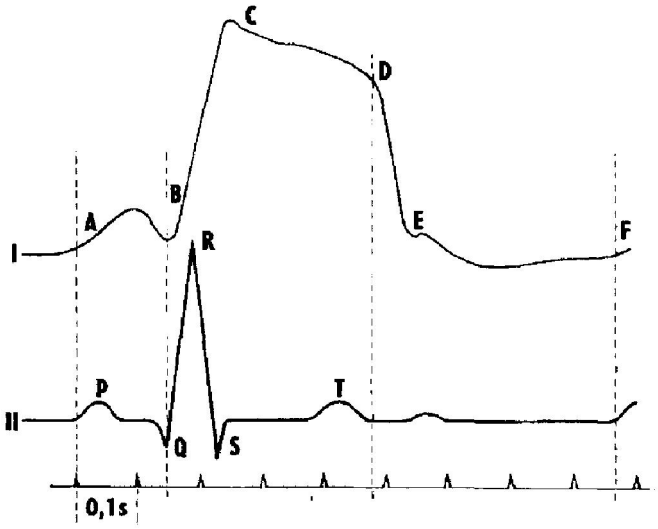
- une portion descendante BC qui correspond à la diastole auriculaire, c'est-à-dire le relâchement des oreillettes et le début de la systole ventriculaire ;

- une portion CD ascendante correspondant à la systole ventriculaire, dont l'effet l'emporte sur le relâchement des oreillettes ;

- une Portion DE descendante qui correspond à la diastole ou relâchement général, phase pendant laquelle le cœur ne travaille pas.

La durée des diastoles est légèrement supérieure à celle des systoles, si bien que le cœur se repose beaucoup plus qu'il ne travaille. En outre, l'amplitude constante de la contraction et la régularité (de son info) atteste de son infatigabilité. Le rythme cardiaque varie selon l'espèce, activité physique et l'âge…

a. Phénomènes électriques du cœur liés à la contraction cardiaque : Electrocardiogramme



Cardiogramme externe (I) comparé à l'électrocardiogramme (II) chez l'Homme.

Tout organe qui travaille produit de l'électricité. L'activité des cellules cardiaques engendre des courants qui traversent les parois du corps pour se propager dans tout le corps (PA). L'électrocardiographie consiste à enregistrer des infimes variations de potentiel grâce à des électrodes disposées sur la peau du sujet. L'enregistrement obtenu est un électrocardiogramme qui présente les phases suivantes :

- l'onde P : Elle est de faible amplitude et d'une durée de (0,08s). Elle résulte de la **dépolarisation** des oreillettes engendrée par le nœud sinusal ;

- la phase PQ représente le temps qui s'écoule entre le début de la **dépolarisation** auriculaire et celui de la dépolarisation ventriculaire ;

- l'onde QRS d'une durée de (0,08s). Elle est liée à la **dépolarisation** ventriculaire et précède la contraction des ventricules ;

- la phase ST : l'ensemble du myocarde ventriculaire est dépolarisée ;

- l'onde T correspond à la **répolarisation** ventriculaire qui est de 0,16s.

B. Automatisme cardiaque et régulation

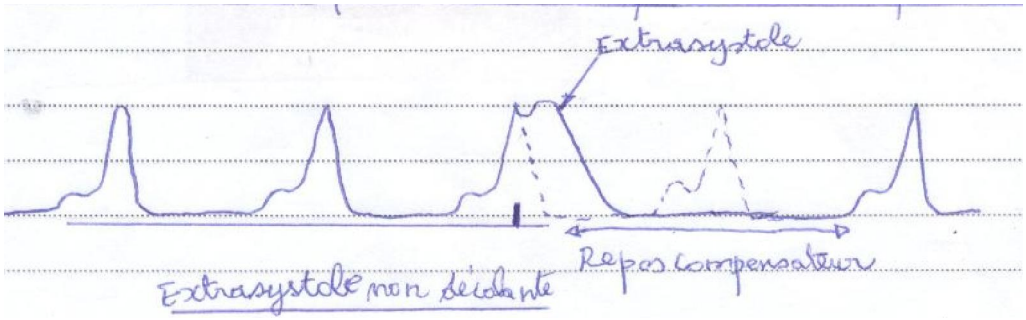
1. Mise en évidence de l'automatisme cardiaque

a. Effets d'excitations électriques sur le rythme cardiaque

Les propriétés du myocarde sont l'excitabilité, la contractilité et la conductibilité : Le muscle cardiaque répond à la loi du tout ou rien et à une longue période réfractaire.

- L'excitabilité du myocarde varie au cours de son activité.

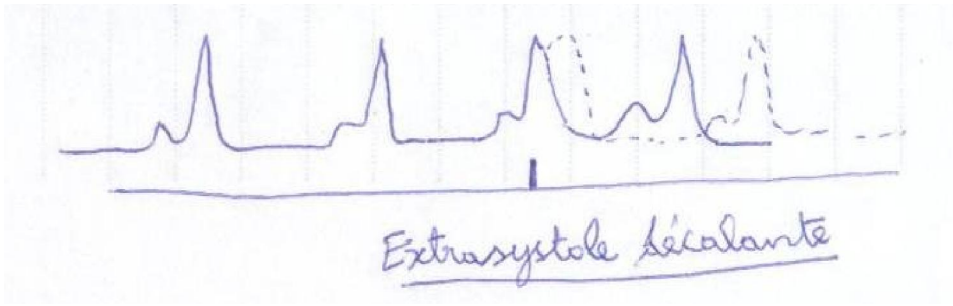
* Si une excitation est portée sur le **ventricule** pendant la **diastole générale**, on constate une contraction immédiate (systole anticipée) appelée extrasystole suivi d'une phase de repos plus longue que la normale appelée repos compensateur dont la durée est telle que la systole suivante se produit au moment précis ou elle se serait produite si le ventricule n'avait pas été excité : c'est une extrasystole non décalante.



* Si une excitation est portée sur le ventricule pendant la systole ventriculaire le cardiogramme n'est pas modifié. Il existe donc une période réfractaire pendant laquelle le cœur est inexcitable.

L'extrasystole non décalante caractérise une zone dépourvue d'automatisme. L'extrasystole ayant une légère avance sur la systole normale, l'onde sinusale qui devrait déclencher cette dernière atteint le ventricule en période réfractaire et de ce fait demeure sans effet. Quant aux ondes sinusales suivantes, elles déclenchent la systole normale comme si rien ne s'était passé.

* Si une excitation est portée sur le **sinus veineux** pendant la **diastole générale**, on observe une extrasystole dans les délais habituels de systole normale : c'est une extrasystole décalante sans repos compensateur.



L'extrasystole décalante caractérise une zone douée d'automatisme. Le décalage provoqué au niveau du sinus est imposé à tout le cœur.

b. Origine de l'automatisme cardiaque

Deux théories ont tenté de situer l'origine de l'automatisme cardiaque. La théorie myogénique et la théorie neurogénique.

- **Théorie neurogénique :** Cette théorie suppose que le système nerveux est à l'origine de l'automatisme cardiaque. Bien que renfermant des éléments nerveux, ceux-ci ne sont pas à l'origine de l'automatisme. De nombreux faits prouvent que l'automatisme a pour siège le tissu nodal et non le SN.
- Les myogénistes pensent que le tissu nodal de type embryonnaire a conservé la propriété de se contracter spontanément et rythmiquement comme l'atteste le battement de l'ébauche cardiaque du poulet 36h après la formation alors que le système nerveux n'est pas encore formé (expérience de Hess).

♣ Grunner a prélevé des cellules myocardiques qu'il a placées en culture. Ces cellules se sont développées et ont commencé à battre toutes seules.

♣ Le docteur Alexis Canel a réussi à faire vivre en culture pendant des années des cellules et des fragments de cœur d'embryon de poulets dépourvus de tout élément nerveux.

♣ De plus si on met en contact deux colonies de cellules de fréquences différentes, le rythme le plus rapide s'impose à l'ensemble. On sait également que l'onde contractile progresse à une vitesse de 0,7 m/s alors que dans les nerfs moteurs la vitesse de l'influx nerveux est en moyenne de 70 m/s.

c) Mécanisme

L'exploration électrique du cœur a montré que l'onde contractile (PA) prend naissance au niveau du nœud de Keith and Flack et se propage dans tout le cœur. Par voie musculaire, elle envahit toutes les oreillettes en direction des ventricules. Elle transite par le nœud d'Aschoff-Tawara au niveau duquel sa vitesse demeure 0,7m/s et la contraction devient polarisée dans le sens oreillette ventricule enfin par le faisceau de His et le réseau de Purkinje et la totalité des ventricules est atteinte. Ainsi donc c'est le nœud sinusal qui impose son rythme à l'ensemble du cœur. Il est appelé "pace maker" du cœur. Chez les mammifères, les centres doués d'automatisme cardiaques sont rangés suivant un ordre décroissant d'énergie et de fréquence.

Nœud sinusal → nœud septal → His ventriculaire

- Rythme sinusal : rythme imposé par le nœud de Keith and Flack et contrôlé par le sinus veineux 120-130 battements/mn.
- Rythme septal : rythme imposé par le nœud d'Aschoff-Tawara 50 batt/mn. A la destruction du nœud sinusal se substitue un rythme septal plus lent.
- Le rythme Idio-ventriculaire prend naissance au niveau du faisceau de His.

Dessin

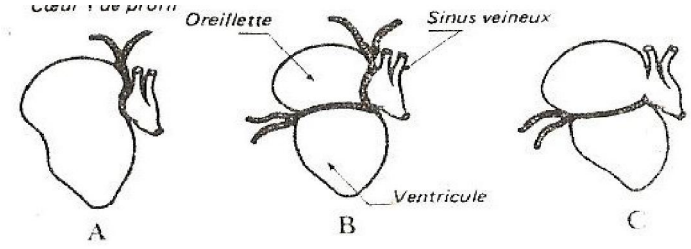
d. Cœur de grenouille

- Expérience de stannius

Sur un cœur de grenouille complètement isolé dans un liquide physiologique on pratique les ligatures suivantes.

- **A.** Seul le Sinus veineux continue de battre à un rythme normal, mais les oreillettes s'arrêtent en diastole ;
- **B.** Les oreillettes s'arrêtent en diastole alors que le ventricule se remet à battre à un rythme plus lent que celui du sinus ;
- **C.** Les oreillettes et les sinus conservent leur rythme normal alors que le ventricule après s'être arrêté se remet à battre à un rythme plus lent que celui du sinus.

Expliquer ces résultats.



Interprétation

- **A.** Les systoles auriculo- ventriculaires sont sous la dépendance d'un centre de l'automatisme cardiaque situé dans le sinus veineux qui est (seul) capable de battre à l'état isolé.
- **B.** Le ventricule possède donc un centre de l'automatisme, dont le rythme est inférieur à celui du sinus veineux et qui se manifeste en dehors de l'influence des oreillettes.
- **C.** Le sinus veineux est donc responsable des systoles auriculaires. Il est le centre de l'automatisme qui impose son rythme à l'ensemble du cœur.

Pour le cœur de grenouille : Des expériences (excitations électriques du cœur, exploration électrique) montrent que le siège de l'automatisme cardiaque est le ganglion de Remark ou ganglion sinusal situé dans le sinus veineux, d'où

partent les excitations rythmées qui provoquent la contraction du sinus puis des autres ganglions Ludwig (oreillette) et Bidder (ventricule), et les contractions successives des autres parties du cœur.

III. Système nerveux et régulation de l'automatisme cardiaque

A. Système nerveux

1. Centre nerveux

a. Centre cardio-modérateur

Il appartient au système nerveux parasympathique, qui est localisé dans la région dorsale du Bulbe rachidien au voisinage du centre respiratoire avec lequel il forme le nœud vital de Flourens.

b. Centre cardio-accélérateur

Il appartient au S.N Sympathique ou orthosympathique, localisé au niveau de la région cervico-dorsale de la corne latérale de la M.E.

La coordination des deux centres est assurée par l'hypothalamus.

2. Voies nerveuses

a. Voies sensitives

Elles partent de **l'oreillette droite**, de la **crosse de l'aorte** et des **carotides** (sinus carotidien). Les **nerfs sensitifs parasympathiques** partent de 2 zones : Les **zones vaso-sensibles** (barorécepteurs et chémorécepteurs).

L'une située dans **la crosse aortique est reliée au centre cardio-modérateur par les nerfs de cyon** (branche de la 10^{e} paire de nerf crânien ou nerf vague ou nerf pneumogastrique).

L'autre situé dans le **sinus carotidien est relié au cardio-modérateur par le nerf de Héring.** Les nerfs de Héring et de cyon sont appelés des nerfs dépresseurs.

La fibre sensitive du X est reliée au centre cardio-modérateur (et part de l'oreillette droite).

Il existe des **fibres sensitives cardio-accélératrices** qui partent des zones sensibles de l'**oreillette droite**, traversent le ganglion étoilé pour aboutir au centre médullaire.

Remarque : les chémorécepteurs sont sensibles à la variation chimique du sang ($C0_2$, 0_2, glucose, NaCl, déchets…) et les barorécepteurs ou tensiorécepteurs ou osmorecepteurs sont sensibles à la distension des parois dus à un fort afflux de sang.

b. Voies motrices

Elles aboutissent toutes à l'oreillette droite ce sont :

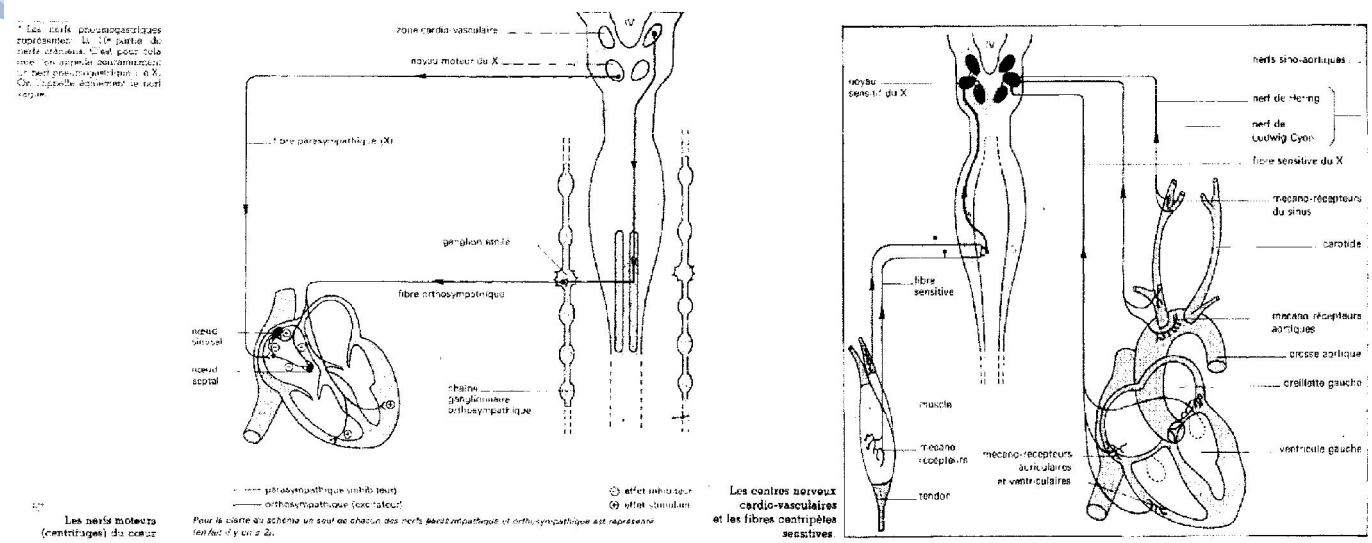
- Les filets nerveux issus des **centres bulbaires s'engagent dans le pneumogastrique** et se rendent au cœur en traversant au voisinage de celui-ci un amas de ganglion appelé plexus cardiaque sous aortique. A ce niveau, les neurones centraux font synapse avec les neurones ganglionnaires dont les axones pénètrent dans le **myocarde** (nœud sinusal ; nœud septal et faisceau de His).

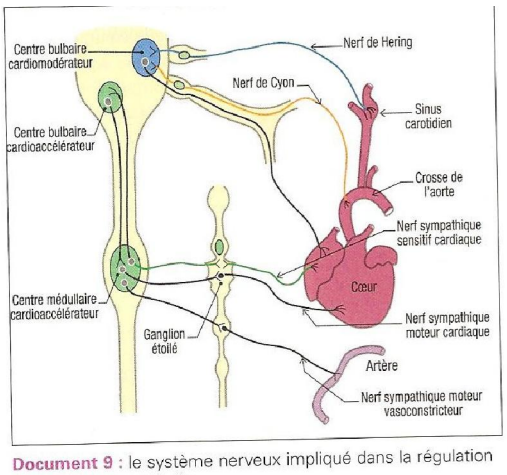
- Les filets **cardio-accélérateur** issus du centre médullaires s'engagent dans la 2^{e} et 3^{e} paire de nerfs rachidiens pénètrent dans le ganglion étoilé font synapses avec les neurones ganglionnaires traversent le plexus aortique et pénètre dans le myocarde.

Chez la grenouille et le chien les filets parasympathiques s'unissent aux filets sympathiques du pneumogastrique et donne le vago-sympathique.

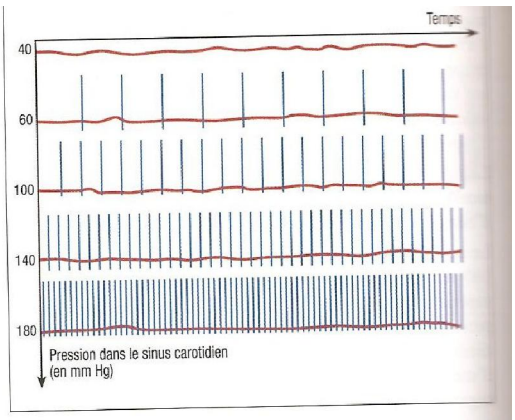
3. Fonctionnement du système nerveux

La stimulation du CN cardio-modérateur (Bulbe rachidien) entraine un ralentissement du rythme cardiaque. La stimulation du CN cardio-accélérateur (Moelle épinière) entraine une accélération du rythme cardiaque.

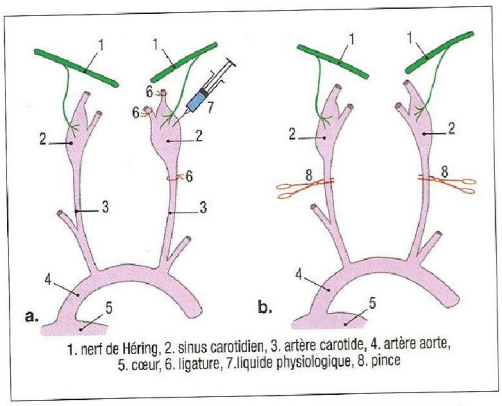




Document 9 : le système nerveux impliqué dans la régulation de la pression artérielle.



Document 11 : variation de la pression artérielle dans le sinus carotidien et intensité du message nerveux dans le nerf de Héring.



Document 10 : expérience en vue de déterminer le rôle du nerf de Héring et du sinus carotidien dans la régulation de la pression artérielle.

cardiaque et une baisse de la pression artérielle. Le résultat sera le même si l'on stimule électriquement le nerf de Héring. Anatomiquement, ce nerf n'est pas relié au cœur.

Expérience 2 :

Pinçons les deux carotides (document 10b) de telle sorte que la pression baisse dans les deux sinus carotidiens. On note une accélération du rythme cardiaque et une augmentation de la pression artérielle générale.

Expérience 3 :

La section des deux nerfs de Héring entraîne une accélération du rythme cardiaque et une augmentation de la pression artérielle. La stimulation des bouts périphériques n'a aucun effet. Par contre, la stimulation des bouts centraux entraîne un ralentissement du rythme cardiaque et une baisse de la pression artérielle.

Expérience 4 :

La section du nerf de Cyon se traduit par une accélération du rythme cardiaque et une augmentation de la pression artérielle. La stimulation du bout périphérique n'est suivie d'aucun effet. Par contre, la stimulation du bout central entraîne une diminution du rythme cardiaque et par conséquent une baisse de la pression artérielle dans la crosse de l'aorte.

Guide d'exploitation

À partir des documents 9 à 12 et des textes qui les accompagnent :

1. Détermine le rôle du sinus carotidien.
   Démontre que le sinus carotidien possède des barorécepteurs (récepteurs sensibles à la variation de la pression).
2. Définis le rôle des nerfs de Héring et de Cyon dans la régulation nerveuse de la pression artérielle.
3. Explique comment le système nerveux intervient pour ramener la pression artérielle à sa valeur de consigne dans une situation d'hypotension, d'hypertension.
   À chaque fois, tu préciseras le récepteur, sa localisation, le conducteur sensitif, le centre nerveux, le conducteur moteur et l'effecteur.

a. Action du parasympathique (partie du SN responsable du ralentissement de l'activité)

- La stimulation du vague ou X entraine une baisse importante de la pression artérielle, un ralentissement du rythme du cœur, une diminution d'amplitude des contractions et arrêt du cœur en diastole. Cependant, il reprend peu à peu ses battements, échappe ainsi à l'action du nerf (phénomène d'échappement). On obtient les mêmes effets par stimulation du bout périphérique (alors que le bout central ne donne rien), il est donc un nerf moteur.
- La stimulation des nerfs de cyon par son bout central entraine une diminution de la pression artérielle, du rythme cardiaque alors que le bout périphérique est sans effet : c'est un nerf sensitif.
- La section du centre cardio-modérateur entraine une augmentation du rythme cardiaque qui passe à 130 battements /mn. L'injection de l'atropine entraine une accélération cardiaque. Il y a donc un tonus permanent entretenu par le centre cardio-modérateur. En effet, le vague agit en permanence sur le nœud sinusal en abaissant son rythme à 70 ou 80 battements/mn.

Les neurofibres du parasympathique secrètent l'acétylcholine qui inhibe l'action du sympathique entrainant une baisse du rythme cardiaque.

- Une section des nerfs de cyon et de Héring entraine une accélération permanente du rythme cardiaque et une hypertension.

Rq : le parasympathique est cardio-modérateur ou cardio-inhibiteur.

b. Action du sympathique (partie du SN responsable de l'accélération de l'activité)

- Une stimulation du ganglion étoilé entraine une accélération du rythme cardiaque sans phénomène d'échappement. On peut obtenir les mêmes effets en stimulant le centre cardio-accélérateur.
- La section des nerfs orthosympathiques (du vague) entraine un ralentissement du rythme du cœur. L'orthosympathique exerce une action tonique permanente.

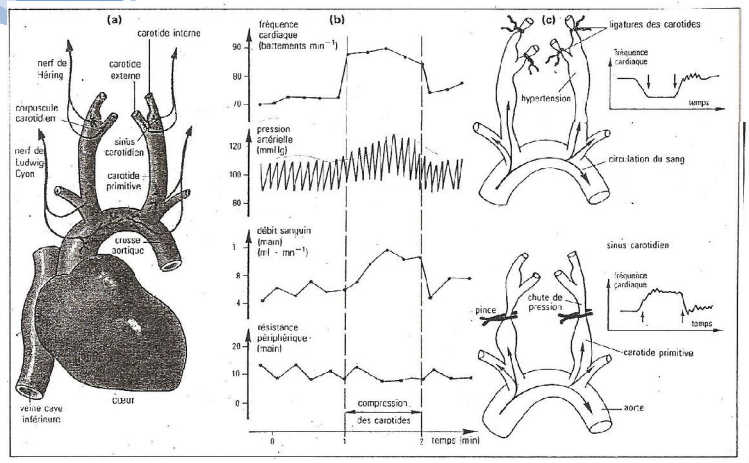
Les neurofibres du sympathique suite au stress, à l'émotion libèrent de la noradrénaline, ce qui entraine une tachycardie. La substance accélératrice obtenue par stimulation du nerf orthosympathique est identifiable à la noradrénaline composée voisin de l'adrénaline. La noradrénaline est le médiateur des synapses orthosympathiques. L'action de l'orthosympathique est renforcée par une glande surrénale endocrine : la médullosurrénale qui est sous l'influence des centres bulbaires et élabore la noradrénaline et surtout l'adrénaline.

Remarque : Les nerfs ortho et para ne réagissent que lorsque les stimulations sont répétées avec des fréquences suffisantes : ce sont des nerfs itératifs.

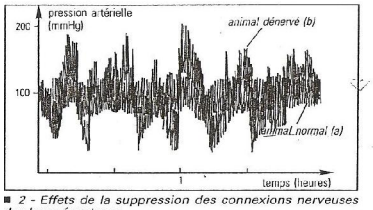
Les nerfs ortho ou para (fibres ortho et para) jouent un rôle sensitif et moteur et certains appartiennent au nerf vague.

L'orthosympathique ou le sympathique exerce une action cardio-accélératrice ou cardio-stimulatrice sur le cœur.

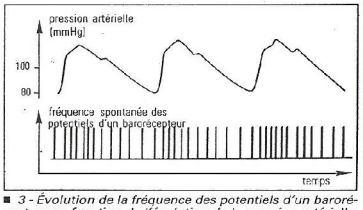
Le contrôle du débit cardiaque et des résistances périphériques par les efférences du système végétatif est double :
— la voie efférente sympathique, d'origine bulbospinale, passe par les ganglions de la chaîne latéro-vertébrale, s'articule avec les neurones sympathiques préganglionnaires, les fibres postganglionnaires innervant les artérioles, le cœur et la médullosurrénale.
— la voie efférente parasympathique, d'origine bulbaire, emprunte le trajet du nerf X (pneumogastrique) et innerve le cœur. Si les centres bulbo-spinaux sont associés aux centres hypothalamiques, corticaux et cérébelleux, ce sont des informations périphériques, provenant principalement de récepteurs sensibles aux variations de pression sanguine (barorécepteurs), qui déterminent leur activité.



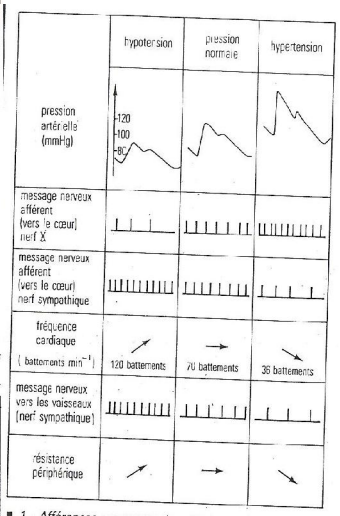
■ *1 - Expérience de compression transitoire des carotides primitives. (a) Dispositif anatomique. (b) Réponses physiologiques.*
(c) Réponses physiologiques à une ligature haute des carotides (en haut) ; à une occlusion basse des carotides (en bas).



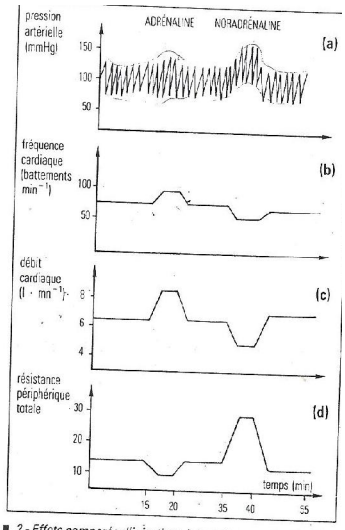
■ *2 - Effets de la suppression des connexions nerveuses des barorécepteurs.*



■ *3 - Évolution de la fréquence des potentiels d'un barorécepteur en fonction de l'évolution de la pression artérielle.*



■ *1 - Afférences nerveuses des effecteurs de la pression artérielle et réponses physiologiques associées à une hypotension, une pression normale, une hypertension.*



■ *2 - Effets comparés d'injections intraveineuses d'adrénaline et de noradrénaline sur :*
(a) l'évolution de la pression artérielle,
(b) la fréquence cardiaque,
(c) le débit cardiaque,
(d) la résistance périphérique totale.

B. Régulation chimique

1. Catécholamines

- Adrénaline : libérée par la médullosurrénale, elle augmente la force de contraction et la fréquence des battements cardiaques ; l'adrénaline est à l'origine de la vasoconstriction, qui entraine à son tour une élévation rapide de la pression artérielle systémique.
- Dopamine : c'est un neurotransmetteur qui entraine une augmentation du débit sanguin.
- Noradrénaline : c'est une neurohormone libérée par le sympathique et qui entraine une accélération du rythme cardiaque.
- Sérotonine : c'est un neurotransmetteur qui joue un rôle vasoconstricteur.
- L'acétylcholine : c'est un neurotransmetteur libéré par le parasympathique et qui joue un rôle inhibiteur sur le rythme cardiaque.

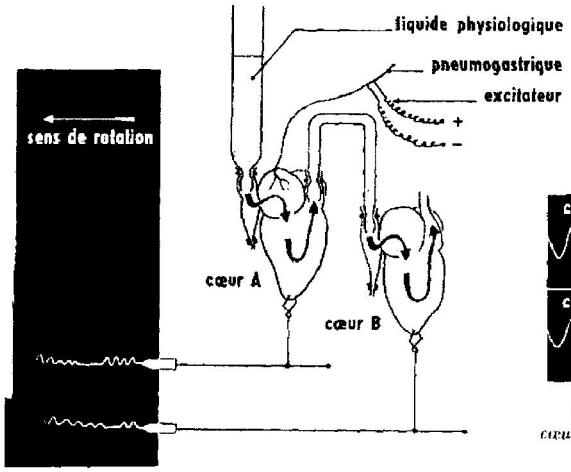
2. **Thyroxine** : hormone thyroïdienne qui peut entrainer une augmentation plus lente mais durable de la fréquence des contractions cardiaques.

3. Ions

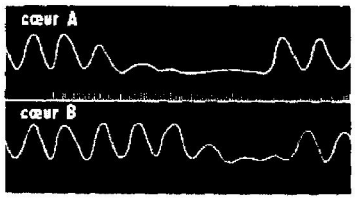
- L'hypocalcémie déprime l'activité cardiaque, par contre l'hypercalcémie prolonge le plateau du PA ;
- Un excès de Na^+ inhibe le transport du Ca^{2+} dans les cellules cardiaques et entrave la contraction ;
- Un excès de K^+ abaisse le PR, donc peut conduire à l'arrêt cardiaque. Un taux bas affaiblit les battements du cœur.

4. Expérience de Loewi

Avec deux cœurs de grenouille, il réalise le montage suivant :



Représentation schématique de l'expérience sur les cœurs de Grenouilles.



Cardiogrammes obtenus avec les cœurs de Grenouille.

Si on introduit du liquide de perfusion dans le cœur A il passe dans le cœur B par l'intermédiaire d'un tube. Le cœur A est innervé par le tronc vago-sympathique sur lequel on applique des stimulations répétées. On constate un ralentissement du rythme cardiaque, une baisse de l'amplitude des réponses, un arrêt du cœur en diastole et le phénomène d'échappement. Le même phénomène est observé dans le cœur B mais avec un certain retard sur A, on dit que le liquide physiologique a acquis la propriété modératrice.

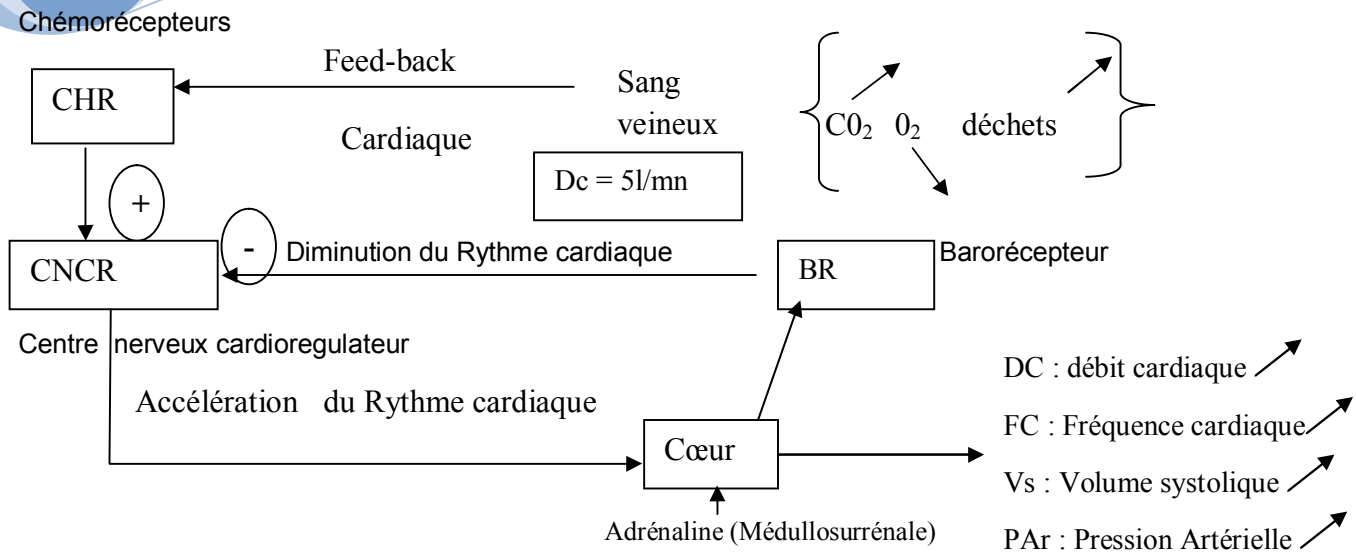
La stimulation du vague a entrainé la libération d'une substance chimique appelée substance vagale connue aujourd'hui comme étant l'acétylcholine. Elle se trouve au niveau de toutes les synapses du système nerveux cérébro-spinal, du système parasympathique, au niveau des terminaisons axoniques des neurones ayant leur corps cellulaire dans l'axe cérébro-spinal. L'acétylcholinestérase hydrolyse l'acétylcholine ce qui explique le phénomène d'échappement. Le retard mis par le cœur B pour réagir est dû au temps de transport du liquide du cœur A au cœur B.

Exemple : un exercice musculaire ou une vive émotion s'accompagne d'une décharge d'Adrénaline en quelques instants.

5. Effets des substances chimiques sur le rythme cardiaque

Pendant les exercices musculaires, les substances de déchets résultant de la contraction musculaire entraine des modifications de la composition sanguine (augmentation du taux de CO_2, accumulation de déchets, diminution du taux 0_2…). Ce sang venant des muscles agit directement sur les centres régulateurs en alertant les chémorécepteurs qui par voie reflexe accélèrent le rythme cardiaque en inhibant le parasympathique et en activant le sympathique. L'accélération du rythme cardiaque entraine l'augmentation de la fréquence cardiaque, de la pression artérielle... Dans le cas d'un exercice intense, interviennent les médullosurrénales dont l'action se traduit par la sécrétion d'Adrénaline. Cette accélération du rythme cardiaque appelé tachycardie entraine une augmentation de la pression artérielle qui ne peut être éternelle sans risque pour l'organisme. Il va donc y avoir un contrôle de la pression artérielle par voie reflexe sous l'effet du centre bulbaire.

En cas d'hypertension, les barorécepteurs vont être excités et transmettront les influx nerveux aux nerfs de cyon et Héring qui stimulent le centre cardio-modérateur entrainant une réponse modératrice du cœur par l'intermédiaire des faisceaux de His. Ce ralentissement du rythme cardiaque ou bradycardie aura pour effet de faire diminuer le débit cardiaque et donc de diminuer la pression artérielle. Cette activité reflexe régit comme un rétrocontrôle qui vise à réguler la pression artérielle.



Remarque :

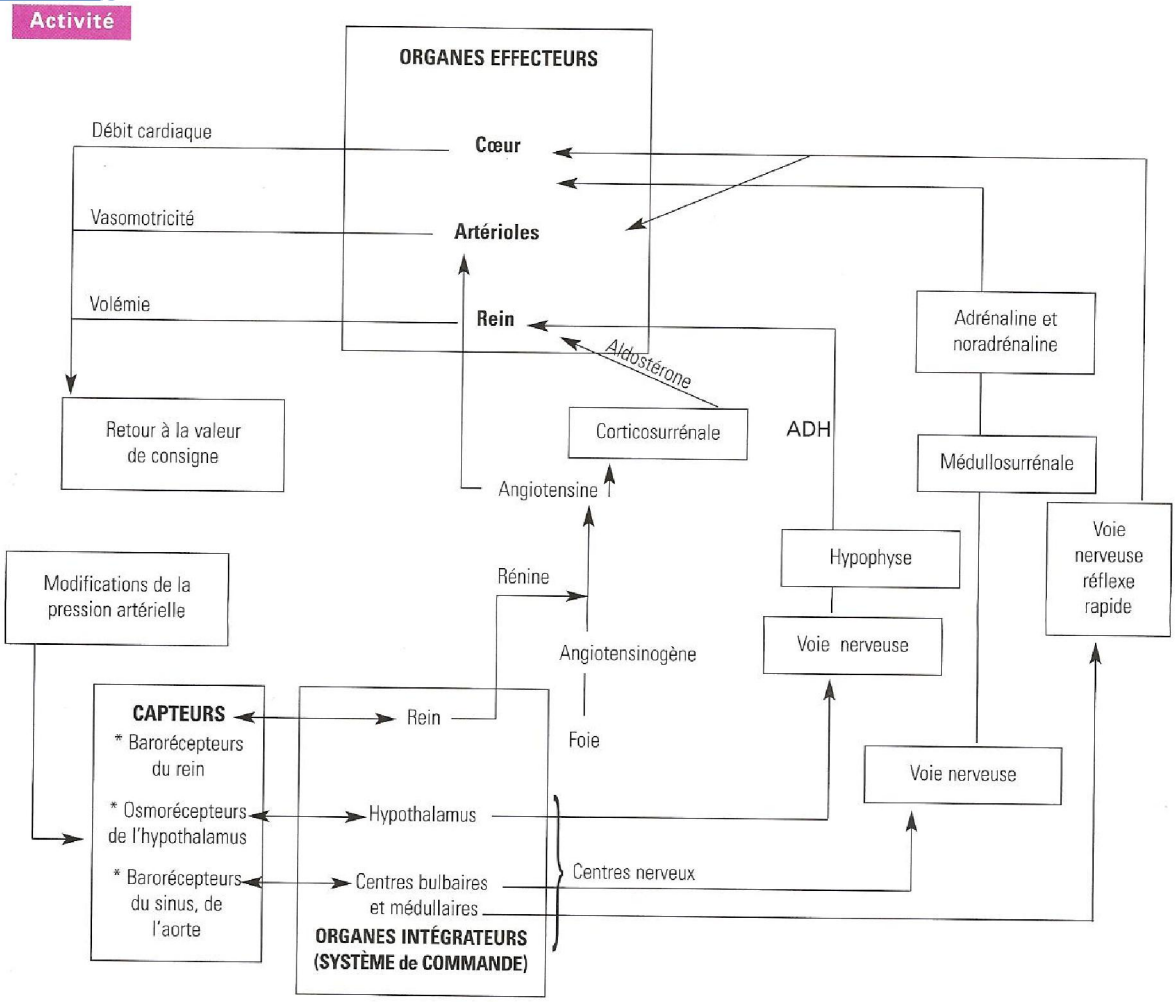
L'hormone antidiurétique est sécrétée par l'hypothalamus et déversée dans le lobe postérieur de l'hypophyse. Elle permet la rétention de l'eau au niveau des reins. Lors d'une hémorragie (PAr bas), elle est libérée en quantité pour provoquer une intense vasoconstriction par la réabsorption de l'eau, et augmenter la PAr.

L'alcool entraine une baisse de la PAr, car il inhibe la libération de l'hormone antidiurétique, déprime le centre vasomoteur (centre reflexe responsable de la dilatation des vaisseaux sanguins) et favorise la vasodilatation.

C. Régulation par le système rénine angiotensine

Lorsque la perfusion rénale est inadéquate, les reins libèrent de la rénine, une enzyme qui déclenche la production d'angiotensine II. Cette dernière cause une intense vasoconstriction (diminution du calibre des vaisseaux sanguins, surtout cérébraux par contraction de leurs fibres musculaires). Elle agit, d'une part, directement sur le muscle lisse de l'artériole, d'autre part, indirectement (par l'action) sur le système orthosympathique et sur les cortico-surrénales. Elle agit sur l'homéostasie du sodium et du volume sanguin en stimulant la libération d'aldostérone et d'hormone antidiurétique.

Activité



Document 18 : système de régulation de la pression artérielle.

EXERCICES SUR L'ACTIVITE CARDIAQUE

Exercice n°1

Les chercheurs se proposent d'étudier le mécanisme de fonctionnement du cœur :

a) Sur un mammifère privé de ses centres nerveux, ils constatent que le cœur continue de battre rythmiquement.

b) En isolant le cœur d'un mammifère et en plongeant dans une solution physiologique, ils constatent qu'il continue de battre pendant quelques heures.

c) Ils isolent le cœur, le perfusent et constatent qu'il cesse de battre si on supprime le tissu nodal.

d) Sur un cœur dénervé dont le faisceau de His a été sectionné, ils remarquent que le rythme des oreillettes demeure normal, mais celui des ventricules est plus rapide.

1) Quelles explications pouvez-vous donner aux expériences a, b, c, d ?

2) Expliquez le mécanisme de fonctionnement du cœur à partir de ces expériences et observations.

3) Sur la coupe longitudinale d'un cœur de mammifère, ajoutez les structures intervenant dans le mécanisme de fonctionnement du cœur.

Exercice n°2

Le cœur est innervé par 2 catégories de nerfs : les orthosympathiques et les parasympathiques. Pour connaitre l'action de ces nerfs sur le rythme cardiaque, les chercheurs réalisent des expériences de stimulations et de sections.

a) Lorsqu'on stimule le parasympathique, on constate une diminution du rythme cardiaque, des stimulations sur les nerfs sympathiques entrainent une accélération du rythme cardiaque.

b) La section des nerfs orthosympathiques provoque une diminution des fréquences cardiaques, alors que la section des parasympathiques entraine une accélération du rythme cardiaque.

Expliquez

Exercice n°3

Pour mesurer la pression artérielle d'un individu, le médecin utilise un manomètre à brassard par la méthode classique. Il procède de la façon suivante :

Premièrement : il gonfle le brassard à une pression supérieure à la pression artérielle. La compression de l'artère bloquant le passage du sang, aucun bruit n'est perçu à l'aide du stéthoscope placé sur l'artère et permettant de surveiller l'écoulement du sang.

Deuxièment : il décompresse peu à peu l'artère en dégonflant le brassard ; dès que la pression sanguine devient supérieure à la pression exercée par le brassard, le sang passe de nouveau et un bruit sourd et intermittent est entendu au stéthoscope. Il effectue une première mesure de la pression sanguine.

Troisièment : il continue de dégonfler le brassard jusqu'à ce que l'écoulement du sang devienne silencieux. Il effectue alors une deuxième mesure de la pression sanguine.

1) A quoi correspondent la première et la deuxième mesure ?

2) Quel est l'intérêt de la mesure de la pression artérielle ?

Exercice n°4

On se propose d'étudier le rôle des substances chimiques sur l'activité cardiaque :

a) Lorsqu'on perfuse un cœur isolé avec du liquide physiologique, on observe des contractions normales. Mais lorsque ce même cœur est perfusé avec du liquide physiologique sans calcium, on constate une diminution des amplitudes des contractions cardiaques puis un arrêt du cœur en diastole.

b) Lorsqu'on perfuse un cœur de grenouille isolé avec une solution de NaCl, on observe un arrêt du cœur en diastole ; mais la perfusion avec une solution constituée de NaCl et de $CaCl_2$, on observe une reprise du rythme cardiaque, puis une augmentation de l'amplitude des contractions et un arrêt du cœur en systole. Si on ajoute à la solution précédente du KCl, il y a un rétablissement du rythme normal.

1) Quelles explications peut-on donner à ces différents constats ?
2) Quelle conclusion peut-on tirer ?

Exercice 5

Complète le tableau suivant

Organes et substances	Rôle ou action ou nature
Moelle épinière	
Bulbe rachidien	
Fibre X ou parasympathique	
Fibre orthosympathique ou sympathique	
Nerf de cyon	
Nerf de Héring	
Acétylcholine	
Adrénaline	
Noradrénaline	
K^+	
Ca^{2+}	
Na^+	

Corrigé

Exercice 1

1) Explications :

a) Le fonctionnement du cœur ne dépend pas des centres nerveux.

b) Le cœur a un fonctionnement autonome.

c) Le tissu nodal est à l'origine du fonctionnement autonome du cœur.

d) Les impulsions à l'origine de l'automatisme cardiaque naissent dans les oreillettes et sont transmises aux ventricules via le faisceau de His.

2) Les impulsions naissent dans le nœud sinusal, se propagent dans la paroi des oreillettes, atteignent le nœud septal puis les ventricules en passant par le faisceau de His et le réseau de Purkinje.

3) Schéma du tissu nodal

Exercice 2

a) Le parasympathique est cardiomodérateur ; il sécrète l'acétylcholine qui entraine un ralentissement du rythme cardiaque. L'orthosympathique sécrète de la noradrénaline qui entraine une accélération du rythme cardiaque ; elle est cardioaccélératrice.

b) Les expériences de section confirment bien ces effets.

Exercice 3

1) La première mesure correspond à la pression maximale artérielle, tandis que la deuxième mesure correspond à la pression minimale artérielle.

2) L'intérêt de la mesure de la pression est de connaître la pression ou tension artérielle. Elle permet de savoir si l'individu est hypo ou hypertendu, ou possède une pression normale. Dans tous les cas, la connaissance de la PAr permet d'adopter des comportements qui évitent les risques cardiovasculaires.

Exercice 4

1) Explications :

a. L'absence du Ca^{2+} provoque à court terme un arrêt cardiaque. Le Calcium est donc indispensable au fonctionnement cardiaque.

b. Les ions Na^{+} et Cl^{-} entraine en retard un arrêt du cœur en diastole ;

- *Le Ca^{2+} semble être responsable de la reprise des contractions cardiaques et de son arrêt en systole ;*
- *Le K^{+} permet une activité normale de l'activité cardiaque.*

2) Conclusion : une activité cardiaque normale nécessite donc la présence dans le plasma des ions K^{+} ; Na^{+} ; Ca^{2+} ;Cl^{-}.

Exercice 5

Complétons le tableau suivant : **(a revoir en détail)**

Organes et substances	*Rôle ou action ou nature*
Moelle épinière	*Cardioaccélératrice*
Bulbe rachidien	*Cardiomodératrice*
Fibre X ou parasympathique	*Cardiomodératrice*
Fibre orthosympathique ou sympathique	*Cardioaccélératrice*
Nerf de cyon	*Sensitif (Cardioaccélératrice ; Cardiomodératrice)*
Nerf de Héring	*Sensitif (Cardioaccélératrice ; Cardiomodératrice)*

Acétylcholine	*Cardiomodératrice*
Adrénaline	*Cardioaccélératrice*
Noradrénaline	*Cardioaccélératrice*
K^+	*Cardiomodératrice*
Ca^{2+}	*Cardioaccélératrice*
Na^+	*Cardiomodératrice*

Chapitre II : RELATIONS HUMORALES

I. Notion d'hormone et de glande endocrine

1) Découverte de la première hormone : Mécanisme humoral de la sécrétion pancréatique (Sécrétine) par Bayliss et Starling (1902)

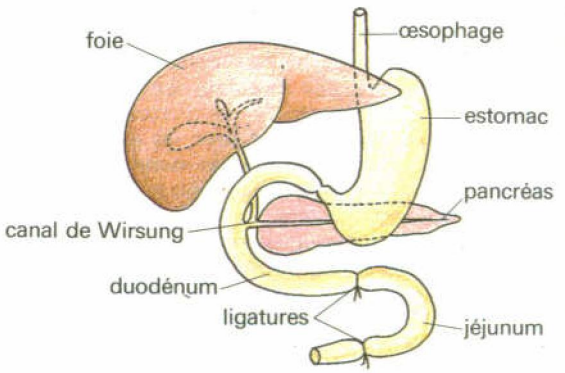
Avant 1902 plusieurs chercheurs s'étaient intéressés à la question de la sécrétion pancréatique :

- Claude Bernard fut le premier à étudier expérimentalement la sécrétion du suc pancréatique chez le chien au moyen d'une fistule. Il conclut que la production du suc pancréatique est liée à l'arrivée du chyme stomacal dans le duodénum.
- Pour Pavlov et ses élèves la sécrétion du suc pancréatique se fait par voie réflexe déclenchée par le contact d'un acide dilué avec la paroi duodénale. Cependant, un élève de Pavlov constate que la sécrétion pouvait se faire autrement que par voie réflexe après section des nerfs qui aboutissent au pancréas.
- Tous ces travaux ont montré que la sécrétion pancréatique n'est pas due à une action directe de l'acide chlorhydrique (HCl) sur les cellules pancréatiques.

Bayliss et Starling travaillant sur des anses isolées (reliées au reste de l'organisme par voie sanguine) de chiens à jeun ont montré que : sous l'action de HCl la muqueuse duodénale élabore une substance chimique que le sang véhicule jusqu'au pancréas qui sécrète le suc pancréatique.

• **Le document de la page ci-contre** mérite de retenir votre attention : il montre dans quel contexte scientifique s'est faite la découverte de la première sécrétion de nature hormonale.
Partant de résultats acquis par d'autres chercheurs, **Bayliss et Starling** ont réalisé des expériences qui ont marqué l'histoire de la physiologie :
– **En 1902,** ils démontrent expérimentalement, pour la première fois, l'existence d'une corrélation chimique entre organes.
– **En 1905, Starling** adopte le terme d'**hormone** (du grec « *hormaô* » : j'excite) pour désigner toute substance qui, comme la sécrétine, assure une liaison fonctionnelle entre organes par voie sanguine.

• **L'analyse de l'expérience** présentée ci-dessous complètera votre étude.



Une information utile pour comprendre les travaux de Bayliss et Starling.

Pour confirmer cette hypothèse, ils prélèvent une anse de duodénum en raclant la muqueuse, broyant celle-ci dans un mortier avec un mélange de HCl (4%) et de sable. Le filtrat de ce broyat injecté dans la veine cave d'un chien à jeun provoque dans les minutes qui suivent une sécrétion abondante de suc pancréatique. Cette substance active est une sécrétion de la muqueuse du duodénum, qui transporté par le sang jusqu'au pancréas déclenche la sécrétion pancréatique. Ils l'appelèrent sécrétine.

2) Caractères de la sécrétine

- Elle n'est pas une enzyme (son activité n'est pas altérée par la température).
- Son action n'est pas empêchée par l'atropine qui a une action sur le pneumogastrique (ce n'est pas l'acétylcholine). Elle n'est donc pas un neuromédiateur.
- Elle n'agit que sur le pancréas, donc elle a une spécificité d'action.
- Elle est sécrétée exclusivement par la muqueuse duodénale (spécificité d'origine).
- En général, elle n'a pas de spécificité zoologique.

3) Définitions

Bayliss et starling proposèrent le nom d'hormone (« hormao » : j'excite) pour désigner toute substance qui, comme la sécrétine est capable de déclencher, de réguler à distance par seule voie sanguine le fonctionnement d'un organe déterminé.

A la régulation nerveuse des organes connue avant eux, les expériences de ces deux chercheurs ont ajouté (pour la première fois) la possibilité de relation fonctionnelle entre organes au moyen de substance chimique véhiculée par le sang. Cette relation est dite relation humorale.

Depuis la découverte de la sécrétine, de nombreuses substances ont été trouvées qui sont comme elle déversées dans le sang. On appelle glandes endocrines, des glandes qui déversent dans le sang des hormones capables d'agir sur le fonctionnement de divers organes (ex : hypophyse, thyroïde, ovaires…).

II. Anatomie et physiologie du pancréas

1) Anatomie et histologie du pancréas

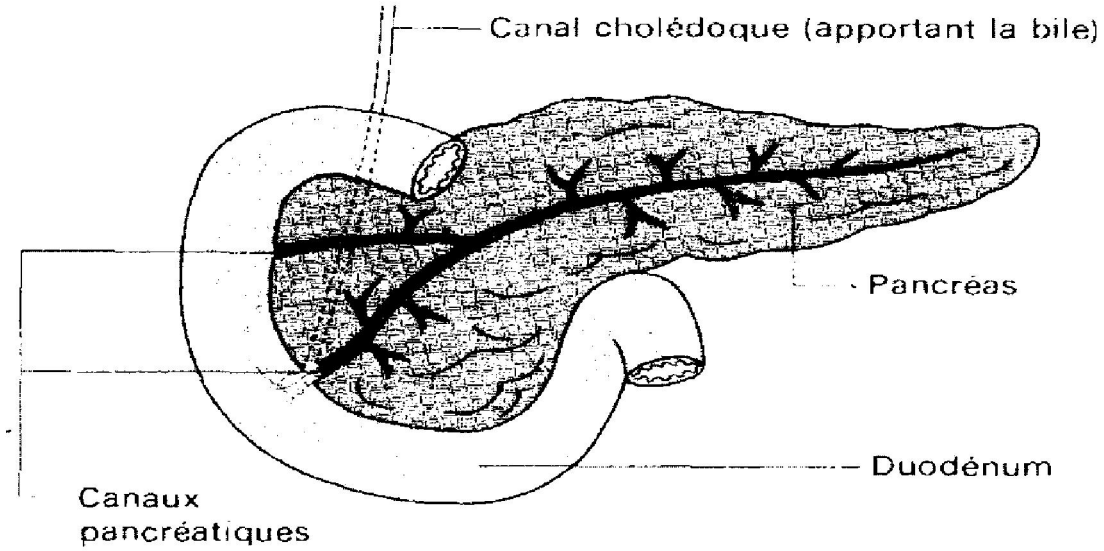
Le pancréas humain est un organe grossièrement conique, allongé, de couleur rosée, richement vascularisé, logé dans l'anse du duodénum et du côté de la rate.

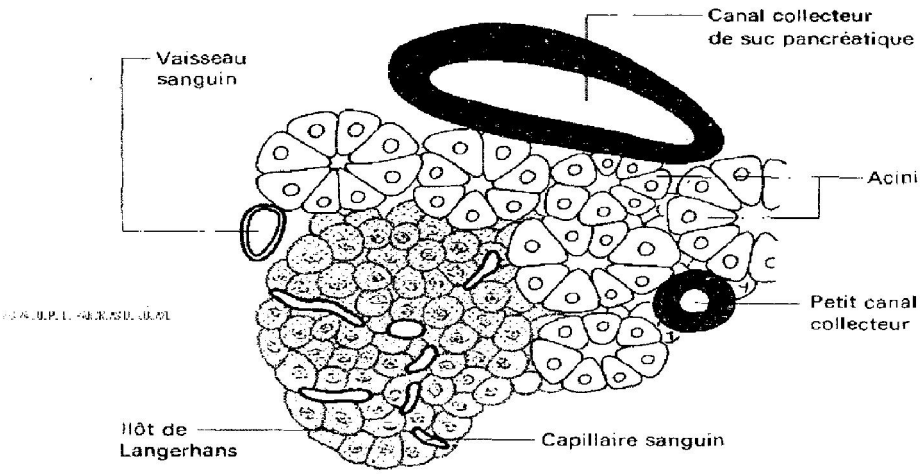
Histologiquement le pancréas est constitué de deux sortes d'éléments sécréteurs :

- les acini munis de canaux sécréteurs d'enzymes ;
- les ilôts de Langerhans qui produisent des hormones telles que l'insuline et le glucagon.

Le canal principal ou canal de Wirsung s'ouvre dans le duodénum au même niveau que le canal cholédoque.

Le pancréas est une glande mixte (exocrine et endocrine)





2) Physiologie du pancréas

a) Le pancréas exocrine

C'est la partie du pancréas constituée d'acini. Elle sécrète le suc pancréatique qui est déversé dans l'intestin grêle par le canal cholédoque. Le suc pancréatique est le plus important des sucs digestifs : il contient des enzymes capables d'attaquer la plupart des aliments (lipides, protides, glucides).

Pour connaitre le déterminisme de la sécrétion pancréatique, on réalise l'expérience suivante :

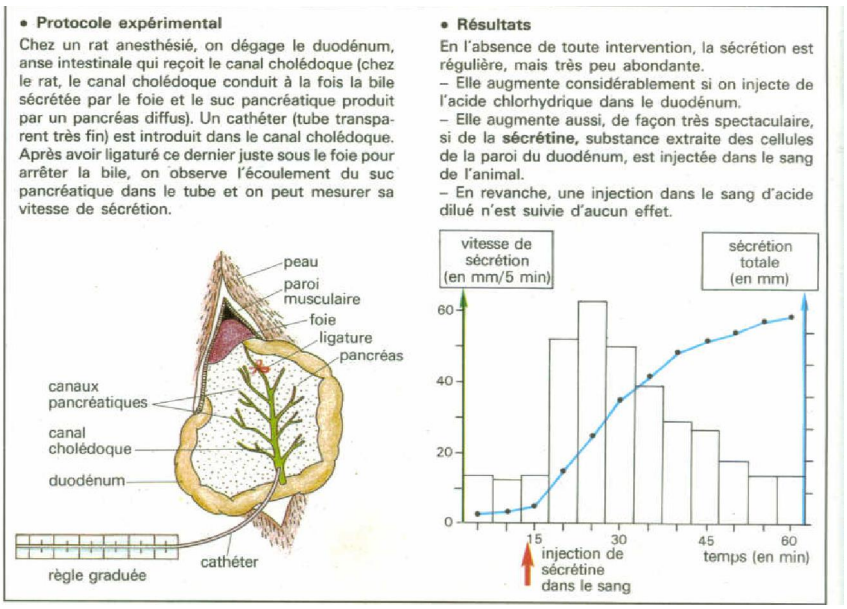
a_1 Préparation de l'animal (voir schémas)

Elle consiste à :

- une anesthésie complète de l'animal ;
- une canulation de la trachée et de la veine jugulaire (veine du cou) pour injecter la sécrétine ;
- une canulation du canal pancréatico-biliaire (cholédoque) pour recueillir le suc pancréatique.

a_2 Expérience

Une fois la canulation faite, on mesure la sécrétion du suc pancréatique chez le rat. Les différentes mesures permettent de tracer une courbe qui exprime le volume du suc pancréatique en fonction du temps et qui indique la vitesse (quantité sécrétée par temps) (voir courbe).



La courbe indique que la sécrétion est continue et régulière malgré l'absence de substance stimulante et l'injection de la sécrétine dans le sang du rat stimule vivement la sécrétion pancréatique qui reste importante pendant un temps assez long. L'action de la sécrétine est rapide et durable.

Conclusion : c'est la sécrétine produite par les cellules du duodénum qui déclenche la sécrétion du suc pancréatique.

b. Pancréas endocrine

b_1 Pancréatectomie et ses effets : le diabète expérimental

La pancréatectomie peut être chirurgicale ou chimique. Elle donne les résultats suivants :

- une action directe sur le métabolisme des glucides (plus précisément une élévation de la glycémie) ;
- une polyurie par diurèse osmotique (urine abondante c'est-à-dire 2 à 3 litres par jour alors que la normale est de 1,5l) ;
- une polydipsie (soif intense).

L'ensemble de ces phénomènes caractérise le diabète sucré ou diabète insipide. L'organisme n'arrive plus à utiliser le glucose. Pour compenser ce phénomène, il utilise les protéines qu'il transforme en glucose. Le résultat est un

amaigrissement extrême de l'animal. Lorsque l'ablation n'est pas totale (si 20% de la masse de pancréas est conservée il n'y a pas de trouble) les résultats sont variables.

b_2 Expérience de transplantation et d'injection

Chez un animal dépancréaté, la transplantation au cou d'un pancréas provenant d'un autre fait disparaître tous les symptômes diabétiques.

Ces résultats montrent que le pancréas insulaire exerce son action par l'intermédiaire d'une substance chimique : l'insuline. Ce résultat est confirmé par l'injection à un animal dépancréaté d'extraits glandulaires pancréatiques.

b_3 L'insuline : hormone hypoglycémiante

- Nature chimique : Isolée par Banting et Best (1922), sa structure a été déterminée par Singer (1954). C'est une protéine constituée de 51 acides aminés repartis en deux chaines :

- ❖ une chaine A constituée de 21 acides aminés ;
- ❖ une chaine B constituée de 30 acides aminés.

Dans sa structure, 3 acides aminés de la chaine A varient suivant les espèces.

- **Origine et mode d'action de l'insuline :** l'insuline est sécrétée par les cellules β des ilots de langerhans du pancréas (pancréas insulaire).
  - ❖ Au niveau du foie, elle favorise le stockage du glucose sous forme de glycogène : c'est la glycogénogénèse.
    n(glucose) ⟶ (Glycogène) + eau
  - ❖ Au niveau des cellules périphériques, elle favorise une perméabilité des membranes cellulaires au glucose et favorise l'oxydation du glucose par les mêmes cellules.

b_4 Glucagon : hormone hyperglycémiante

C'est un polypeptide sécrété par les cellules α des ilots de langerhans. Il est constitué de 29 acides aminés. Il favorise en particulier la restitution du glucose dans le sang par les cellules hépatiques (Glycogénolyse) du foie et des cellules périphériques.

III. Régulation de la glycémie

La glycémie est la concentration de glucose dans le sang (1 g/l). Elle résulte de l'apport alimentaire, de la consommation cellulaire du glucose et de la synthèse du glucose à partir du glycogène ou du substrat non glucidique (triglycérides, acide aminé). Plusieurs mécanismes interviennent dans la régulation de la glycémie.

1) Fonction glycogénique du foie

Après un repas riche en glucides, le foie s'enrichit en glycogène. Il en est de même après un repas riche en lipides ou en protides (Glycérol, acide gras et certains acides aminés peuvent donner naissance à du glycogène).

Pendant le jeune, les organes utilisent le glucose du sang ; mais le foie rétablit l'équilibre au dépens de sa réserve de glycogène : c'est la fonction glycogénique du foie.

Le foie a également le pouvoir de synthétiser le glucose au cours d'un jeûne de longue durée.

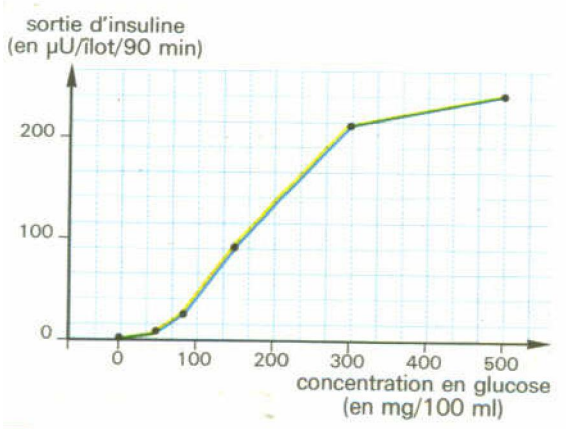
$$\text{Glucose} \underset{\text{Jeûne}}{\overset{\text{Digestion}}{\rightleftharpoons}} \text{Glycogène}$$

Tout le glucose excédentaire n'est pas retenu par le foie. Une fraction notable donne du glycogène dans les muscles ou à du tissu adipeux.

2) Régulation hormonale de la glycémie

Le pancréas endocrine organe sensible à la glycémie est capable de réguler lui-même sa propre sécrétion. Il secrète deux hormones :

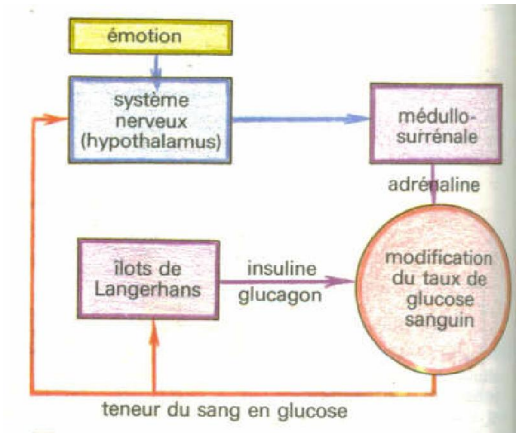
- Une hormone hypoglycémiante : l'insuline. Elle est sécrétée par les cellules β des ilots de langerhans en cas d'augmentation de la glycémie (hyperglycémie).



A l'opposé, une hypoglycémie entraine un arrêt de la sécrétion d'insuline. Ainsi l'insuline est déversée dans la circulation à la demande, suivant le ~~taux de glucose sanguin : il y a autorégulation.~~

- ~~Une hormone hyperglycémiante : le glucagon. Elle est sécrétée par les cellules α des ilots de langerhans en cas~~ d'hypoglycémie. Elle active la glycogénolyse hépatique.

L'insuline et le glucagon agissent de façon antagoniste. Leur action permet le maintien de la glycémie.



- Il existe d'autres hormones hyperglycémiantes qui sont sécrétées par d'autres glandes :
  - ❖ L'hormone somatrope de l'hypophyse ou hormone de croissance (GH: growth hormone) ou somathormone sécrétée par l'adénohypophyse. Elle joue un rôle hyperglycémiant.
  - ❖ Le cortisol sécrété par la corticosurrénale sous l'influence de l'ACTH (Adéno-cortico-trophic-hormone) stimule la néoglucogenèse, donc c'est une hormone hyperglycémiante.
  - ❖ L'adrénaline sécrétée par la médullosurrénale sous l'influence du SN et joue un rôle hyperglycémiant.
  - ❖ La thyroxine sécrétée par les cellules folliculaires de la thyroïde sous l'influence de la thyréostimuline adénohypophysaires.

Rq : Dans le cas d'une hypoglycémie, il y a hydrolyse des réserves lipidiques (lipolyse), ou hydrolyse des protéines (protéolyse).

(Néoglucogenèse). Acide gras ⟶ Glucose

Protéines ⟶ Glucose

3) Régulation nerveuse

Il existe un centre glucosensible dans l'hypothalamus.

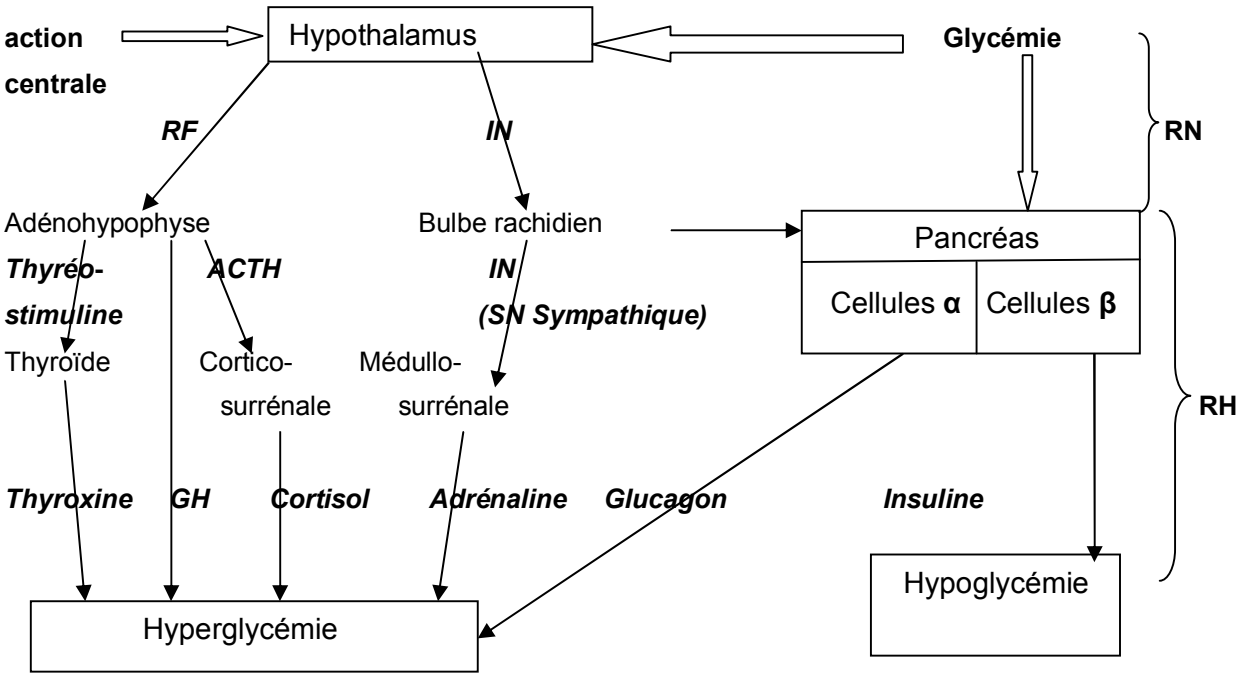
a.) En cas d'hypoglycémie

Des hormones (realising factors) élaborés par des cellules nerveuses sécrétrices sont conduites par voie sanguine à l'adénohypophyse ou elles déclenchent la libération de somathormone, de thyréostimuline, de cortisol tandis que des influx destinés au centre adrénalo-sécreteur bulbaire déclenche la sécrétion d'adrénaline.

b) En cas d'hyperglycémie

Les réactions énumérées en (a) prennent fin tandis qu'un influx nerveux destiné au centre insulino-sécréteur bulbaire tend à accélérer la sécrétion d'insuline par le pancréas relié à ce centre par le pneumogastrique.

4) Schéma de synthèse des mécanismes régulateurs de la glycémie



RQ : GH = Growth hormone ou hormone de croissance ou hormone somatrope ou somatohormone ;

ACTH = Adéno-cortico-trophic hormon ;

RH = regulation hormonale; **RN=** regulation nerveuse

IN par le neurone pneumogastrique du système nerveux sympathique

Tableau du mécanisme de régulation de la glycémie

Hormone / Réaction contrôlée	Insuline	Glucagon
Glycogénogenèse (synthèse du glycogène)	↗ (foie, muscles)	↘ (foie)
Glycogénolyse (hydrolyse du glycogène)	↘ (foie)	↗ (foie)
Néoglucogenèse (fabrication du glucose)	↘ (foie)	↗ (foie)
Lipogenèse (synthèse des lipides)	↗ (tissu adipeux, foie)	–
Lipolyse (hydrolyse des lipides)	↘ (tissu adipeux)	↗ (tissu adipeux)
Hydrolyse de protéines	↘ (muscle, foie)	↗ (foie)

Exercices sur les relations humorales

Exercice n°1

On connait deux formes principales de diabète : « le diabète juvénile » ou « diabète maigre » et le « diabète gras ». Cette deuxième forme, encore appelée diabète d'âge mûr et souvent associée à l'obésité, se manifeste comme le diabète juvénile, par hyperglycémie.

Le diabète juvénile peut être traité par injection d'insuline. Ce qui n'est pas le cas du diabète gras.

1) Analyser le tableau ci-dessous.
2) Pourquoi le diabète juvénile peut être traité par des injections d'insuline alors que ce traitement est inefficace dans le cas du diabète gras.

	Cellules β des ilots de Langerhans	Molécule d'insuline	Cellules cibles
Diabète juvénile	Détruites par le système immunitaire	Sécrétion insuffisante	Normales
Diabète gras	Normales	Sécrétion normale	Récepteurs d'insuline en nombre insuffisant

Exercice n°2

Les glandes surrénales (médullosurrénales) sont innervées par des nerfs splanchniques et produisent en particulier de l'adrénaline.

1. On constate qu'une injection d'adrénaline détermine, chez un sujet normal, une hyperglycémie qui disparait après hépatectomie.

Expliquer ces résultats.

2. Une stimulation au niveau du bulbe rachidien produit une hyperglycémie qui disparait après hépatectomie. La stimulation au niveau du bulbe rachidien est sans effet si on sectionne la moelle épinière ou les nerfs splanchniques. Si on sectionne les nerfs splanchniques, une hypoglycémie ne déclenche plus une sécrétion d'adrénaline.

Quels renseignements sur le mécanisme régulateur surrénalien peut-on tirer de l'analyse de chacune de ces expériences ?

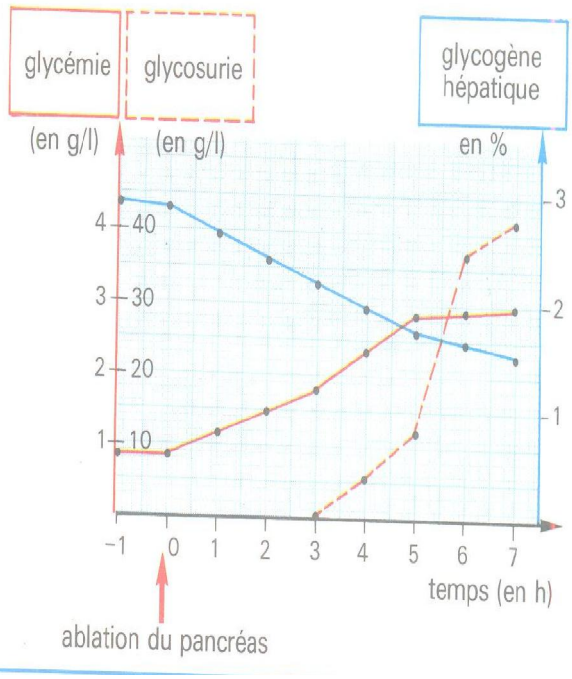
3. Une émotion vive provoque une hyperglycémie par décharge d'adrénaline.

Comment peut-on interpréter cette réaction ?

Exercice n°3

Après l'ablation du pancréas chez un chien à jeun, on mesure la glycémie, la glycosurie et, par biopsie, le taux de glycogène hépatique. Les résultats sont portés sur un même graphique.

1° Analysez chacun des trois graphes.
2° Comment interprétez-vous l'augmentation de la glycémie consécutive à l'ablation du pancréas?
3° Comment expliquez-vous l'apparition de la glycosurie seulement trois heures après l'ablation du pancréas?
4° Résumez l'ensemble des corrélations que l'on peut établir entre les trois graphes.

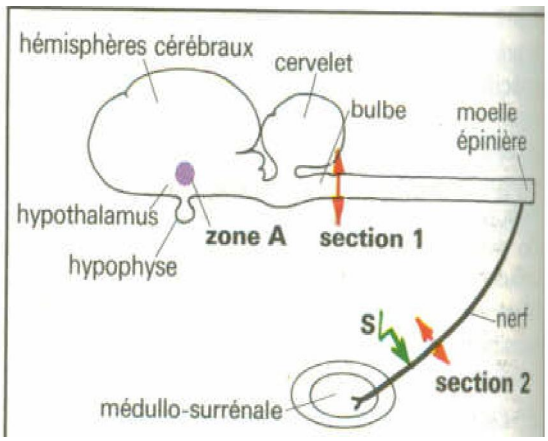


Exercice 4

Voici une expérience tirée des travaux du physiologiste Hédon (1894). Pour la comprendre il faut savoir que, chez le chien, le pancréas présente un lobe dont la vascularisation est totalement indépendante de celle du reste de la glande. Dans un premier temps, ce lobe est sectionné, puis greffé sous la peau de l'abdomen, dans la région mammaire très vascularisée. Après cicatrisation de cette portion du pancréas, le reste de cette glande, demeuré en place, est extirpé. On observe l'apparition de troubles digestifs mais pas de diabète. Dans un deuxième temps, le greffon est retiré à son tour. Un diabète apparait ; l'animal dépérit et meurt.

1) Analyser cette expérience et expliciter l'hypothèse que Hédon cherche à tester.
2) En utilisant vos connaissances, donnez une explication claire des résultats.

Exercice 5



• **Expérience 1** : La stimulation de la zone A entraîne une hyperglycémie sauf si l'on a pratiqué auparavant les sections 1 ou 2.

• **Expérience 2** : Après une section en 2, la stimulation en S du nerf de la médullosurrénale provoque une décharge d'adrénaline par cette glande.

• **Expérience 3** : Si on perfuse une médullosurrénale isolée à l'aide d'un liquide dont la teneur en glucose est très inférieure à celle du plasma sanguin, on ne modifie pas la libération d'adrénaline par cette glande.

1 Que montrent ces expériences réalisées chez l'animal ?

Corrigé

Exercice 1

1) Le diabète juvénile correspond à une destruction des cellules productrices d'insuline d'où la sécrétion insuffisante. Des injections d'insuline soignent le diabète juvénile et elle est dite insulino-dépendant. Par contre pour le diabète gras les cellules productrices d'insuline sont intacts, mais ce sont les récepteurs d'insuline qui sont insuffisants.

2) Le diabète gras est dit non insulino-dépendant parce qu'il est inutile d'injecter de l'insuline alors qu'il n'y a pas de récepteurs.

Exercice 2

1) L'adrénaline agit donc en augmentant le taux de glucose circulant. Son organe cible est le foie puis que l'hépatectomie provoque la disparition de l'hyperglycémie.

2) Une stimulation au niveau du bulbe rachidien produit une hyperglycémie qui disparait après hépatotectomie. Le bulbe rachidien contient donc un centre capable de déclencher l'hyperglycémie.

La stimulation de centre bulbaire est sans effet si on sectionne la moelle épinière et les nerfs splanchniques aboutissant aux glandes surrénales : le message nerveux bulbaire passe par la moelle épinière et les nerfs splanchniques pour aboutir aux glandes surrénales.

Une hypoglycémie ne déclenche pas de sécrétion d'adrénaline quand les nerfs splanchniques sont sectionnés : une hypoglycémie n'a pas une action directe sur les cellules des glandes surrénales. C'est un mécanisme régulateur nerveux qui détermine les modifications de la sécrétion d'adrénaline.

En conclusion, un centre nerveux bulbaire sensible à l'hypoglycémie envoie des influx nerveux qui, passant par la moelle épinière et les nerfs splanchniques, aboutissant aux glandes surrénales où ils déclenchent une augmentation de la sécrétion d'adrénaline qui, par l'intermédiaire du foie corrige l'hypoglycémie.

3) Il s'agit-là d'une réponse physiologique à une situation de stress.

Exercice 3

1) Analyse :

- *Avant l'ablation du pancréas, la glycémie est normale et est d'environ 1g/l ; le taux de glycogène hépatique paraît relativement stable : on note une absence de glucose dans l'urine.*
- *Après l'ablation du pancréas, le taux de glycogène hépatique décroit pendant que la glycémie augmente. La glycosurie n'apparaît que pour une glycémie élévée c'est-à-dire supérieure à 1,8 g/l environ.*

2) L'ablation du pancréas entraine l'absence de sécrétion d'insuline, hormone hypoglycémiante.

3) L'apparition de la glycosurie n'est pas liée à la durée (3h) qui s'est écoulée depuis l'ablation du pancréas mais au fait qu'à ce moment-là la valeur de la glycémie dépasse le seuil d'élimination du glucose par les reins, c'est-à-dire la valeur à partir de laquelle le glucose passe dans les urines.

4) La glycémie augmente suite à l'hydrolyse du glycogène hépatique qui libère du glucose dans le sang. Pour une glycémie supérieure à 2,5 g/l, on constate une augmentation importante de la glycosurie, ce qui contribue à freiner l'élévation de la glycémie.

Exercice 4

1) L'hypothèse testée : les troubles du diabète sont indépendants de la fonction digestive donc de la sécrétion exocrine du pancréas. Le pancréas intervient donc par un mécanisme endocrine dans la régulation de la glycémie.

2) Les troubles digestifs constatés sont bien la conséquence de l'interruption de la fonction pancréatique exocrine. Le contrôle de la glycémie est lié à la sécrétion d'insuline par les îlots de langerhans du lobe pancréatique qui agit par voie sanguine.

Exercice 5

• En revanche, la libération d'adrénaline par la médullosurrénale est déclenchée par **voie nerveuse** (fig. 1). En effet, au niveau de l'hypothalamus, se trouvent des **neurones sensibles à une baisse de la glycémie.** Par une voie nerveuse empruntant la moelle épinière et le nerf de la glande surrénale, ces neurones sont capables de déclencher une décharge d'adrénaline au niveau de la médullosurrénale. Les neurones glucosensibles hypothalamiques peuvent être également stimulés par des messages nerveux en provenance du cortex cérébral lors d'un état de **stress** (peur, colère...) ce qui explique la décharge d'adrénaline et l'hyperglycémie observées dans ce cas.

Chapitre III : Milieu intérieur (*uniquement en Terminale* D)

I. Structure et rôle du rein

1. Structure du rein

Les reins sont des organes de couleur rouge violacée en forme de haricot. Ils occupent une position rétropéritoniale dans la région lombaire de chaque côté de la colonne vertébrale immédiatement sous le diaphragme. Ils sont coiffés d'un bonnet chacun, la capsule surrénale ou glande surrénale. Chaque rein est entouré par 3 enveloppes : la capsule fibreuse, la capsule adipeuse et le fascia rénal. La capsule adipeuse maintient les reins dans leur position normale. Chaque rein pèse environ 150 g. Sur une coupe longitudinale de rein on distingue de l'extérieur vers l'intérieur :

1-une mince enveloppe fibreuse ou capsule rénale ;

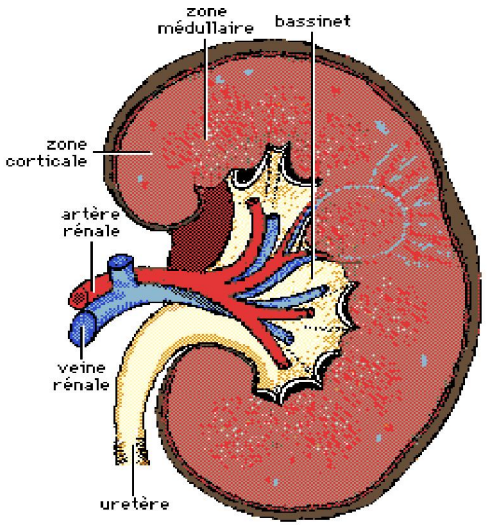
2-une zone corticale ou cortex rénal ou écorce, d'aspect granuleux ;

3-une vaste cavité centrale en forme d'entonnoir : le bassinet se prolongeant hors du hile par l'uretère ;

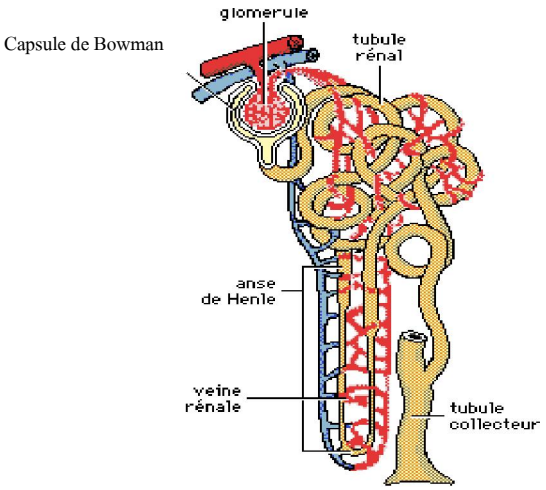
4-une zone médullaire ou médulla rénal formée de 10 à 12 pyramides rénales.

L'étude microscopique montre que le rein est constitué de milliers de tubes urinifères ou néphrons qui s'ouvrent aux extrémités des pyramides. Les néphrons ou tubes urinifères sont des unités structurales et fonctionnelles des reins. Chaque néphron comprend un glomérule et une capsule glomérulaire ou capsule de Bowman qui se prolonge par un tube rénal.

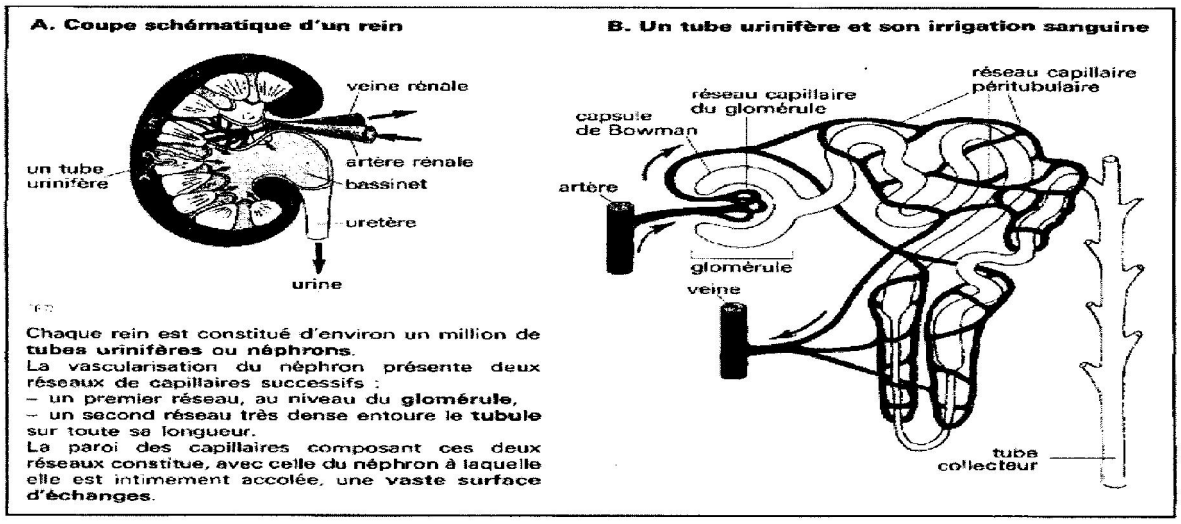
L'irrigation des reins est assurée par l'artère rénale et la veine rénale. Tandis que l'innervation est assurée par les nerfs du plexus.



CL du rein



Néphron



Un million de néphrons dans chaque rein.

2. Etude comparée de l'urine et du plasma et rôle du rein

Principaux constituants	Plasma sanguin en g/l	Urine en g/l	Rôle du rein
Eau	900	950	Régulateur
NaCl	7	10	Régulateur / Filtre sélectif
Phosphates	0,04	2	Régulateur / Filtre sélectif
Sulfates	0,02	2	Régulateur
Protides	80	0	Barrière
Glucose	1	0	Barrière
Lipides	5	0	Barrière
Urée	0,3	20	Filtres sélectif ou épurateur
Acide urique	0,03	0,6	Filtres sélectif ou épurateur
Créatinine	0,01	1	Filtres sélectif ou épurateur
Ammoniaque	Trace	0,5	Sécréteur
Acide hippurique	0	0,8	Sécréteur

L'analyse du tableau montre trois groupes de constituants :

- Les protides, les lipides, le glucose sont les aliments cellulaires. Ils existent dans le plasma mais pas dans l'urine. Vis-à-vis de ces substances, le rein joue un rôle de barrière.
- L'acide hippurique, l'ammoniaque n'existent pas dans le plasma. Ce sont des substances qui apparaissent comme des produits de sécrétions, c'est-à-dire synthétisés par le rein. Les reins se comportent donc comme des organes sécréteurs.
- Cependant, l'urée, la créatinine sont toujours plus concentrés dans l'urine que dans le plasma. Les reins jouent un rôle épurateur. Ces substances appelées substances sans seuil (des déchets) par rapport aux sels et au glucose qui ne passent dans l'urine que si leur concentration dépasse une certaine valeur (6% pour le NaCl et 1,7% pour le Glucose et dans ce cas il y a glycosurie). On dit que le rein joue un rôle régulateur.

Les reins se comportent comme de véritables filtres sélectifs qui assurent l'épuration (les substances sont rejetés quelles que soit leur concentration plasmatique) du sang et contribuent à maintenir la concentration de certains constituants.

3. Rôle du rein dans l'élaboration de l'urine

L'élaboration de l'urine se fait en deux étapes, grâce aux néphrons. Ces deux étapes sont : la filtration glomérulaire et la réabsorption tubulaire. On pourrait ajouter la sécrétion tubulaire. Par ces processus, les reins éliminent les déchets métaboliques azotés et ils régulent le volume, la composition et le pH du sang.

a. Filtration glomérulaire

Le plasma subit une simple filtration ou dialyse. Seuls les protéines, les lipides ou les grosses molécules sont retenus et ne traversent pas. Le glucose, les sels (NaCl, Phosphates…), les acides aminés, l'urée, l'acide urique, l'eau, la créatinine passent. Cette filtration dépend de la pression sanguine. Le mélange de l'eau et des substances qui passent à ce niveau constitue l'urine primitive (plasma, lipides, protéines).

b. Réabsorption tubulaire

L'urine définitive diffère beaucoup du filtrat glomérulaire. Au niveau des tubules et des tubes collecteurs s'opère une réabsorption massive et active de certaines substances (Glucose, Na^+, K^+, acides aminés) partiellement ou totalement et une réabsorption passive (diffusion, osmose, diffusion facilitée sans consommation d'ATP) d'une certaine quantité d'eau. La filtration glomérulaire subit d'importantes modifications quant à son volume et à sa composition chimique. En effet, 100% du glucose et des ions HCO_3^- sont réabsorbés. Les substances sans seuil qui sont généralement des déchets métaboliques (l'urée, l'acide urique, la créatinine…) ne sont plus réabsorbées et sont éliminées par l'urine quelle que soit leur concentration dans le plasma sanguin.

L'ADH permet la réabsorption de l'eau et l'aldostérone permet la réabsorption de Na^+.

c. Sécrétion tubulaire

La sécrétion tubulaire est un moyen d'ajouter des substances provenant du sang au filtrat. En effet, les cellules du tube proximal secrètent de l'acide hippurique, de l'ammoniaque. Il s'agit d'un processus actif qui joue un rôle important dans l'élimination des médicaments, de l'urée et des ions en excès. Il joue un rôle important dans le maintien de l'équilibre acido-basique.

II. Constance du milieu intérieur

1. Définition

Le milieu intérieur, selon Claude Bernard, est le liquide interstitiel qui baigne toutes les cellules du corps des animaux supérieurs. C'est le liquide dans lequel les cellules puisent constamment les éléments chimiques indispensables à leur fonctionnement et y rejettent leurs sécrétions et leurs déchets. Le liquide lacunaire ou interstitiel étant formé à partir du plasma sanguin avant de devenir lui-même de la lymphe circulante puis à nouveau du plasma sanguin. On peut dire que le milieu intérieur est formé par l'ensemble : plasma sanguin + liquide lacunaire + lymphe.

L'homéostasie est le maintien de la constance du milieu intérieur grâce à l'intervention de mécanisme régulateur. Parmi ces constantes on peut citer, la température, la concentration, la pression osmotique, le pH.

2. Equilibre hydrominéral du milieu intérieur

L'équilibre hydrominéral résulte d'un état d'équilibre entre la charge en eau et la charge en sels minéraux (Na^+ ; Cl^-) du milieu intérieur et plus précisément du plasma sanguin. Cet état d'équilibre définit une valeur moyenne de la pression osmotique du plasma dont une relative constance (300 milliosmoles/litre) est indispensable au bon fonctionnement des cellules. La régulation de la pression osmotique du milieu interne est due au rein qui agit sous contrôle hormonal. Les principales hormones qui interviennent sont :

a. ADH

L'ADH est une hormone appelée hormone antidiurétique. Elle est sécrétée par les neurones de l'hypothalamus et déversée dans le sang au niveau du lobe postérieur de l'hypophyse.

On a constaté que la prise d'alcool est toujours suivie d'une diurèse (élimination d'eau). Une hémorragie entraine une diminution de l'élimination urinaire. Selon les cas, la PO où la volémie est modifiée. Les volorécepteurs ou les

osmorécepteurs détectent immédiatement ces variations et répercutent l'info par voie nerveuse à l'hypothalamus qui déclenche à son tour un message hormonale adapté en direction des reins. Ce mécanisme régulateur fonctionne par rétroaction ou feed-back.

L'ADH agit sur le rein en freinant la diurèse, en permettant la rétention d'eau dans l'appareil circulatoire. L'ADH augmente la volémie donc la pression artérielle. C'est pourquoi, elle est encore appelée Vasopressine. La libération d'ADH dépend des variations de la pression osmotique du milieu intérieur dues, soit à une diminution du volume d'eau, soit à une augmentation de la concentration des sels plasmatiques. C'est un mécanisme reflexe qui va provoquer la libération d'ADH dont le point de départ est le sinus carotidien et l'hypothalamus dans lesquels sont situés les récepteurs spécifiques sensibles à la pression osmotique et appelés respectivement les volorécepteurs (sinus carotidiens) et des osmorécepteurs (hypothalamus).

La PO ne peut que varier dans des limites assez étroites sous peine de dérèglement fonctionnel grave (sur le métabolisme de la cellule) et souvent mortel.

RQ : tensiorecepteurs = barorecepteurs = osmorecepteurs

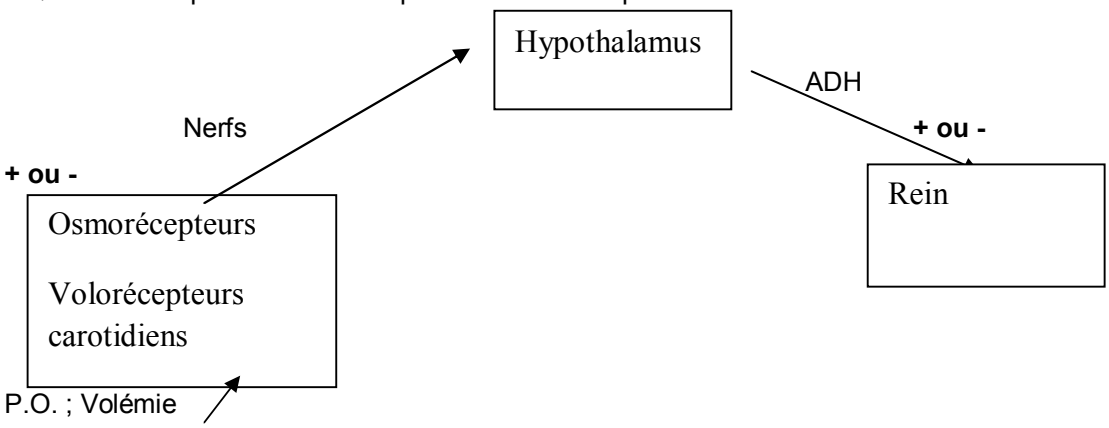


Schéma du mécanisme de production de l'ADH

b. Aldostérone

C'est une hormone libérée par une glande endocrine (corticosurrénale). Elle favorise la réabsorption du Na^+. Sa sécrétion est liée à la composition du plasma. Si le milieu intérieur s'appauvrit en sel, la réabsorption peut être totale.

c. Angiotensine

C'est un polypeptide plasmatique actif sur la filtration rénale, sur la libération d'aldostérone (en augmentant la pression artérielle, en stimulant la sécrétion d'aldostérone) et sur le centre « soif hypothalamique ». Elle provient de la transformation de l'angiotensinogène (d'origine hépatique) par la rénine (enzyme sécrétée par le rein).

Les différents organes qui assurent l'équilibre hydrominéral communiquent par voie humorale ou hormonale.

3. Régulation du pH dans le sang

a. pH du sang

Il est voisin de 7,4 (légèrement alcalin).

Certaines situations tendent à diminuer ce pH c'est-à-dire à provoquer une acidose. C'est le cas d'une alimentation carnée (la dégradation des protéines soufrées et phosphatées entraine une libération d'acide phosphorique). Il en est de même du travail musculaire qui produit une grande quantité d'acide carbonique. L'acidose s'accompagne de trouble et peut entrainer le coma.

On peut observer une élévation du pH (alcalose) dans d'autre cas. Exemple une alimentation végétarienne. L'alcalose entraine, l'apparition de maux de tête, de crise de tétanie (hyperexcitabilité neuromusculaire) à l'extrême.

b. jeu des tampons et intervention des organes régulateurs

Une solution tampon est une solution composée d'un acide faible et de son sel (une base conjuguée) ou d'une base faible et de son sel (un acide conjugué). C'est donc une solution telle que l'addition en quantité notable d'un acide fort ou d'une base forte modifie très peu son pH.

Les tampons, les importants sont :

- **système tampon acide carbonique-bicarbonates**

Acide faible / base faible

CO_2 , H_2O / HCO_3^- (ion bicarbonates) $CO_2 + H_2O \longrightarrow H^+ + HCO_3^-$ (acide carbonique: H_2CO_3) ou

$CO_2 + OH^- \longrightarrow HCO_3^-$

- sous l'influence d'un acide fort: HCl

H_2CO_3 / $NaHCO_3$ (acide faible acide carbonique) / base faible (bicarbonates de sodium))

$HCl + NaHCO_3 \longrightarrow H_2CO_3 + NaCl$

Acide fort + base faible (bicarbonates de sodium) acide faible (acide carbonique) + sel

- sous l'influence d'une base forte : NaOH

H_2CO_3 / $NaHCO_3$ (acide faible: acide carbonique / base faible : bicarbonates de sodium)

$NaOH + H_2CO_3 \longrightarrow NaHCO_3 + H_2O$

Rq: d'une façon plus générale ces substances sont des sels qui sont des sels qui sont toujours associée à un acide faible : $MgHCO_3$ (bicarbonates de magnésium); $KHCO_3$ (bicarbonates de Potassium)

- **système tampon phosphate disodique-phosphate monosodique**

- sous l'influence d'un acide fort: HCl

$HCl + Na_2HPO_4 \longrightarrow NaH_2PO_4 + NaCl$

Acide faible : phosphate monosodique (NaH_2PO_4) / base faible : phosphate disodique (Na_2HPO_4).

- sous l'influence d'une base forte : NaOH

$NaOH + NaH_2PO_4 \longrightarrow Na_2HPO_4 + H_2O$

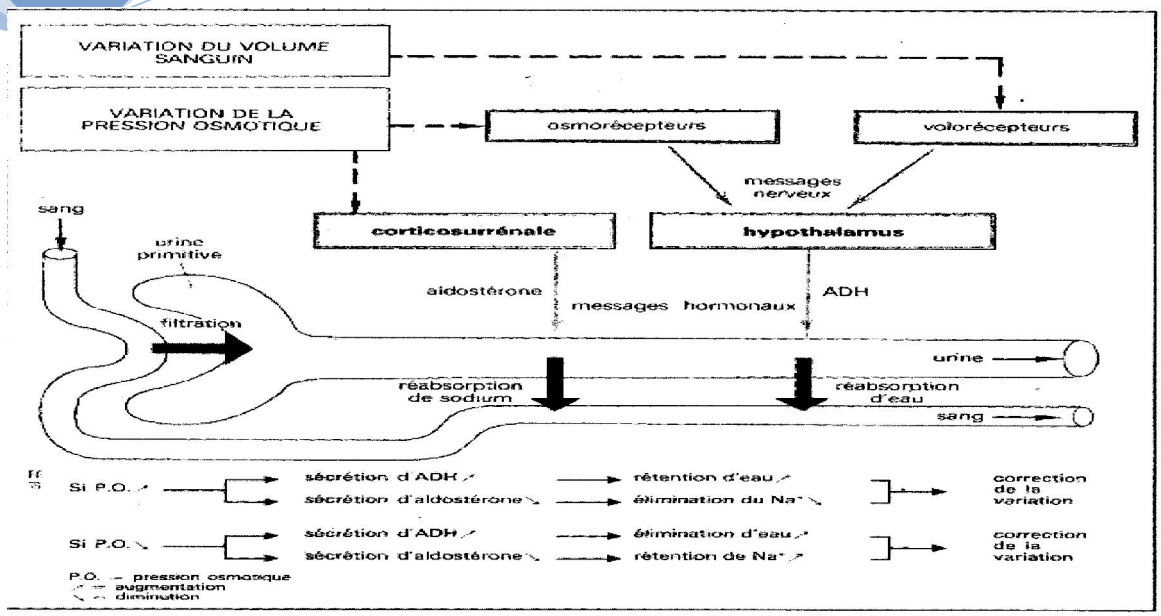
- **système tampon protéinate-protéines**

NH_4^+/NH_3 ou $COOH/COO^-$ (proviennent de la dégradation des acides aminés).

Tout se passe comme si l'acide fort était remplacé par un acide faible et la base forte par une base faible. Il en résulte que le pH est à peine modifié : on dit que l'acidose et l'alcalose sont compensées.

L'intervention des systèmes tampons a des limites en cas d'apport massif d'un acide ou d'une base. Leur effet est complété par l'intervention des poumons et des reins qui éliminent le gaz carbonique (par les poumons) et les acides sous forme de sel et l'acide urique (reins, glandes sudoripares…) pour faire remonter le pH.

Pour faire baisser le pH (en cas d'alcalose), les reins éliminent les bicarbonates et les poumons ralentissent la ventilation, ce qui a pour effet une accumulation d'acide carbonique dans le sang. Le rôle régulateur du rein explique la variabilité du pH de l'urine.



Exercices sur le milieu intérieur

Exercice n°1

Un chien effectue une longue course après laquelle il absorbe une importante quantité d'eau. On réalise sur le plasma sanguin et l'urine de cet animal diverses mesures avant la course, après la course, et une heure après l'ingestion d'eau. Les résultats de ces mesures sont rapportés dans le tableau ci-dessous.

A partir de vos connaissances, expliquez ces résultats.

Mesures effectuées		Avant la course	Après la course	1 heure après ingestion d'eau
Débit urinaire		1 ml/mn	0,5 ml/mn	15 ml/mn
Taux de Na^+	Plasma	3 g/l	2,9 g/l	3,1 g/l
	Urine	4 g/l	9 g/l	0,3 g/l
Pression osmotique	Plasma	300 unités	310 unités	295 unités
	Urine	500 unités	1200 unités	50 unités

Exercice n°2

On réalise chez un sujet à deux moments A et B de la journée des analyses de sang et d'urine. Ces deux moments correspondent à deux états physiologiques différents, A et B. Les résultats montrent des modifications pour les concentrations de phosphate, d'ammoniaque et de glucose comme l'indique le tableau ci-dessous. Les autres constituants (eau, protéines, lipides, chlorures, sulfates, urée etc.), sont constants.

Constituants (g/l)	Etat A		Etat B	
	Plasma	Urine	Plasma	Urine
HPO_4^{2-} et $H_2PO_4^-$	0,03	1	0,10	2
NH_4^+	0	0,8	0	2
Glucose	1,1	0	0,8	0

1. Pour comprendre l'origine de ces modifications, vous utiliserez les renseignements suivants : de l'état A à l'état B, on note une augmentation du taux sanguin d'acide lactique, de la ventilation pulmonaire, du rythme cardiaque et de la consommation d'oxygène.

A quel état physiologique correspond B ?

2. Quelles variations de pH sanguin peut-on prévoir, lorsque l'on passe de l'état A à B ? pourquoi ?
3. Compte tenu de ces dernières déductions, comment explique-t-on que certains constituants urinaires soient restés constants et que d'autres aient varié ?

4. On rappelle que la présence des ions NH_4^+ et $H_2PO_4^-$ au niveau du rein s'explique par les réactions suivantes :

$NH_3 + H^+ \longrightarrow NH_4^+$

$HPO_4^{2-} + H^+ \longrightarrow H_2PO_4^-$

Les ions H^+ étant puisés du sang dans les deux réactions.

Quelle modification sanguine ces réactions rénales provoqueront-elles ?

Corrigé

Exercice 1

- *Après la course : pression osmotique du plasma a légèrement augmenté, conséquence d'une perte importante d'eau. On constate alors deux réactions rénales :*

- *Une élévation spectaculaire de la fuite de Na^+ ;*
- *Une baisse de la diurèse (de la fuite de l'eau).*

Ces modifications expliquent la forte hausse de pression osmotique de l'urine émise et tendent à limiter les effets de la perturbation osmotique liée à la course. Elles sont les résultats de l'intervention de récepteurs qui ont modifié les sécrétions d'hormones à cible rénale : ADH posthypophysaire augmentant la réabsorption rénale de l'eau, l'aldostérone contrôlant la fuite de Na^+.

- *1 heure après ingestion : la légère baisse de pression osmotique plasmatique est à l'origine d'une correction :*

- *Diurèse multiplié par 15 ;*
- *Urine très diluée (teneur très faible en Na^+).*

Là encore, ces réactions rénales liées aux mêmes mécanismes hormonaux assurent le rétablissement de l'équilibre hydrominéral.

Exercice 2

1. *B correspond à un état d'activité intense car on observe : une production importante de déchets (acide lactique) ; une hyperventilation pulmonaire ; une consommation importante d'oxygène, une tachycardie.*
2. *On peut prévoir une baisse du pH quand on passe de l'état A à l'état B parce que le milieu devient de plus en plus acide à cause de l'accumulation de l'acide lactique et de la formation d'acide carbonique suite à l'oxydation du glucose.*
3. *On peut expliquer cet état par le système de régulation rénale. On a en effet une élimination urinaire des substances acidifiant le milieu intérieur. Ainsi : les ions phosphates dont la formation augmenté dans le plasma en B et ont été plus éliminés par les reins ; le glucose, oxydé par les cellules, produiront des déchets d'où l'élimination de NH_4^+. Le glucose n'est pas éliminé et sa concentration reste nulle dans le milieu, il n'acidifie pas le milieu intérieur.*
4. *Les réactions rénales provoquent une modification du système tampon dans le sens de l'alcalose (neutralisation des ions H^+ et augmentation du pH).*

IMMUNOLOGIE

Introduction

Notre environnement est peuplé d'une multitude de microbes dont certains sont pathogènes ; cependant, les infections sont rares ou à durée limitées. Ce qui suppose que l'organisme possède des moyens relativement efficaces de lutte contre ces microbes ou corps étrangers.

L'immunologie est l'étude de l'immunité c'est-à-dire l'étude des mécanismes de défense de l'organisme face aux agressions par les corps étrangers. Le mot immunité vient du latin « immunitas » qui signifie exempté de charge. Ces mécanismes de lutte de l'organisme constituent la réponse immunitaire. Pour amorcer cette réponse, l'organisme doit d'abord identifier le corps étranger. En réalité, l'organisme ne reconnait que certaines parties ou éléments du corps étrangers appelés antigènes.

I- Les facteurs d'agressions de l'organisme

1- Les facteurs externes

L'organisme subit des agressions de divers ordres que sont :

- les agressions par des agents physico-chimiques qui peuvent être dues à des facteurs mécaniques (frottements, chocs, chutes…) ; climatiques (altitudes, changements brusques de températures, rayonnements, sécheresse, poussières…) ; par des agents chimiques (acides, bases, poisons…) ;

- les agressions par des agents biologiques : virus, bactéries, champignons microscopiques, protozoaires, helminthes… Les agresseurs biologiques peuvent aussi être des substances libérées par des microbes pathogènes (toxines) ou encore des fragments d'organes provenant d'un autre organisme (greffe) : peau, moelle osseuse, rein, foie, cœur… ;

- les agressions par des substances diverses : phanères (couche protectrice), des pollens, des feuilles des fleurs, des fruits…

2- Les facteurs internes : cas de l'auto-immunité

Il s'agit d'une situation où l'organisme lutte contre certaines de ses propres cellules (« soi »). Les antigènes vis-à-vis desquels est déclenchée la réponse immunitaire sont appelés autogènes. Tous les organes peuvent être la cible du système immunitaire.

II- Les moyens de défense

L'organisme s'oppose en permanence à la pénétration où à l'invasion par un élément en faisant intervenir des processus immédiats que l'on qualifie de moyens de défense non spécifiques. En plus de ces moyens non spécifiques, l'organisme se défend grâce à des défenses spécifiques qui mettent en jeu d'autres cellules.

1- Les moyens de défense non spécifiques

a- Les barrières naturelles : barrières anatomiques et leurs sécrétions

Elles sont constituées par la peau, les muqueuses et les revêtements ciliés. Cette barrière physique est renforcée par les défenses chimiques : sueurs, larmes, sécrétions gastriques… Toutes ces décrétions soit par leur acidité ou par la présence de substances enzymatiques (lysosomes, protéines) arrêtent le développement de nombreux microbes ou les détruisent.

Remarques : certaines bactéries non pathogènes très nombreuses vivent dans le tube digestif et y maintiennent des conditions défavorables pour de nombreux microbes (microbes symbiotiques) : on parle de bactéries écologiques.

b- L'inflammation et la phagocytose

Lorsque les microbes réussissent à traverser la barrière cutanée ou les muqueuses, l'organisme réagit de manière locale (réaction inflammatoire).

Les phagocytes et les macrophages essaient d'éliminer les agents étrangers par phagocytose.

La réaction inflammatoire et la phagocytose sont des moyens de défense qui sont utilisés dans un premier temps et ne dépendent pas du type d'agresseur : il s'agit d'un moyen de défense non spécifique ou naturel.

2- Le système immunitaire

Le système immunitaire d'un organisme est un ensemble coordonné d'éléments de défense qui discrimine le « soi » du « non soi » et par conséquent cherche à détruire le « non soi ».

III- Les composants du système immunitaire

Le système immunitaire comprend les organes lymphoïdes, les cellules immunitaires et les molécules immunitaires.

1- Les organes du SI

Ce sont les lieux de formation, de différenciation, de maturation ou de stockage des cellules immunitaires. On distingue les organes lymphoïdes primaires ou centraux et les organes lymphoïdes secondaires ou périphériques.

a- Les organes lymphoïdes primaires ou centraux

Ce sont le siège de la formation et de la maturation des cellules du système immunitaire : moelle osseuse (ou foie chez le fœtus) et le thymus.

b- Les organes lymphoïdes secondaires ou périphériques

Ce sont les lieux de différenciation et de stockage des cellules immunitaires. Ce sont aussi les lieux de rencontre des cellules immunitaires avec leurs antigènes spécifiques : ganglions lymphatiques, rate et amygdales, l'appendice…

2- Les cellules du système immunitaire

a- Les différents types de cellules immunitaires : origine et maturation

Toutes les cellules immunitaires prennent naissance dans la moelle osseuse à partir de cellules-mères souches. On distingue :

a1- Les phagocytes : encore appelés cellules phagocytaires, ils sont dans le phénomène de phagocytose c'est-à-dire un moyen de lutte consistant à capturer les corps étrangers par des pseudopodes puis les digérer. Les phagocytes sont spécialisés dans l'immunité non spécifique mais certains sont initiateurs des réactions immunitaires spécifiques. On distingue :

- Les macrophages : présents dans tous les tissus de l'organisme, ce sont des cellules très spécialisées dans la phagocytose avec de nombreuses vacuoles de phagocytoses (phagosomes), des lysosomes, des pseudopodes et un appareil de Golgi développé.

- Les monocytes : ce sont des cellules-mères des macrophages. Ils présentent un noyau arqué et sont des cellules circulantes.

- Les granulocytes : ils sont encore appelés polynucléaires parce qu'ils semblent posséder plusieurs noyaux et représentent 60 à 65% des leucocytes. Il existe trois catégories de granulocytes : les neutrophiles, les basophiles et les éosinophiles.

* Les granulocytes neutrophiles sont des phagocytes c'est-à-dire capables d'avaler et de digérer les antigènes comme les bactéries. Comme leur nom l'indique, ils possèdent des granules qui peuvent être exocytées (déversées hors de la cellule) afin de limiter l'inflammation à l'endroit de l'infection.

* Les granulocytes basophiles attirent les autres globules blancs en déversant de l'histamine contenue dans leurs granules. Cette histamine active la réaction inflammatoire et intervient également dans les réactions allergiques.

* Les granulocytes éosinophiles sécrètent des substances qui tendent à limiter l'action de l'histamine des granulocytes basophiles. Leur rôle est de s'attacher aux parasites de l'organisme sans les phagocyter. Ils se fixent dessus, déversent leurs granules qui contiennent des enzymes destinés à détruire ces parasites.

- Les cellules dendritiques : elles sont pourvues de nombreux prolongements cytoplasmiques appelés dendrites. On les retrouve dans la peau, les muqueuses, le foie et la rate.

a2- Les lymphocytes :

Ils représentent 20 à 25% des leucocytes et sont spécialisés dans l'immunité spécifique. On distingue :

- Les lymphocytes B (LB) : le mot B vient du fait que ces cellules ont été découvertes chez l'oiseau dans la « Bourse de Fabricius » et par la suite le « B » fut conservé car « Bone marrow » signifie moelle osseuse qui est le lieu de maturation de ces cellules B. Sous l'action d'un corps étranger, les lymphocytes B s'activent d'abord, se multiplient ensuite puis se différencient en se transformant en plasmocytes qui vont alors sécréter les anticorps circulants.

- Les lymphocytes T (LT) : la lettre T vient du mot thymus. Après leur synthèse dans la moelle osseuse, les LT achèvent leur maturation dans le thymus. Ils sont spécialisés dans l'immunité spécifique. On distingue deux types de lymphocyte T en fonction de la nature des marqueurs présents à la surface cellulaire appelés CD (Cluster of Differenciation). Pour simplifier le langage, nous ne distinguerons que deux sortes de molécules CD (les molécules CD4 et les molécules CD8) :

* Les lymphocytes T CD8 (LT8) qui évoluent en cellules T cytotoxiques (Tc). Ils reconnaissent les cellules infectées et les détruisent.

* Les lymphocytes T CD4 (LT4) qui évoluent en lymphocytes T auxiliaires ou lymphocytes T Helper (TH). Les lymphocytes auxiliaires interagissent avec les phagocytes puis activent les LT8 et/ou les lymphocytes B pour spécifier et amplifier la réponse immunitaire.

NB : Une cellule immunitaire porteuse du marqueur CD4 est dite CD4+ et celle portant le marqueur CD8 est dite CD8+ (comme Rh+ et Rh- du facteur rhésus).

* Il existe des lymphocytes dits lymphocyte nuls (ni T ni B) ne portant aucun marqueur de surface (CD) : On les nomme aussi lymphocytes tueurs (NK= Natural Killer). Ces cellules sont impliquées dans la lutte non spécifique contre les cellules tumorales et contre les cellules du « soi » infectées par les virus.

b- L'acquisition de l'immunocompétence

L'immunocompétence est la propriété de distinguer le « non soi ». Elle est acquise lorsque les lymphocytes expriment des récepteurs membranaires spécifiques. Chaque lymphocyte porte un type unique de récepteurs capables de reconnaître un déterminant antigénique donné.

3- Les molécules du système immunitaire

On distingue les molécules du complément, les molécules du complexe majeur d'histocompatibilité (CMH ou HLA = Human Leucocyte Antigen), les récepteurs d'antigènes des lymphocytes B (BCR), les récepteurs d'antigènes des lymphocytes T (TCR), les immunoglobulines ou anticorps et les cytokines.

a- Les molécules du complément ou « le complément »

Synthétisées par le foie, la rate et l'épithélium intestinal, ce sont des molécules protéiques présentes dans le plasma et à qui on attribue quatre fonctions :

- Lyse des microbes (grâce à son complexe d'attaque membranaire)

- Facilite la phagocytose en se fixant sur les cellules étrangères et permet aux phagocytes de les reconnaître plus aisément. Ce phénomène est appelé opsonisation.

- Amplifie la réaction inflammatoire.

- Possède des effets chimiotactiques sur les cellules phagocytaires.

NB : le complément peut être directement activé par l'antigène (voie classique) ou par l'anticorps lié à son antigène spécifique (voie alterne).

b- Les molécules du complexe majeur d'histocompatibilité (CMH)

Il s'agit d'une famille de protéines membranaires. On y distingue trois classes :

- celles de classe I sont protées par toutes les cellules de l'organisme possédant un noyau ;
- celles de classes II sont plus particulièrement portées par certaines cellules immunitaires ;
- celles de classe III codent pour des composants du complément.

c- Les récepteurs d'antigènes des lymphocytes T(TCR)

Ce sont des protéines constituées de deux chaînes polypeptidiques comportant chacune une région constante enchâssée dans la membrane plasmique et une région variable tournée vers l'extérieur. Les TCR ne reconnaissent l'antigène que s'il est associé à une molécule du système HLA.

d- Les récepteurs d'antigènes des lymphocytes B (BCR)

Ce sont des anticorps membranaires. Ces protéines (immunoglobulines) sont constituées de quatre chaînes peptidiques semblables deux à deux (deux lourdes et deux légères). Chaque chaîne comporte une région constante et une région variable. Leur conformation évoque la forme de la lettre Y :

- La branche impaire du Y formée de régions constantes est notée Fc (Fragment constant)
- Les deux branches symétriques se terminent par des régions variables et constituent un site de reconnaissance spécifique pour un antigène donné. On les note Fab (antigen binding). Grâce à leurs régions variables, les anticorps membranaires reconnaissent donc le « non soi ».

e- Les immunoglobulines (anticorps) ou Ig

Ce sont des protéines présentes dans le plasma sanguin. Ils ont une forme comparable à un Y (schéma). Les deux branches du Y possèdent les sites anticorps capables de se lier spécifiquement aux sites antigéniques correspondants. Les deux sites d'un même Ig sont identiques mais les sites de différents types d'Ig sont différents. Les Ig sont utilisés par le système immunitaire pour détecter et neutraliser les agents pathogènes comme les bactéries et les virus.

Remarque :

- Une immunoglobuline est un anticorps de spécificité inconnue
- Un anticorps est une immunoglobuline de spécificité connu.
- On distingue plusieurs classes d'Ig : IgG, IgM, IgA, IgD, IgE. Chaque classe d'Ig est divisée en sous-classe.

f- Les cytokines

Elles sont décrites comme les hormones du système immunitaire : elles interviennent dans le dialogue entre lymphocytes, macrophage et autres cellules intervenant au cours de la réaction inflammatoire et des réponses immunitaires.

Les principales cytokines sont les interleukines, les interférons, les facteurs de croissance hématopoïétiques (formation des globules du sang) et les facteurs de nécrose des tumeurs.

IV- Les mécanismes de défenses immunitaires

1- Reconnaissance du « soi » et du « non soi »

Tout être vivant est conçu pour reconnaitre et tolérer ce qui lui appartient et qui lui a été confié génétiquement (le soi) et pour refuser et rejeter ce qui lui est étranger (le non soi).

a- Le soi

Le soi est défini comme étant l'ensemble des organes, des tissus, des cellules et des molécules issus de la programmation génétique de la cellule-œuf.

Les cellules de l'organisme possèdent à leur surface des molécules glycoprotéiques spécifiques qui sont les marqueurs du soi (ou identité biologique de l'individu). Parmi ces molécules on distingue : les molécules qui forment le CMH ; les molécules qui déterminent les groupes sanguins (les hématies ne portent pas de marqueurs HLA mais de nombreuses molécules dont les plus connues, définissent les groupes sanguins du système ABO).

b- Le non soi : cible du système immunitaire

Le « non soi » est constitué par l'ensemble des molécules étrangères à l'organisme c'est-à-dire non codées par son génome. Le système immunitaire développe contre le non soi, des réactions ayant pour conséquence sa neutralisation ou sa destruction.

En effet, dans le cas d'une greffe (allogreffe ou greffe entre individus de la même espèce), la réaction immunitaire est dirigée contre les molécules HLA du greffon d'où le nom de CMH donné à ces molécules. Les molécules du soi modifiées ou anormales sont considérées comme le non soi.

c- Mécanisme de reconnaissance du soi et du non soi

L'organisme lutte contre tout ce qui est reconnu comme étranger (non soi) pour neutraliser sans détruire ses propres constituants (soi) en reconnaissant les marqueurs d'identité grâce à des cellules et à des molécules circulantes.

La reconnaissance par les cellules immunitaires d'antigène du non soi ou du soi modifié déclenche des réactions que l'on peut classer en deux catégories :

- des réactions non spécifiques lorsqu'elles sont indépendantes de la nature de l'antigène ;
- des réactions spécifiques lorsqu'elles sont dirigées contre un antigène donné.

2- Les réponses immunitaires

2.1- La notion d'antigène

On appelle antigène, tout élément susceptible de déclencher une réponse immunitaire. Le caractère immunogène des antigènes est lié à leur caractère étranger et aussi à leur taille (plus ils gros, plus la réaction est forte).

Selon Waston, « un corps peut être un antigène s'il possède à la surface des arrangements moléculaires différents de la structure superficielle des composés normaux de l'organisme hôte ».

Définition d'épitope ou déterminant antigénique : ce sont les parties de l'antigène qui sont reconnues comme étrangères. La plupart des antigènes possèdent de nombreux déterminants antigéniques.

2.2- La réponse immunitaire non spécifique

a- La phagocytose

Dès que les barrières de protection de l'organisme (peau, muqueuse) sont franchies par les bactéries par exemples, un premier type de réaction immunitaire se met en place. Cette réponse non spécifique qui est essentiellement la phagocytose se déroule dans les tissus, sur les sites de l'infection et s'accompagne le plus souvent d'une réaction inflammatoire. La phagocytose est l'œuvre de cellules spécialisées ou phagocytes (granulocytes neutrophiles, monocytes et macrophages). Ces phagocytes sont attirés par chimiotactisme dans la zone infectée et peuvent traverser la paroi des capillaires par diapédèse.

La phagocytose comporte plusieurs étapes. Dans le cas d'une invasion bactérienne, on distingue successivement :

- la reconnaissance des antigènes bactériens par des récepteurs peu spécifiques ;
- l'ingestion des bactéries par endocytose grâce à des déformations cytoplasmiques (pseudopodes) ;
- la digestion des bactéries au sein des vacuoles (phagosomes) grâce à des enzymes libérées par les vésicules golgiennes (lysosomes) ;

- la libération hors des phagocytes des produits de la digestion par exocytose.

NB : La phagocytose initie la réponse spécifique. Certains résidus de l'antigène s'associent à des molécules du système HLA des macrophages qui les présentent à d'autres cellules immunitaires. Ce complexe HLA-Déterminant antigénique (soi modifié) est reconnu par les seuls lymphocytes T possédant un récepteur spécifique. La réponse immunitaire spécifique est alors déclenchée.

b- Le système du complément

L'intervention des phagocytes peut être facilitée par certains facteurs du complément activés qui les attirent.

L'adhérence des antigènes sur la membrane des phagocytes est facilitée par la fixation des antigènes de certains facteurs du complément activés ou d'anticorps.

Remarque : Le complément est un facteur plasmatique formé d'une vingtaine de protéines (dont 9 principales) qui constituent une fraction importante (10%) des globulines du plasma sanguin même en dehors de toute infection.

c- La réaction inflammatoire

Elle résulte de l'action de diverses substances : certaines sont produites sur les sites de l'infection par les tissus lésés, d'autres sont sécrétés par les cellules immunitaires sensibilisées ou d'autres encore sont issues du complément. La réaction inflammatoire comporte quatre aspects caractéristiques :

- la rougeur et la chaleur (liées à la dilatation des capillaires) ;
- le gonflement ou œdème dû à la fuite du plasma dans les tissus ;
- la douleur due à l'excitation de certaines terminaisons nerveuses.

L'inflammation apparaît comme un phénomène très utile à l'organisme qui prépare la réparation des tissus lésés et surtout oriente les éléments actifs du système immunitaire vers les lieux de l'infection.

2.3- La réponse immunitaire spécifique

Elle comporte trois étapes principales et nécessite une coopération entre les cellules immunitaires :

a- La phase d'induction

Elle débute par la reconnaissance de l'antigène par les lymphocytes. Cette reconnaissance about à la sélection de lymphocytes compétents (clones de lymphocytes). A cette phase, les lymphocytes sélectionnés sont activés mais leur nombre est peu élevé.

b- La phase d'amplification

Cette phase qui dure 5 à 6 jours comporte une étape de multiplication des lymphocytes activés par mitoses successives et une étape de différenciation au cours de laquelle certaines de ces lymphocytes deviennent des cellules effectrices.

- Les lymphocytes B évolueront en plasmocytes sécréteurs d'anticorps circulants.
- Les lymphocytes T évolueront en lymphocytes cytotoxiques ou cytolytiques.
- Les lymphocytes T4 (CD4) deviennent des lymphocytes auxiliaires ou helpers sécréteurs de protéines appelées interleukines. Le rôle des lymphocytes T4 est essentiel car les interleukines qu'ils sécrètent contrôlent la multiplication et la différenciation des différents lymphocytes.

Remarque : L'infection des lymphocytes T4 par le VIH est à l'origine d'une grave maladie immunodéficience (le SIDA). Au cours de cette maladie, les lymphocytes T4 sont détruits par le VIH mais aussi par les lymphocytes cytotoxiques. Leur nombre baisse et avec lui la capacité de lutte contre divers agents infectieux.

c- La phase effectrice

Deux types de réponses se développent mais leur importance et leur efficacité dépendent de la nature de l'antigène.

- **La réponse à médiation humorale**

Elle a comme support un clone plasmocyte qui sécrète des anticorps circulants spécifiques des antigènes reconnus. La réponse à médiation humorale est la seule réaction possible dans le cas des antigènes solubles et la réponse prépondérante contre la plupart des bactéries. L'association de l'antigène et de l'anticorps (complexe immun) aboutit à la neutralisation de l'antigène mais pas à sa destruction. Ainsi, ma réponse humorale doit être complétée par la phagocytose des complexes immuns ou par l'activation de complément.

- **La réponse à médiation cellulaire**

Elle a pour support les phagocytes I cytotoxiques. Elle s'exerce sur les cellules infectées par des virus ou des bactéries endocellulaires ainsi que sur des cellules cancéreuses ou greffées. Elle aboutit à la lyse des cellules cibles après la reconnaissance des molécules du système HLA associé à un déterminant antigénique. Une des protéines (la plus connue) qui intervient dans le mécanisme de la lyse est la **perforine** sécrétée par les lymphocytes.

3- La mise en mémoire

a- La mémoire immunitaire

La réponse primaire est la réaction de l'organisme au premier contact avec l'antigène. Chez le même individu, lors d'un deuxième contact avec le même antigène, la réponse immunitaire dite réponse secondaire est plus rapide, plus intense donc plus efficace. Ce phénomène s'explique par le fait qu'au cours de la réponse primaire, de nombreux lymphocytes arrêtent leur différenciation et deviennent des lymphocytes à vie (cellules à mémoire) qui poursuivent leur circulation dans le sang.

b- Le vaccin

Le vaccin est une mise en mémoire. Elle exploite la faculté de l'organisme à mettre en mémoire la réponse immunitaire spécifique.

Un vaccin est une préparation de microorganismes ou de leurs composés antigéniques qui peuvent induire une immunité protectrice contre les effets pathogéniques d'un virus ou d'une bactérie mais ne provoque pas de maladie.

- La durée de vie des vaccins conditionne la fréquence des rappels nécessaires pour maintenir un bon niveau de réponse.
- La réponse vaccinale est le plus souvent de caractère humoral.
- Quel que soit le type de réponse immunitaire provoquée par le vaccin, elle doit être importante. Un bon vaccin doit être très immunogène sans entrainer de troubles secondaires.
- Les vaccins à germes vivants atténués qui se multiplient dans l'organisme sont très efficaces.
- L'efficacité et la durée de la protection varient selon la nature du vaccin et selon l'individu, tout dépend du nombre et de la durée de vie des cellules à mémoire qui sont formées au cours de la réponse immunitaire.

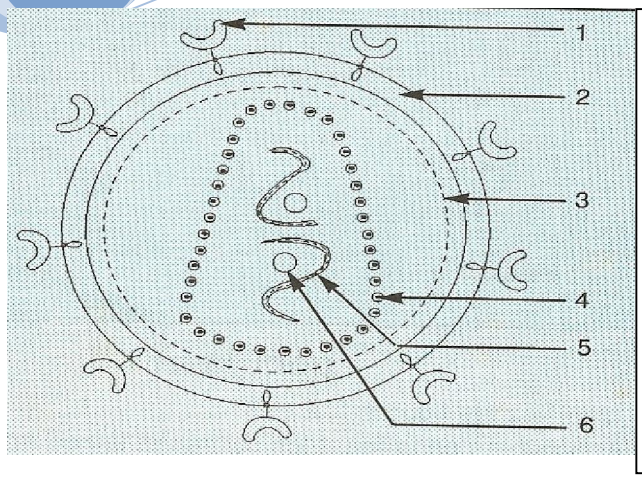
V- Le système immunitaire et le VIH

1- Les principales caractéristiques du VIH

Le VIH (Virus de l'Immunodéficience Humaine) est un virus à ARN possédant une enzyme (la transcriptase inverse ou rétro-transcriptase) qui permet de copier l'information génétique du virus sous forme d'ADN dès qu'il a pénétré une cellule cible. Cette copie ou provirus prend place dans un chromosome de la cellule cible, échappant ainsi aux défenses immunitaires. Le provirus peut rester « silencieux » dans la cellule pendant de nombreuses années et commander la production à une vitesse variable de nouveaux virus qui sont expulsés de la cellule cible.

Le VIH est rétrovirus c'est-à-dire que son matériel génétique est de l'ARN qui est transcrit en ADN par la transcriptase inverse.

Deux types de VIH différents par leur génome ont été isolés à l'Institut Pasteur : le VIH_1 (en 1983) et le VIH_2 (en 1986). Le VIH_2 identifié surtout chez les patients d'Afrique de l'Ouest est moins transmissible et moins pathogène que le VIH_1.



1=Protéine enveloppe ou Gp 120

2=Enveloppe lipidique

3=Protéines

4=Capside protéique ou cœur

5=ARN

6=Transcriptase reverse ou inverse

Ultrastructure ou structure du VIH

2- Mode de transmission

Le VIH/SIDA se transmet exclusivement de trois façons :

- par voie sexuelle : le virus est présent dans les sécrétions génitales et sur les muqueuses des organes sexuels et du rectum ;
- par le sang à travers les échanges de seringues infectées et avant 1986, à travers la transfusion sanguine ou de dérivés sanguins) ;
- De la mère à son enfant au cours de la grossesse et pendant l'allaitement.

3- Le système immunitaire

La maladie se développe en 3 phases :

- pendant la phase silencieuse, le VIH pénètre dans les cellules portant les molécules CD4. L'ARN viral est transcrit en ADN proviral qui s'insère dans l'ADN de la cellule infectée. Le malade ne présente généralement pas de symptômes particulier (phase asymptomatique de la maladie) ;
- pendant la phase mineure de la maladie, les virus se multiplient et des infections (herpes, muguet…) font leur apparition ;
- la phase majeure de la maladie apparaît 5 à 12 ans après la contamination. Elle se caractérise par une destruction massive du système immunitaire (LT4) ce qui permet le développement de maladies opportunistes, de cancers (syndrome de kaposi, lymphomes…).

4- La lutte contre le VIH

La prise en charge médicale de cette maladie consiste dans un premier temps à traiter et à prévenir les infections opportunistes.

Dans un second temps, il s'agit de stabiliser la progression de la maladie par l'administration des antirétroviraux (ARV).

Les traitements employés agissent à différents niveaux :

- empêcher la pénétration des virus dans les lymphocytes par exemple en injectant des anticorps spécifiques de la partie de la protéine du virus qui reconnaît la molécule CD4 ;
- détruire ou inhiber les ARN viraux par des interférons par exemple ;
- bloquer la rétrotranscription par l'azidothymidine (AZT : 1er antirétroviral) qui interrompt le fonctionnement de la transcriptase inverse ;
- empêcher la formation des virus par une antiprotéase qui bloque la maturation des protéines virales.

VI- Le dysfonctionnement du système immunitaire

Le fonctionnement normal du système immunitaire peut être perturbé par des anomalies qui résultent :

- des proliférations des cellules lymphoïdes qui affectent la lignée lymphoïdes ;
- d'une activité excessive vis-à-vis d'un antigène exogène (allergies) ;
- d'une agression d'un organe ou d'un type cellulaire par le système immunitaire lui-même (auto-immunité)
- de déficit de l'immunité (SIDA).

1- L'auto-immunité

Une maladie auto-immune se développe lorsque l'organisme par erreur fabrique des anticorps dirigés contre ses propres cellules (auto-anticorps).

Cette auto-immunisation provoque des lésions tissulaires importantes et un mauvais fonctionnement des organes. Les antigènes du soi reconnus par les lymphocytes sont appelés des autoantigènes. Chez la majorité des individus, il existe des mécanismes visant à limiter l'activation et l'expression des clones lymphocytaires B et T auto-réactifs dirigés contre les autoantigènes induisant une tolérance du soi. La défaillance de ces mécanismes est à l'origine du développement des maladies auto-immunes (MAI). Exemple : le diabète insulino-dépendant (destruction des cellules béta des îlots de Langerhans) ; la sclérose des plaques (touche le SNC et le SNP avec une destruction des tissus de protection et de démyélinisation).

2- Les allergies

a- Définitions

Les allergies encore appelées réactions d'hypersensibilité sont des réactions immunitaires exagérées ou disproportionnées par rapport au danger. On ne peut pas être allergique sans la présence d'un allergène. L'allergène est la substance antigénique responsable de l'allergie.

b- Les différents types d'hypersensibilité

b.1- L'hypersensibilité de type I

C'est une hypersensibilité immédiate mediée par des anticorps de type IgE. Elle se déclenche 5 à15 secondes après le second contact avec l'allergène.

Exemple : Asthme, rhume de foin…

Les manifestations cliniques diffèrent selon l'âge et caractérisées par :

- des allergies alimentaires chez le nouveau-né et le nourrisson ;
- des allergies respiratoires comme l'asthme chez l'enfant et l'adulte jeune ;
- des allergies Oto-rhino-laryngologie (O.R.L= maladies des oreilles, du nez et de la gorge) comme les rhinites (inflammation de la muqueuse des fosses nasales) et les sinusites chez l'adulte.

NB : Toutes ces maladies peuvent être transitoires, aiguës ou chroniques.

b.2- L'hypersensibilité de type II et III

Ce sont des hypersensibilités semi-retardées qui se déclenchent en quelques heures :

- Le type II est dû à des réactions cytotoxiques successives lorsqu'un anticorps réagit avec un composant antigénique associé à une cellule ou à un tissu. C'est le cas de la maladie hémolytique au nouveau-né au cours de laquelle des anticorps maternels (IgG) traversent le placenta et provoquent la destruction des cellules fœtales. On peut également

citer les accidents immunologiques de la transfusion sanguine ; les réactions immunologiques liées à certains médicaments ; le rejet aigu dans les greffes d'organes.

- L'hypersensibilité de type III est associée au complexe immunosoluble antigène-anticorps qui se déposent dans les vaisseaux, les organes ou dans les tissus.

b.3- L'hypersensibilité de type IV (2 à 3 jours) ou hypersensibilité retardée à médiation cellulaire

Dans ce type IV, le premier contact avec l'allergène provoque la production d'anticorps (IgE) ou l'activation des lymphocytes T. Ce même phénomène est déclenché lors d'un contact ultérieur avec le même allergène et est basé sur le mécanisme lymphocytaire T sans intervention des anticorps. La lésion se limite au lieu du contact antigénique. C'est l'exemple du test de la tuberculine effectuée pour détecter l'efficacité du vaccin BCG.

VII- Les greffes et les rejets de greffes

1- Les greffes

La greffe consiste à prélever un tissu ou des cellules sur un donneur puis à implanter ce tissu ou ces cellules sur un receveur ou sur le même sujet dans un autre site. On distingue plusieurs types de greffes :

- l'autogreffe ou greffe autologue lorsque le donneur et le receveur sont le même sujet ;
- l'isogreffe ou greffe isogénique ou greffe syngénique lorsque le donneur et le receveur sont génétiquement identique (cas des vrais jumeaux)
- l'allogreffe ou greffe allogénique ou homogreffe : dans ce cas, le donneur et le receveur sont génétiquement différents mais de la même espèce. C'est le cas le plus répandu mais la greffe est rejetée en l'absence d'immunosuppression.

Remarque : la transplantation consiste à prélever un organe vascularisé chez un sujet donneur et à l'implanter chez un sujet receveur avec rétablissement de la continuité vasculaire (anastomose). Exemple : rein, foie, poumon, intestin…

2- Les rejets de greffes

Les autogreffes sont acceptées et s'intègrent au reste de l'organisme.

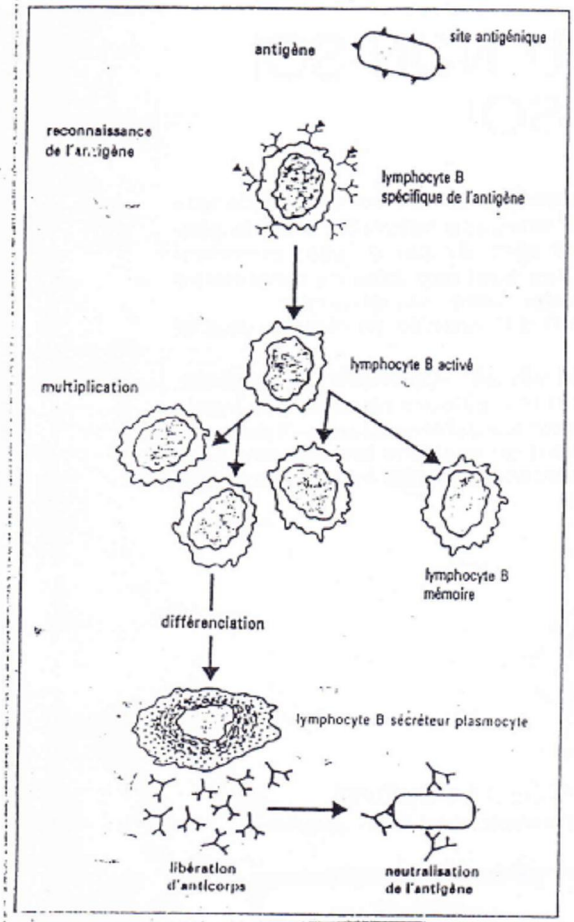
Les allogreffes conduisent presque toujours à un rejet.

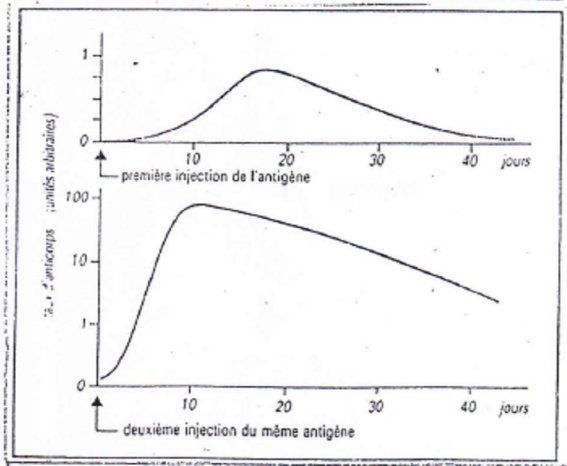
NB1 : Un organe en voie de rejet est marqué par :

- la présence de nombreux lymphocytes et macrophages au lieu de greffe ;
- les lésions de vaisseaux qui entraînent une mauvaise vascularisation du greffon ;
- la destruction des cellules de l'organe greffé.

NB2 : Ces lésions sont essentiellement dues à la présence de lymphocytes T responsables de la réaction immunitaire cellulaire. On peut utiliser des immunosuppresseurs pour diminuer la réponse immunitaire, mais il faut surtout trouver un donneur présentant un groupe tissulaire (HLA) le plus voisin possible de celui du receveur.

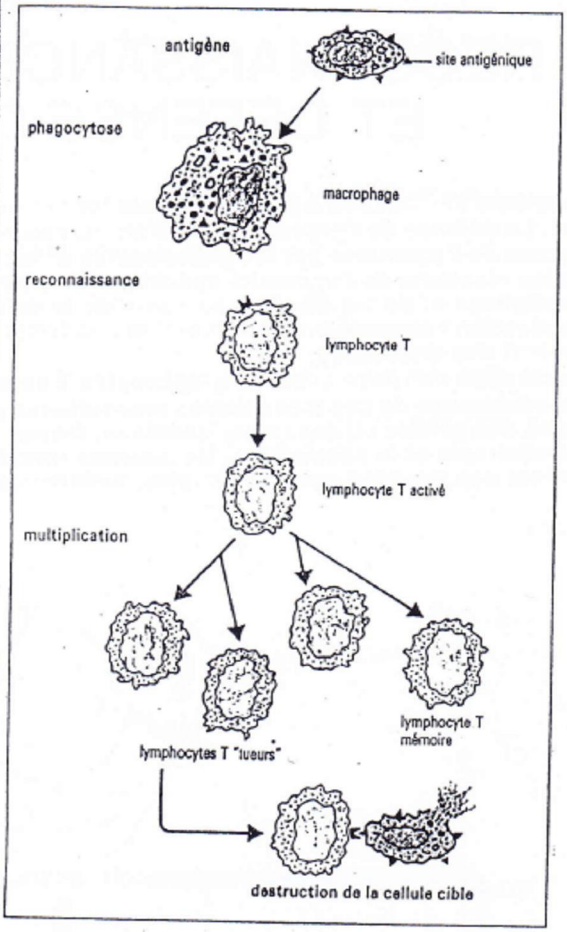
Doc 3 La réponse humorale
Depuis l'introduction de l'antigène dans l'organisme jusqu'à la fabrication d'anticorps, ont lieu des phénomènes successifs: reconnaissance, multiplication, différenciation, synthèse faisant intervenir des cellules telles que les lymphocytes B. C'est l'immunité à médiation humorale.





Doc 7 Production d'anticorps après injection d'antigène
La réponse primaire est la réaction de l'organisme au premier contact avec l'antigène. Chez le même individu, le deuxième contact avec la même quantité d'un même antigène déclenche une réponse dite secondaire.

Doc 4 La réponse cellulaire
La réponse immunitaire cellulaire met en jeu des phénomènes de reconnaissance, phagocytose, coopération, digestion, faisant intervenir des cellules telles que les macrophages et les lymphocytes T.



L'origine des anticorps

Les lymphocytes sont fabriqués dans la moelle osseuse, puis passent dans le sang. A ce stade, ils acquièrent des propriétés qui les différencient en lymphocytes B et T. Les lymphocytes B participent à la formation des anticorps. Les macrophages sont capables de reconnaître l'antigène. Après l'avoir phagocyté, ils le transforment et le présentent aux lymphocytes. Après cette coopération, les lymphocytes B sont activés, et se multiplient rapidement. Ils se transforment en plasmocytes et sécrètent l'anticorps spécifique de l'antigène reconnu. La prolifération des lymphocytes B sécréteurs augmente la capacité de production des anticorps.

La mémoire immunologique

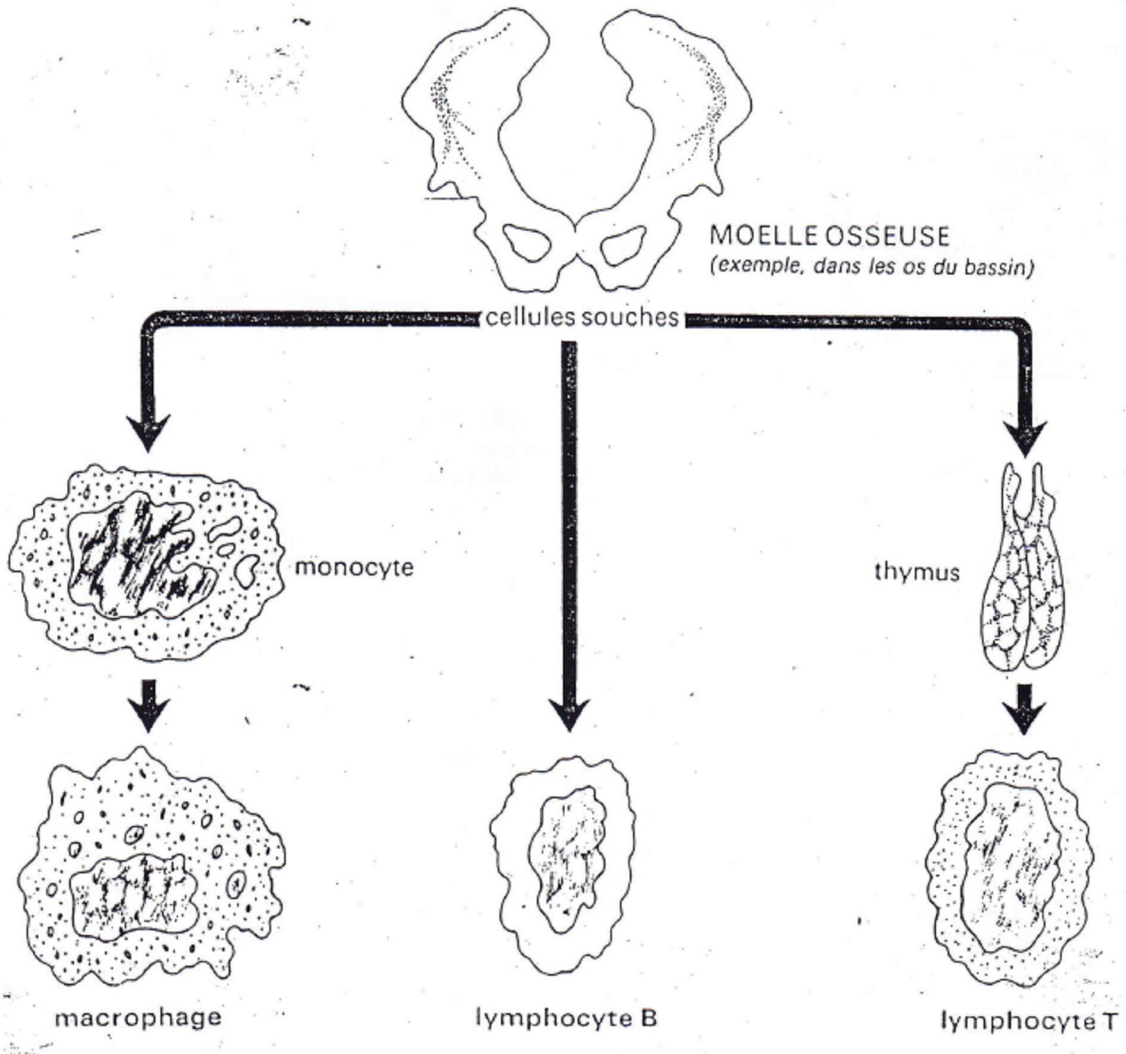
Un premier contact avec un antigène entraîne une réponse primaire. Elle comprend une période de latence au cours de laquelle l'antigène est capté par les macrophages et transféré aux lymphocytes, suivie d'une deuxième période où les lymphocytes B sécréteurs fabriquent une quantité maximale d'anticorps. Après l'infection, le taux d'anticorps décroît fortement jusqu'à un niveau résiduel. Un nouveau contact avec le même antigène entraîne une réponse secondaire: la production d'anticorps est plus rapide, plus forte et plus durable. Ceci traduit une véritable mémoire immunologique, liée à l'existence de cellules spécifiques: les lymphocytes B mémoire.

Bilan

RECONNAISSANCE DU NON-SOI ET DEFENSE DU SOI

Le système immunitaire a pour principale fonction de reconnaître le non-soi et de défendre le soi. La défense de l'organisme est d'abord assurée par l'immunité naturelle: c'est la phagocytose de l'agresseur par les granulocytes et les macrophages. En cas d'échec interviennent les réactions de l'immunité spécifique. Les lymphocytes sont capables de reconnaître les antigènes et de les éliminer au cours de la défense immunitaire. On distingue:
- la réaction humorale avec intervention des lymphocytes B différenciés en plasmocytes et sécrétant des anticorps;
- la réaction cellulaire avec les lymphocytes T capables de détruire les cellules étrangères.

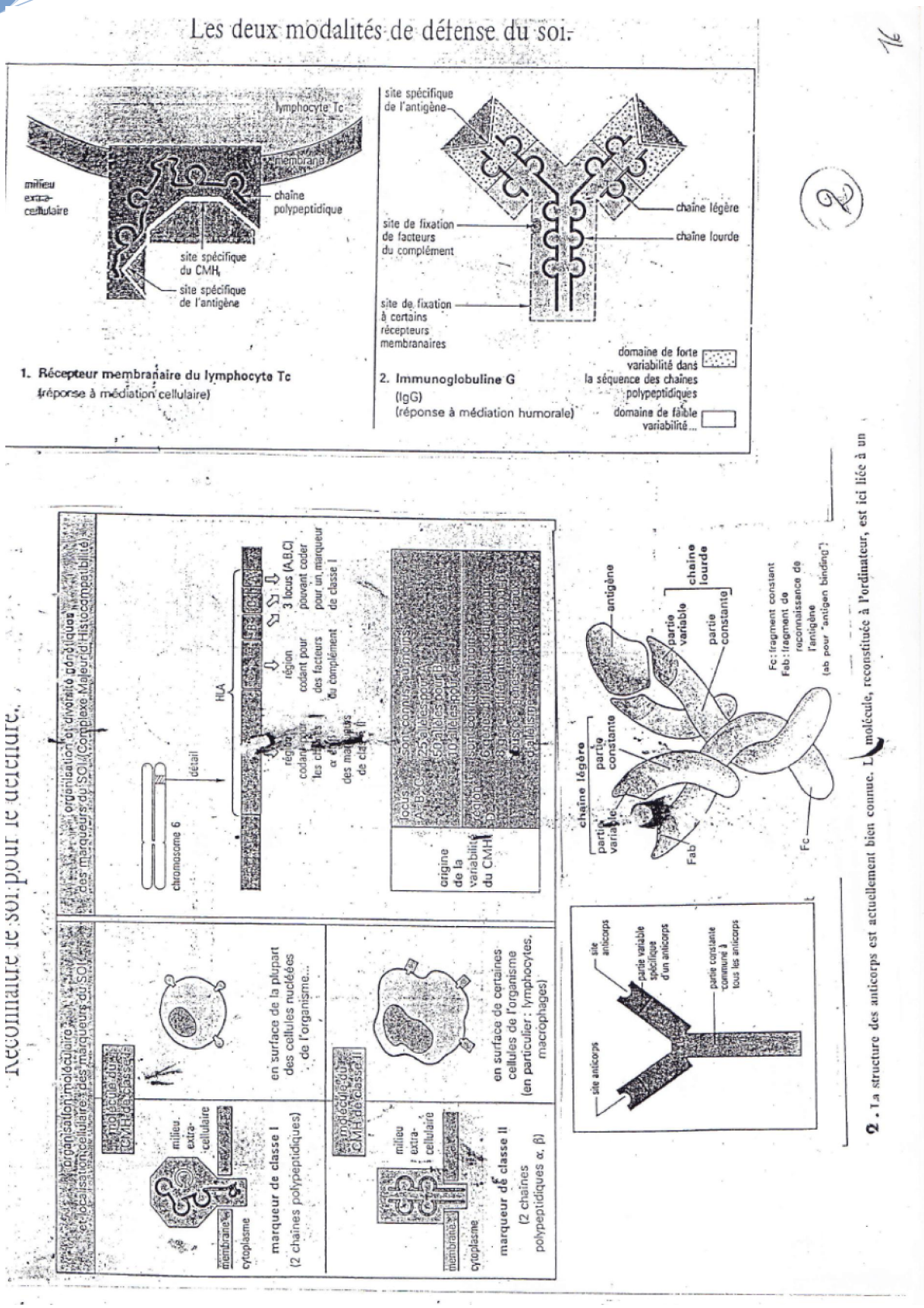
La connaissance de ces mécanismes immunitaires permet une meilleure réussite des transfusions, des greffes ou des transplantations. On peut renforcer les défenses immunitaires par la sérothérapie et la vaccination. Un mauvais fonctionnement du système immunitaire peut entraîner des troubles graves (allergies, maladies auto-immunes, déficits immunitaires,...).



1. La moelle rouge des os, localisée dans les cavités de l'os spongieux, contient les cellules souches des cellules sanguines.

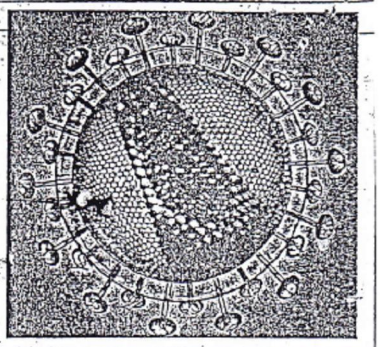
Aspect	Diamètre (en µm)	Nombre par millimètre cube de sang	Particularités
granulocytes	10 à 15	4 500 à 5 500	• sont appelés aussi polynucléaires en raison de leur noyau polylobé • traversent la paroi des capillaires • vivent de 1 à 3 jours • assurent la phagocytose des bactéries
lymphocytes	7 à 9 jusqu'à 15	lymphocytes B 600 à 800 lymphocytes T 1 200 à 1 500	• activés, se transforment en plasmocytes, sécréteurs d'anticorps • nombreux types aux fonctions diverses
monocytes	15 à 30	300 à 600	• grosses cellules à noyau présentant une encoche • doués de phagocytose • quittent le sang et se transforment dans les tissus en macrophages qui, par phagocytose, sont les grands « éboueurs » de l'organisme.

2. Principales caractéristiques des différents leucocytes.



2. La structure des anticorps est actuellement bien connue. La molécule, reconstituée à l'ordinateur, est ici liée à un

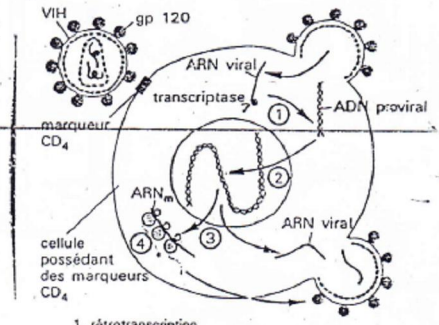
Nom : VIH (Virus de l'Immunodéficience Humaine)
Deux types de VIH, différant par leur génome, ont été isolés à l'Institut Pasteur : le VIH_1 en 1983, le VIH_2 en 1986.
Dimensions : 120 nm de diamètre.
Résistance : virus relativement fragile, détruit par la chaleur à 60 °C et par les antiseptiques usuels (alcool, eau de Javel...).
Cible : le VIH infecte surtout les lymphocytes T_4 et les macrophages ; il peut aussi infecter certaines cellules nerveuses et des cellules intestinales.



1. Principales caractéristiques du virus du SIDA.

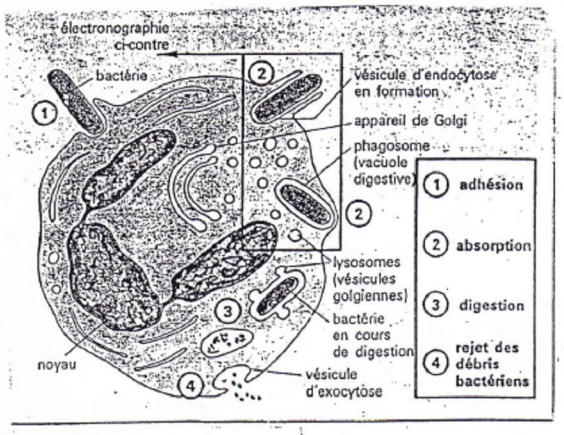
Le VIH est un virus à ARN possédant une enzyme (la transcriptase inverse ou rétrotranscriptase) qui permet de copier l'information génétique du virus sous forme d'ADN dès qu'il a pénétré une cellule cible. Cette copie, ou provirus, prend place dans un chromosome de la cellule cible, échappant ainsi aux défenses immunitaires.

Le provirus peut soit rester « silencieux » dans la cellule pendant de nombreuses années, soit commander la production, à une vitesse variable, de nouveaux virus qui sont expulsés de la cellule cible. Sur la photographie, des virus du SIDA (particules bleues) émergent à la surface d'un lymphocyte T_4.



1. rétrotranscription
2. insertion de l'ADN proviral dans l'ADN de la cellule
3. transcription (donnant ARN viral et ARN messager)
4. traduction des protéines virales

2. Pourquoi dit-on que le VIH est un rétrovirus ?



– Détail de la phagocytose

Les dysfonctionnements du système immunitaire.

- Schéma général de l'allergie.

■ 5. Les mastocytes : leur capacité à fixer les IgE et à libérer des médiateurs chimiques est à l'origine du processus allergique [MET : × 9 000].

Exercices sur le système immunitaire (*uniquement en Terminale* D)

Exercice 1

1. Quels sont les composantes du VIH ?
2. Comment le VIH pénètre-t-il dans les lymphocytes ?
3. Pourquoi la transcriptase inverse est-elle indispensable au VIH ?
4. Quel nom donne-t-on au processus par lequel l'ARNm permet la fabrication des protéines virales ?
5. Quelle est la conséquence de la libération de particules virales dans la cellule hôte ?
6. Comment le VIH est-il capable d'échapper au système immunitaire de la cellule hôte ?
7. Comment le cycle de reproduction du virion pourrait être interrompu ?
8. Pourquoi dit-on que le VIH est un rétrovirus ?
9. Pourquoi le VIH attaque-t-il plutôt les T_4 que d'autres cellules de l'immunité ?
10. L'attaque et la disparition des T_4 par le VIH provoquent l'effondrement de toutes les défenses immunitaires. Comment expliquez-vous ce phénomène ?
11. Quels sont l'origine et le lieu de maturation des différents types de lymphocytes ?
12. Quels sont les récepteurs correspondant à chaque type de lymphocytes ?
13. Qu'est-ce qui différencie les LB des LT.
14. Citez les deux types de réponses Immunitaires spécifiques.
15. Citez les différentes classes d'Immunoglobulines.

Exercice n°2

On pratique sur 3 lots de souris les traitements indiqués par le tableau ci-dessous.

Souris	Traitement effectué	Résultats
Lot A	Irradiation et greffe de moelle osseuse	Production de lymphocytes B et de LT
Lot B	Thymectomie et irradiation puis greffe de la moelle osseuse	Production de LB seulement
Lot C	Thymectomie et irradiation puis greffe de thymus	Pas de production de LB ni de LT

1. Quels sont les organes lymphoïdes centraux ou primaires du S.I. ? citez 3 organes lymphoïdes secondaires.
2. En vous appuyant sur les résultats des expériences, indiquez les rôles de la moelle osseuse et du thymus.
3. Quels sont les différents types de LT et leur rôle ?

Exercice 3

Plusieurs expériences ont été réalisées sur des individus volontaires.

Un fragment de peau d'un donneur A est greffé sur un receveur B ; le greffon est rejeté au bout d'une dizaine de jours.

Ultérieurement, on greffe de nouveau sur B un fragment de peau de A ; le rejet du greffon se fait très rapidement (4 jours).

Si en même temps, on greffe sur B des fragments de peau d'individus C, D, E, le rejet se fait au bout d'un temps variable mais plus long (9 à 12 jrs).

Expliquez ces résultats.

Exercice 4

On se propose d'étudier :

- Le rôle respectif de la moelle osseuse et du thymus dans la production des lymphocytes.
- Certains aspects de l'immunité spécifique.

1. Le tableau suivant récapitule les traitements pratiqués sur trois lots de souris A, B et C ainsi que ses conséquences.

Lots de souris	Traitements effectués	Conséquences
A	Destruction des cellules souches de la moelle osseuse par irradiation aux rayons X	Pas de production des lymphocytes B et T
B	Ablation du thymus + irradiation + greffe de la moelle osseuse	Production des lymphocytes B seulement
C	Greffe du thymus à une souris thymectomisée	Production des lymphocytes B et T

Analysez ces résultats afin de déduire le rôle respectif de la moelle osseuse et du thymus dans la production des lymphocytes.

2. Après traitement, on réalise sur les deux lots de souris B et C l'expérimentation indiquée dans le tableau suivant :

Expérimentation	Tests réalisés après 15 jours		Résultats des tests
Injection des globules rouges du mouton (GRM) à toutes les souris des lots B et C	1er test	Sérum de souris B + GRM	Pas d'agglutination des GRM
	2ème test	Sérum de souris C + GRM	Agglutination des GRM
	3ème test	Sérum de souris C + GRP (globules rouges de poule)	Pas d'agglutination des GRP
	4ème test	Sérum de souris C + GRM + Solution du complément	Lyse des GRM

a. Analysez le résultat du 1er et du 2ème test afin de déduire la condition nécessaire pour la synthèse des anticorps anti-GRM.
b. Analysez le résultat du 3ème test afin de déduire une propriété de l'immunité en question.
c. Expliquez le résultat du 4ème test.

Exercice 5

Le virus de la grippe infecte des cellules de l'appareil respiratoire dans lesquelles il se multiplie.
Le système immunitaire peut réagir à cette infection en organisant la destruction des cellules infectées. Ceci permet d'éliminer le virus infectieux et d'immuniser l'organisme pendant quelque temps. Mais contrairement à d'autres maladies virales telles que la rougeole qui ne récidive pas, la grippe peut affecter les mêmes personnes pendant des années successives. C'est pourquoi, on conseille de se vacciner chaque année.

1- a- Préciser ce qu'est un vaccin
b- Expliquez brièvement comment le vaccin agit sur le système immunitaire de la personne vaccinée.

2- Lorsqu'on vaccine contre la grippe une population de personnes avec un vaccin convenablement préparé, en utilisant une souche virale bien conservée depuis quelques années, le résultat est inefficace : les individus vaccinés peuvent attraper la grippe. Quelle hypothèse proposez-vous pour expliquer ce résultat ?

3- On prélève des lymphocytes à partir du sang d'un individu A vacciné contre la grippe depuis un mois. Ces lymphocytes sont mis en présence de cellules humaines préalablement infectées par le même type de virus, les cellules infectées proviennent de trois individus.
« L'individu A, déjà cité ; un individu B ; un individu C qui est vrai jumeau de A »

Expériences Résultats

1- Lymphocytes de A + cellules infectées de A = Les cellules infectées sont détruites
2- Lymphocytes de A + cellules infectées de B = Les cellules infectées ne sont pas détruites
3- Lymphocytes de A + cellules infectées de C = Les cellules infectées sont détruites
4- Lymphocytes de A + cellules de A, infectées par un autre virus = Les cellules infectées ne sont pas détruites

a- Indiquez, en justifiant votre réponse, le type de réaction immunitaire mis en jeu dans ces expériences
b- Expliquez pourquoi il y a destruction des cellules infectées dans les expériences 1 et 3 mais absence de destruction dans l'expérience 2 et 4.
c- En utilisant vos connaissances, indiquez les mécanismes de la phase inductrice et de la phase effectrice de cette immunité.

Exercice 6

Alice est actuellement élève en classe de 3ème dans un collège. Elle pèse 45,6 kg pour 1,63 m. Depuis 4 mois, Alice a perdu 3,5 kg alors que son appétit ne cessait d'augmenter. Elle a remarqué aussi qu'elle avait très souvent soif, qu'elle buvait beaucoup et que par conséquent elle urinait beaucoup. Une analyse de sang a révélé une glycémie à jeun de 3,52 g/L et une insulinémie de 45 microgrammes d'insuline par mL de sang, 1 heure après l'ingestion de 100 grammes de glucose. Son médecin a diagnostiqué un diabète.

Document 1 : Une découverte scientifique majeure

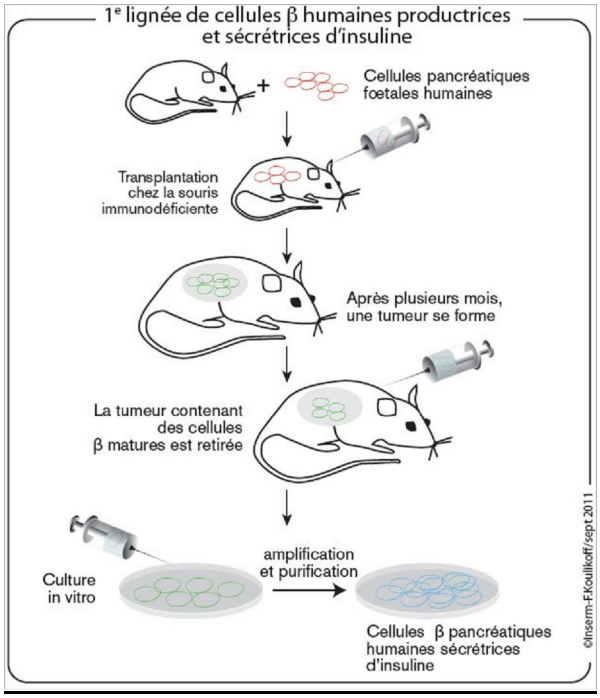
La destruction des cellules β du pancréas conduit au diabète de type 1 tandis que la perturbation du fonctionnement de ces cellules conduit au diabète de type 2.Ces maladies touchent plus de trois millions de personnes en France. Depuis 30 ans, les chercheurs du monde entier tentaient sans succès de reproduire ces cellules β en laboratoire pour les étudier et comprendre leurs dysfonctionnements.

C'est chose faite en septembre 2011.

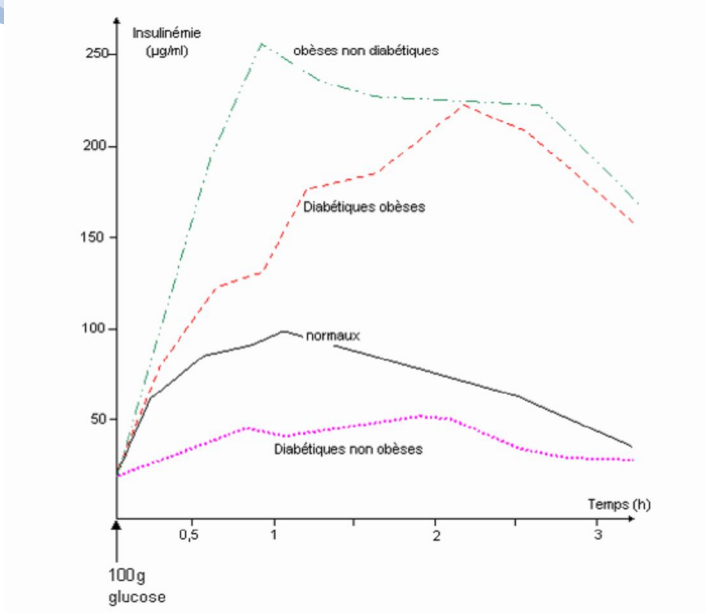
Des chercheurs de l'INSERM et du CNRS viennent de générer les premières lignées de cellules β pancréatiques humaines fonctionnelles productrices et sécrétrices d'insuline.

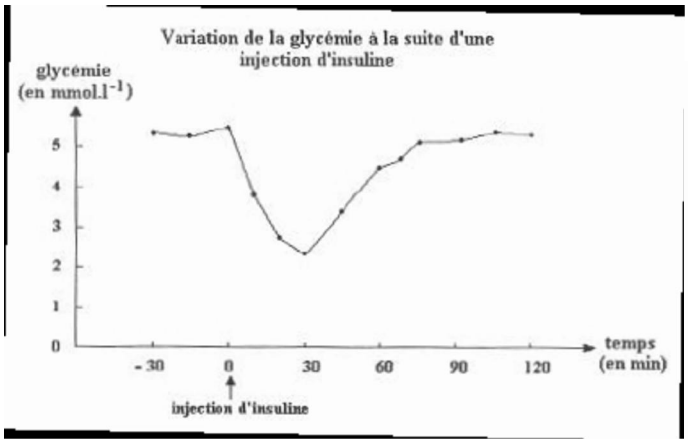
Pour ce faire, les chercheurs ont recouru à un protocole complexe : ils ont injecté dans un fragment de pancréas foetal humain un gène "immortalisant", qui donne un avantage sélectif aux cellules β qui vont alors se multiplier sans jamais mourir. Le tissu pancréatique alors obtenu a été transplanté à une souris immunodéficiente permettant le développement de ces cellules jusqu'à obtenir des cellules β matures. Après plusieurs mois, l'amas de cellules formées est retiré. Ces cellules sont amplifiées en culture et des lignées de cellules β stables obtenues.

(Source : INSERM, septembre 2011)

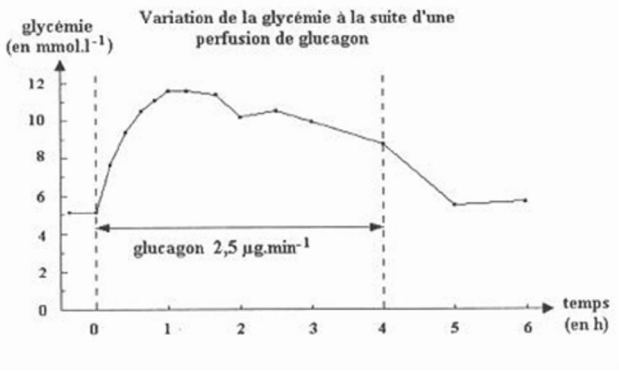


Document 2 Variation de l'insulinémie (taux d'insuline dans le sang) suite à un test d'hyperglycémie provoquée (Williams et Porte 1974).





Document 3 : Mesures de glycémie chez un sujet sain suite à une injection d'insuline et à une perfusion de Glucagon



Document 4 : Comment diagnostiquer les deux types de diabètes

Diabète de type 1

Profil clinique	Diagnostic du diabète de type 1
• Sujet jeune (<20ans) • Pas d'antécédent familial de diabète • Clinique d'apparition brutale • Possibilités d'autres maladies auto-immunes	• Glycémie à jeun à 2 reprises > 1,26 g/L (7mmol/L) • Glycosurie et cétonurie • Examens biologiques complémentaires : ◦ Recherche d'auto-anticorps : anti GAD, anti IA2, anti-cellules d'îlots de Langerhans, anti-insuline

GAD (Glutamate acide décarboxylase) : enzyme exprimée dans le pancréas IA2= phosphatase membranaire des cellules Bêta du pancréas Anticorps anti insuline : retrouvés chez les enfants surtout Glycosurie et cétonurie= élimination de glucose et de molécules cétoniques dans les urines

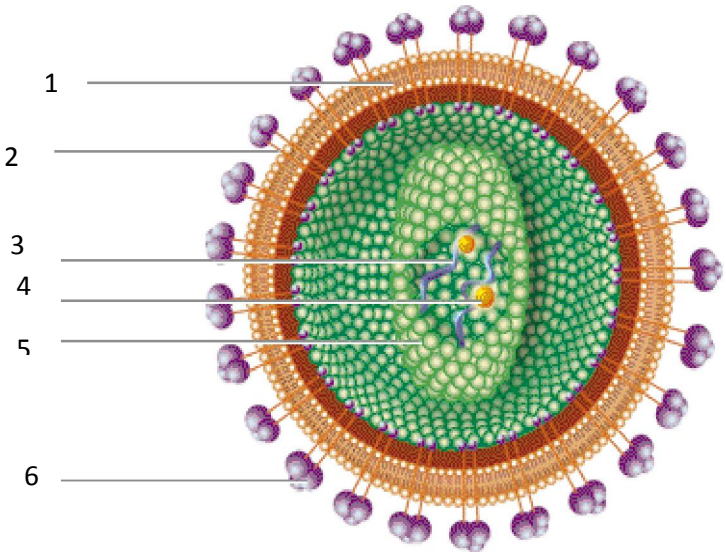
Diabète de type 2

Diabète de type 2 **Profil clinique**	**Diagnostic du diabète de type 1**
• Surcharge pondérale (IMC > 25) • Répartition abdominale des graisses (tour de taille >80cm chez la femme et >94cm chez l'homme) • Sédentarité ; Age > 40 ans • Antécédents familiaux de diabète de type 2	• Glycémie à jeun à 2 reprises > 1,26g/L (7mmol/L) • Diagnostic étiologique : âge > 40ans, IMC > 27, cétonurie nulle ou faible, antécédents familiaux de diabète de type 2

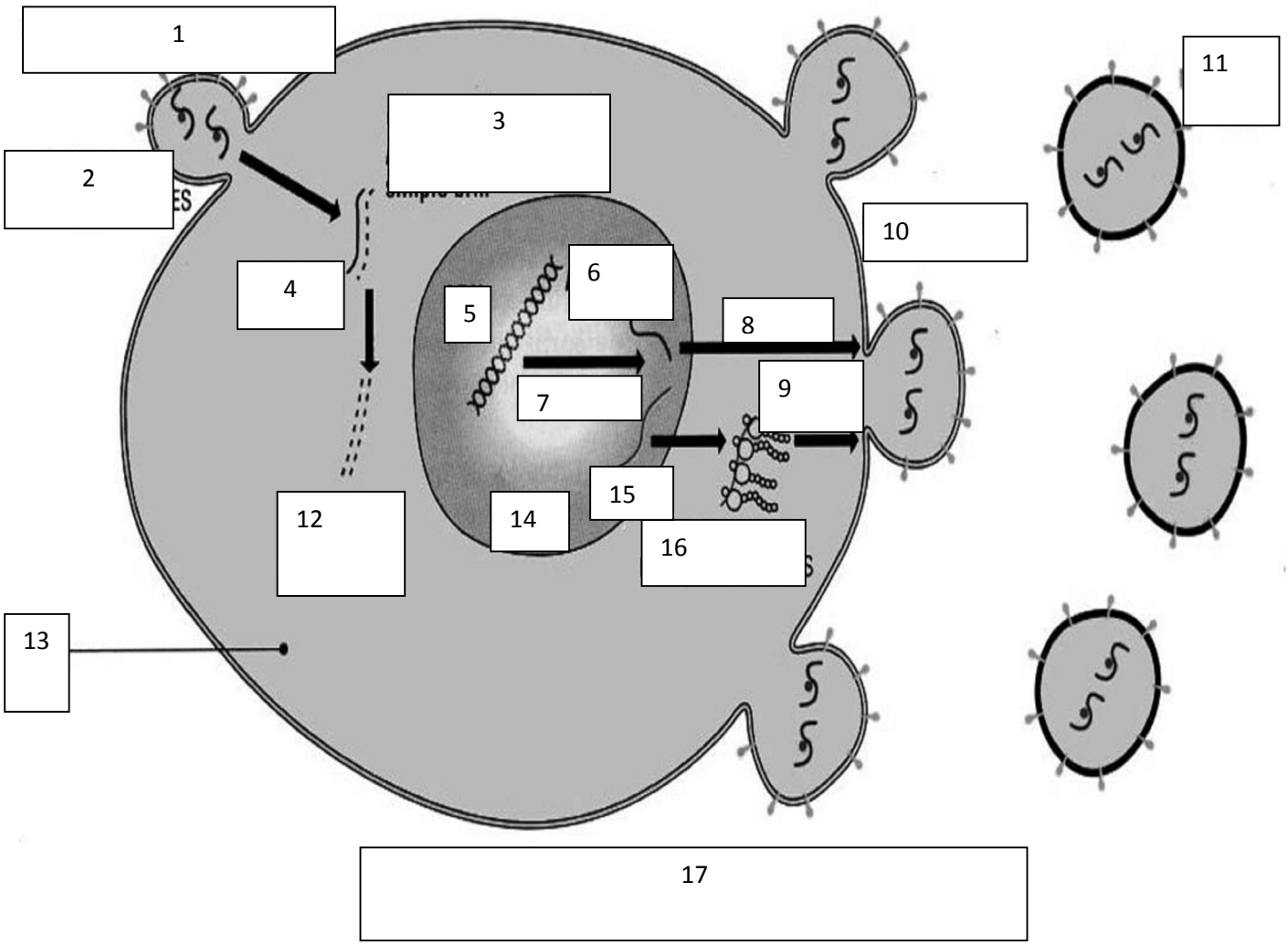
1) analyser les différents documents.

2) Rôle du pancréas et traitements de diabète

Exercice 7 Annoter les structures suivantes :



7



Corrigés

1) Ce sont : les protéines virales, l'ARN viral, la transcriptase inverse, l'enveloppe lipidique, la protéine d'enveloppe.

2) Le VIH fusionne sa membrane avec celle du lymphocyte puis déverse son contenu dans le lymphocyte.

3) C'est la transcriptase inverse qui permet à l'ARN viral d'être copié en ADN viral qui va intégrer le génome de la cellule hôte.

4) La traduction

5) L'éclatement de la cellule hôte

6) Le VIH dès sa pénétration, confond son génome avec celui de la cellule hôte. Ce qui lui permet d'échapper au système immunitaire.

7) Le cycle du virion pourrait être interrompu en :

- *bloquant l'activité de la transcriptase inverse ;*
- *empêchant le virus de fusionner avec la cellule hôte ;*
- *empêchant la pénétration du virus.*

8) Parce que son matériel génétique est l'ARN qui est transcrit en ADN par la transcriptase inverse.

9) Parce que les T_4 sont dotés de récepteurs spécifiques les CD_4 des protéines du VIH (GP_{120} ; GP_{40}).

10) Parce que les T_4 ont pour fonction de coordonner l'ensemble des réponses immunitaires, en somme, elles constituent le poste de commandement.

11) Les lymphocytes B prennent naissance dans la moelle osseuse rouge à partir des cellules souches pluripotentes et subissent leur maturation dans la moelle osseuse rouge. Les LT prennent naissance dans la moelle osseuse rouge et subissent leur maturation dans le thymus.

12) Les récepteurs des LB sont les BCR et les récepteurs des LT sont les TCR.

13) Tableau de comparaison LT et LB

Lymphocyte B	***Lymphocyte T***
- *Marqueur CMH II*	- *Marqueur CMH I*
- *Récepteur BCR*	- *Récepteur TCR*
- *Production d'anticorps, d'antitoxines*	- *Production de cytotoxine*
- *Réponse immunitaire humorale*	- *Réponse immunitaire cellulaire*

14) Les deux types de réponses immunitaires sont : réponse immunitaire à médiation humorale et réponse immunitaire à médiation cellulaire.

15) Les classes d'immunoglobulines sont : M ; A ; G ; D ; E.

Exercice 2

1) Les organes lymphoïdes centraux sont : la moelle osseuse et le thymus. Les organes lymphoïdes secondaires ou périphériques sont : la rate, les muqueuses, les ganglions lymphatiques…

2) La moelle osseuse est le lieu de production des LB et des LT et le lieu de maturation des LB. Le Thymus est le lieu de maturation des LT.

3) Différents types de LT

- *T_4 ou helpers ou auxiliaires dont la membrane présente des marqueurs CD_4 et elles produisent de nombreux cytokines ou interférons ou interleukines qui activent les autres types de cellules immunitaires.*
- *Les T_8 cytotoxiques qui lisent les antigènes.*
- *Les T_8 suppresseurs qui régulent la réponse immunitaire en freinant l'action des LB et des T_4 après danger.*
- *Les LT killers : ils lysent les cellules infectées ou cancéreuses.*

Exercice 3

Réponse primaire lors du premier contact : phase d'induction, amplification, phase effectrice (production d'anticorps IgE ou l'activation des LT).

Réponse secondaire : utilisation des LT présent (et même des anticorps circulants), lors du second contact.

La spécificité de la mémoire immunitaire.

Exercice 4

1. 0,25 point x 6

Lots des souris	Analyse	Déduction
A	Suite à la destruction de la moelle osseuse par irradiation il n'y a pas production des lymphocytes B et T	Les cellules souches nécessaires pour la formation des lymphocytes B et T sont localisées au niveau de la moelle osseuse
B	La greffe de la moelle osseuse à une souris irradiée entraine la production des lymphocytes B seulement.	La moelle osseuse est le lieu de maturation des lymphocytes B
C	La greffe du thymus à une souris thymectomisée entraine la production des lymphocytes T et B.	Le thymus est le lieu de maturation des lymphocytes T

2.

a. 0,25 point x 4

Tests réalisés	Analyse	Déduction
1er test	L'absence d'agglutination des GRM prouve que le sérum prélevé de la souris B ne contient pas des anticorps anti-GRM et par suite les LB seuls ne se différencient pas en plasmocytes	La synthèse des anticorps nécessite une coopération cellulaire entre les lymphocytes B et T_4 :LT_4 sécrète une molécule d'activation IL2 qui stimule la différenciation des LB en plasmocytes sécréteurs d'anticorps anti-GRM.
2ème test	L'agglutination des GRM prouve que le sérum prélevé de la souris C contient des anticorps anti-GRM et par suite les LB en présence des LT_4 se différencient en plasmocytes	

b- 0,25 point x 2

Test réalisé	Analyse	Déduction
3ème test	L'absence d'agglutination des GRP prouve que le sérum prélevé de la souris C ne contient pas des anticorps anti-GRP.	Il s'agit d'une immunité spécifique

c- 0,25 point x 4

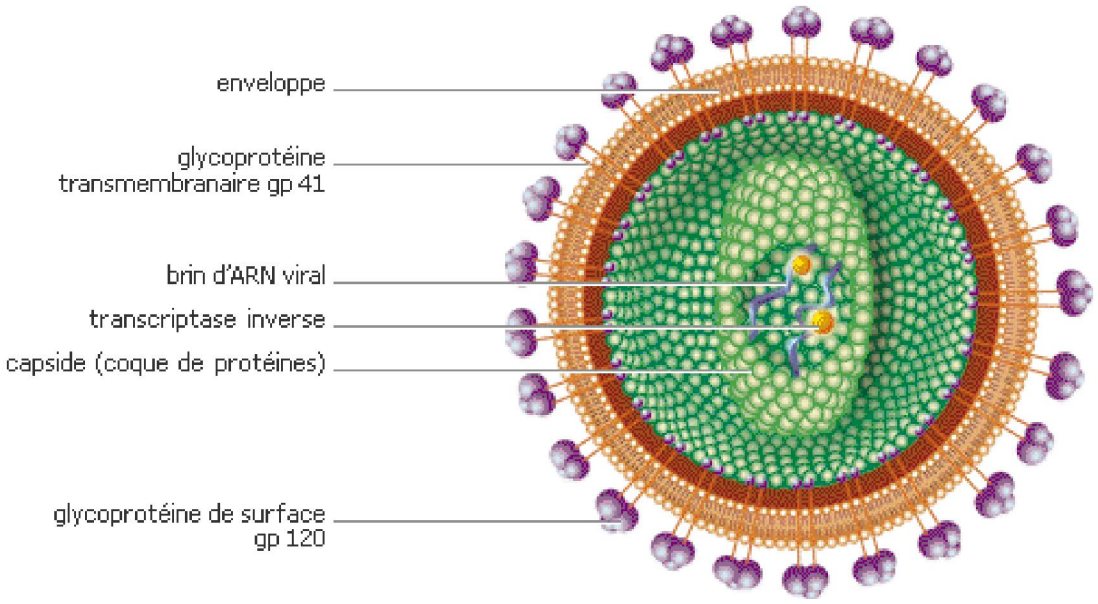
- Neutralisation des GRM par les anticorps anti-GRM (formation du complexe immun).
- Fixation du complément sur le complexe immun
- Activation du complément (ensemble des protéines plasmatiques de nature enzymatique) par le complexe immun.
- Libération des protéines du complément qui s'intègrent à la membrane de GRM et y forment des pores entrainant sa lyse.

Exercice 5

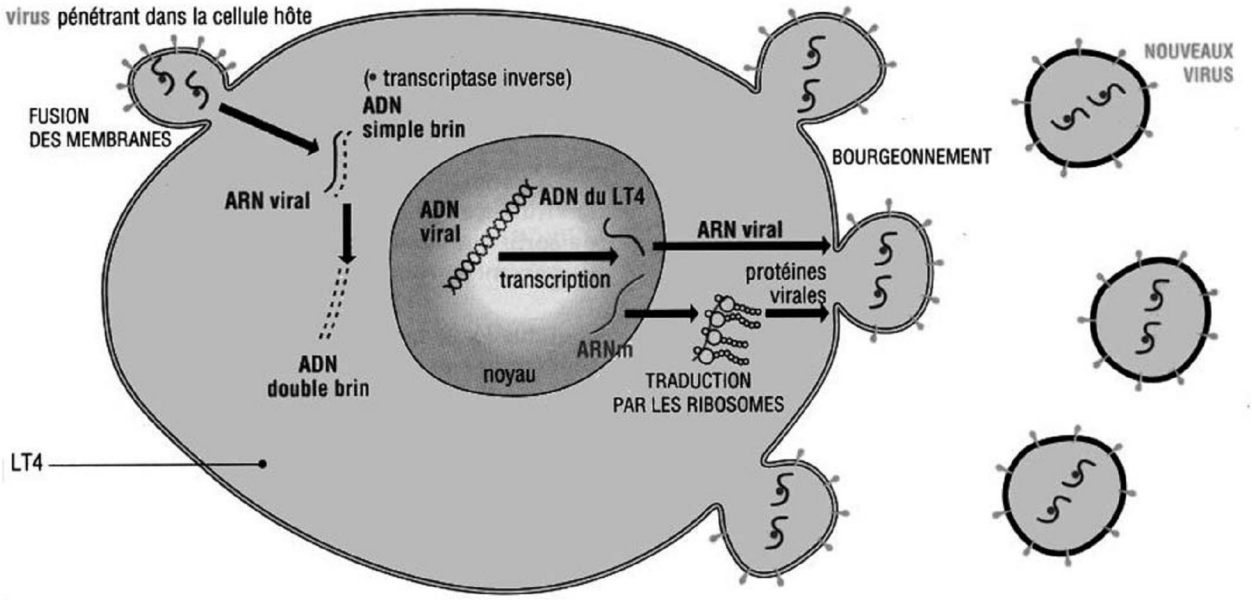
Exercice 6

Critères	Indicateurs (éléments de correction)
Éléments scientifiques issus du document (complets, pertinents, utilisés à bon escient en accord avec le sujet…)	• Doc1 : ◦ Le diabète s'explique par un dysfonctionnement des cellules β du pancréas ◦ La découverte des chercheurs va permettre la recherche sur le fonctionnement des cellules β et peut être de mettre au point de nouveaux traitements. • Doc2 : ◦ Le type de réponses au test d'hyperglycémie permet de déterminer le type de diabète ◦ Alice présente un diabète « non obèse ». • Doc3 : ◦ Les injections d'insuline permettent de faire baisser la glycémie (le glucagon a l'effet inverse). ◦ Elles peuvent constituer un traitement possible des hyperglycémies. • Doc4 : ◦ L'étude du profil clinique d'Alice (symptômes décrits) permet d'affirmer qu'elle souffre d'un diabète de type 1.
Éléments scientifiques issus des connaissances acquises	• Fonction endocrine du pancréas avec les cellules β qui fabriquent l'insuline • Deux types de diabètes = DID et DNID et leur évolution au niveau individuel et des sociétés • Traitements possibles : greffe de pancréas, ou de cellules ; protection des cellules β contre les auto-anticorps
Éléments de démarche (L'élève présente la démarche qu'il a choisie pour répondre à la problématique, dans un texte soigné (orthographe, syntaxe), cohérent (structuré par des connecteurs logiques), et mettant clairement en évidence les relations entre les divers arguments utilisés).	• Le diagnostic de diabète est justifié par le lien entre les symptômes et le manque d'insuline • Le diagnostic est précisé en lien avec les symptômes (diabète de type 1). • Le traitement proposé dans l'immédiat =injections d'insuline après les repas. • Traitement dans un avenir plus lointain : greffe de pancréas, ou de cellules β. • Mise au point éventuelle de nouveaux traitements grâce aux lignées de cellules in vitro (par exemple protection des cellules β contre les auto-anticorps).

Exercice 7



Structure du VIH



Mécanisme d'infection et de duplication du VIH