



SVT

TCD



# **SVT**

# **Terminale CD**



PREMIERE PARTIE : REPRODUCTION DE L'INFORMATION GENETIQUE.....	1
LA CYTOLOGIE .....	1
CHAPITRE 1 : ORGANISATION GENERALE DE LA CELLULE.....	1
I- Les cellules.....	1
II-Etude de la cellule au microscope.....	1
A- La cellule végétale .....	1
A <sub>2</sub> .cellules de la feuille de mousse .....	2
B - La cellule animale .....	3
CHAPITRE 2 : LOCALISATION, NATURE ET TRANSMISSION DE L'INFORMATION GENETIQUE .....	8
I- La localisation de l'information génétique .....	8
I.1-L'importance du noyau dans la cellule .....	8
I.2-Localisation des acides nucléiques .....	8
I.3-Nature et support de l'information génétique .....	10
II-La structure des acides nucléiques .....	11
II.1-La structure de l'ADN.....	11
II.2-La structure de l'ARN .....	13
II.3-Etude comparée entre les acides nucléiques : ADN et ARN.....	14
III-la transmission de l'information génétique chez les êtres vivants .....	14
III.1-Le chromosome .....	14
IV-La mitose .....	17
V- La transmission de l'information au cours du cycle cellulaire.....	20
CHAPITRE 3 : EXPRESSION DE L'INFORMATION GENETIQUE.....	23
I- Transcription .....	23
I1- Les facteurs de la transcription.....	24
I2- Le mécanisme de transcription .....	24
II- Traduction .....	26
III1- Les facteurs de la traduction .....	26
III2- le déroulement de la traduction .....	26
III-Les mutations.....	29
CHAPITRE 4 : LE BRASSAGE DE L'INFORMATION GENETIQUE ET LE CYCLE DE DEVELOPPEMENT .....	31
I- Le brassage de l'information génétique lors de la reproduction.....	31
I <sub>1</sub> .La méiose .....	31
II- Le brassage de l'information génétique a la fécondation .....	37
DEUXIEME PARTIE : REPRODUCTION SEXUEE ET HEREDITE.....	41
LA REPRODUCTION CHEZ LES VEGETAUX .....	41
GENERALITES .....	41
CHAPITRE 5 : LA REPRODUCTION SEXUEE CHEZ LES SPERMAPHYTES .....	42
I- Cas des angiospermes.....	42
a)Définition .....	42
II- La séparation de sexe chez les spermaphytes ou plantes à fleurs.....	44
A-Les organes reproducteurs .....	45
B-Les organes reproducteurs femelles .....	46

C-La fécondation et la formation de la graine à la fécondation .....	49
III- Les différents types de graines.....	51
CONCLUSION GENERALE .....	57
CHAPITRE 6 : LA REPRODUCTION HUMAINE .....	57
I-L'appareil reproducteur ou génital .....	58
A) l'appareil reproducteur mâle .....	58
B) L'appareil reproducteur femelle.....	60
C-La gamétopénèse.....	65
D- Les cycles sexuels.....	69
CHAPITRE 7 : DE LA FECONDATION A LA NAISSANCE.....	76
ET LA LACTATION.....	76
I- La fécondation .....	77
II- La gestation ou grossesse .....	82
HEREDITE.....	86
CHAPITRE 8 : LE MONOHYBRIDISME .....	87
I-Le monohybridisme autosomale avec dominance parfaite .....	87
II. Le monohybridisme à dominance intermédiaire ou codominance .....	91
CHAPITRE 9 : LE DIHYBRIDISME .....	93
I-Le dihybridisme a gène indépendants ou gène non lies.....	93
II-Le dihybridisme avec linkage ou liaison entre les différents gènes .....	99
CHAPITRE 10 : L'HEREDITE HUMAINE OU GENETIQUE .....	106
Introduction.....	106
I-Les problèmes de la génétique humaine et méthodes d'étude en génétique humaine .....	106
II-Etude de quelques exemples d'hérédité humaine.....	107
III-Les anomalies chromosomiques .....	111
IV-Travaux dirigés sur les spermaphytes .....	112
TROISIEME PARTIE : LA COMMUNICATION DANS L'ORGANISME .....	117
CHAPITRE 11 : LA COMMUNICATION NERVEUSE .....	117
I-L'organisation du système nerveux et ses propriétés .....	117
II-Les propriétés du tissu nerveux .....	121
Conclusion .....	124
CHAPITRE 12 : COMMUNICATION HORMONALE .....	127
Bibliographie.....	134

## **PREMIERE PARTIE : REPRODUCTION DE L'INFORMATION GENETIQUE**

### **LA CYTOLOGIE**

#### **CHAPITRE 1 : ORGANISATION GENERALE DE LA CELLULE**

##### **Introduction**

L'étude d'un organisme montre qu'il est constitué de nombreuses unités structurales appelées cellules. Chaque cellule, reconnue comme la plus petite portion d'organisme représente l'unité minimale capable de remplir toutes les fonctions de la matière vivante (nutrition, reproduction, relation, etc.). Ainsi, la cellule apparaît non seulement comme une unité fonctionnelle et structurale mais aussi comme une unité fondamentale de la matière vivante. Certains organismes comme l'Amibe et la Paramécie sont formés d'une seule cellule et mènent une vie indépendante. Ces Organismes sont dits organismes Unicellulaires. Il s'agit des **protozoaires** (chez les animaux) ou **protophytes** (chez les végétaux). D'autres, dits pluricellulaires sont formés de plusieurs cellules et sont appelés des **métazoaires** (chez les animaux) et **protophytes** (chez les végétaux).

##### **I- Les cellules**

La cellule est l'unité de base de tous les êtres vivants. Par définition, elle est l'unité structurale et fonctionnelle de tous les êtres vivants.

###### **I<sub>1</sub>- Les organismes unicellulaires et pluricellulaires**

###### **I<sub>2</sub>- Les organismes unicellulaires**

Ce sont des êtres vivants composés d'une seule cellule. Ils sont généralement microscopiques. C'est le cas des bactéries, des amibes, ou encore des paraméciés.

###### **I<sub>2</sub>- Les organismes pluricellulaires**

Ce sont des Organismes faits des centaines, de milliers ou de millions de cellules. Leurs cellules sont réunies en groupes spécialisés dans certaines tâches ou rôles. C'est à dire les cellules caractérisées par la même fonction et la même structure se rassemblent pour former des unités supérieures appelées tissus, les tissus ayant la même fonction ou structure se rassemblent à leur tour en organe et les organes de même fonction se rassemblent en appareil.

###### **Exemple :**

- les globules rouges (hématies), les globules blancs (leucocytes) constituant le sang sont des cellules ;
- le sang est un tissu
- les testicules sont des organes
- l'ensemble testicules plus les organes génitaux annexes (pénis, canal déférent, épididyme,...) forme l'appareil génital male.

La plupart des plantes, des champignons et tous les animaux sont des organismes pluricellulaires ou Métazoaires ou encore Métaphyses.

**Exemple :** le corps humain est constitué d'environ  **$10^{17}$  cellules**. C'est donc un organisme pluricellulaire ou Métazoaire. Ces cellules proviennent de la cellule-œuf résultant de la fécondation. Elles présentent des caractères communs dans leur structure, leur fonctionnement et leur reproduction. On peut avoir des cellules animales et des cellules végétales. Toutes ces cellules sont de très petite taille, variées et ne peuvent être observées qu'à l'aide d'un microscope optique (ou photonique) ou électronique.

##### **II-Etude de la cellule au microscope**

###### **II<sub>1</sub> –Au microscope optique ou photonique**

###### **A- La cellule végétale**

###### **A<sub>1</sub>-Cellule de l'épiderme d'oignon**

###### **a) Observation sans coloration**

Prélevons un fragment de l'épiderme d'oignon sur la face interne de bulbe d'oignon et montons-le entre la lame et la lamelle dans une goutte de liquide. On observe des cellules limitées par une membrane constituée de cellulose appelée membrane cellulosique. Cette

membrane délimite la cellule avec ses voisines. Elle est percée par des pores. Une lamelle moyenne interne sépare cette membrane en deux(2).

A l'intérieur de la cellule, on observe un noyau limité par une membrane nucléaire. Le noyau baigne dans le Cytoplasme. A l'intérieur du noyau, on observe le nucléoplasme dans lequel baignent la chromatine et 1 ou 2 nucléoles.

### **b) Observation après coloration par le rouge neutre (coloration vitale)**

Deux fragments d'épiderme d'oignon sont placés dans une solution de rouge neutre à 0,5g/l. Après rinçage à l'eau, l'un est monté entre la lame et la lamelle dans une goutte d'eau distillée et l'autre dans une solution de saccharose à 40%.

- Sur le premier fragment, on observe une cavité centrale colorée en rouge, c'est la vacuole limitée par le cytoplasme non coloré. Le 2<sup>eme</sup>fragment présente des cellules ayant leurs vacuoles rétractées et bordées par une mince couche cytoplasmique : la membrane cytoplasmique. Dans le cytoplasme apparaissent des sous unités appelées organites (mitochondries sous forme de bâtonnet, appareils de Golgi, etc.).

### **A2\_cellules de la feuille de mousse**

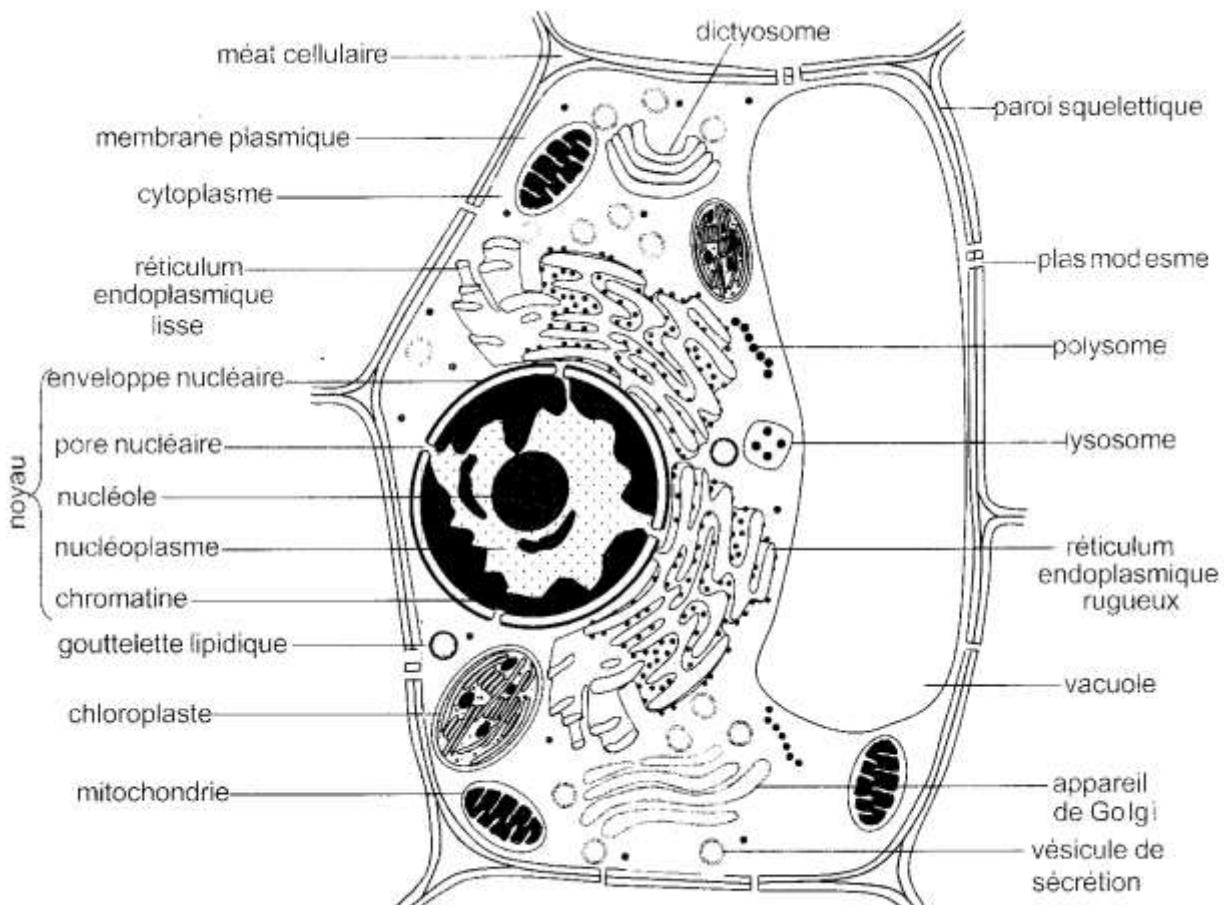
Ce sont des cellules identiques aux cellules d'épiderme d'oignon, mais on y observe en plus des organites précités, des organites verts appelés **chloroplastes**. Ces organites produisent un pigment vert appelé **chlorophylle** qui joue un rôle important dans la **photosynthèse**.

### **Conclusion**

L'observation de la cellule végétale au microscope optique révèle qu'elle est constituée des éléments suivants :

- Une membrane cellulosique ;
- Une membrane cytoplasmique ;
- Un cytoplasme ;
- Des grandes vacuoles ;
- Un noyau contenant la chromatine et 1 ou 2 nucléoles ;
- Des plastes (chloroplastes, etc.).

Des techniques plus fines permettent de mettre en évidence la présence de l'appareil de Golgi au voisinage du noyau et de mitochondries.



Ultrastructure d'une cellule végétale

## B - La cellule animale

### B<sub>1</sub>- La cellule de l'épiderme buccal

Dans le règne animal, il existe des organismes pluricellulaires (ou métazoaires) et des organismes Unicellulaires (Protozoaires) qui sont des cellules isolées.

L'épiderme buccal est la couche continue de la face interne de la joue. L'examen d'un fragment au microscope optique nous fait découvrir des éléments incolores, isolés ou groupés appelés **cellules**.

Dans chaque cellule, on distingue : un noyau, un cytoplasme contenant des nombreuses granulations et une membrane cytoplasmique.

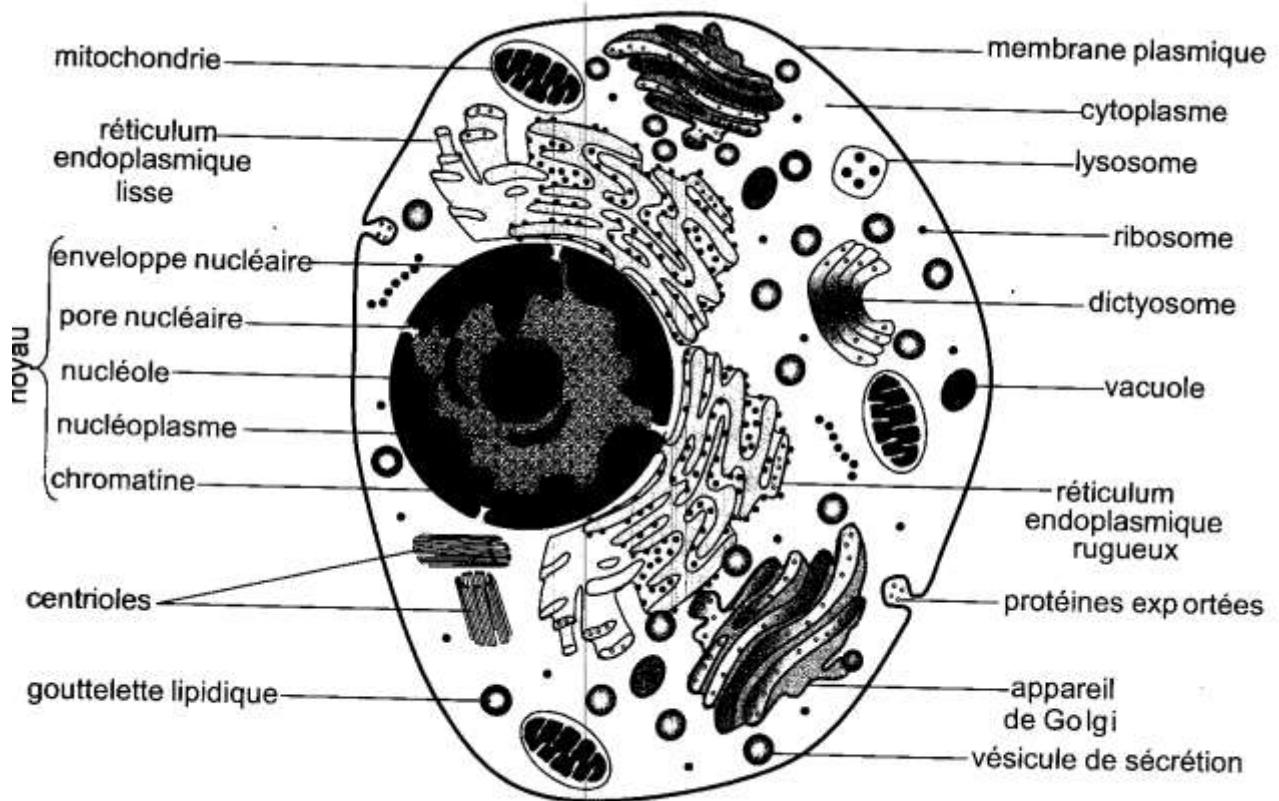
### B<sub>2</sub>- L'examen d'un frottis sanguin

L'examen d'un frottis sanguin montre que le sang humain est un tissu constitué de 2 types de cellules dont les unes appelées globules rouges ou hématies (sans noyau) et les autres appelées globules blancs ou leucocytes (ayant un noyau). Les globules blancs sont nombreux et sont de plusieurs types puis diffèrent les uns des autres par leur taille, leur forme et leurs granulations cytoplasmiques. Ils sont mononucléaires ou polynucléaires.

### Conclusion

L'étude de la cellule animale au microscope optique permet de mettre en évidence les organites suivants :

- Une membrane cytoplasmique ;
- Un cytoplasme contenant des organites :
- ✓ Des mitochondries ;
- ✓ L'appareil de Golgi ;



**Ultrastructure d'une cellule animale**

## **II<sub>2</sub>- L'observation de la cellule au microscope électronique**

Le microscope électrique est plus performant que le microscope optique et permet d'observer des éléments de la cellule inaccessibles au microscope optique ou ordinaire. Cette observation nécessite parfois des colorants pour mieux distinguer certains détails.

### **II<sub>2.1</sub>- Ultrastructure des organites cellulaires**

#### **1. La membrane cytoplasmique**

Elle est formée de deux couches (ou feuillets) sombres de nature lipidique d'une épaisseur de 20A° chacune séparées par une couche (ou feuillet) claire de nature protéique de 35A° d'épaisseur. Elle est commune aux deux cellules (animale et végétale).

**Rôle :** Elle marque la frontière entre le cytoplasme et le milieu extérieur de la cellule. Elle assure la protection de la cellule et se comporte comme un siège des échanges entre les milieux intra et extracellulaire. Elle a un rôle spécifique en laissant passer certains ions et molécules dissous retenant d'autres ; elle reçoit les informations nerveuses et hormonales. On dit qu'elle a un rôle sélectif.

#### **2. La membrane squelettique ou cellulosique**

Elle recouvre la cellule à l'extérieur de la membrane cytoplasmique. On la trouve uniquement chez les cellules végétales.

**Rôle :** Elle assure la rigidité et la protection de la cellule et ses pores assurent la continuité d'une cellule à une autre appelée **plasmodesme**.

#### **3. Le cytoplasme**

Le cytoplasme est l'espace délimité par la membrane cytoplasmique et la membrane nucléaire. Il comprend deux parties :

- Une partie fluide (cytoplasme fondamental) appelée Hyaloplasme ou cytosol ;
- Une partie solide constituée des Organites et des inclusions ou réserves.

#### **4. Le hyaloplasme**

C'est la phase plus ou moins liquide dans laquelle baignent les organites cellulaires (mitochondries, chloroplastes, réticulums, etc.). Il est très riche en **H<sub>2</sub>O** et en protéines. On y trouve les différents Acides Ribonucléiques : **ARN (ARNt, ARNr et ARNm)**

**Rôle :** C'est le siège de nombreuses réactions métaboliques (ou biochimiques) cellulaires (Glycolyse, Fermentations, Transformation d'énergie chimique en énergie mécanique qui permettent les mouvements cellulaires). Il assure l'humidité et la fonctionnalité de la cellule.

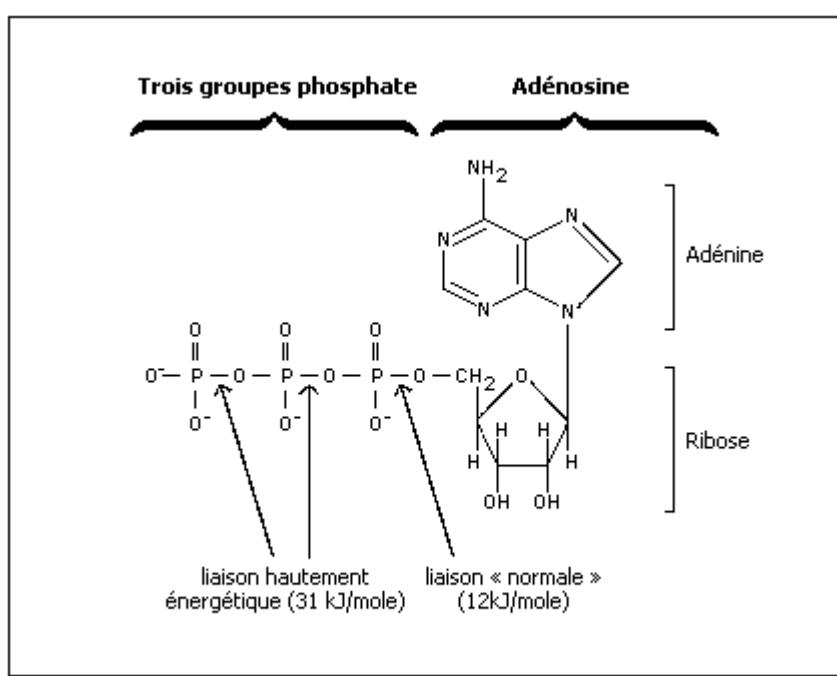
## **5. La partie solide ou les organites cellulaires et leurs rôles**

### **5.1. La mitochondrie**

C'est un organite délimité par une double membrane. La membrane interne est repliée à l'intérieur et constitue les crêtes mitochondriales dont le nombre dépend directement de l'activité de la cellule. L'espace délimité par la membrane interne est appelé matrice. Elle renferme des grains de sels minéraux, des traces d'**ADN**, de l'**ARNm** (messager) et de l'**ARNt** (transfert) ainsi que des ribosomes. La mitochondrie est présente dans les cellules animales et végétales. L'ensemble des mitochondries dans une cellule est appelé chondriome.

**Rôle :** La mitochondrie est le central énergétique de la cellule ou le siège de la respiration cellulaire qui se traduit par l'absorption du dioxygène (**O<sub>2</sub>**) et le rejet du dioxyde de carbone (**CO<sub>2</sub>**) dégageant l'énergie sous forme d' **ATP** (Adénosine Triphosphate : molécule présente dans tous les organismes vivants, principale source d'énergie immédiatement disponible pour l'activité des cellules) nécessaire pour assurer le fonctionnement de l'organisme : **C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> + 6O<sub>2</sub> ↔ 6CO<sub>2</sub> + 6H<sub>2</sub>O + ATP**.

**Glucose Dioxygène Dioxyde d'Eau Energie Carbone**



**Adénosine triphosphate (ATP)**

### **5.1. Les chloroplastes**

Les chloroplastes appartiennent à la famille des plastes et sont uniquement dans les cellules végétales chlorophylliennes. Ce sont des organites de grande taille, délimités par une double membrane extérieure et un troisième système membranaire interne qui se reploie sur elle et forme des lames nommées thylachoïdes. Les thylachoïdes s'empilent par endroit pour former des granas qui accumulent le pigment vert appelé **chlorophylle**.

L'espace délimité par la membrane interne est appelé **stroma**. On y trouve par endroits de l'amidon et de l'**ADN**.

Les cellules des tubercules de manioc par exemple ont des plastes qui stockent uniquement de l'amidon appelé amyloplaste. On distingue aussi le chromo plaste qui renferme uniquement les **xanthophylles**

**Rôle :** Les **chloroplastes** sont les sièges de la **photosynthèse** :

Bilan global sur l'exemple de la photosynthèse.

Energie lumineuse



Chlorophylle +enzyme



## **5<sub>2</sub>. Les réticulums endoplasmiques**

On distingue 2 types de réticulum :

- Le réticulum endoplasmique rugueux ou ergastoplasme(**RER**) ;
- Le réticulum endoplasmique lisse(**REL**).

### **5<sub>2a</sub>. Le réticulum endoplasmique rugueux(RER) ou Ergastoplasme**

C'est un réseau de membranes couverts de ribosomes à la surface externe.

**Rôle :** C'est le lieu de stockage et de transport des protéines synthétisées par les ribosomes associés à la membrane vers l'appareil de Golgi.

### **5<sub>2b</sub>. Le réticulum endoplasmique lisse(RET)**

C'est un réseau de sacs membranaires dépourvus de ribosomes et présentant la surface lisse.

**Rôle :** C'est un lieu de synthèse des lipides et des stéroïdes (cholestérol). Il assure aussi le transport des protéines et des lipides vers l'appareil de Golgi.

### **5<sub>2c</sub>. L'appareil de Golgi**

Il se forme à partir du réticulum endoplasmique. Il est constitué d'unités appelées dictyosome.

Chaque dictyosome est formé de 4ou 5 saccules golgiens.

**Rôle :** il modifie, concentre et emballle les protéines et les lipides qu'il reçoit du réticulum endoplasmique rugueux et les achemine vers les différentes destinations à l'intérieur ou à l'extérieur de la cellule.

### **5<sub>2e</sub>. Le centrosome**

Il est spécifique à la cellule animale. Situé au voisinage du noyau, il est constitué de deux centrioles placés perpendiculairement l'un à l'autre. Un centriole apparaît comme un cylindre dont la paroi est constituée par une réunion de neuf triplets de microtubules.

**Rôle :** Il est le centre cinétique (mouvement) de la cellule, participe à la division des cellules animales en formant des asters et participe aussi à la formation des cils et des flagelles.

### **5<sub>2f</sub>. Le ribosome**

Il existe à l'état libre dans la cellule ou alors associé au réticulum endoplasmique ou encore associé à l'ARN messager. Cette association est appelée polysome ou polyribosome.

**Rôle :** Il permet la synthèse des protéines.

### **5<sub>2g</sub>. Les vacuoles**

Ce sont des poches pouvant absorber ou perdre de l'eau suivant que la cellule est placée dans un milieu plus ou moins concentré. Elles sont particulièrement développées chez les végétaux.

L'ensemble des vacuoles d'une cellule constitue le vacuome.

**Rôle :** C'est le lieu de stockage de l'eau de la cellule et également de certaines substances. Elles assurent aussi la régulation de la pression osmotique (échanges d'eau entre la cellule et son milieu).

### **5<sub>2h</sub>. Les lysosomes**

Ce sont des petits organites de forme sphérique contenus dans le cytoplasme des cellules et contenant des enzymes digestives intracellulaires. Ils sont abondants dans les cellules qui assurent la défense de l'organisme(Leucocytes). Ils dérivent des saccules de Golgi.

**Rôle** : Les lysosomes digèrent des particules introduites dans la cellule. Ils digèrent aussi, dans la cellule, tous les organites qui arrivent à la fin de leur existence. A la mort de la cellule, les lysosomes libérés hors des vésicules, digèrent le cytoplasme par un processus appelé **autophagie**.

### 5.i. Le noyau

Le noyau est caractéristique des cellules **eucaryotes**. Il est limité par une membrane appelée membrane nucléaire percée des pores qui assurent les échanges entre le hyaloplasme et le nucléoplasme. Le noyau beigne dans le cytoplasme. Le nucléoplasme renferme 1 ou 2 nucléole(s) constitué(s) d'**ARN** (Acide Ribonucléique) et la chromatine formé des filaments très long appelés chromosomes qui ne sont visibles que pendant la division cellulaire. Chaque chromosome contient une molécule **d'ADN** (Acide Désoxyribonucléique) qui porte le programme génétique de l'individu : C'est donc l'**ADN** qui est le support de l'hérédité.

**NB** : Le noyau cellulaire disparaît au cours de la division cellulaire.

**Rôle** : Le noyau est responsable de toutes les réactions de synthèses cellulaires et il est le support de l'information génétique. C'est dans le noyau que s'effectue la reproduction du matériel héréditaire. Aucune cellule ne peut vivre sans noyau.

**Remarque** : Les cellules qui ne possèdent pas de noyau sont appelées **Prokaryotes**.

**Exemple** : Les bactéries sont les seuls êtres vivants Prokaryotes.

Les cellules qui contiennent un noyau sont appelées **Eucaryotes**.

**Exemple** : Chez tous les êtres vivants, les cellules contiennent un noyau.

Les Unicellulaires qui contiennent un noyau sont appelés **Protistes**.

### Tableau comparatif d'une cellule animale et d'une cellule végétale

Caractéristiques	Cellule animale	Cellule végétale
Forme	Circulaire	Géométrique
Centriole	Présent	Absent
Chloroplaste	Absent	Présent
Membrane squelettique	Absente	Présente
Vacuoles	Petite taille	Grande taille
Réserves glucidiques	Glycogène	Amidon

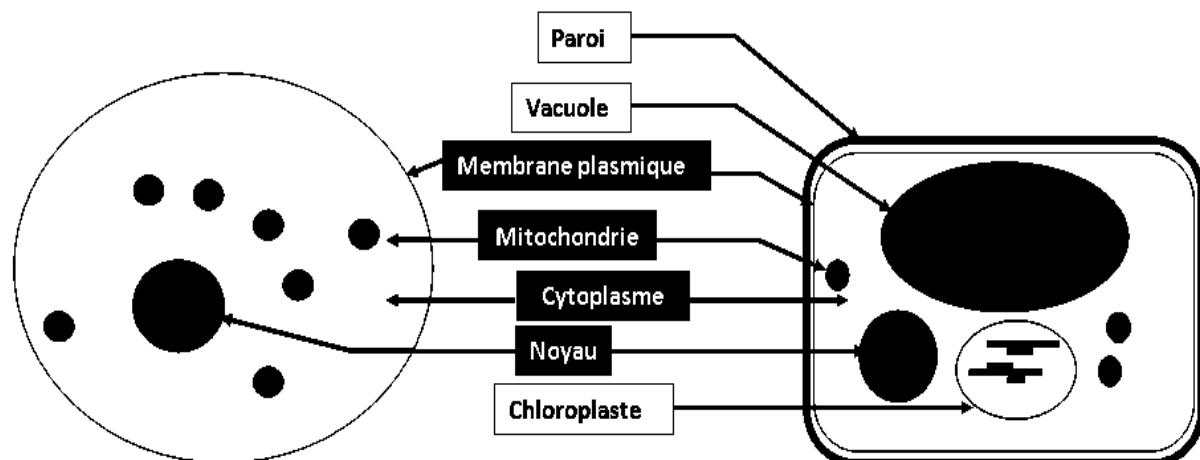


Schéma comparatif des structures cellulaires animales (à gauche) et végétales (à droite).

## **CHAPITRE 2 : LOCALISATION, NATURE ET TRANSMISSION DE L'INFORMATION GENETIQUE**

La transmission de l'information génétique (ou caractère héréditaire) chez les êtres vivants s'explique par le transfert du programme biologique par l'intermédiaire de cellules sexuelles (spermatozoïde et ovule).

C'est ce programme qui dirige le développement de l'œuf (zygote) et le fonctionnement de tous les organes. Ce chapitre a pour but d'expliquer :

- la localisation de ce programme ou l'information génétique (IG) dans la cellule ;
- d'expliquer la nature de l'information génétique (IG) ;
- d'expliquer comment ce programme génétique se transmet d'une cellule à l'autre de génération en génération.

### **I- La localisation de l'information génétique**

#### **I.1-L'importance du noyau dans la cellule**

##### **a) Expérience de mise en évidence**

###### **a.1. Expérience**

Cette expérience consiste à prendre une amibe (organe animal unicellulaire) vivante et la sectionner en deux (2) parties ou moitiés dont l'une contient le noyau (partie nucléée) et l'autre sans noyau (partie anucléée) et observer leur développement afin de conclure.

**Exemples :** ( schéma illustrant la mise en évidence de l'importance du noyau dans la vie cellulaire).

- interprétation et conclusion

Dans cette expérience, on constate qu'après la section les deux (2) parties de l'Amibe se développent différemment. La partie A de l'Amibe ayant le noyau s'est cicatrisée et a régénéré la partie amputée donnant une amibe entière capable de se diviser, se reproduire et assurer toutes les fonctions vitales normales. Par contre, la partie B, sans noyau ne survit pas.

C'est-à-dire elle ne se développe pas, mais au contraire elle dégénère et meurt.

De cette analyse, on peut conclure que le noyau cellulaire est l'organite qui détient le pouvoir de la vie de la cellule et partant de l'organisme entier.

**Remarque :** cette expérience peut être réalisée aussi chez l'algue (Acétabulaire) dans la transplantation du noyau ou le greffage du noyau.

#### **I.2-Localisation des acides nucléiques**

On distingue deux (2) acides nucléiques :

- ADN qui signifie acide désoxyribonucléique
- ARN qui signifie acide ribonucléique.

##### **a) Tests chimiques de mise en évidence des acides**

###### **a.1. Le test de FULGEN**

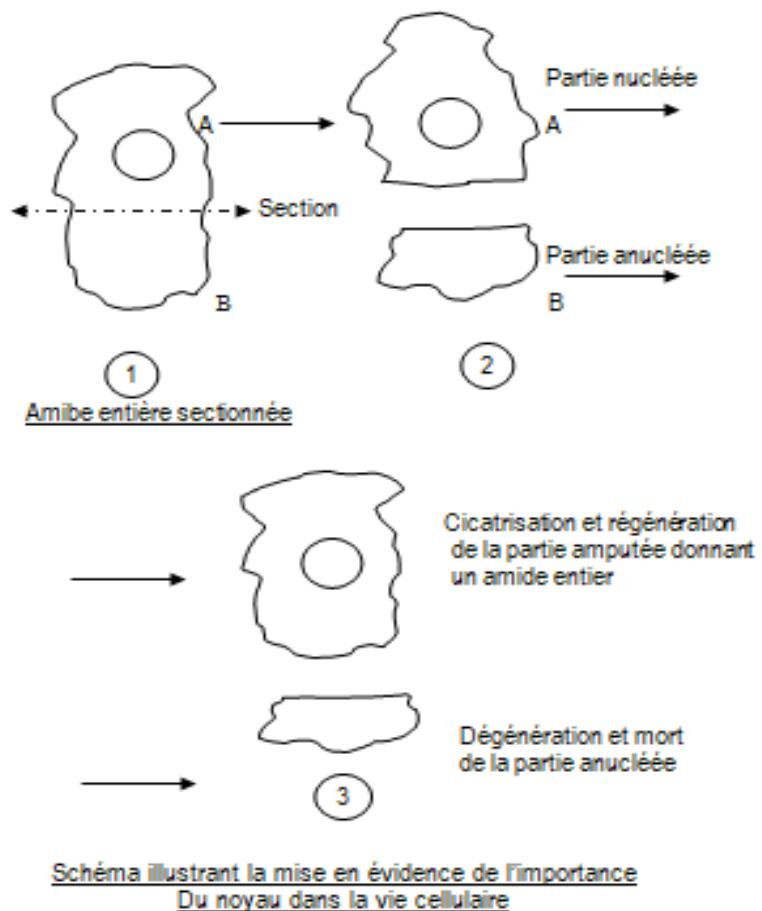
Le test de FULGEN permet de localiser uniquement l'ADN dans la cellule.

FULGEN a travaillé, en utilisant les pointes de racine d'oignon.

Après avoir réalisé un mélange d'acide acétique et d'alcool, il plonge les racines dans ce mélange et les laisse en observation pendant quelques heures. Après l'hydrolyse partielle de

l'ADN, il utilise le « réactif de SCHIFF » qui colore en violet le noyau alors que le cytoplasme et le nucléole restent incolores.

La coloration violette est spécifique à l'ADN et caractérise sa présence. ainsi FULGEN a conclu que l'ADN est localisé dans le noyau et qu'il y a des traces dans la mitochondrie et le chloroplaste.



## a.2. Le test de BRACHET

Ce test permet de localiser l'ADN et l'ARN dans la cellule.

Expérience : Brachet réalise un mélange de colorants spécifiques dont le vert de méthyle qui colore uniquement l'ADN en vert et la pyronine qui colore uniquement l'ARN en rouge ou rose.

Après avoir traité une cellule avec ce mélange, il confronte des cellules traitées préalablement avec une enzyme qui dirige soit l'ADN appelée ADNase (enzyme) ou soit l'ARN appelée ARNase (enzyme) :

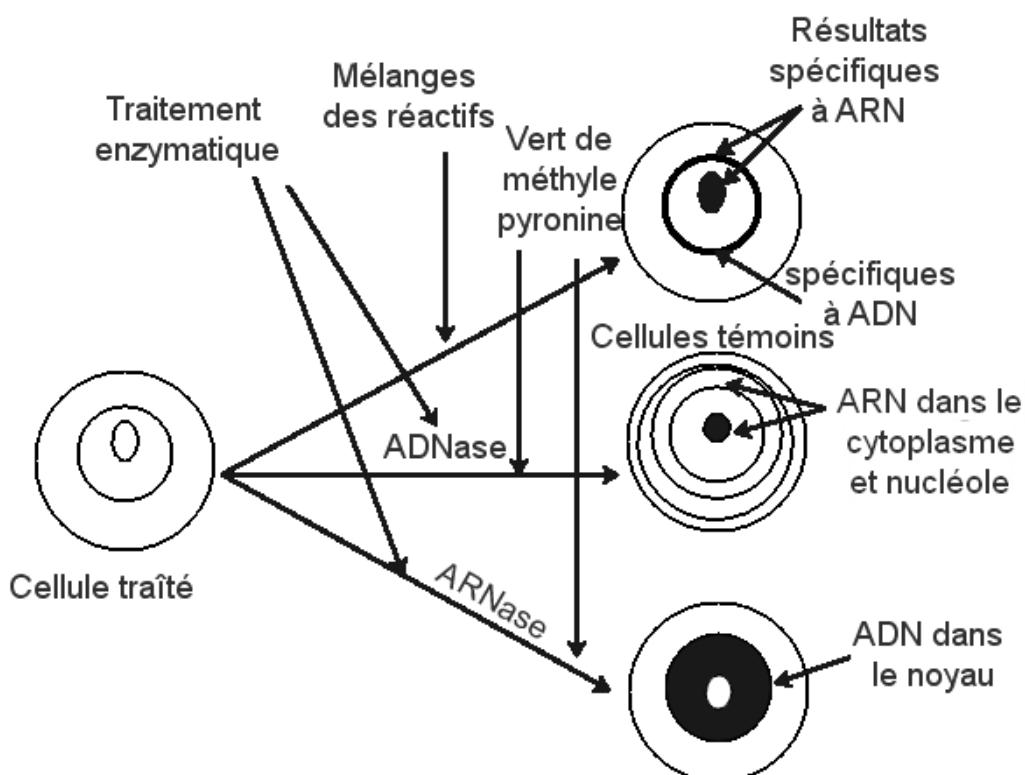


Schéma illustrant les techniques de localisation des acides nucléiques dans la cellule

Exemple



**Conclusion :**

Il ressort de cette expérience de Brachet que l'ADN est localisé uniquement dans le noyau cellulaire et l'ARN est localisé dans le nucléole du noyau et dans le cytoplasme.

## I.3-Nature et support de l'information génétique

D'après les résultats de l'expérience de GRIFFITH et EVERY sur les souches (S et R) des bactéries il a été déduit que la substance responsable des caractères héréditaires chez les êtres vivants est l'ADN.

C'est-à-dire le programme biologique ou l'information génétique dans la cellule se présente sous une molécule appelée « ADN » or, pour être appelé matériel héréditaire, l'ADN est capable de s'auto reproduire ;

L'ADN est capable de produire la deuxième catégorie d'acide nucléique (ARN) ; il est aussi capable d'introduire ou de donner des informations nécessaires à la synthèse de protéine. A cet effet on déduit que l'ADN est le matériel héréditaire. C'est-à-dire l'ADN transmet les caractères héréditaires de la cellule.

## **II-La structure des acides nucléiques**

### **II.1-La structure de l'ADN**

L'hydrolyse enzymatique complète de la molécule d'ADN permet de comprendre que l'ADN est constitué de trois (3) molécules organiques suivantes :

- Quatre (4) bases organiques azotées dont :

**2 liaisons covalentes**  
**1 liaison hydrogène**      } Dans l'ADN

A = T ou T = A ; G = C ou C = G.

- Deux (2) bases puriques qui sont : Adénine (A) et Guanine (G) et 2 bases pyrimidiques qui sont la cytosine (C) et la thymine (T).

Le sucre de 5 carbones C<sub>5</sub> (pentose) appelé désoxyribose de formule C<sub>5</sub>H<sub>10</sub>O<sub>4</sub> ;

Acide phosphorique de formule H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

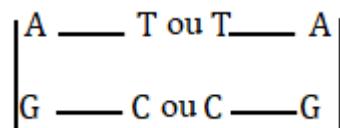
Dans la molécule d'ADN, l'association d'acide phosphorique, du sucre et des bases azotées est appelée nucléotide.

D'après Watson et Crick, la molécule d'ADN est constituée de 2 "brins" ou "hélices" enroulés un autour de l'autre. Elle est donc bicaténaire. Comme nous avons 4 bases azotées différentes, il y a également 4 nucléotides différents dans la molécule d'ADN :

- Acide phosphorite + sucre + adénine (A) appelé : Adénosine mono phosphate ;
- Acide phosphorite + sucre + guanine (G) appelé : Guanosine mono phosphate ;
- Acide phosphorite + sucre + cytosine (C) appelé : Cytidine mono phosphate ;
- Acide phosphorite + sucre + thymine (T) appelé : Thymidine monophosphate.

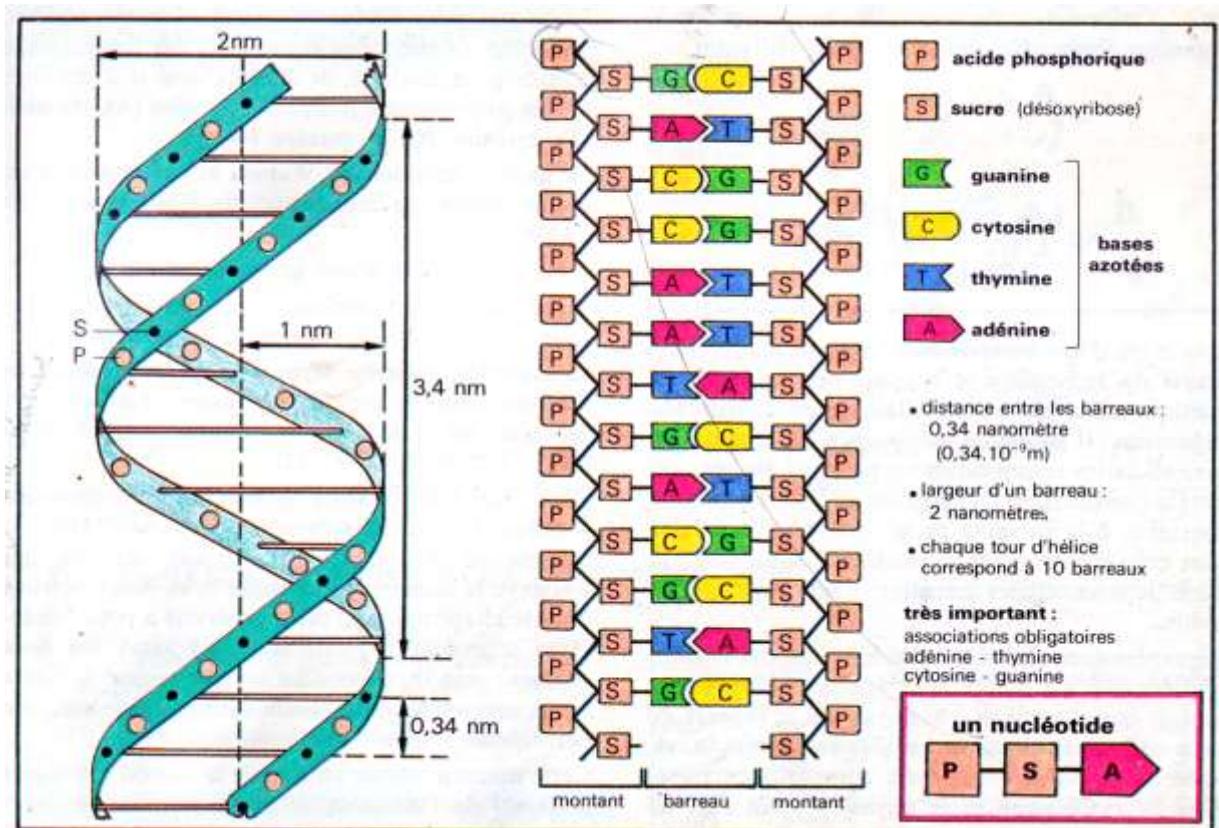
A cet effet on peut déduire que la molécule d'ADN est un polynucléotide. C'est-à-dire une molécule constituée par l'enchainement sur chaque brin de plusieurs nucléotides.

L'association de 2 brins à l'intérieur de la molécule d'ADN se fait par des liaisons d'hydrogène. Les liaisons d'hydrogène très fragile unissant 2 bases azotées selon la règle de complémentarité sont les suivantes :



Cette règle signifie que l'adénine s'associe toujours à la thymine ou la thymine s'associe toujours à l'adénine. De même la cytosine à la guanine ou la guanine à la cytosine.

La molécule d'ADN déroulée et mise à plat se présente comme une échelle très longue dont les nombres sont constitués par l'association de l'acide phosphorique et le sucre d'où les barreaux sont constitués par les couples de base azotée étant unies par les liaisons d'hydrogènes.



Modèle spiral ou enroulé selon Watson  
Et Crick

Modèle d'ADN déroulée et mise à plat

NB : La Guanine s'associe à la Cytosine par 3 liaisons d'hydrogène et l'Adénine s'associe à la Thymine par 2 liaisons d'hydrogène. Les différences sont dues aux cycles des différentes bases. D'après CHARGAFF, dans la molécule d'ADN la quantité de la Thymine est égale à la quantité de l'Adénine. De même la quantité de Guanine est égale à celle de la Cytosine : A = T et G = C.

$$\text{Soit, } \frac{A}{T} = \frac{G}{C} = \frac{A+G}{T+C} \approx 1$$

Par contre les rapports,  $\frac{A}{G}$  et  $\frac{T}{C}$  varient selon les espèces de 0,4 à 2,6 d'où  $\frac{A+T}{G+C} \neq 1$ .

Exemple :

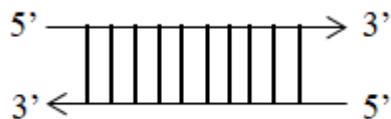
Spécies/ rapport	$\frac{A + G}{T + C}$	$\frac{A + T}{G + C}$
Homme	1,04	1,53
Drosophile	1,01	1,51
Souris	1,04	1,42
Poule	1,04	1,34
Ail	1,01	1,73

Ce tableau nous permet de déduire que le rapport  $\frac{A+G}{T+C}$  (1<sup>ère</sup> colonne) est toujours égal chez certaines espèces : cela signifie que dans une molécule d'ADN de certaines espèces, la quantité

de l'Adénine est égale à la quantité de thymine A = T et G = C. en revanche le rapport  $\frac{A+T}{G+C}$  (2<sup>ème</sup> colonne) varie selon les espèces.

**Remarque :**

- L'ordre de succession des bases azotées dans une molécule d'ADN est appelé la séquence ;
- La distance entre 2 bases azotées ou nucléotide dans une séquence est de 0,34 nanomètre (0,34 nm) ;
- La molécule d'ADN est polarisée. Cette polarisation est "anti parallèle"



- La molécule d'ADN contient deux (2) types de liaisons :
- Liaison covalente solide entre l'acide phosphorique et le sucre d'une part et entre le sucre et la base azotée d'autre part ;
- Liaison d'hydrogène qui unie deux (2) couples de bases azotées. Ces liaisons sont fragiles et permettent d'associer les deux brins de la molécule d'ADN.

## **II.2-La structure de l'ARN**

L'ARN est une molécule nucléique qui se distingue de l'ADN par les caractères suivants :

- L'ARN est monocaténaire (formé d'un seul brin) ;
- Le sucre de l'ARN est ribose de formule  $C_5H_{10}O_5$  ;
- Les bases azotées de l'ARN sont : A, G, C et Uracile (U) qui remplace la thymine ;
- Il existe trois (3) types d'ARN :
- ARNm (ARN messager) ;
- ARNt (ARN de transfert) ;
- ARNr (ARN ribosomale) ;
- La molécule d'ARN est plus courte que la molécule d'ADN ;
- L'ARN a une durée de vie temporaire alors que l'ADN qui est permanente.

## II.3-Etude comparée entre les acides nucléiques : ADN et ARN

Tableau de comparaison

Molécules Eléments De comparaison	ADN	ARN
Localisation	Noyau : - traces dans la mitochondrie et le chloroplaste	Cytoplasme, nucléole du noyau
Structure	Bi caténaire (ou 2 brins)	Monocaténaire (1 brin)
Bases azotées	A G C T	A G C U
Sucre	Désoxyribose $C_5H_{10}O_4$	Ribose $C_5H_{10}O_5$
Rôle	Support de l'information génétique	Synthèse des protéines
Durée	Permanente	Temporaire
Taille	Très longue	Très courte

## III-la transmission de l'information génétique chez les êtres vivants

La transmission ou reproduction de l'information génétique est un processus au cours duquel se forment 2 ou plusieurs cellules filles possédant la même information génétique que la cellule initiale ou cellule mère.

Cette transmission se fait pendant la division cellulaire ou mitose et pendant le cycle cellulaire ou réPLICATION.

"Il faut noter que l'information génétique se transmet et se conserve grâce aux chromosomes".

### III.1-Le chromosome

Le chromosome est un filament nucléaire qui apparaît sous forme de bâtonnet dans le noyau de la cellule lors de la division cellulaire.

Les chromosomes proviennent de la condensation de la chromatide et ne sont observables au microscope qu'à l'aide des colorants spécifiques. Ce sont les chromosomes qui portent l'information génétique des êtres vivants et assurent sa transmission de génération en génération.

#### a) La composition chimique des chromosomes

L'analyse chimique montre que les chromosomes sont constitués essentiellement de l'ADN (acide nucléique) et de protéines associées.

#### b) Le nombre des chromosomes dans une cellule

Le nombre de chromosomes est toujours paire (double). Il est exprimé conventionnellement par  $2n$  avec  $n = \text{nombre de paires (double)}$ .

Dans l'espèce humaine, le nombre de chromosomes dans le noyau d'une cellule est de 46 chromosomes et exprimé par  $2n = 46$  chromosomes avec  $n = \frac{46}{2} = 23$  paires.

Soit  $2 \times 23 (n) = 46$  chromosomes.

**Remarque :**

- 1) Si l'on examine la taille et la forme des chromosomes d'une paire on peut constater que ces 2 chromosomes sont semblables (même taille et même forme), on les appelle les chromosomes homologues.
- 2) Lorsqu'une cellule a dans son noyau le nombre  $2n$  chromosomes, elle est dite diploïde.

**Exemple :** les cellules somatiques.

3) Lorsqu'une cellule possède un seul exemplaire de chromosomes homologues (même paire) noté  $n$  chromosomes, elle est dite haploïde. C'est le cas des cellules sexuelles ou gamètes.

**Exemple :**

- Le spermatozoïde chez l'homme ;
  - L'ovule chez la femme : sont des cellules "haploïdes".
- 4) Lorsqu'une cellule porte dans son noyau  $3n$ ,  $4n$  etc. elle est dite cellule polyplioïde, ce cas constitue une aberration ou une anomalie chromosomique.

**NB :** le nombre de chromosomes dans le noyau de la cellule est aussi appelé garniture chromosomique ( $2n = ?$ ).

### C) La forme des chromosomes

Les chromosomes sont de formes variables.

Lors de la division cellulaire, les chromosomes se clivent (fissurent) en 2 sous unités appelées chromatide réunis par un point d'attache appelé centromère.

Comme chaque chromosome contient une molécule d'ADN. C'est l'ADN qui se réplique et provoque la fissuration de chaque chromosome en 2 chromatides contenant chacune une molécule d'ADN.

**Exemple :** structure générale d'un chromosome.

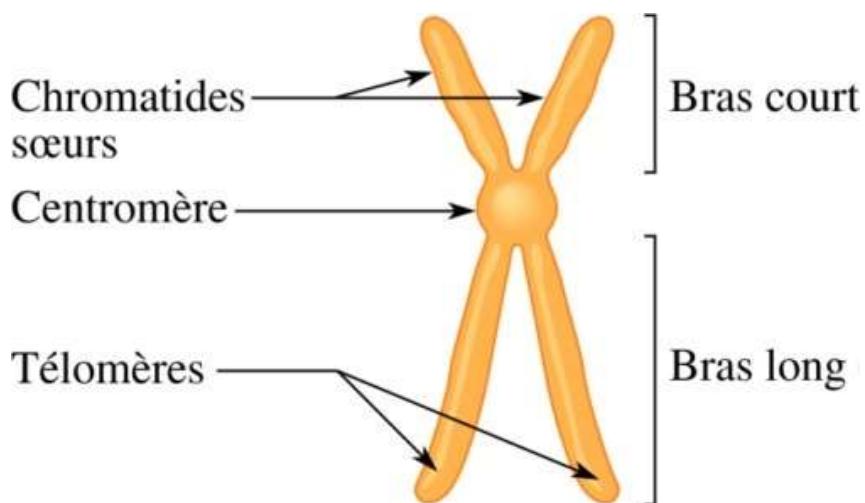


Schéma simplifié de la structure d'un chromosome

### d) Le caryotype

Le caryotype est l'ensemble des chromosomes, classés par taille et par forme dans l'ordre décroissant dans le noyau de la cellule.

Le caryotype varie d'une espèce à l'autre. Ainsi quel que soit l'éthnie ou l'appartenance géographique, les individus d'une même espèce partagent le même caryotype. C'est-à-dire le même nombre de chromosome.

**Exemple :**

Espèces	Nombre de chromosome
Homme (2m maxi)	46
Baleine (12 à 15m)	44
Chien (< 1m)	78
Cheval	64
Souris	40
Grenouille	26
Haricot	22
Pomme de terre	48
Blé	42

**Remarque :**

- 1) le nombre de chromosomes d'un animal ou d'une plante n'a rien à voir avec la taille, ni la forme de l'individu.

**Exemple :** la baleine qui mesure 15 m à moins de chromosome que l'homme qui mesure environ 2m.

- 2) le caryotype est toujours constitué de 2 chromosomes de différentes origines :

- un lot d'origine paternelle ;
- un lot d'origine maternelle.

**e) les chromosomes sexuels**

Chez un certain nombre d'espèce animale et végétale, il existe dans le caryotype une paire de chromosomes qui détermine le sexe de l'individu.

**Exemple :** dans l'espèce humaine, si l'on compare le caryotype de l'homme avec celui de la femme, on peut constater que la seule 23<sup>e</sup> paire permet de les distinguer :

- chez l'homme, les 2 chromosomes de la 23<sup>e</sup> paire ne sont pas homologues (identiques), l'un de grande taille symbolisé par X et l'autre de petite taille symbolisé par Y.

Soit XY de la 23<sup>e</sup> paire,

- chez la femme, les 2 chromosomes de la 23<sup>e</sup> paire sont homologues ou identiques (même taille) et symbolisés par XX soit XX de la 23<sup>e</sup> paire.

Les chromosomes chez l'homme (XY), chez la femme (XX) sont appelés chromosomes sexuels ou gonosomes.

Dans ce caryotype les 22 autres paires de chromosomes sont semblables dans les 2 sexes et sont appelés Autosomes.

**Remarque :**

Chez les oiseaux, les chromosomes sont symbolisés par Z et W.

Soit ZZ pour le mâle (ou XX), appelé homozygote et Z W (ou XY) chez la femme, appelé hétérozygote.

**f) les formules chromosomiques**

Dans l'espèce humaine, les formules chromosomiques peuvent s'écrire de la manière suivante :

**Exemple :** cas de l'espèce humaine.

- chez l'homme

Pour les cellules somatiques diploïdes ( $2n$ ) :  $2n = 44$  autosomes + XY (gonosomes).

Pour les cellules sexuelles ou spermatozoïdes haploïdes :

$n = 22$  autosomes + X (gonosome);  $n = 22$  autosomes (gonosome).

- chez la femme

Pour les cellules somatiques diploïdes ( $2n$ )

$2n = 44$  autosomes + XX (gonosomes)

**Cellule sexuelle haploïde**       $\left\{ \begin{array}{l} n = 22 \text{ autosomes} + X \text{ (gonosomes)} \\ n = 22 \text{ autosomes} + X \text{ (gonosomes)} \end{array} \right.$

Les bactéries sont des êtres vivants qui n'ont pas de chromosomes mais leur ADN flotte à l'intérieur de la cellule.

#### **IV-La mitose**

La mitose est une division cellulaire au cours de laquelle une cellule mère diploïde donne naissance à 2 ou plusieurs cellules filles diploïdes identiques entre elles et identiques à la cellule mère.

La mitose se produit dès la fécondation et pendant toute la vie. Elle permet aux êtres vivants de fabriquer des nouvelles cellules pour leur croissance et pour leur entretien.

Chez les organismes unicellulaires, la mitose est une forme de reproduction directe. Elle permet à ces organismes d'augmenter leur nombre et de pérenniser leurs espèces. Par contre chez les organismes pluricellulaires, on parle d'une amitose ou mitose indirecte.

C'est-à-dire elle débute d'abord par la division du noyau appelée caryocinèse, la division du cytoplasme appelée cytotidierèse suivie de la division de la cellule toute entière.

##### **a) le déroulement de la mitose chez les organismes pluricellulaires**

Par convention, la mitose est subdivisée en 4 phases :

- la prophase
- la métaphase
- l'anaphase
- la télophase.

Ces différentes phases sont déterminées en fonction du comportement de chromosomes d'où le nom mitose.

**NB :** Chaque mitose est précédée d'une interphase :

###### **a.1. La prophase**

Elle est la phase la plus longue de la mitose. Elle est caractérisée par l'individualité des chromosomes. C'est-à-dire pendant cette phase les fins filaments qui constituent la chromatine se condensent en filament de plus en plus court et épais appelés chromosomes. Au milieu de la prophase, chaque chromosome se fissure en deux chromatides réunies par le centromère (point d'attache).

Cependant le noyau se gonfle et la membrane nucléaire se désorganise et disparaît avec le nucléole.

###### **Particularité :**

Dans la cellule animale le centrosome se déroule et donne deux "asters" qui s'entourent de fibres et migrent vers les pôles opposés de la cellule. A partir de ces asters s'organise le fuseau achromatique dans le cytoplasme.

A la fin de la prophase, d'autres fibres appelées fibres polaires ou tractrices s'organisent perpendiculairement autour de chaque centromère et s'étendent vers le pôle de la cellule.

### **a.2. la métaphase**

La métaphase est la phase la plus courte de la mitose. Elle est caractérisée par la disposition des chromosomes fissurés dans la phase équatoriale (ou médiane) formant la plaque équatoriale.

**NB :** C'est à la métaphase que l'on peut réaliser le caryotype en utilisant la colchicine (produit chimique qui permet de bloquer la mitose).

### **c.3. L'anaphase**

Cette phase est caractérisée par l'ascension polaire c'est-à-dire suite à la division du centromère, les 2 deux chromatides sœurs de chaque chromosome se séparent et deviennent des chromosomes fils.

A ce moment, on obtient 2 lots identiques de chromosomes qui migrent vers les pôles opposés de la cellule.

Cette migration est favorisée par la contraction des fibres tractrices ou fibres polaires.

Il faut noter que chaque lot contient un même nombre de chromosomes au-delà de la mitose.

### **a.4. La télophase**

A la télophase, arrivé à chaque pôle, chaque lot de chromosome se décondense et reconstitue la chromatine. La membrane nucléaire se reconstitue autour de chaque lot et le nucléole réapparaît dans chaque lot. Ainsi, la cellule semble avoir deux noyaux. Mais par étranglement et division, les deux cellules filles se séparent pendant que les organites se reconstituent dans chaque cellule. Les deux cellules filles héritent chacune d'une quantité égale de cytoplasme et sont identiques entre elles et identiques à la cellule mère, quantitativement et qualitativement.

**Remarque :** La mitose se déroule de la même manière dans les deux cellules (animales et végétales) mais il existe quelques points de différence.

1. l'absence du "centromère" chez la cellule végétale entraîne aussi l'absence des asters, mais, à la place des asters le cytoplasme se condense et forme des "calottes polaires" à chaque pôle.
2. la cellule végétale ne se divise pas par étranglement comme chez la cellule animale. Les deux cellules filles se séparent par la formation d'une membrane appelée "phragmoplaste" dans la médiane de la cellule divisant la cellule mère en deux cellules filles identiques entre elles et à la cellule mère. Ainsi quel que soit la nature de la cellule (animale ou végétale) on obtient toujours à la fin de la mitose deux cellules filles génétiquement identiques entre elles et à la cellule mère. C'est pour cette raison qu'on dit que la mitose est une reproduction conforme de l'information génétique.

### **a.5. Etapes schématiques de la mitose chez les cellules animales et végétales**

(Voir planche).

### **a.6. Importance de la mitose**

- \* Chez les animaux
  - les embryons :

Chez l'embryon la mitose permet l'augmentation du nombre des cellules et la formation des tissus.

- les adultes :

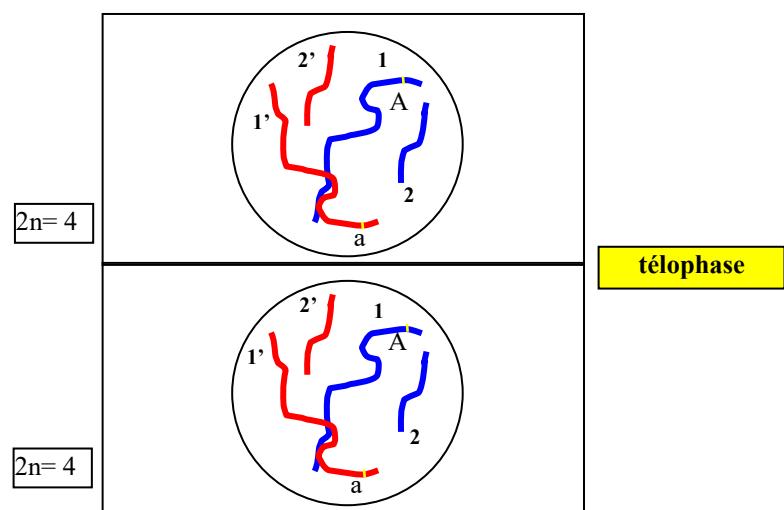
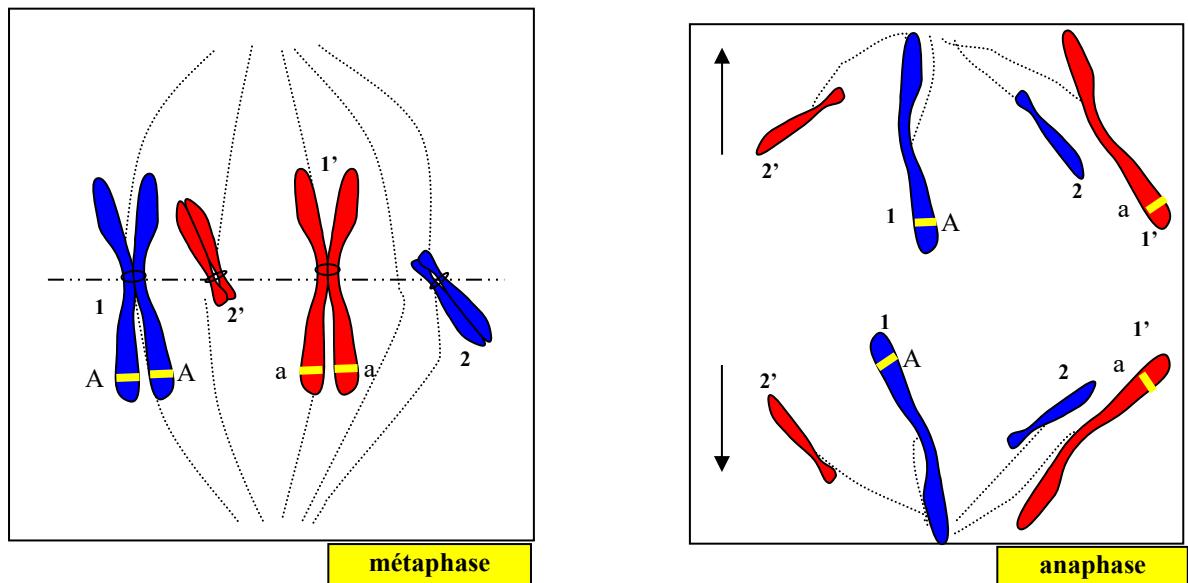
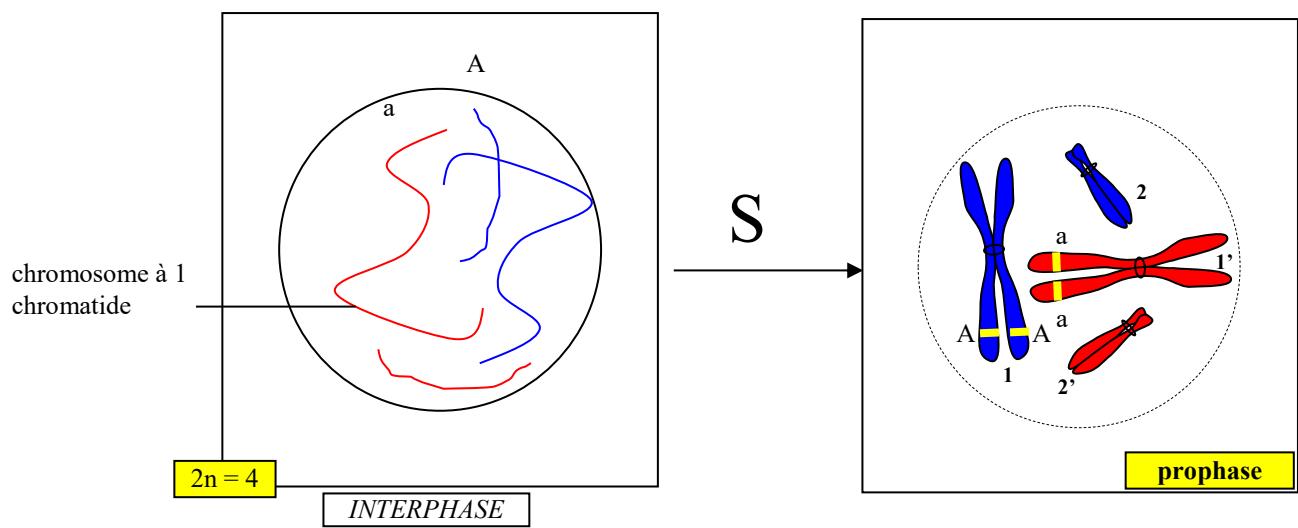
Chez les êtres vivants adultes, la mitose permet le renouvellement ou le remaniement des tissus.

\* Chez les végétaux

Chez les végétaux la mitose permet l'allongement des tiges et des racines.

Sur le plan génétique (information génétique) la mitose assure la reproduction conforme de l'information génétique et la répartition équitable du matériel héréditaire dans les cellules filles.

**NB :** C'est grâce à la mitose que les êtres vivants survivent.



## **V- La transmission de l'information au cours du cycle cellulaire**

Le cycle cellulaire est l'ensemble des changements qui se déroulent dans une cellule entre sa formation et sa propre division.

Chez les cellules eucaryotes, le cycle cellulaire comprend deux principales étapes :

- l'interphase ;
- la mitose.

### **1. interphase**

C'est la phase au cours de laquelle le matériel héréditaire est dupliqué ou dédoublé. Elle comprend 3 phases :  $G_1$  ;  $S$  ;  $G_2$

#### **a) la phase $G_1$**

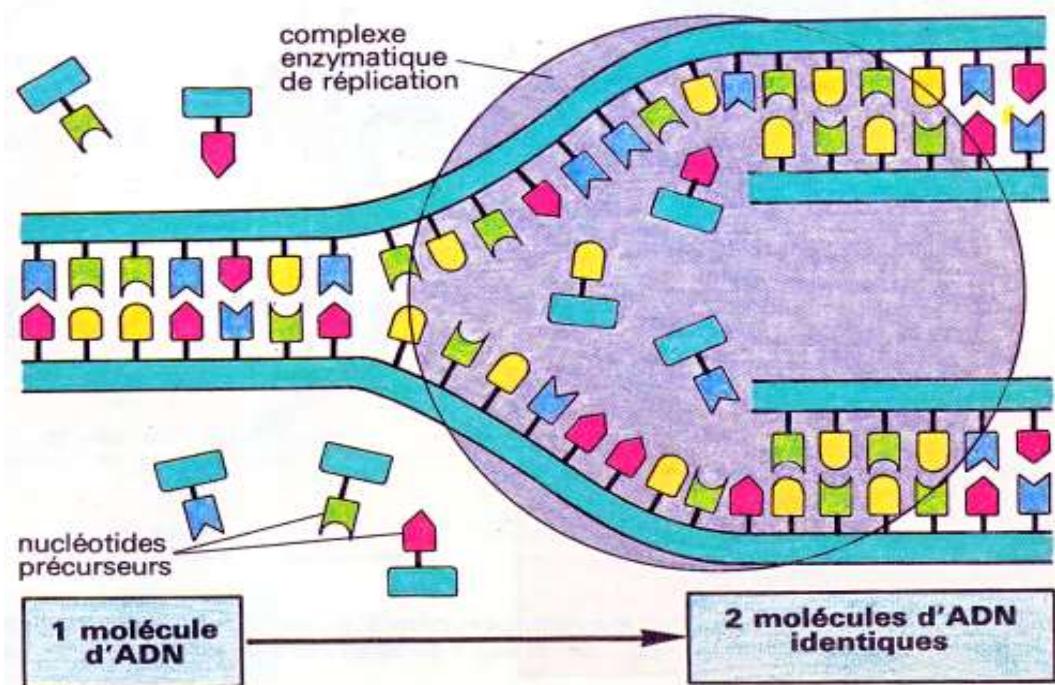
C'est la première phase de croissance cellulaire. Elle est caractérisée par la synthèse de protéine. L'ADN reste constant dans le noyau de la cellule (QADN) correspondant à  $2n$  chromosome.

#### **b) la phase S(synthèse)**

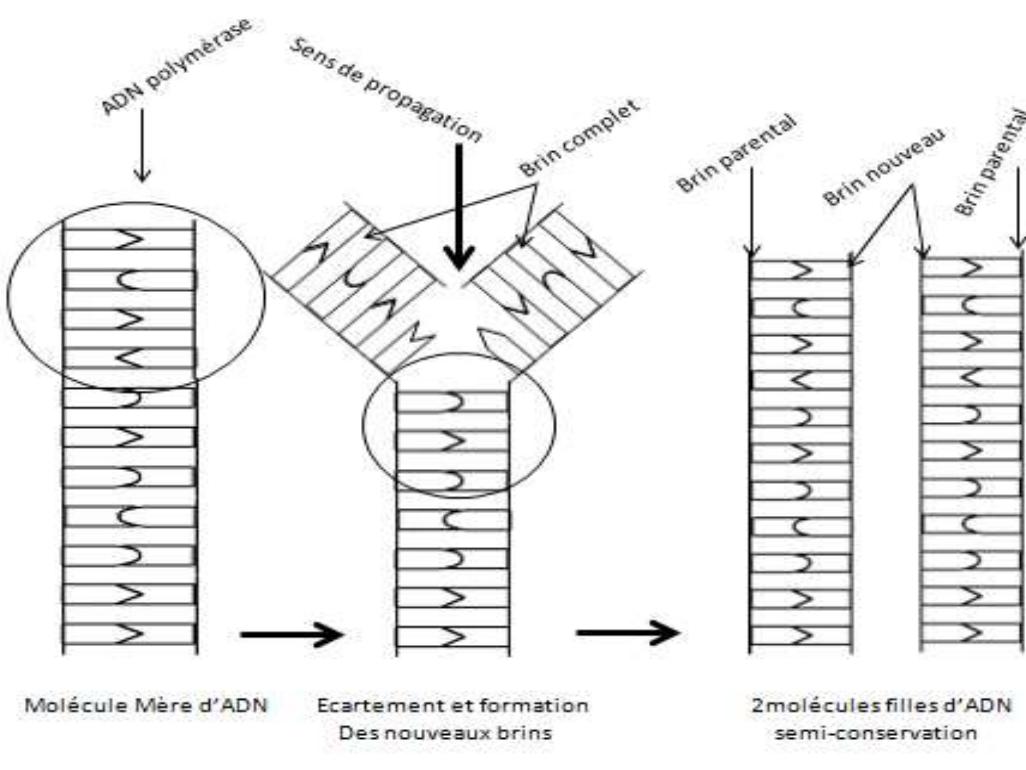
C'est la phase au cours de laquelle le matériel héréditaire est dupliqué (dédouble) pendant l'interphase. Cette duplication est caractérisée par la réPLICATION, mécanisme par lequel la molécule d'ADN passe de Q ADN et 2 Q ADN entraînant la fissuration de chaque chromosome en 2 chromatides réunies par le centromère.

##### **a.1.1. Le mécanisme de la réPLICATION**

Sous l'action de l'ADN polymérase, les liaisons d'hydrogène fragiles unissant les couples de bases azotées se rompent et les deux brins s'écartent l'un de l'autre. Par la règle de complémentarité, les nucléotides libres dans le milieu viennent se placer en face des nucléotides de deux brins de la molécule d'ADN ouverte de sorte que la T soit en face de A ou A en face de T et G en face de C ou C en face G. Ainsi, les liaisons covalentes se créent entre les différents nucléotides et des nouveaux brins se forment parallèlement aux brins anciens. À la fin de la réPLICATION, on obtient deux molécules filles d'ADN possédant chacune un brin parental (ancien) et un brin nouvellement formé (brin néoformé) ; c'est ainsi qu'on dit la réPLICATION est semi-conservative. Exemple du mécanisme.



## Schéma de la réPLICATION



Schémas simplifiés illustrant le mécanisme de la réplication

**NB :** Chez les cellules eucaryotes, la réplication peut s'initier en plusieurs points la molécule d'ADN. Ces points ouverts sont appelés "yeux de la réplication".

### c) La phase G<sub>2</sub>

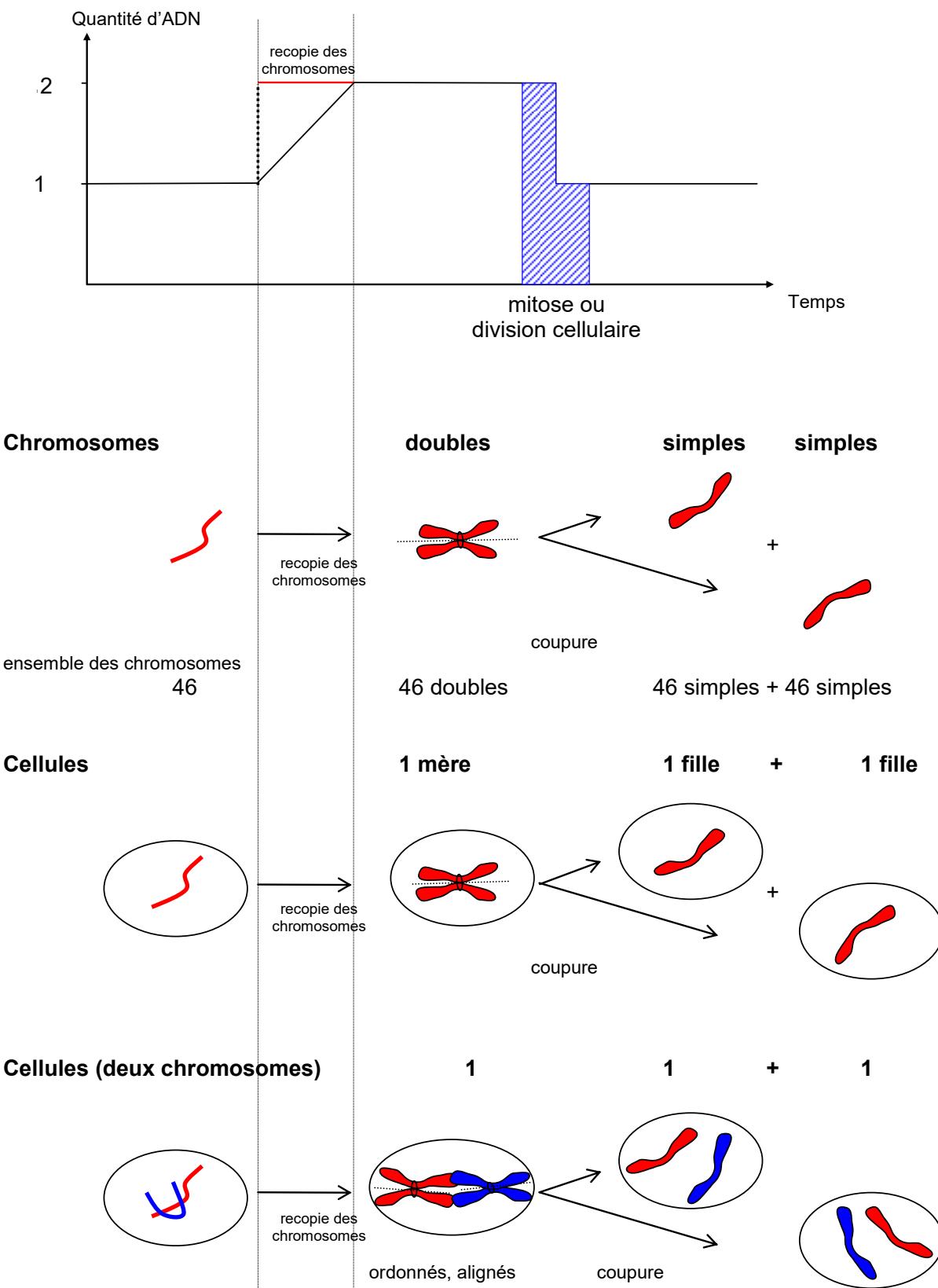
C'est la deuxième étape de la croissance cellulaire. Elle caractérisée par l'augmentation de protéine et des activités préparant la mitose. En G<sub>2</sub> la quantité d'ADN reste 2QADN.

### 2. Mitose

La mitose précédemment décrite est une reproduction conforme assurant le partage équitable du matériel héréditaire (ADN et protéine) dans les cellules filles. Ce partage se fait précisément l'anaphase de la mitose lors de divisions des centromères, séparant les deux chromatides sœurs. Chaque chromosome ou chromatide possède la quantité initiale d'ADN (QADN). C'est-à-dire suite à la division de centromère, la quantité d'ADN passe de 2QADN correspondant à 2n chromosome dans chacune des cellules filles.

### C) La variation ou évolution de la quantité d'ADN au cours du cycle cellulaire

#### c.1. Le graphique ou courbe de variation de l'ADN



### **Interprétation :**

Dans ce cycle cellulaire, la quantité d'ADN en phase G<sub>1</sub> est de QADN correspondant à la quantité initiale et au nombre 2n chromosome. En phase S, cette QADN dans la cellule en division est dupliquée ou dédoublée.

C'est-à-dire elle passe de QADN à 2QADN, correspondant à la réPLICATION de l'ADN en deux molécules filles. En G<sub>2</sub>, Cette quantité reste constante et stable égale à 2QADN jusqu'à la prophase et à la métaphase de la mitose. A l'anaphase de la mitose, la division des centromères assure le partage du matériel héréditaire (ADN et protéine) dans les chromatides sœurs. Ce partage correspond à la chute du graphique, faisant passer la quantité d'ADN de 2QADN à QADN dans le noyau des cellules filles diploïde (2n chromosome). Ces cellules reçoivent chacune une quantité d'ADN correspondant au 2n chromosome (quantité initiale).

#### **d) la quantité d'ADN par cellule**

La quantité ou taux d'ADN est la même dans toutes les cellules d'un être vivant. Cette quantité ou taux d'ADN est aussi la même chez tous les individus d'une même espèce. Elle s'exprime en picogramme dans les cellules diploïdes des divers animaux et végétaux.

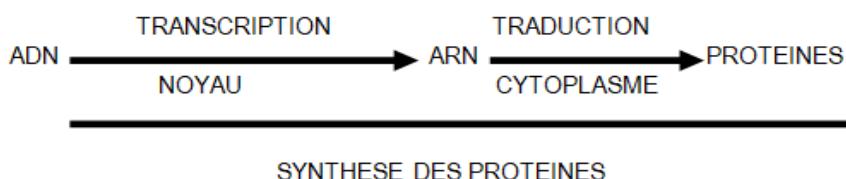
Etres vivants	taux d'ADN/ cellule
Homme	7, 3
Drosophile	0, 4
Poule	2, 7
Cheval	6, 3
Chien	5, 8

**NB :** 1 picogramme =  $10^{-12}$  g .

## **CHAPITRE 3 : EXPRESSION DE L'INFORMATION GENETIQUE**

Dans la cellule, l'information génétique est représentée par l'ADN. L'ADN est capable de produire la deuxième réplique ou catégorie des acides nucléiques(ARN) et de communiquer le message(programme biologique)stocké dans sa structure aux protéines qui seront responsables d'induire l'expression ou l'apparition des caractères héréditaires chez les nouveaux individus. Le transfert du programme biologique ou information génétique des gènes de l'ADN aux protéines se déroule en deux principales étapes :

- La transcription (noyau)
- La traduction (cytoplasme)



Ce chapitre a pour objectif d'expliquer comment l'information génétique localisée dans le noyau de la cellule est « transcrit et transférée » dans le cytoplasme puis traduite en protéine.

### **I- Transcription**

La transcription est un mécanisme par lequel l'information génétique est copiée de l'ADN en ARNm.

Elle s'effectue dans le noyau grâce aux facteurs ou éléments de la transcription.

## I1- Les facteurs de la transcription

Les facteurs sont les éléments nécessaires pour la transcription. Ce sont :

- L'ARN polymérase(enzymes spécifiques)
- Le brin transcrit d'ADN
- Les ribonucléotides libres dans le milieu cellulaire
- L'énergie sous forme d'ATP.

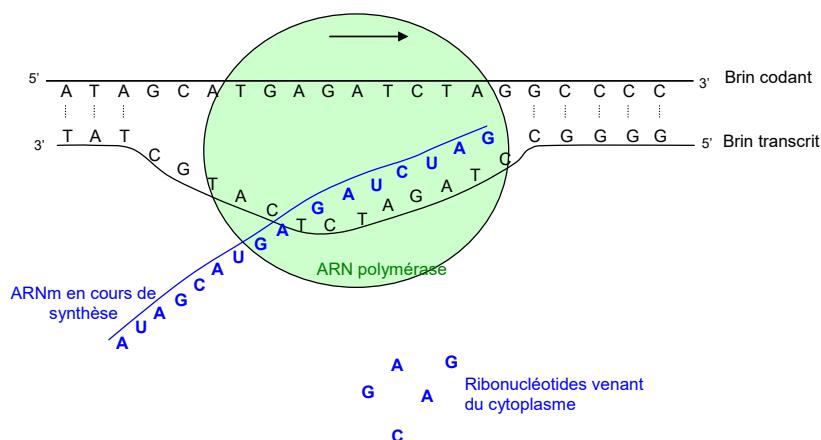
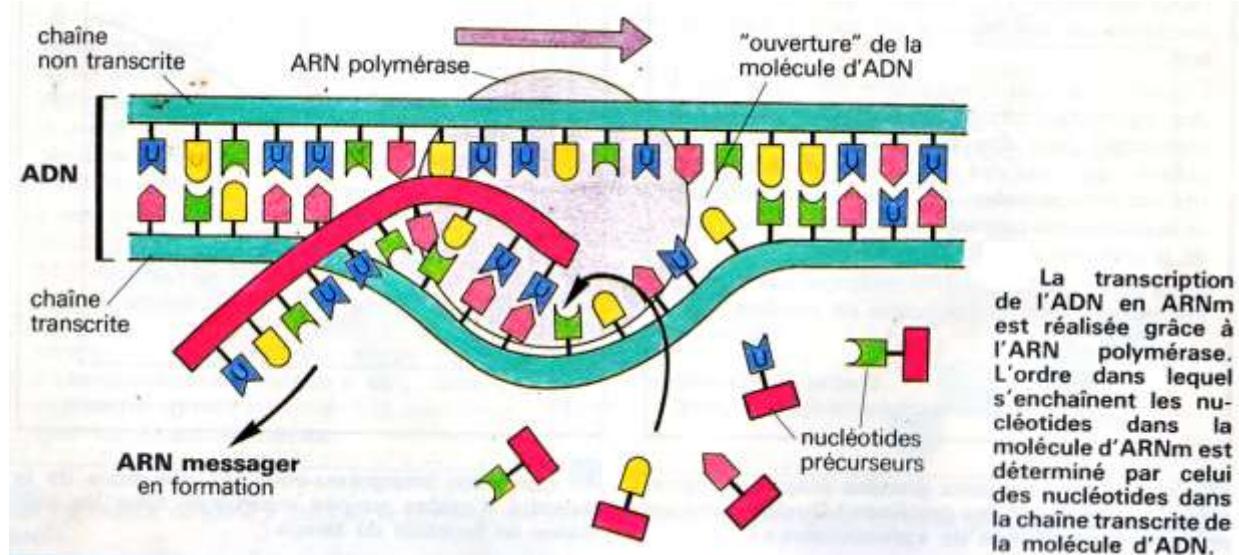
## I2- Le mécanisme de transcription

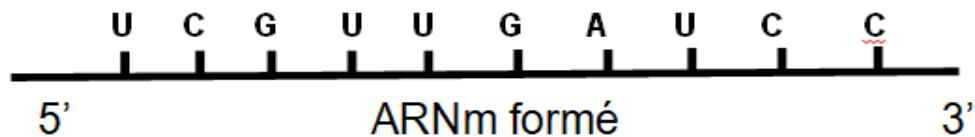
Lors de la transcription, l'ARN polymérase se fixe localement sur la molécule d'ADN et provoque la rupture des liaisons hydrogènes et l'ouverture de deux(2) brins d'ADN. Sous le contrôle de la transcriptase (enzyme) et par la règle de complémentarité, les ribonucléotides disponibles dans le milieu cellulaire viennent se placer en face des nucléotides sur le brin transcrit d'ADN correspondant de sorte que la cytosine en face de la guanine du brin ou la guanine en face de la cytosine du brin. De même l'adénine en face de la thymine du brin et l'uracile en face de l'adénine du brin. Ainsi, l'allongement de la molécule d'ARNm se fait toujours dans le sens de la polarité  $5' \rightarrow 3'$  et au rythme de 30 nucléotides par seconde.

Cependant les deux brins d'ADN ouverts se réassocient et reconstituent la molécule d'ADN initiale.

Remarque : Sur la séquence d'ADN ouverte, seul l'un des deux brins peut être copié ou transcrit. Ce brin est appelé BRIN TRANSCRIT car il détient l'information nécessaire. L'autre brin est appelé brin non transcrit.

Exemple :





A la fin de la transcription, l'ARN messager nouvellement formé se détache de la molécule d'ADN et franchit la membrane nucléaire du niveau des pores puis passe dans le cytoplasme pour être traduit en protéine.

### a) La notion de gènes

Les gènes sont des portions (morceaux) de chromosomes (ADN) responsables des caractères héréditaires.

On distingue trois (03) sortes de gènes :

- gènes de structure ;
- gènes d'ARNr ;
- gènes d'ARNm

Ainsi, la transcription ne produit pas seulement des ARNm. Par rapport aux gènes, on obtient :

- ❖ des ARNm qui seront traduites en protéine ;
- ❖ des ARNr qui vont assurer le transfert des acides aminés lors de la traduction ;
- ❖ des ARNr qui ne seront pas également traduit en protéines mais vont constituer avec les protéines, les sous-unités ribosomales qui participeront à la traduction.

### b) Les notions d'exons et d'introns

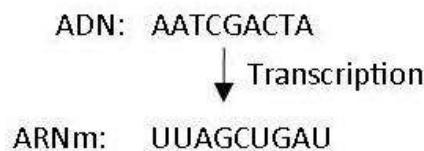
Chez les eucaryotes, les gènes renferment des séquences codante appelées exons et des séquences non codantes appelées introns.

Ainsi, à la fin de la transcription on obtient d'abord un ARN pré-messager qui doit subir certaines corrections ou maturations avant de quitter le noyau. Ce mécanisme de correction est appelé épissage qui consiste à supprimer tous les introns (partie non-sens) et à réunir les exons (partie sens) bout à bout pour former l'ARNm appelé aussi Cistron, molécule capable de diriger la traduction au niveau des ribosomes.

#### Important à retenir :

Dans un exercice, si l'on vous propose le brin transcrit ou brin non codant d'ADN, pour obtenir l'ARN messager on doit passer par la transcription en appliquant la complémentarité des bases parmi lesquelles l'uracile doit remplacer la thymine.

**Exemple :** Soit AATCGACTA, une séquence de brin transcrit d'ADN. Pour obtenir l'ARNm on aura



Par contre, si l'on vous propose dans un exercice, un brin non transcrit ou brin codant pour obtenir un ARNm, il est recommandé de recopier le brin non transcrit proposé en remplaçant le T par U.

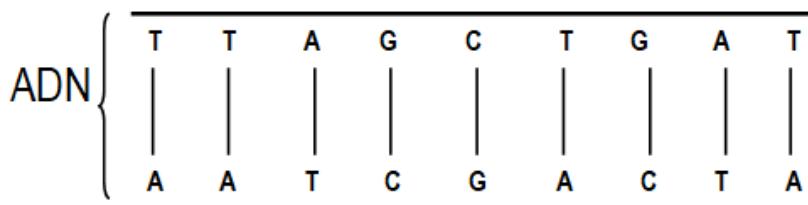
Exemple :

Soit TTAGCTGAT, le brin non transcrit d'ADN. La molécule d'ARNm à partir de ce brin UUAGCUGAU.

**Exercice :**

Soit le fragment d'ARNm UUAGCUGAU

- Etablir le brin d'ADN à partir duquel l'ARNm a été formé
- Reconstituer le fragment complet d'ADN correspondant



**II- Traduction**

La traduction est un mécanisme ou un processus par lequel l'information génétique codée ou stockée dans la structure de l'ARNm est décodée et traduite en protéine. C'est un mécanisme biologique par lequel les protéines sont synthétisées à partir de l'ARNm (messager).

Elle se déroule uniquement dans le cytoplasme de la cellule et en présence des facteurs de la traduction.

**III1- Les facteurs de la traduction**

Les facteurs sont des éléments nécessaires pour la traduction. Ce sont :

- ❖ la molécule d'ARN messager
- ❖ les ribosomes
- ❖ les acides aminés dont il y a 20 acides aminés naturels

**II2- le déroulement de la traduction**

C'est au cours de la traduction que l'information génétique copiée de l'ADN en ARNm est traduite en protéines par les ribosomes. Or, pour une traduction il nous faut un outil ou dictionnaire. En biologie moléculaire, ce dictionnaire est appelé le code génétique.

**a) Le code génétique**

**a.1. Définition**

On appelle code génétique, le système de correspondance qui existe entre la séquence des nucléotides de l'ARNm et la séquence des acides aminés de la chaîne polypeptidique (ou protéine).

**a.2. Etablissement du code génétique**

Dans la structure de l'ARNm, il y a seulement quatre (04) bases azotées (adénine, guanine, cytosine et uracile) qui doivent assurer l'insertion de 20 acides aminés dans la structure de la chaîne polypeptidique (protéine).

**Comment avec 4 lettres seulement l'on peut écrire 20 mots différents ?**

Pour répondre à cette question, Gamow (1954) a cherché à comprendre comment 04 bases azotées seulement peuvent insérer 20 acides aminés dans la structure d'une protéine synthétisée ?

Ainsi, il procède par des hypothèses suivantes :

- 1<sup>ère</sup> hypothèse :

Supposant un code à une base azotée c'est-à-dire une base doit insérer un acide aminé.

$$4^1 = 4 \text{ possibilités}$$

Cette hypothèse ne permet d'insérer que 04 acides aminés et il en restera 16. Ce code a été jugé insuffisant et rejeté.

➤ 2<sup>e</sup> hypothèse

Supposant un code à 2 bases azotées, c'est-à-dire 2 bases azotées s'associent pour insérer un acide aminé.

$$4^2 = 4 \times 4 = 16 \text{ possibilités}$$

Ce code permet d'insérer seulement 16 acides aminés et il en restera 4. Ce code est également insuffisant et rejeté.

➤ 3<sup>e</sup> hypothèse

Supposant un code à 3 bases ou triplet c'est-à-dire 3 bases s'associent pour insérer un acide aminé.

$$4^3 = 4 \times 4 \times 4 = 64 \text{ possibilités}$$

Ce code nous permet d'insérer les 20 acides aminés et il en restera 44 possibilités de trop ; mais en réalité toutes les 64 possibilités sont utilisées et reparties en 3 groupes.

- codon constructeur (AUG) qui indique le début de la traduction ;
- codon de structure qui permet l'elongation ou l'allongement de la structure de la protéine.
- codon de ponctuation ou codon stop (UAG ; UAA ; UGA) qui indique la fin de la traduction.

Par convention, le code génétique est présenté sous forme de tableau dans lequel on peut lire le nom d'un acide aminé désigné par tel ou tel autre codon.

NB : Un codon est un ensemble de 3 nucléotides sur la séquence d'une molécule d'ARNm codant pour un acide aminé ou pour un codon stop.

### a.3. La lecture du tableau de code génétique

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

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

Le code génétique est « le dictionnaire que la cellule utilise pour traduire le langage en 4 lettres des acides nucléiques en un langage à 20 lettres des protéines » (F. Crick). Les « mots » du dictionnaire sont des triplets de nucléotides ou codons. Parmi les 64 triplets possibles, 61 désignent un acide aminé défini ; les 3 autres ne « codent » pas pour des acides aminés mais commandent l'arrêt de la synthèse d'une protéine et sont appelés pour cette raison « codons-stop ».

**NB :** La lecture du tableau du code génétique se fait de manière continue triplet par triplet et sans chevauchement.

#### a.4. Les caractéristiques du code génétique

Les caractéristiques du code génétique sont :

- universalité du code ; on dit que le code est universel, car il est le même pour tous les êtres vivants sauf quelques exceptions chez la paramécie.
- la redondance ou dégénérescence signifie que dans le code génétique ; certains acides aminés peuvent être codé ou insérer par plusieurs codons différents :

**Exemple :** Arginine est codé par

CGU ; CGC ; CGA ; CGG ; AGA ; AGG

Glycine est codé par :

GGU ; GGC ; GGA ; GGG ; etc.

- le non chevauchement du code génétique signifie que dans le code génétique il n'y a pas de coïncidence entre les acides aminés correspondant aux codons.

#### a.5. Le mécanisme de la traduction

La traduction s'effectue dans le cytoplasme de la cellule en trois (3) étapes ;

- l'initiation ;
- l'elongation ou allongement de la chaîne polypeptidique ;
- la terminaison de la traduction.

##### a.5.1. L'initiation

Elle débute par le codon initiateur AUG. A ce niveau, viennent se mettre en place la petite sous-unité ribosomale par le codon chargé du 1<sup>er</sup> ARN<sub>T</sub> porteur du 1<sup>er</sup> acide aminé AUG (méthionine) reconnaissant le code correspondant de l'ARN<sub>m</sub>. La grosse sous-unité ribosomale vient alors compléter l'ensemble et forme un complexe ribosomal. Le ribosome complet est donc prêt à fonctionner et le 1<sup>er</sup> ARN<sub>T</sub> occupe le site (P) de la grande sous-unité.

**NB :** Le 1<sup>er</sup> ARN<sub>T</sub> se fixe toujours par l'extrémité 5' de l'ARN<sub>m</sub> et le complexe formé est constitué d'une association de :

- ARN<sub>m</sub>
- Premier ARN<sub>T</sub> ;
- Premier acide aminé AUG (méthionine)
- Le ribosome
- L'énergie sous forme d'ATP.

##### a.5.2. L'elongation ou l'allongement de la chaîne d'acide aminé

Cette phase consiste à enchaîner ou associer des acides aminés en une chaîne appelée chaîne polypeptidique ou protéine. A cet effet, après l'initiation, le ribosome peut se déplacer le long de l' ARN<sub>m</sub> et la décoder ou la déchiffrer d'un bout à l'autre. Ainsi, un 2<sup>ème</sup> ARN<sub>T</sub> porteur de 2<sup>ème</sup> acide aminé vient se fixer sur le site de ribosome. Sous l'action d'une enzyme appelée peptidique transférase, le 1<sup>er</sup> ARN<sub>T</sub> est libéré du 1<sup>er</sup> acide aminé et quitte le site. Cette réaction libère l'énergie nécessaire à l'établissement d'une relation peptidique entre le 1<sup>er</sup> et le 2<sup>e</sup> acide aminé. Le ribosome se situant à l'avant d'un code, déplace le 2<sup>e</sup> ARN<sub>T</sub> sur le site (P) et simultanément le 1<sup>er</sup> ARN<sub>T</sub> est libéré dans le cytoplasme. Un troisième ARN<sub>T</sub> porteur de trois acides aminés se place sur le site A par son anticodon correspondant aux codons lus sur l' ARN<sub>m</sub>. Une liaison peptidique s'établit entre les 2 acides aminés et l' ARN<sub>T2</sub> quitte le site (P) et passe dans le cytoplasme.

Le processus se répète ainsi régulièrement et la chaîne polypeptidique s'allonge et prend la forme qui lui confère sa spécialité.

Ce processus est très rapide. C'est-à-dire 2 à 3 suffisent pour avoir une chaîne polypeptidique de 140 acides aminés et élabore toujours les mêmes protéines.

### a.5.3. La terminaison

La terminaison exprime la fin de la traduction. Elle se produit lorsque le ribosome rencontre sur la structure de l' ARN<sub>m</sub>, l'un de trois codons stop (UAG ; UAA ; UGA). Ces codons sont dits non-sens et ne correspondent à aucun acide aminé.

A ce moment, le ribosome libère la chaîne polypeptidique qu'il porte et les deux sous-unités ribosomales se dissocient (la grande et la petite) et quittent la molécule d' ARN<sub>m</sub> ainsi que le dernier ARN<sub>t</sub>.

Remarque :

A la fin de la traduction, la méthionine (1<sup>er</sup> acide aminé) insérée par le codon initiateur se détache de la chaîne polypeptidique et l'on obtient une protéine fonctionnelle capable d'induire les caractères héréditaires chez le nouvel individu.

## III-Les mutations

### a) Définition

On appelle mutation toute modification de la séquence des nucléotides du gène de l'ADN.

### b) Les différents types de mutation

Il existe deux (2) types de mutation :

- Les mutations géniques ;
- Les mutations chromosomiques.

#### b.1. Les mutations géniques

Les mutations géniques sont des modifications qui affectent la structure du gène de l'ADN. Ces mutations sont simples et courantes. Elles sont appelées mutations ponctuelles et locales.

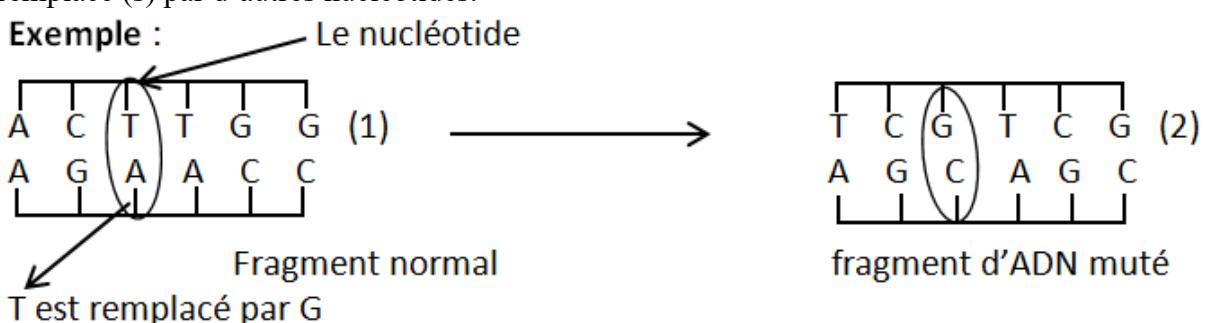
Ce sont :

- Une base azotée mal copiée de l'ADN (substitution) ;
- Une base azotée oubliée (délétion ou perte) ;
- Une base azotée ajoutée sur la structure de l'ADN lors de la réPLICATION ou de la transcription.

##### b.1.1. Les mutations géniques par substitution

Ce sont les mutations géniques au cours de laquelle un ou plusieurs nucléotides est ou (sont) remplacé(s) par d'autres nucléotides.

**Exemple :**



#### Conséquences :

Sur la structure d'ADN, ces mutations peuvent entraîner un changement de la structure de la molécule initiale et aussi celle de l' ARN<sub>m</sub>.

Si le codon muté code pour un même acide aminé, la protéine synthétisée ne sera pas modifiée. Ainsi on parle d'une mutation silencieuse ou mutation synonyme.

**Exemple :**

<b>Brin transcrit normal</b>					
ADN	AAG	GCT	AGT	GTA	TGA
ARNm	UUC	CGA	UCA	CAU	ACU
Protéine	Phénylalanine	Arginine	Serine	Histidine	Thionine
Obtenue					
<b>Brin transcrit anormal</b>					
ADN Muté	AAG	GCG	AGT	GTA	TGA
ARNm	UUG	CGC	UGA	CAU	ACU
Muté					
Protéine	Phénylalanine	Arginine	Serine	Histidine	Thionine
Obtenue					

On constate que dans cette mutation le codon CGA codant pour l'Arginine est muté en CGC qui code toujours pour l'Arginine. Cette mutation est provoquée par la substitution ou le remplacement du nucléotide sur le brin transcrit en 6<sup>e</sup> position par le nucléotide G. comme cela ne modifie pas la structure de la protéine synthétisée, on dit que c'est une mutation sans conséquence d'où l'appellation de mutation silencieuse :

- Si, le codon muté code pour un autre acide aminé la structure de la protéine synthétisée sera modifiée c'est-à-dire elle sera différente de la protéine initiale. Dans ce cas le message génétique sera modifié aussi, alors on parle d'une mutation faux – sens.

#### Exemple :

ADN Muté	AAG	GGT	AGT	GTA	TGA
ARNm Muté	UUC	CCA	UCA	CAU	ACU
Protéine Obtenue	Phénylalanine	Protéine	Serine	Histidine	Thionine

- Si le codon muté code pour un codon stop, on parle d'une mutation non – sens.

A cet effet, si la mutation se produit dès le début de la protéine les conséquences seront très graves car, le message sur l'ARN<sub>m</sub> ne sera pas traduit en protéine. Mais si l'erreur se produit à la fin de la traduction, les conséquences seront négligeables. Car cela n'aura pas d'effet sur le message génique.

#### b.1.2. Les mutations géniques par l'insertion (ajout)

Ce sont les mutations au cours desquelles un ou plusieurs nucléotides est/ sont ajouté (s) sur la structure de l'ADN ou de l'ARN<sub>m</sub>.

#### b.1.3. Les mutation géniques par délétion (perte).

Ce sont des mutations au cours desquelles un ou plusieurs nucléotides est/ sont perdu (s) sur la structure d'ADN.

#### Conséquences :

Les mutations géniques par insertion et les mutations géniques par délétion ont pour conséquence le décalage de lecture lors de la traduction. Ces mutations modifient automatiquement le sens de lecture en aval de la mutation. On parle de la mutation décalante.

**Remarque :** si ces mutations affectent l'ADN des cellules de lignées germinales, elles peuvent être transmissibles de génération en génération et sont responsables de la diversité ou le polymorphisme de la population. Mais si elle affecte les cellules somatiques, elles ne sont pas transmissibles.

#### b.2. Les mutations chromosomiques

Ce sont des anomalies ou observation chromosomique. Elles affectent le nombre ou la structure de l'ADN (confère : Hérédité Humaine).

Type de mutation	ARNm correspondant au gène normal + protéine synthétisée	ARNm correspondant au gène muté + protéine synthétisée
<b>Substitution</b> (remplacement d'un couple de nucléotides par un autre)	$\begin{array}{c} \text{CCA} - \text{GAG} - \text{ACU} \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \\ \text{Pro} - \text{Glu} - \text{Thr} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CCA} - \text{GU} - \text{ACU} \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \\ \text{Pro} - \text{Val} - \text{Thr} \end{array}$
<b>Inversion</b> (retournement d'un triplet)	$\begin{array}{c} \text{UUC} - \text{UGG} - \text{GCU} \\ \downarrow \quad \text{---} \quad \downarrow \\ \text{Phé} - \text{Try} - \text{Ala} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{UUC} - \text{GGU} - \text{GCU} \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \\ \text{Phé} - \text{Gly} - \text{Ala} \end{array}$
<b>Délétion</b> (perte d'un couple de nucléotides)	$\begin{array}{c} \text{UAC} - \text{ACC} - \text{ACG} - \text{A} \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \text{perte} \\ \text{Tyr} - \text{Thr} - \text{Thr} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{UAC} - \text{CCA} - \text{CGA} \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \\ \text{Tyr} - \text{Pro} - \text{Arg} \end{array}$
<b>Insertion</b> (introduction d'un couple supplémentaire de nucléotides)	$\begin{array}{c} \text{UAC} - \text{ACC} - \text{ACG} \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \\ \text{Tyr} - \text{Thr} - \text{Thr} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{UAC} - \text{GAC} - \text{CAC} - \text{G} \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \text{ajout} \\ \text{Tyr} - \text{Asp} - \text{His} \end{array}$

Principaux types de mutations géniques ponctuelles, c'est-à-dire affectant un seul triplet de nucléotides de l'ADN. Quelques exemples sont présentés dans ce tableau.

## CHAPITRE 4 : LE BRASSAGE DE L'INFORMATION GENETIQUE ET LE CYCLE DE DEVELOPPEMENT

### I- Le brassage de l'information génétique lors de la reproduction

La reproduction sexuée assure le brassage de l'information génétique et produit des individus nouveaux uniques. Ces individus aux caractères nouveaux résultent de la recombinaison des différents gènes au cours de la méiose lors de la formation des gamètes (ou cellules sexuelles) et au cours de la fécondation lors de la fusion aléatoire des 2 gamètes (mâle et femelle) dotant le zygote ou cellule œuf d'une combinaison originale des différents caractères du génome de l'espèce.

Ce cours a pour objectif d'expliquer les différents points de brassage de l'information génétique au cours de la méiose et de la fécondation.

#### I.1.La méiose

La méiose est l'ensemble de deux divisions successives (division réductionnelle et division équationnelle), qui à partir d'une cellule mère diploïde ( $2n$ ) aboutit à la formation de 4 cellules haploïdes à  $n$  chromosomes à 1 chromatide.

Elle peut être résumée comme suit :

1 cellule mère diploïde 2 cellules filles à  $n$  chromosomes 4 Cellules haploïdes à  $2n$  chromosomes à 2 chromatides à  $n$  chromosomes à 1 chromatide.

Reproduite tant dans le règne animal que végétal, la méiose intéresse essentiellement les cellules sexuelles et se déroule dans les testicules chez le mâle et dans les ovaires chez la femelle des animaux et dans les cellules mères diploïdes des végétaux.

## I<sub>2</sub>. Le déroulement de la méiose

Comme dans le cas de la mitose ordinaire, chacune des 2 divisions méiotiques est subdivisée en 4 phases (prophase, métaphase, anaphase et télophase) et sont précédées d'une seule interphase ou synthèse d'ADN.

Pour illustration, prenons l'exemple d'une cellule animale à **2n=4** chromosomes qui subit la méiose.

### A-La division réductionnelle ou méiose I

Elle est caractérisée par la réduction du nombre de chromosomes dans les 2 cellules filles et comporte 4 phases : la prophase I, la métaphase I, l'anaphase I et la télophase I.

#### a<sub>1</sub>. La prophase I

C'est la phase la plus longue et complexe. Elle est caractérisée par la condensation de la chromatine en chromosomes, la fissuration ou clivage des chromosomes en chromatides réunies par le centromère et l'appariement des chromosomes homologues sur leur longueur formant des **tétrades ou bivalents**. Les bras des chromatides homologues se croisent ou subissent un enjambement(ou chiasma), favorisant des échanges de segments des chromatides non sœurs lors du crossing-over.

Cependant, le noyau se gonfle puis se désorganise, la membrane nucléaire et le nucléole disparaissent et il se met en place le fuseau achromatique et les fibres polaires ou tractrices.

#### a<sub>2</sub>. La métaphase I

A la métaphase, orientés par le fuseau achromatique, les chromosomes déjà fissurés formant des tétrades ou bivalents disposés en vrac dans le cytoplasme, migrent et viennent se placer dans la médiane (sur le plan équatorial) de part et d'autre du plan équatorial en écartant chacun son centromère

#### a<sub>3</sub>. L'anaphase I

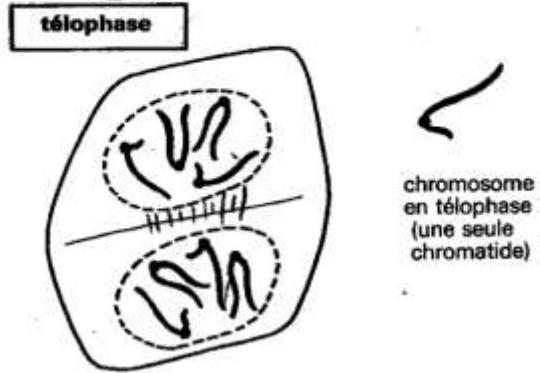
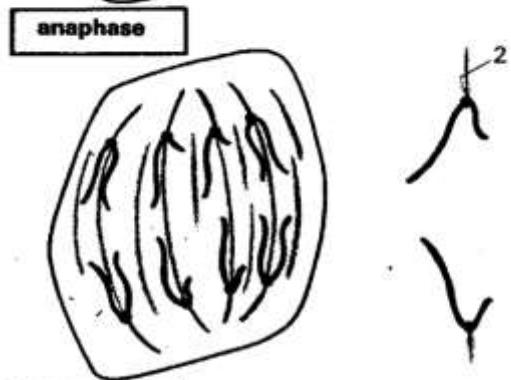
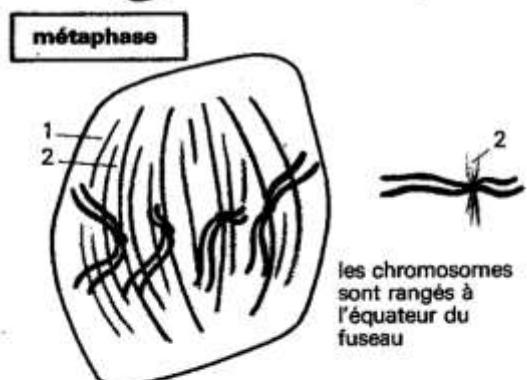
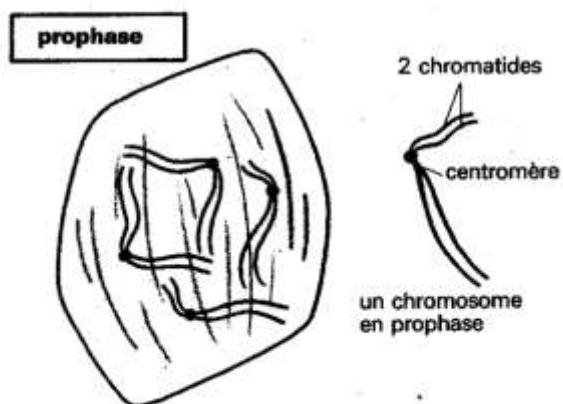
A l'anaphase I, les deux chromosomes homologues de chaque paire disposés de part et d'autre du plan équatorial se séparent et migrent vers chaque pôle.

Contrairement à la mitose ordinaire, les centromères ne se divisent pas à l'anaphase I de la méiose. Cette ascension concerne des chromosomes entiers formés chacun de 2 chromatides. Chaque lot correspond donc à la moitié du nombre du départ. C'est la réduction chromosomique.

#### a<sub>4</sub>. La télophase I

Pendant cette phase, à la fin de leur migration, les chromosomes homologues se séparent et forment deux lots identiques aux pôles opposés de la cellule. La membrane nucléaire se reconstitue autour de chaque lot, les nucléoles réapparaissent et la division du cytoplasme ou la cytokinèse crée un étranglement puis la division de la cellule mère diploïde en **deux cellules filles haploïdes à n chromosomes à 2 chromatides**. Les cellules filles issues de cette division réductionnelle ne reçoivent chacune qu'un exemplaire des chromosomes homologues de chaque paire. C'est pour cette raison qu'on parle de réduction chromosomique à la méiose.

**NB : Pas de division du centromère à l'anaphase I.**



## b. La division équationnelle ou méiose II

Elle intervient immédiatement après la division réductionnelle et se déroule généralement comme la mitose ordinaire en 4 phases : la prophase II, la métaphase II, l'anaphase II et la télophase II.

### b<sub>1</sub>. la prophase II

Contrairement à la prophase I et à la prophase de la mitose ordinaire, la prophase II est brève et rapide. Elle est confondue à la télophase I, car, les chromosomes sont déjà individualisés, fissurés chacun en 2 chromatides réunis par les centromères.

### b<sub>2</sub>. La métaphase II

A la métaphase II, les chromosomes déjà fissurés se disposent par leur centromère dans le plan équatorial et forment la plaque équatoriale.

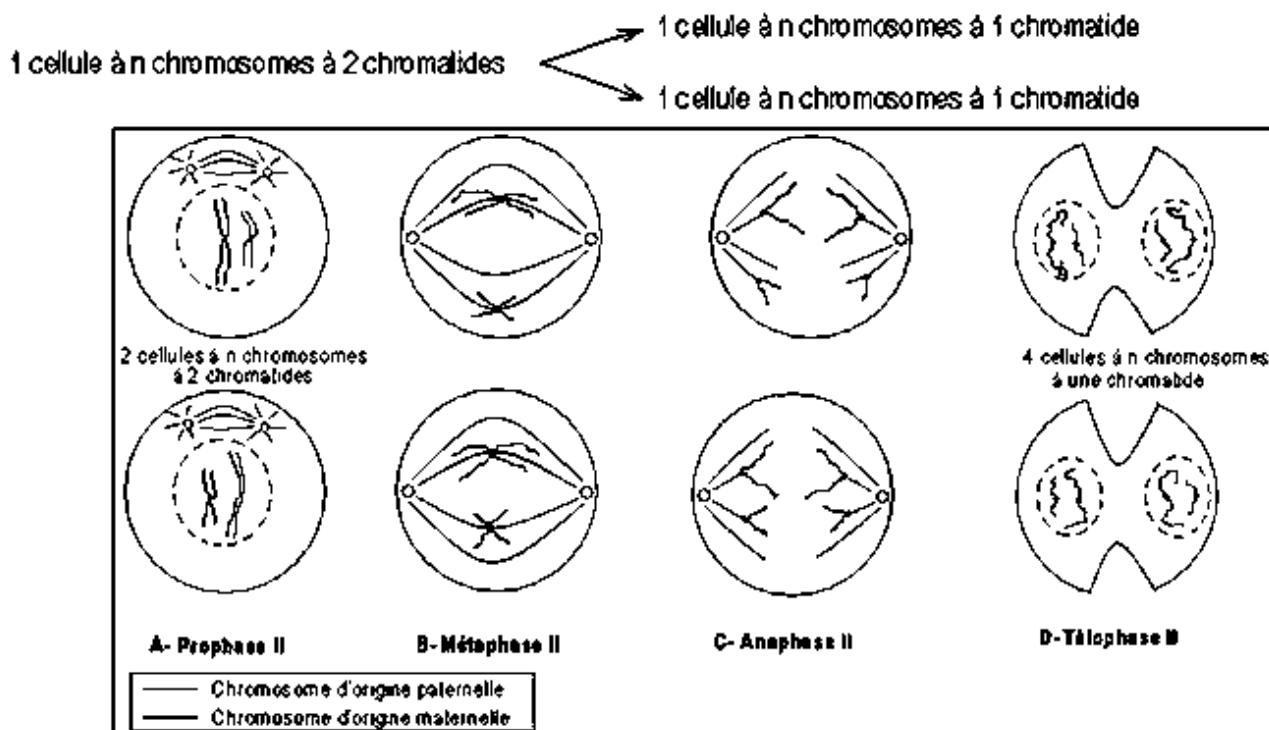
### b<sub>3</sub>. l'anaphase II

Elle est caractérisée par la division des centromères et la libération des chromatides sœurs qui migrent vers les pôles opposés de la cellule.

### b<sub>4</sub>. la télophase II

A la fin de leur migration, les chromatides libérées appelées aussi chromosomes fils puis chromosomes, se décondensent et reconstituent la chromatine à chaque pôle de la cellule. La membrane nucléaire se reconstitue autour de chaque lot et les nucléoles réapparaissent. Suite à la division du cytoplasme, la cellule s'étrangle et se divise en deux cellules filles haploïdes à  $n$  chromosomes à 1 chromatide.

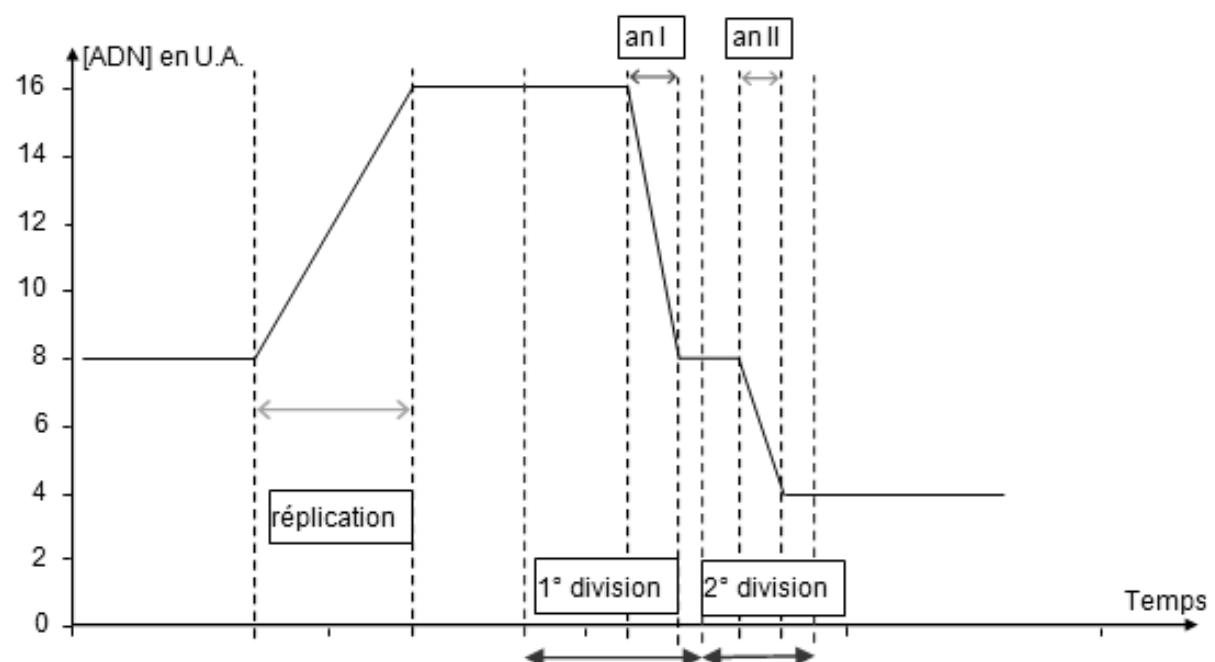
A la fin de la méiose, on obtient toujours **4 cellules haploïdes à  $n$  chromosomes à 1 chromatide** appelées cellules sexuelles **ou gamètes**.



### c. L'évolution de la quantité d'ADN au cours de la méiose

#### c1. Graphique de la variation de l'ADN

Variation de la quantité d'ADN au cours de la méiose



#### **d. Analyse et Interprétation du graphique**

Le graphique montre qu'au début de l'interphase, la quantité de l'**ADN** dans le noyau de la cellule en division est de **QADN**. Pendant l'interphase, cette quantité se duplique et passe de **QADN à 2QADN** correspondant à la fissuration(ou réPLICATION de l'**ADN**) de chaque chromosome en 2 chromatides réunies par le centromère à la phase **S**.

A la première division méiotique ou division réductionnelle, précisément à l'anaphase I, la séparation des chromosomes homologues de chaque paire dans les **2** cellules filles haploïdes rétablit la quantité initiale **QADN**, correspondant à **n** chromosomes à **2** chromatides (cf. 1<sup>ère</sup> chute du graphique).

A la deuxième division méiotique ou division équationnelle, précisément à l'anaphase II, la division des centromères entraîne la séparation des chromatides sœurs de chaque chromosome, divisant la quantité initiale **QADN** dans la cellule par **2**. C'est-à-dire cette quantité passe de **QADN à 1/2QADN**, correspondant à la **2<sup>ème</sup> chute** du graphique. Ainsi, on obtient à la fin de la méiose **4** cellules haploïdes à **n** chromosomes à **1** chromatide.

**Exemple :** les spermatozoïdes chez l'homme et l'ovule chez la femme sont des cellules sexuelles ou gamètes issues de la méiose.

#### **e. Les différents types de brassage de l'information génétique au cours de la méiose**

Il existe deux types de brassage de l'information génétique au cours de la méiose :

- **Le brassage interchromosomique** ;
- **Le brassage intrachromosomique**.

##### **e1. Le brassage interchromosomique de l'information génétique**

Il a lieu à la 1<sup>ère</sup> division méiotique, lors de la disposition au hasard des chromosomes homologues de part et d'autre du plan équatorial à la métaphase I et au moment de leur séparation à l'anaphase I, formant deux lots haploïdes qui migrent vers les pôles opposés de la cellule.

En effet, la disposition des chromosomes de différentes origines de chaque paire dans la médiane n'obéit à aucune règle et chaque cellule fille issue de ces divisions reçoit l'un ou l'autre des chromosomes homologues de chaque paire et de façon aléatoire et indépendante. Ce type de brassage est à l'origine de la formation des différentes catégories de gamètes et intéresse les gènes indépendants ou gènes non liés (Dihybridisme avec gènes non liés).

##### **e1.1 Détermination des possibilités de formation des différents types de gamètes**

Le nombre de possibilités de formation des types de gamètes distincts se détermine par la formule : **N= 2<sup>n</sup> avec n= nombre de paires**.

Ce nombre de possibilités correspond à la répartition ou la disparition aléatoire ou au hasard de ces **n** paires de chromosomes dans le noyau des différents gamètes produits. Puisque chaque chromosome est le support de l'information génétique spécifique, on dit qu'il y a mélange ou brassage de l'information génétique dans les gamètes.

Dans l'espèce humaine, on peut calculer la probabilité d'avoir uniquement des gamètes mâles ou femelles en utilisant la même formule.

Soit, la cellule mère diploïde à **2n = 46** chromosomes avec **n= 23 paires** de chromosomes. Cette probabilité est de : **N= 2<sup>n</sup> avec n= 23 paires**.

En AN : **N= 2<sup>23</sup>= 8 388 608** types de gamètes que peut produire l'homme ou la femme.

##### **Exemple : Extrait de Bac Tchad.**

Prenons une cellule mère diploïde à **2n= 8** Chromosomes avec **n= 4 paires**.

Après la méiose, cette cellule peut produire, **2<sup>4</sup>** types distincts de gamètes.

Soit **N= 2<sup>4</sup>=2×2×2×2=16** possibilités de formation de gamètes différents.

##### **e2. Le brassage intrachromosomique de l'information génétique au cours de la méiose**

Il s'effectue entre les chromosomes homologues et intéresse les gènes liés (liaison partielle) avec échange de fragments entre les chromatides non sœurs à l'anaphase I.

En effet, en prophase I, les chromosomes homologues de chaque paire s'apparent et forment des tétrades ou bivalents. Les chromatides homologues de ces chromosomes peuvent se chevaucher, formant de chiasmas ou enjambement et échanger des segments lors de leur séparation à l'anaphase I. C'est à dire en se retirant l'un de l'autre, les bras des chromatides peuvent se casser et se ressoudre en échangeant des fragments suite à un crossing-over. Ainsi, les chromosomes homologues séparés à l'anaphase I, ne possèdent plus la même information génétique sur leurs deux chromatides sœurs. Ces chromatides sont donc recombinées.

C'est-à-dire contiennent un mélange de l'information génétique, unique et spéciale.

Exemple :

#### **f. Importance génétique de la méiose**

Sur le plan génétique, la méiose permet :

- La séparation aléatoire des chromosomes homologues d'origine paternelle et maternelle dans chaque cellule sexuelle ;
- La séparation des chromosomes sexuels (xy chez l'homme et xx chez la femme) ;
- Un échange de matériel héréditaire entre les chromosomes de différentes origines.

En conclusion, la méiose favorise non seulement la transmission des caractères héréditaires mais aussi la diversification de ces caractères au sein de la population à la suite des brassages chromosomiques.

### **II- Le brassage de l'information génétique a la fécondation**

La fécondation est la fusion de 2 cellules haploïdes (mâle et femelle), issues de la méiose, donnant une cellule œuf ou zygote diploïde, qui, par divisions cellulaires successives engendre un nouvel individu.

La rencontre de ces gamètes mâle et femelle se fait au hasard et chaque individu nouveau est un être unique et original. Mais, si nous considérons les origines des chromosomes homologues du caryotype de cet individu nouveau, bien que semblables, l'un est d'origine paternelle et l'autre est d'origine maternelle. L'association de ces chromosomes dans le noyau des cellules constitue un brassage de l'information génétique.

#### **a. Détermination des possibilités de combinaison des chromosomes dans le noyau de la cellule œuf ou zygote**

Les possibilités de combinaisons des chromosomes dans la cellule œuf ou zygote sont déterminées par la formule :  $Z = (2^n)^2$  avec  $n$  = nombre de paires.

Exemple :

Prenons une cellule mère diploïde à  $2n=8$  chromosomes avec  $n=4$  paires. Cette cellule peut produire  $2^4$  types de gamètes males distincts et  $2^4$  types de gamètes femelles distincts. A la fécondation, le couple de cette espèce donnera :  $Z = (2^4)^2$  combinaisons possibles dans la cellule œuf ou zygote. Soit  $Z = (2^4)^2 = 2^8 = 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 256$  possibilités de combinaisons ou nombre des zygotes ou cellules œufs possibles.

### **EXERCICE D'APPLICATION/BAC 2005**

Un individu possède 4 paires de chromosomes (on appellera **I**, **II**, **III** et **IV**). Dans chacune de ses cellules, 4 chromosomes sont d'origine paternelle (**I<sub>p</sub>**, **II<sub>p</sub>**, **III<sub>p</sub>** et **IV<sub>p</sub>**), 4 chromosomes sont d'origine maternelle (**I<sub>m</sub>**, **II<sub>m</sub>**, **III<sub>m</sub>** et **IV<sub>m</sub>**).

1- Combien de types distincts de gamètes fabrique-t-il ?

2- Représenter les anaphases de 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> divisions de la méiose donnant des gamètes dont la garniture chromosomique sera **I<sub>p</sub>**, **II<sub>p</sub>**, **III<sub>m</sub>** et **IV<sub>m</sub>**.

3- Calculer le nombre de zygotes possibles produits par le croisement de deux individus de cette espèce.

#### **Résolution**

1- Le nombre de types distincts de gamètes fabriqués.

Soit  $N = 2^n$  = nombre de types de gamètes distincts fabriqués par cet individu à  $2n=8$  chromosomes avec  $n = 4$  paires.

AN :  $N = 2^4 = 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$  types distincts de gamètes.

2- Représentation des anaphases de 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> divisions de la méiose (cf. schéma de méiose)

3- calculons le nombre de zygotes que peut produire le couple de cette espèce.

Soit  $Z = (2^n)^2$  = nombre de zygotes avec  $n = 4$  paires.

AN :  $Z = (2^4)^2 = 2^8 = 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 256$  zygotes possibles.

### b. Le cycle de développement

La reproduction sexuée de toute Espèce animale ou végétale est caractérisée par l'alternance régulière de deux phénomènes biologiques :

- La **fécondation** qui produit un **œuf ou Zygote diploïde** par fusion de deux cellules sexuelles ou gamètes haploïdes ;
- La **méiose** qui produit des cellules ou **gamètes haploïdes** à partir des cellules souches diploïdes.

Dans cette alternance, la garniture chromosomique caractéristique de l'espèce est conservée de générations en génération. Ainsi, on dit que la méiose et la fécondation sont deux phénomènes compensateurs.

Comme dans cette alternance, le même caryotype diploïde est reconstitué à chaque nouvelle fécondation, on parle d'un cycle chromosomique.

Le cycle chromosomique d'une espèce présente seulement la **méiose** et la **fécondation** qui délimitent la phase à  $n$  chromosomes, appelée haplophase et la phase à  $2n$  chromosomes, appelée diplophase. Ainsi, en fonction des positions relatives de la méiose et de la fécondation, on distingue **trois types de cycle de développement** :

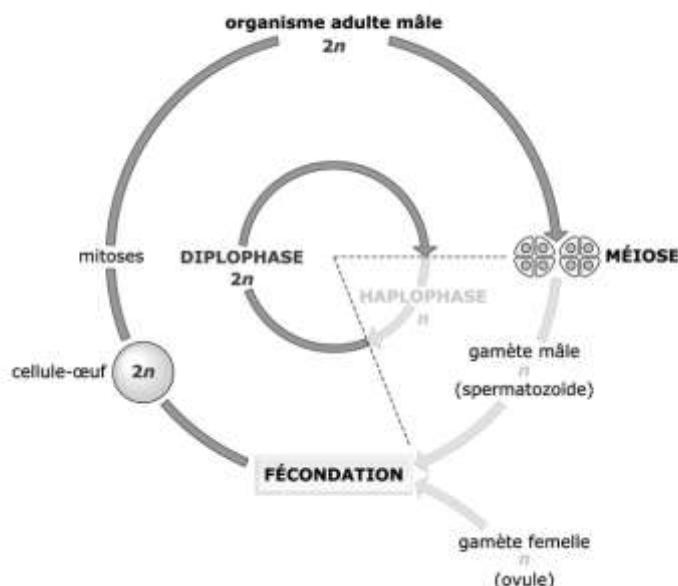
- ✓ **Le cycle diplophasique ou diplobiontique** ;
- ✓ **Le cycle haplophasique ou haplobiontique** ;
- ✓ **Le cycle diplohaplophasique ou diplohaplobiontique**.

#### b.1. Le cycle diplophasique ou diplobiontique

C'est un cycle au cours duquel la fécondation intervient immédiatement après la méiose (ou formation des gamètes haploïdes). Dans ce cas, seules les cellules sexuelles ou gamètes sont haploïdes. Puisque, après la fécondation, toutes les cellules du nouvel individu provenant de la cellule œuf sont diploïdes. Ce cycle est donc prédominé par la phase diploïde. C'est pourquoi, on parle du cycle diplophasique ou diplobiontique.

**Exemple** : le cycle de développement chez **les animaux**.

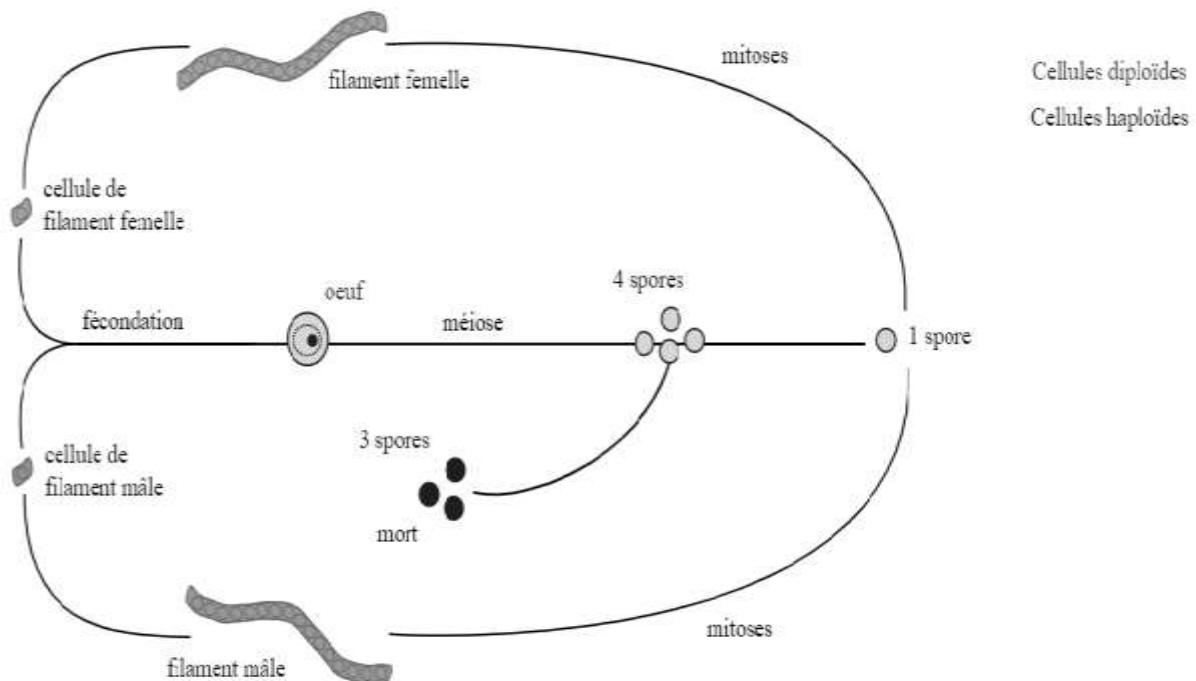
**Cycle de reproduction d'un animal (diploïde)**



### **b.2. Le cycle haplophasique ou haplobiontique**

Dans ce cycle, la méiose intervient immédiatement après la fécondation. La phase diploïde est donc réduite à la seule cellule œuf ou zygote. La multiplication cellulaire se fait uniquement en phase haploïde. Ce cycle est donc prédominé par la phase haploïde, c'est-à-dire les individus de cette espèce sont constitués par des cellules à  $n$  chromosomes.

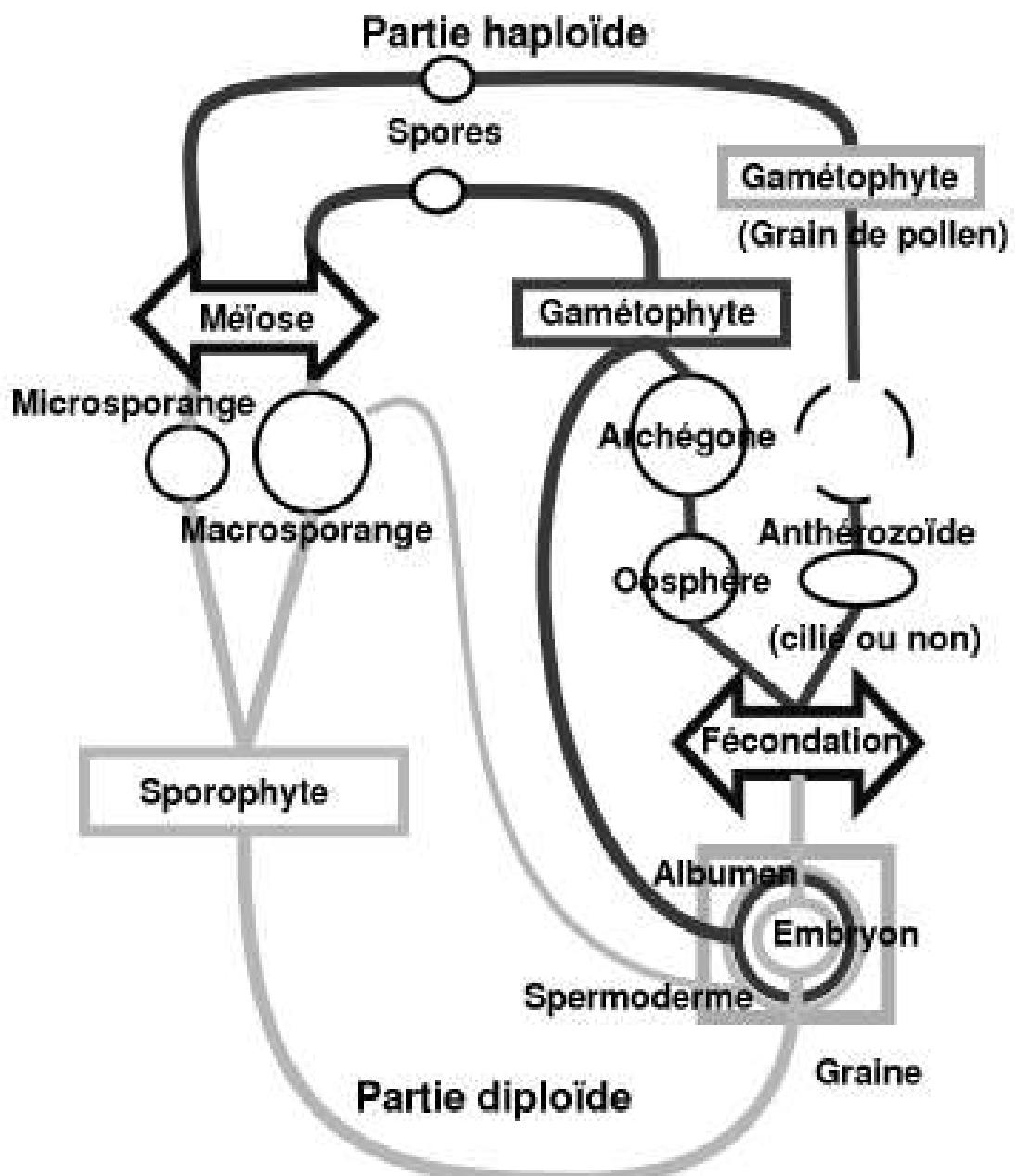
**Exemple :** Cas du cycle de la **spirogyre**.



### **b.3. Le cycle diplohaplophasique ou cycle diplohaplobiontique**

Au cours de ce cycle, la méiose et la fécondation sont séparées. On observe l'alternance d'une phase haploïde et d'une phase diploïde. Ces phases varient d'une espèce à l'autre.

**Exemple.** Le cycle de développement des **SPERMATOPHYTES**.



## **DEUXIEME PARTIE : REPRODUCTION SEXUEE ET HEREDITE**

### **LA REPRODUCTION CHEZ LES VEGETAUX**

#### **GENERALITES**

Beaucoup des végétaux possèdent des fleurs et des graines, on les appelle **phanérogames** « **mariage visible** », pour indiquer que la reproduction s'effectue dans un organe : la fleur. Puisque la graine est l'organe caractéristique de ces végétaux, on leur préfère aujourd'hui le terme de **spermaphytes**(ou plantes à graines).

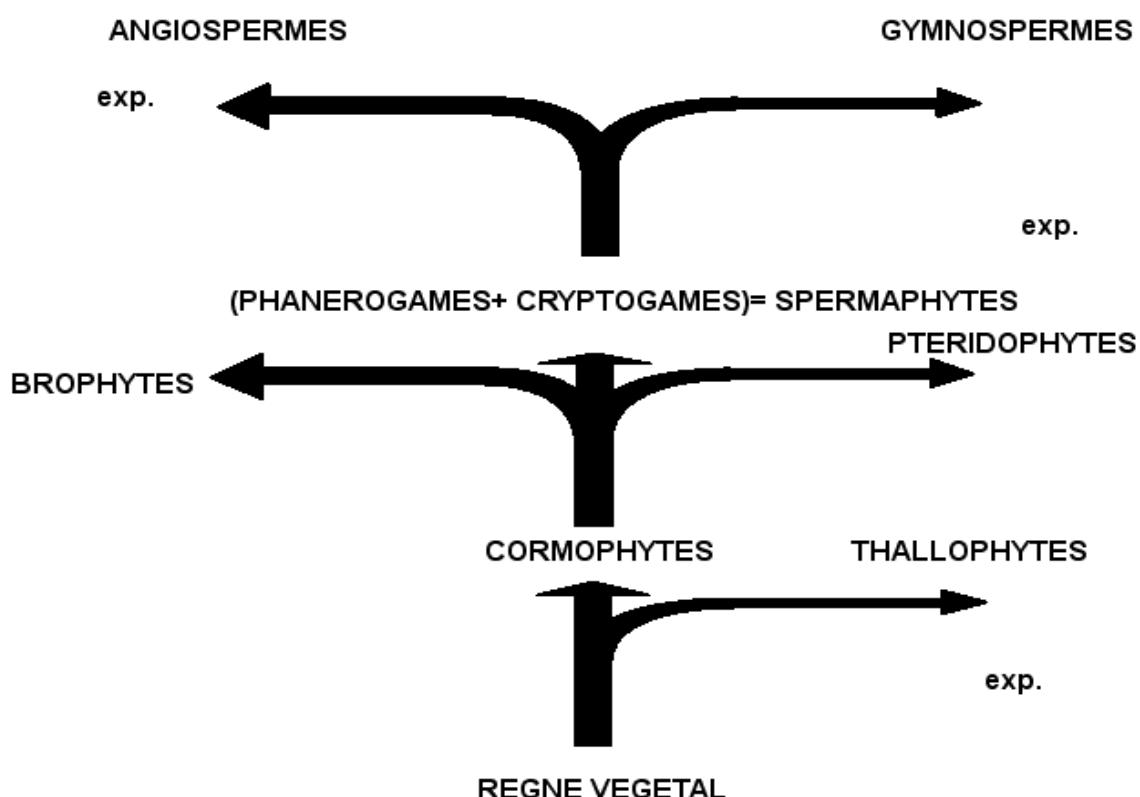
Dans le règne végétal, on distingue 4 embranchements (**Thallophytes**, **Bryophytes**, **Pteridophytes** et **Spermaphytes**) dont les **Spermaphytes** constituent les plantes les plus évoluées possédant de racines, de tige, de feuilles et de fleurs.

L'embranchement des **Spermaphytes** comporte deux groupes (ou Sous-embranchements) :

- Groupe ou S/embranchement des **gymnospermes** ou plantes à graines nues, c'est-à-dire graines non enfermées dans un fruit ;
- Groupe ou S/Embranchement des **angiospermes** ou plantes à graines enveloppées, c'est-à-dire graines enfermées dans des fruits.

Les **Angiospermes** comprennent deux classes :

- La classe des **dicotylédones**;
- La classe des **monocotylédones**.



On distingue deux types de reproduction chez les **Spermaphytes** :

1. **La reproduction sexuée** à partir des graines, observée chez la plupart des Angiospermes, avec quelques cas de **Parthénogénèse** (ou reproduction uni parentale qui ne donne pas naissance à des individus génétiquement identiques en raison des brassages au cours de la méiose) ;
2. **La reproduction végétative ou multiplication végétative** à partir d'un organe ou fragment

de l'appareil végétatif.

## **CHAPITRE 5 : LA REPRODUCTION SEXUÉE CHEZ LES SPERMAPHYTES**

### **I- Cas des angiospermes**

L'appareil reproducteur des spermaphytes (ou **Phanérogames**) est constitué par la fleur qui après fécondation donne naissance au fruit et à la Graine.

#### **La fleur**

La fleur des Angiospermes est une structure spécialisée impliquée dans la reproduction sexuée. Elle apparaît au moment de la mise à fleur de la plante. Elle est formée à partir de méristème qui donnait des tiges et des feuilles pendant la phase de croissance végétative. Une fois formée, l'axe qui la porte arrête de croître.

#### **a) Définition**

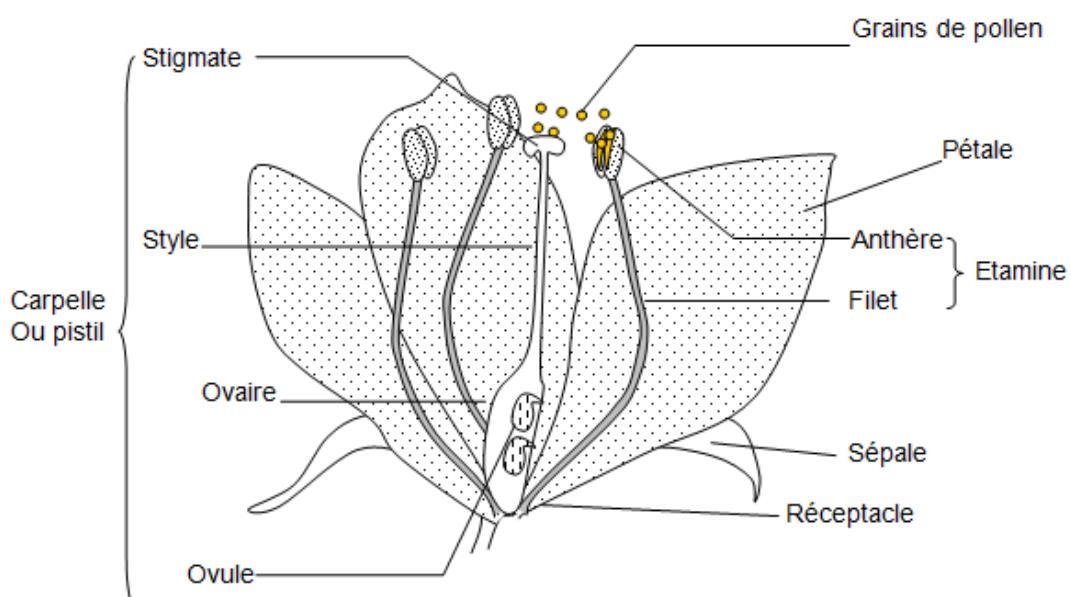
On appelle **fleur**, un rameau spécialisé portant deux types de pièces :

- ✓ Les enveloppes florales (**sépales et pétales**) dont l'ensemble constitue le **périanthe** ;
- ✓ Les pièces reproductrices (organes reproducteurs males ou **étamines** et femelles ou **carpelle**). Toutes les pièces florales sont disposées en **cercle**. Chaque **cercle** est appelé **verticille**.

#### **b) La morphologie d'une fleur**

La dissection d'une fleur permet d'observer de la périphérie (l'extérieur) vers le centre (l'intérieur) ce qui suit:

- Un ensemble de sépales formant le **calice** ;
- Un ensemble de pétales formant la **corolle** ;
- Des organes reproducteurs males **ou étamines** ;
- Des organes reproducteurs femelles **ou carpelle** dont l'ensemble constitue le **Pistil**.



Coupe longitudinale d'une fleur bisexuée

#### **Fleur**

Organes reproducteurs males	Organes reproducteurs femelles	Organes protecteurs ou périanthe
Etamines	Pistil (carpelle)	Sépales, Pétales

**Remarques :** Par rapport au nombre de sépales et de pétales sur une fleur, on distingue chez les

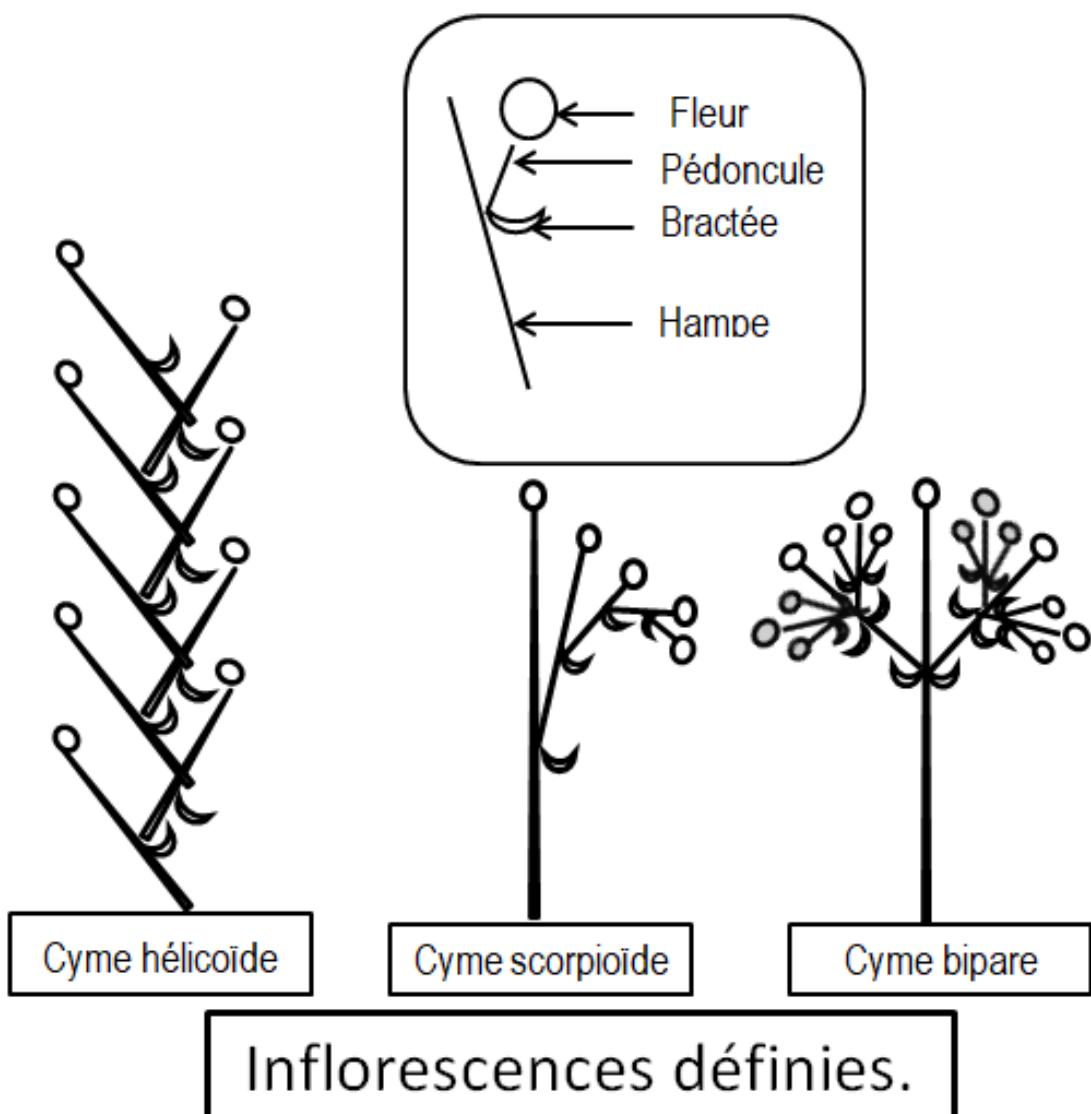
Spermaphytes, deux types de plantes :

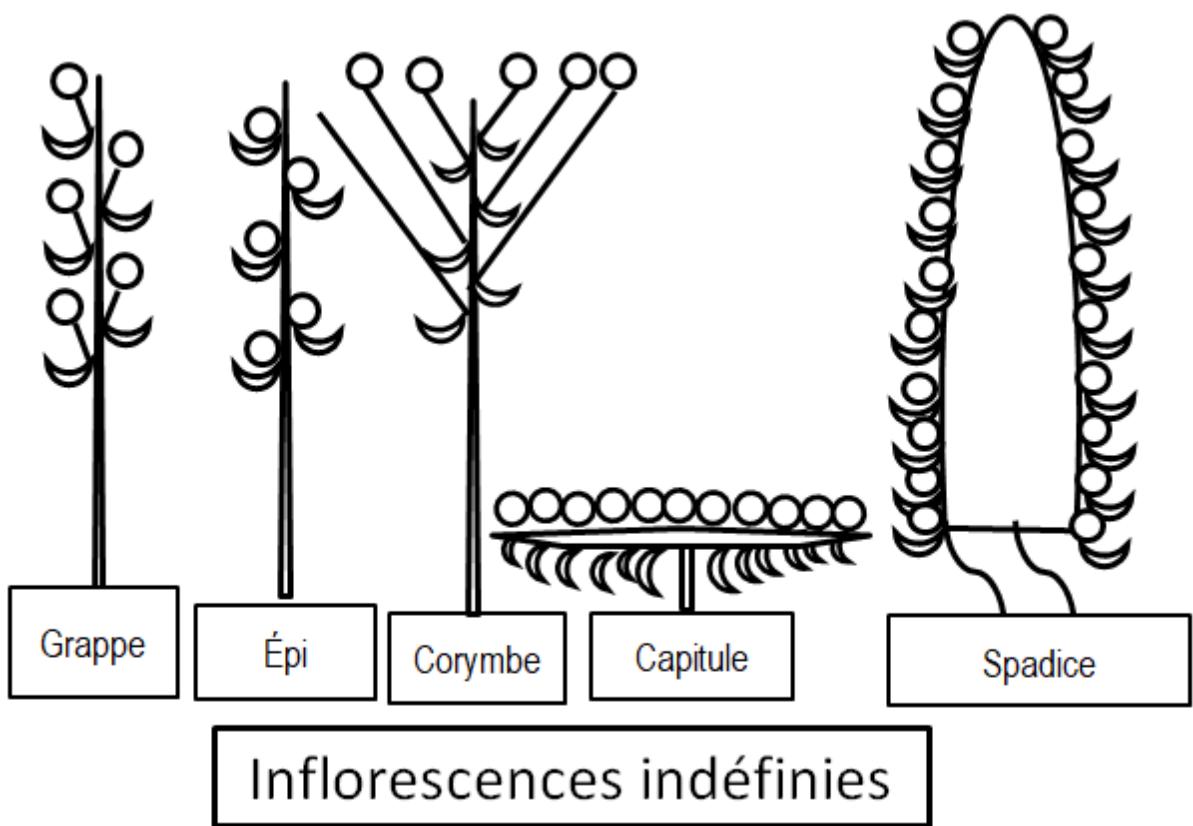
- Les plantes du **type III** dont la fleur comporte **3 sépales et 3 pétales**
- Les plantes du **type V** dont la fleur comporte **5 sépales et 5 pétales**.

Lorsque les sépales et les pétales sont indépendantes les unes des autres, ces plantes sont appelées respectivement **Dialysépales** (calice) et **Dialypétales** (corolle). Par contre, si les sépales et les pétales sont soudés, le calice est dit **Gamosépale** et la corolle est dite **Gamopétale**.

La disposition des pièces florales sur le réceptacle de la fleur est appelée **préfloraison**. Et l'**inflorescence** est le mode de disposition des fleurs sur la plante. On distingue deux types d'inflorescence :

- Inflorescence solitaire (ou définie) ;
- Inflorescence multiple (indéfinie).





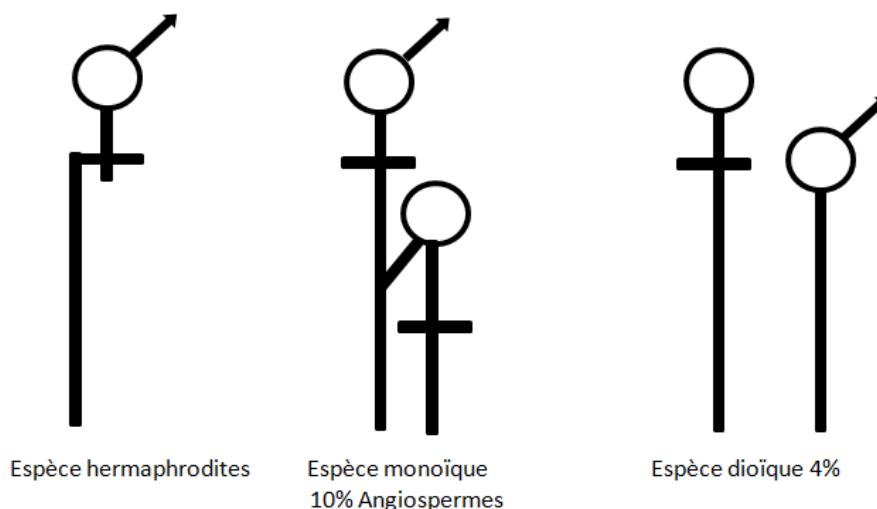
## II- La séparation de sexe chez les spermaphytes ou plantes à fleurs

La majorité des plantes à fleurs sont hermaphrodites (individus ayant les deux sexes) avec des fleurs mixtes. Cependant, chez d'autres espèces de plantes à fleurs, les fleurs maies et femelles sont séparées sur le même pied (ou individu). Ce sont des espèces **monoïques**.

**Exemple : le maïs.**

Certaines espèces dont une minorité, sont à sexe séparé sur plantes ou pieds séparés. C'est-à-dire ont des pieds maies et pieds femelles différents. On parle d'espèces **dioïques**.

**Exemple : Le Papayer**



Schémas des espèces monoïques et dioïques

Lorsque la fleur hermaphrodite et la fleur maie sont sur des pieds différents, ces espèces sont dites **gynodioïques**. Car d'autres espèces combinent les fleurs hermaphrodites et les fleurs maies sur le même pied.

### A- Les organes reproducteurs

Chez les Spermaphytes à reproduction sexuée, les organes reproducteurs sont représentés par **la fleur**.

#### 1- Les organes reproducteurs maies

Les organes reproducteurs maies dans la fleur sont représentés par les étamines, dressées entre les pétales. **L'ensemble des étamines d'une fleur est appelé androcée.**

#### 2- La structure d'une étamine

Chaque étamine comprend une anthère portée par un axe appelé filet. L'anthère est formée de deux loges (droite et gauche) réunies par le connectif. Chacune de loges comprend deux sacs polliniques renfermant les grains de pollen. L'anthère est constituée de 4 sacs polliniques qui, à maturité, s'ouvrent suivant deux lignes longitudinales appelées déhiscence.

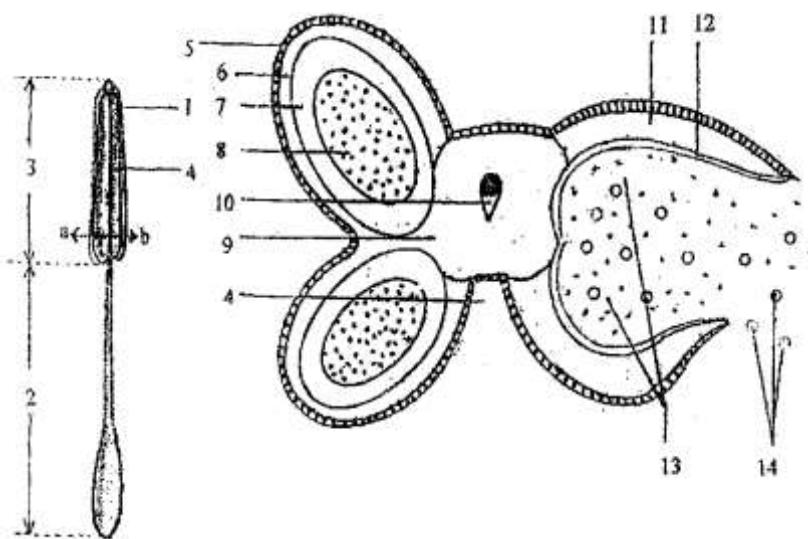


Schéma d'une étamine et d'une coupe transversale de l'anthère : 1. Sac polliniques 2. Filet 3. Anthère 4. Connectif 5. Epiderme 7. Assise nourricière 8. Cellule mère de grain de pollen 9. Parenchyme 10. Faisceau libéroligneux 11. Assise mécanique 12. Reste de l'assise nourricière 13. Intérieur des sacs polliniques 14. Grains de pollen.

#### 3- La structure d'une anthère

La coupe transversale d'une anthère montre que si l'anthère est jeune, il y a une assise mécanique faite des grandes cellules non différenciées au contact de l'épiderme, en dessous, plusieurs couches (ou assise) des cellules nourricières et au centre, des cellules mères (diploïdes) du grain de pollen. Par contre, si l'anthère est mure, on remarque des sacs polliniques remplis de grains de pollen, des assises des cellules nourricières en partie résorbées et une assise mécanique interrompue suivant la déhiscence libérant les grains de pollen.

#### 4- Le grain de pollen

Le grain de pollen est un organe haploïde (ou **gamétophyte**) produit dans les étamines à la suite d'une méiose d'une cellule mère (ou **microspore**).

##### 4.1.La structure du grain de pollen

Une coupe de grain de pollen montre qu'il est constitué de deux membranes, une membrane interne appelée **intine** et une membrane externe appelée **exine** épaisse et d'un cytoplasme comportant deux noyaux dont un noyau végétatif, très volumineux et un noyau reproducteur

très petit.

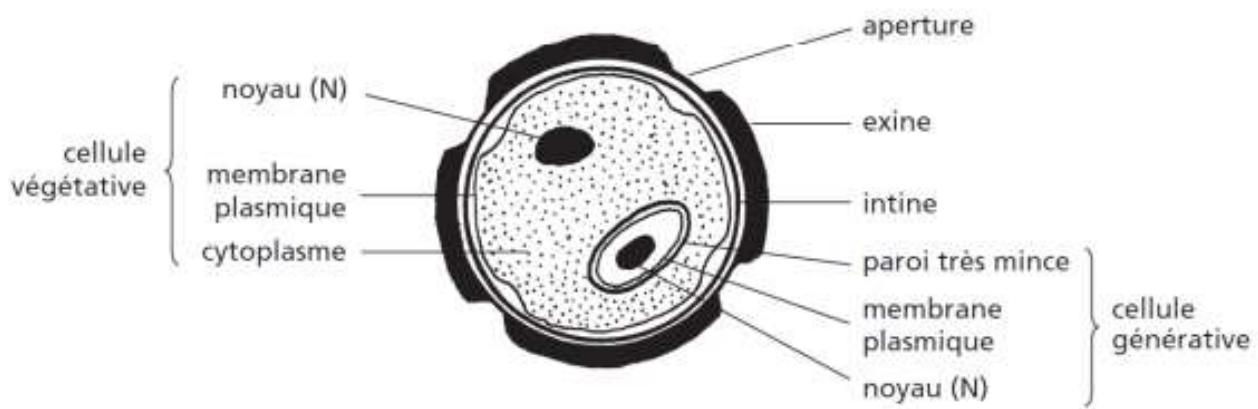


Schéma d'une coupe du grain de pollen

#### **4.2. La formation du grain de pollen ou la microsporogenèse (ou pollinogenèse)**

Elle se déroule dans les sacs polliniques à partir de la cellule mère diploïde, volumineuse et comportant un gros noyau sphérique.

Chaque cellule mère diploïde dans le sac pollinique subit une méiose et donne 4 cellules haploïdes appelées téraspores ou microspores qui demeurent, enfermées dans la paroi cellulosique de la cellule mère formant une tétrade. Aussitôt constituées, les 4 téraspores ou microspores épaisissent leur membrane et leur noyau subit chacun une mitose et donne deux noyaux de différente taille, séparés chacun par la membrane plasmique :

- Un noyau volumineux appelé **noyau végétatif**;
- Un noyau très petit appelé **noyau reproducteur**.

Les 4 cellules formées, deviennent des grains de pollen qui vont se déshydrater et passer à la vie ralenti.

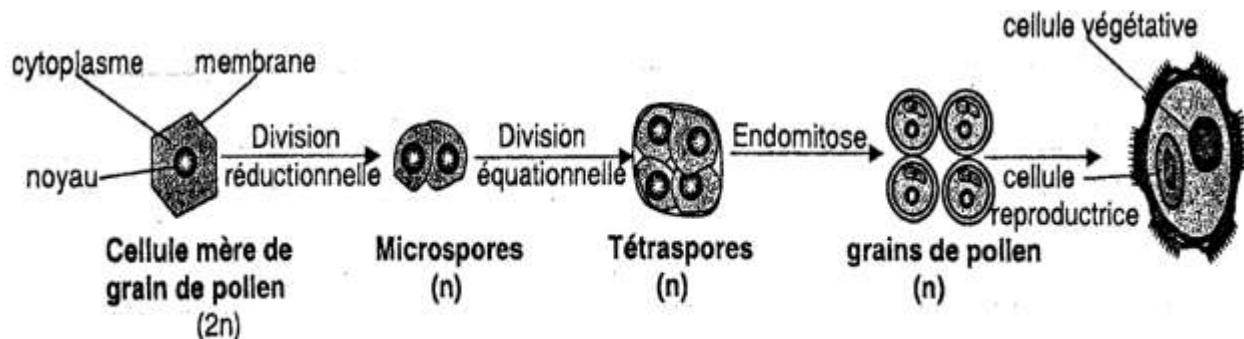


Schéma simplifié du processus de formation du grain de pollen

#### **B-Les organes reproducteurs femelles**

Les organes reproducteurs femelles dans la fleur sont représentés par les carpelles. L'ensemble des carpelles d'une fleur est appelé Gynécée. Les carpelles peuvent être libres ou soudés en pistil.

##### **1-La structure d'un carpelle**

Chaque carpelle est formé du bas en haut d'une partie renflée appelé **ovaire**, prolongé par un axe appelé **style** qui se termine lui-même par une partie papilleuse appelée **stigmate** qui retient les grains de pollen.

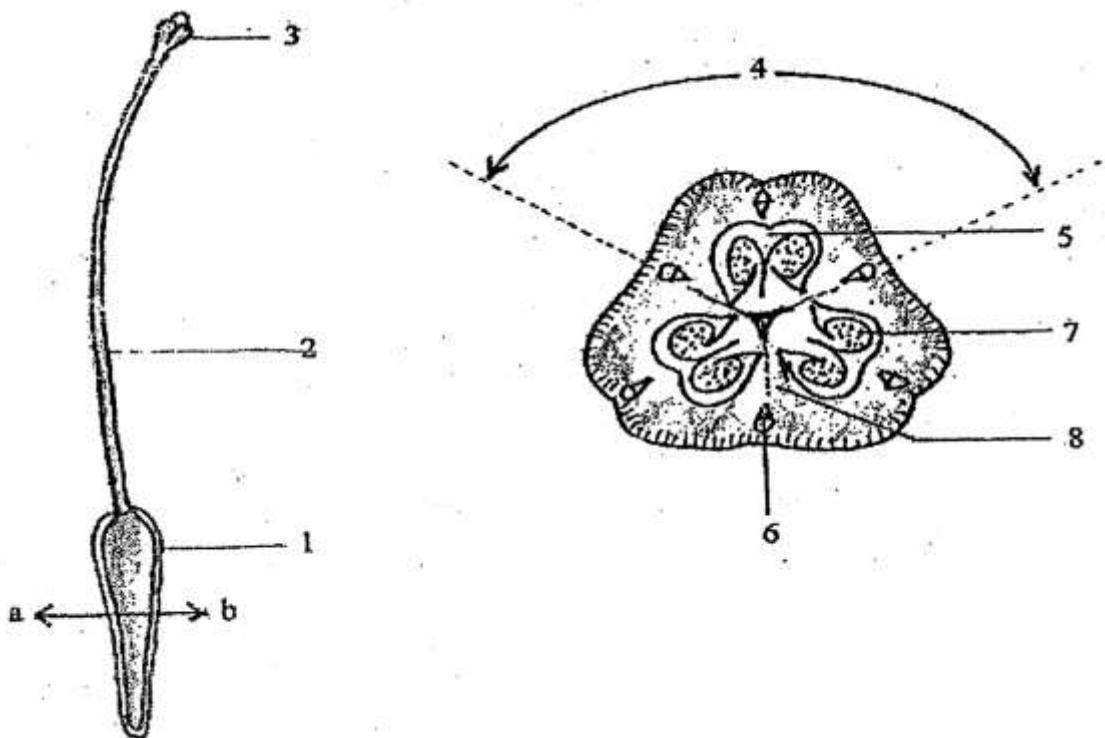


Schéma d'un carpelle

1. Ovaire 2. Style 3. Stigmate 4. Carpelle 5. Cavité carpellaire 6. Faisceau conducteur 7. Ovule 8. Placenta

## 2- La structure d'un ovaire

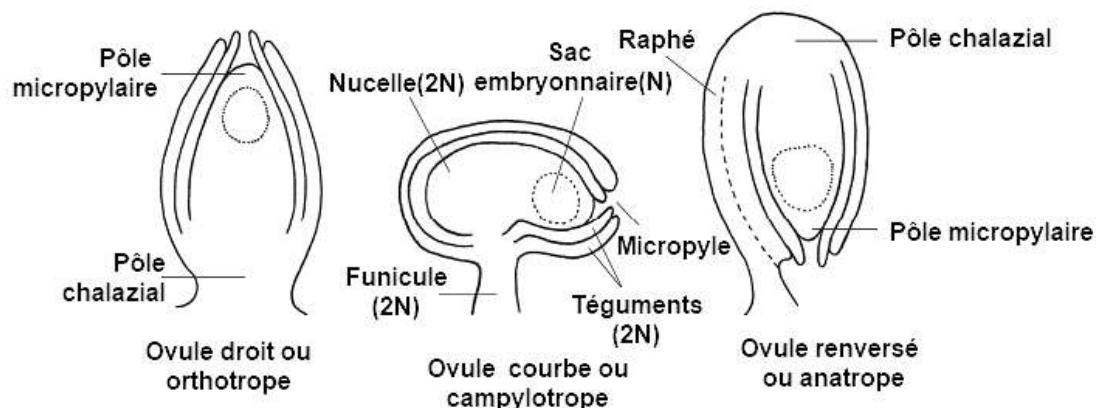
Une coupe transversale de l'ovaire montre qu'il est creux et contient plusieurs unités appelées carpelles renfermant chacune un ovule.

## 3- Etude d'un ovule ou microspororange

C'est une petite masse ovoïde rattachée au placenta par un funicule ou cordon (ou pied). C'est un microspororange. Une coupe longitudinale d'un ovule montre que l'intérieur de l'ovule est occupé par un tissu (le nucelle) recouvert de deux téguments (primine et secondine). Les 2 téguments ne sont pas complètement fermés au sommeil, ils laissent une petite ouverture appelée micropyle. Près du micropyle, le nucelle renferme un ensemble des cellules constituant le sac embryonnaire. On distingue trois types d'ovules :

- Ovule droit ou ovule **orthotrope** ;
- Ovule courbé ou ovule **campylotrope** ;
- Ovule renversé ou **anatrophe**.

Schéma d'un ovaire.



Schémas des différents types d'ovules

#### 4- La formation du sac embryonnaire ou Macrosporogenèse

Le Sac embryonnaire prend naissance à partir de la cellule mère (ou cellule sporogène femelle) volumineuse située dans le nucelle au voisinage du micropyle. Cette grosse cellule mère diploïde ( $2n$  chromo) subit une méiose et donne 4 cellules haploïdes ( $n$  chromo) ou macrospores dont 3 situées proches du micropyle dégénèrent tandis que la plus profonde ou mégaspoare augmente de taille. Son noyau se divise en 2, les 2 noyaux se divisent à leur tour en 4 et les 4 noyaux se divisent et donnent 8 noyaux-fils à  $n$  chromosomes répartis dans 7 cellules, de la manière suivante :

- Vers le micropyle, l'oosphère flanquée de 2 synergides ;
- Au pôle opposé du micropyle, 3 cellules appelées antipodes ;
- Au centre, une cellule à 2 noyaux dits noyaux secondaires ou noyaux du sac.

**NB :** Parmi ces 7 cellules, seules l'oosphère et les noyaux du sac joueront le rôle de gamètes femelles. Toutes ces cellules sont haploïdes.

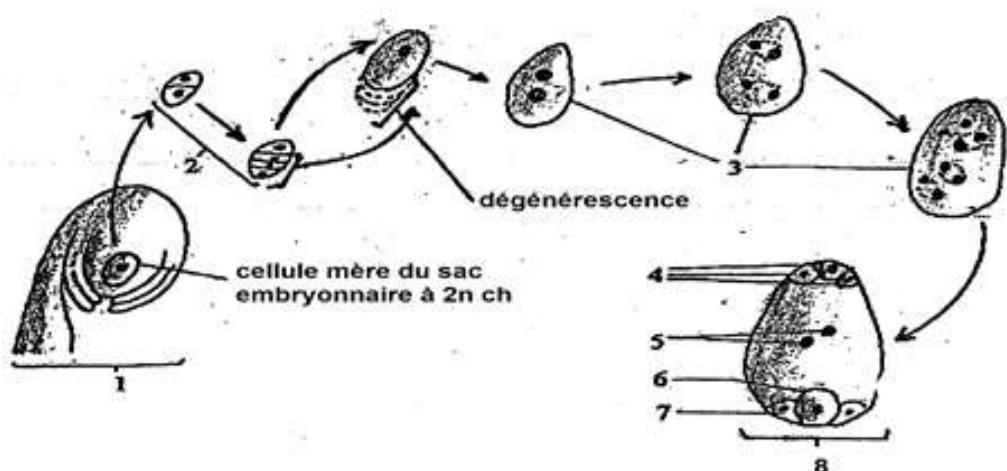


Schéma du processus de la formation du sac embryonnaire

1. Ovule
2. Réduction chromosomique (méiose)
3. 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> Mitoses du noyau du sac
4. Antipodes
5. Les 2 noyaux du sac embryonnaire
6. Oosphère
7. Synergie
8. Sac embryonnaire

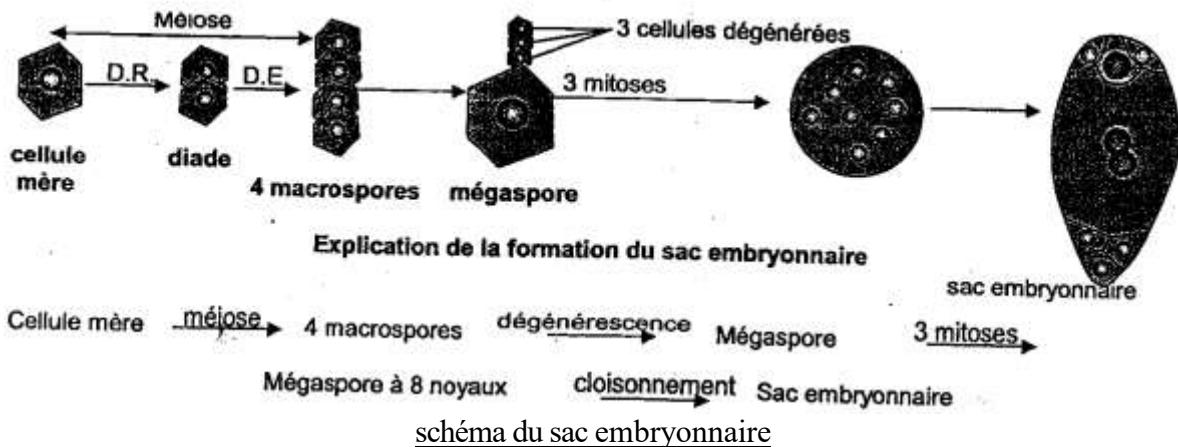


Tableau résumant un parallèle de ploïdie entre les organes mâles et femelles de la fleur

	Organes mâles	Organes femelles
<b>Phase diploïde ou à <math>2n</math> chromosomes</b>	-Etamine ( $2n$ ) -Sac pollinique ( $2n$ ) -Cellule mère du grain de pollen ( $2n$ )	-Carpelle ( $2n$ ) -Ovule ( $2n$ ) -Cellule mère du sac embryonnaire ( $2n$ )
<b>Phase haploïde ou à <math>n</math> chromosomes (après méiose)</b>	-Microspore( $n$ ) -Grain de pollen( $n$ )	-Méga spore( $n$ ) -Sac embryonnaire( $n$ )

### C-La fécondation et la formation de la graine

La fécondation produit un œuf diploïde par la fusion de deux cellules haploïdes ou gamètes. Chez les spermaphytes, la fécondation est conditionnée par la pollinisation :

#### a) La pollinisation

La pollinisation est le transfert du grain de pollen et son dépôt sur le stigmate (ou pistil) de la même fleur ou sur le stigmate d'une autre fleur de la même espèce. Elle déclenche la fructification.

On distingue deux types de pollinisation

- **La pollinisation directe**

Dans cette pollinisation, les grains de pollen libérés par déhiscence de l'anthère mure des étamines d'une fleur tombent sur le stigmate de la même fleur. Cette pollinisation s'observe souvent chez les plantes hermaphrodites ou Monoïques. Ce transfert peut être provoqué par :

- une simple agitation de l'air ou un léger mouvement de la fleur;
- un effet de pesanteur sur les étamines (pollinisation géophile).

- **La pollinisation indirecte ou croisée**

Dans cette pollinisation, les grains de pollen des étamines d'une fleur sont transférés sur les stigmates d'une autre fleur de la même espèce. Ce mode de pollinisation est nécessaire dans le cas où les fleurs sont unisexuées. C'est-à-dire fleurs uniquement mâles ou uniquement femelles (fleurs dioïques) ou chez les plantes hermaphrodites quand les étamines et le pistil ne sont pas murs en même temps.

Cette pollinisation peut être réalisée par les agents pollinisateurs suivants :

- **les insectes** (pollinisation **entomophile**) ;
- **le vent** (pollinisation **anémophile**) ;
- **les oiseaux** (pollinisation **ornithophile**) ;
- **l'eau** pour les plantes aquatiques (pollinisation **hydrophile**) ;
- **l'homme** (pollinisation **anthophile** ou **artificielle**).

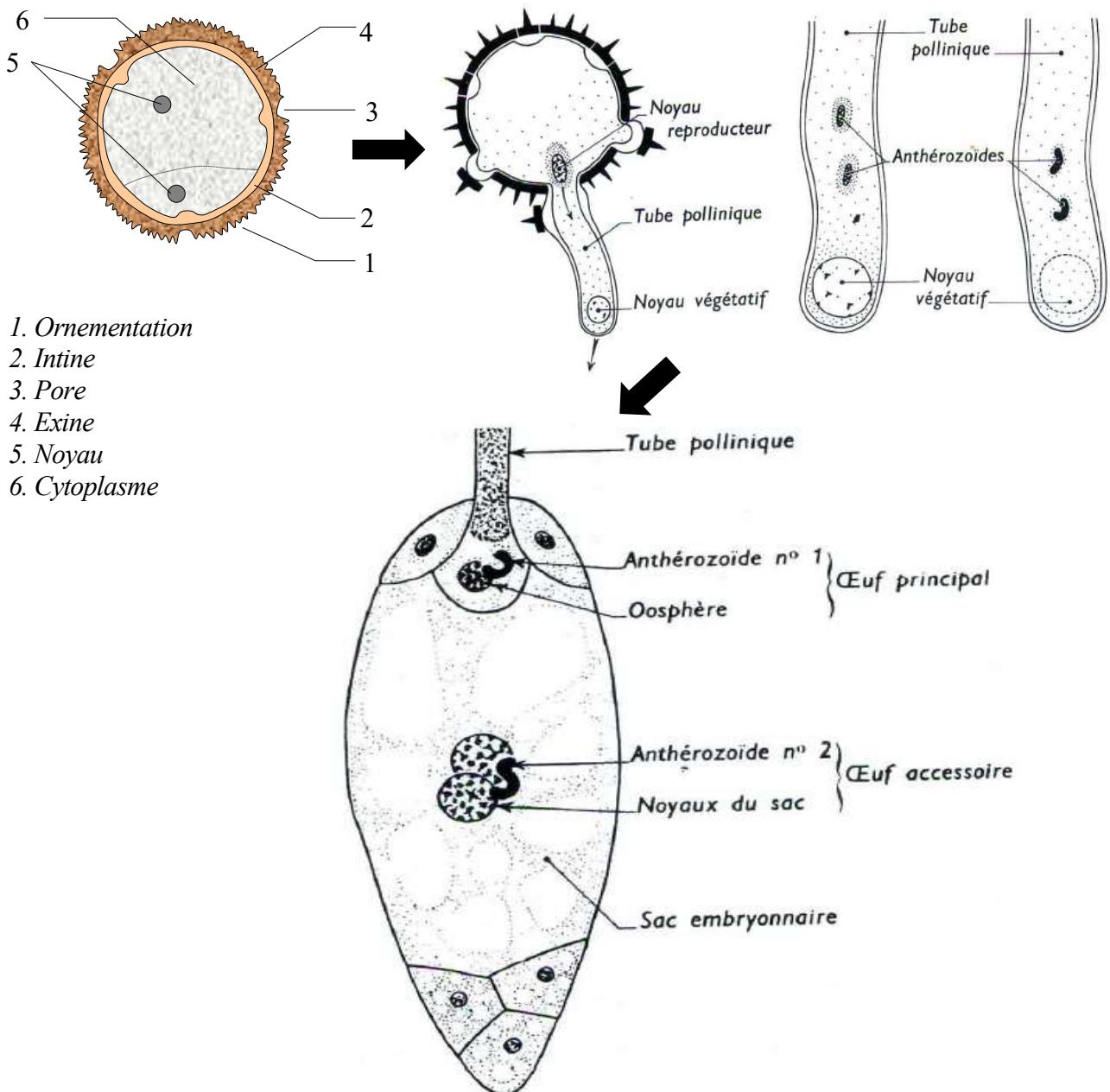
#### b) La germination du grain de pollen

Lorsque les conditions de la germination sont favorables sur le stigmate de la fleur, chaque grain

de pollen mur déposé, absorbe l'eau et germe en émettant un tube pollinique dans lequel migrent les deux noyaux du pollen (noyau végétatif et noyau reproducteur).

Guidé par le parenchyme et attiré par les substances chimiques sécrétées par le stigmate, le tube pollinique s'allonge dans le stigmate, traverse le style et arrive au niveau du sac embryonnaire. Au cours de cette germination, le **noyau végétatif** s'engage et se place à l'extrémité du tube pollinique, mais dès qu'il termine sa croissance, il se désorganise et disparaît. Le **noyau reproducteur** s'engage à son tour dans le tube où il subit une mitose et donne naissance à deux cellules haploïdes (fous gamètes) appelées **anthérozoïdes**.

Quand le tube arrive au contact du sac embryonnaire, l'un des **anthérozoïdes** (n° I) fusionne avec **l'oosphère** (gamète femelle à  $n$  chromosomes) donnant une cellule diploïde, appelée **œuf principal** ou **œuf embryonnaire à  $2n$**  chromosomes qui donnera la nouvelle plantule. L'autre anthérozoïde migre et vient fusionner avec les **deux noyaux** du sac embryonnaire donnant un œuf triploïde ( $3n$  chromosomes), appelé **œuf accessoire** ou **œuf albumen**. Ainsi, on parle d'une double fécondation, caractéristique des **angiospermes**.



Schémas du processus de la double fécondation

**NB :** Après la fécondation, l'ovule fécondé donne la graine, tandis que toute la fleur se développe et donne le fruit.

### **1-La formation de la graine**

### **2-Evolution de l'ovule fécondé en graine (ou la fructification)**

La transformation de l'ovule fécondé en graine s'accomplice en trois temps :

- L'œuf **accessoire** ou albumen se divise en donnant un tissu de réserves appelé albumen qui s'agrandit au dépens du nucelle. C'est-à-dire l'œuf accessoire se divise en un grand nombre de cellules, d'abord sans membrane cellulosique. Ces cellules se disposent à la périphérie du sac embryonnaire qui lui-même s'agrandit au dépens du nucelle, qui est peu à peu résorbé. Les cellules ainsi disposées vont former l'albumen (réserve riche en substances nutritives) ;

- En même temps, l'**œuf principal** se divise et donne un massif cellulaire qui sera transformé en plantule. Cette plantule comprend, une radicule, une tigelle, un bourgeon ou gemmule, une ou deux expansions foliaires et le ou les cotylédons.

La maturation de la graine se traduit par un arrêt du développement. L'embryon se déshydrate et passe à la vie ralenties où les téguments deviennent épais et résistant.

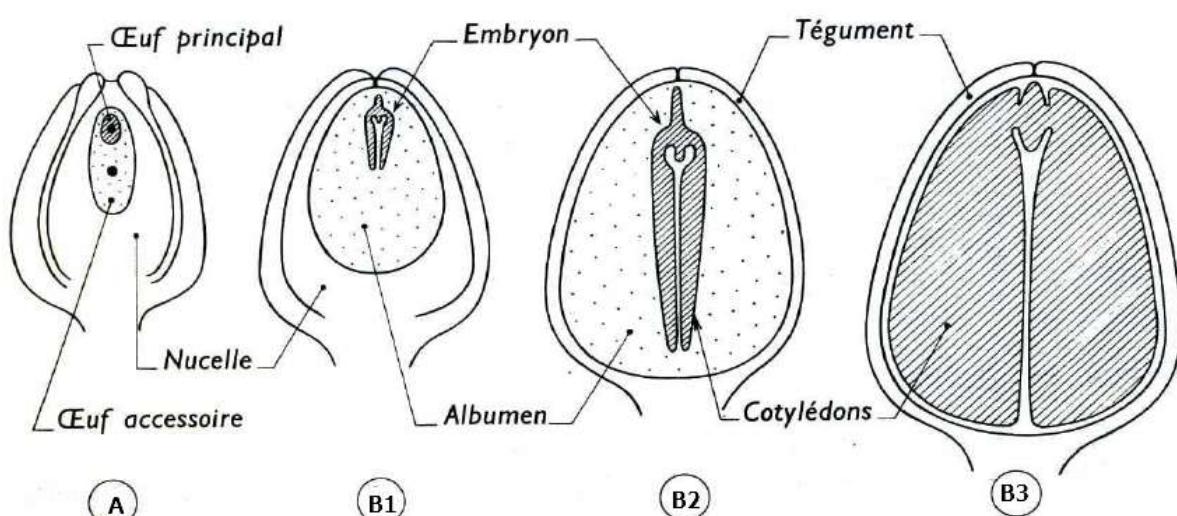


Schéma déformation de la graine

**NB :** l'albumen est destiné à être digéré par la plantule soit directement ou au cours de la germination

### **III- Les différents types de graines**

On distingue deux types de graines :

- Les graines à albumen ;
- Les graines sans albumen ou graine à cotylédon.

#### **1- Les graines à albumen**

Si, lors de la transformation(ou formation de la graine), l'albumen persiste, le ou les cotylédons restent minces. On aura des graines à albumen.

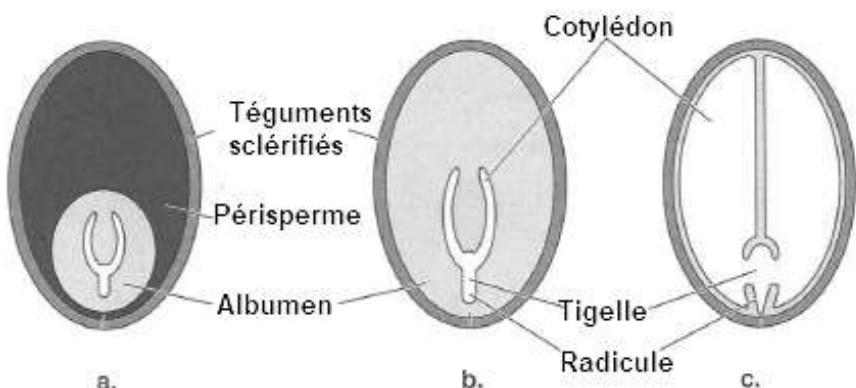
Exemple : le grain de blé (monocotylédone) ; le grain de RICIN.

#### **2- Les graines sans albumen**

Si, lors de la transformation, l'absorption de l'albumen se fait immédiatement, les réserves nutritives s'accumulent dans les cotylédons qui deviennent charnus .Ainsi, on aura des graines sans albumen.

#### **Exemple :**

- le grain de haricot ;
- le Pois



Différents types de graines: a.Graine à périsperme(Nymphéacées, Caryophyllacées)  
 b. Graine albuminée(Proacées, Renonculacées, Apiacées) c.Grainexalbuminée  
 (Fabacées, Brassicacées, Astéracées)

#### Schéma des différents types de graine

**Remarque :** Dans certaines espèces exceptionnelles, le nucelle persiste dans la graine et prend le nom de périsperme qui sera digéré par l'embryon lors de sa germination. On parle de graines à périspermes.

**Exemple :** le Nénuphar

Cependant, certains fruits ne possèdent pas de graines, preuve que l'ovule s'est développé sans être fécondé. Ce mode de développement est appelé **parthénocarpie**. Tandis que chez les animaux, un tel processus est appelé **parthénogenèse**.

**NB :** En fonction de la nature chimique des réserves nutritives, on peut distinguer : les graines riches en amidon et en protides ou graines amylacées :

**Exemple :** le haricot, le Mais, le Blé, le Pois.

- les graines riches en lipides et en protides sont appelées graines oléagineuses.

**Exemple :** l'Arachide, le Ricin.

#### **3- La mise en évidence :**

##### **a) Mise en évidence d'une graine amylacée**

- Avec l'eau iodée, la réaction est positive : caractéristique de l'amidon ;
- Avec la réaction de biuret, la réaction est positive : caractéristique des protides ;
- Avec la réaction Xanthoprotéique, la réaction est positive : caractéristique des protides.

Ces réactions permettent de dire que les graines amylacées sont riches en amidon et en protides.

##### **b) Mise en évidence des graines Oléagineuses**

- Frottement des graines sur du papier blanc laisse des taches translucides : caractéristique des lipides ;
- Avec la réaction de biuret et xanthoprotéique, la réaction est positive : caractéristique des protides.

Les graines oléagineuses sont riches en lipides et en protides.

**Tableau résumant les différentes caractéristiques des graines**

Graine	Pois	Haricot	Ricin	Mais
Type d'ovule dont elle provient	Recourbé	Recourbé	Renversé	Droit
Nombre des téguments distincts	1	1	2	1
Présence ou Non d'albumen	Sans albumen	Sans albumen	A albumen	A albumen
Nombre de Cotylédons	2	2	2	1

Cependant, certains fruits ne possèdent pas de graines, preuve que l'ovule s'est développé sans être fécondé. Ce mode de développement est appelé **parthénocarpie**. Tandis que chez les animaux, un tel processus est appelé **parthénogénèse**.

**Tableau résumant les différentes caractéristiques des graines :**

Graine	Pois	Haricot	Ricin	Mais
Type d'ovule dont elle Provient	Recourbé	Recourbé	Renversé	Droit
Nombre des Téguments Distincts	1	1	2	1
Présence ou Non	Sans albumen	Sans albumen	albumen	albumen
Aspect des cotylédons	Charnus	Charnus	Foliacés	En écusson
Nature des réserves	Amylacées (amidon +Aleurone)	Amylacées (amidon +Aleurone)	Oléagineuses (Huile +Aleurone)	Amylacées (Amidon + Aleurone)
Type de germination	Hypogée	Epigée à cotylédons caducs	Epigée à cotylédons persistants	Hypogée

### c) La vie ralenti

On dit qu'une graine est mûre, lorsqu'elle est entrée en vie ralenti. Cette maturation se traduit par un arrêt complet de développement, c'est-à-dire l'embryon se déhydrate, les téguments s'épaissent et les échanges gazeux avec l'extérieur sont très réduits. On dit que la graine est en vie ralenti.

### d) La longévité de la graine

On appelle longévité, la durée du pouvoir germinatif de la graine. Elle varie selon les espèces : **-25 ans** pour le blé, **2 ans** pour le haricot, **1 an** pour l'arachide et nulle pour les Caféiers et les Cacaoyers.

Il faut noter que certaines légumineuses ont un pouvoir germinatif très long (environ 100 ans).

#### e) Les facteurs de longévité

La longévité de la graine dépend de plusieurs facteurs :

- ✓ Les téguments de la graine;
- ✓ La nature chimique des réserves qui sont plus ou moins oxydables.

**NB :** les graines à réserves huileuses meurent plus vite que les graines à réserves amyloacées.

### IV- La germination de la graine et les conditions de la germination

#### 1- La germination

On appelle germination, le passage de la graine de la vie ralentie à la vie active. Cependant, la plantule contenue dans la graine reprend sa croissance mais cette croissance s'achève lorsque la jeune plante devient capable de mener une vie autotrophe

#### 2- Les conditions de la germination

Deux facteurs interviennent dans le processus de la germination de la graine. Ce sont les facteurs **internes** et les facteurs **externes** :

##### a) Les facteurs externes

Ces facteurs sont :

- l'**humidité est indispensable** ;
- une **température raisonnable** (température variable avec la plante considérée) ;
- une bonne **aération** du sol est nécessaire.
- la **lumière** est parfois nécessaire.

**NB :** l'absence de l'humidité et de l'aération du sol peuvent rendre la germination de la graine impossible.

##### b) Les facteurs internes

Pour germer, la graine doit être **saine**, ses **téguments** doivent être **perméables** à l'eau et à l'oxygène, elle doit être **mure** et pas assez vieille (car, une graine en vieillissant perd son pouvoir germinatif).

##### c) La physiologie de la germination

La germination de la graine s'accompagne d'un certain nombre des phénomènes physiologiques :

- **L'hydratation** ;
- **La digestion et utilisation des réserves** ;
- **La respiration**.

##### 1- **L'hydratation**

Le retour de la graine à la vie active se manifeste par une absorption massive d'eau entraînant un gonflement de la graine et donnant aux vacuoles leur aspect normal.

##### 2- **La digestion et utilisation des réserves de la graine**

Au cours de la germination, les réserves de la graine sont digérées et utilisées pour le développement de la plantule. La digestion de ces réserves est réalisée par des enzymes élaborées par la graine. C'est le cas de la maltase et de l'amylase pour les graines amyloacées ; de la lipase pour les graines oléagineuses et de protéase pour toutes les autres graines. Ces enzymes peu nombreuses et inactives en vie ralentie, deviennent très abondantes et actives lors de la germination. L'utilisation de ces réserves (glucose, glycérol, acides gras, acides aminés) permet d'assurer la croissance et la respiration de la plantule.

**Remarque :** Au début de la germination, la jeune plante mène une vie **hétérotrophe**. Mais, peu à peu, elle élabore la chlorophylle et devient **autotrophe**.

##### 3- **La respiration**

La graine en germination, est le siège d'une intense respiration. Cette respiration se traduit par des importants échanges gazeux et un dégagement de chaleur (chaleur végétale).

#### **d) La morphologie de la germination**

On distingue deux types de germination :

- La germination **épigée** ;
- La germination **hypogée**.

##### **1-La germination épigée**

Elle s'observe chez le haricot.

Chez le haricot, la germination est rapide et s'effectue en **4 temps** :

- ✓ Sous l'effet de la pénétration massive d'eau, les téguments de la graine se déchirent. La radicule s'allonge et pénètre dans le sol, tandis que les cotylédons s'écartent légèrement ;
- ✓ La tige s'allonge à son tour en donnant le premier segment de la tige ou axe hypo cotyle. Les cotylédons sont soulevés au-dessus du sol. Les racines secondaires et adventives apparaissent sur la racine principale ;
- ✓ Les cotylédons s'écartent toujours lentement et donnent naissance par la gemmule à la partie épi cotyle de la tige. Les deux premières feuilles déjà visibles, s'écartent et croissent normalement ;
- ✓ Les cotylédons flétrissent et tombent sans céder la totalité de leurs réserves nutritives. La Jeune plante désormais bien enracinée et pourvue de la chlorophylle est capable de mener une vie autotrophe.

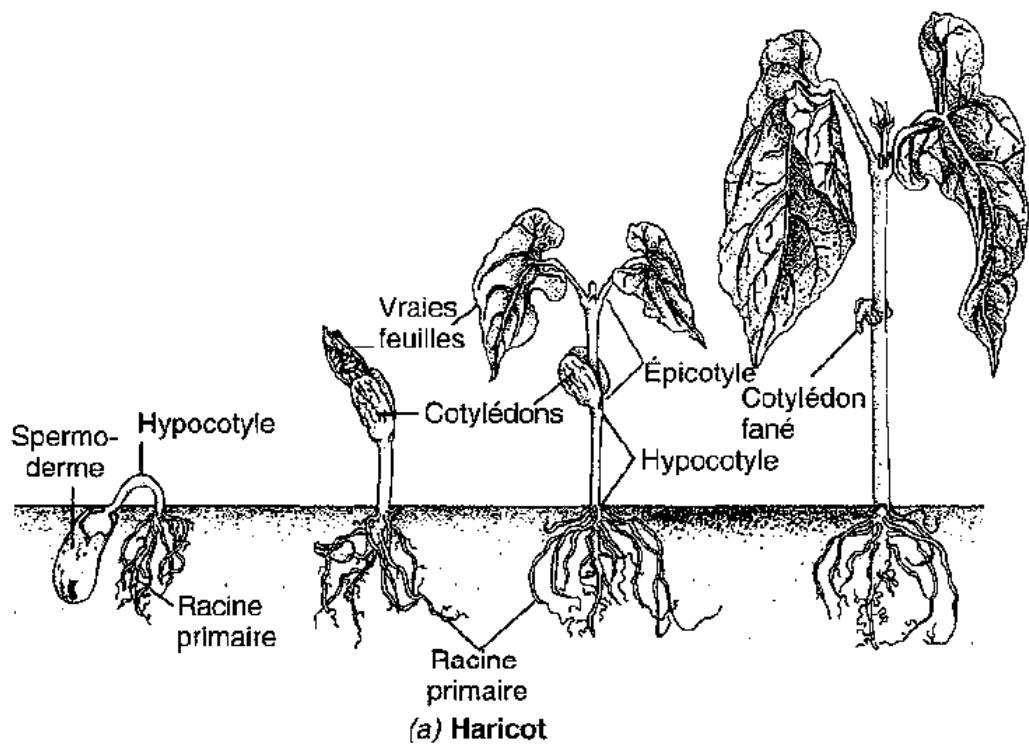


Schéma de la germination épigée

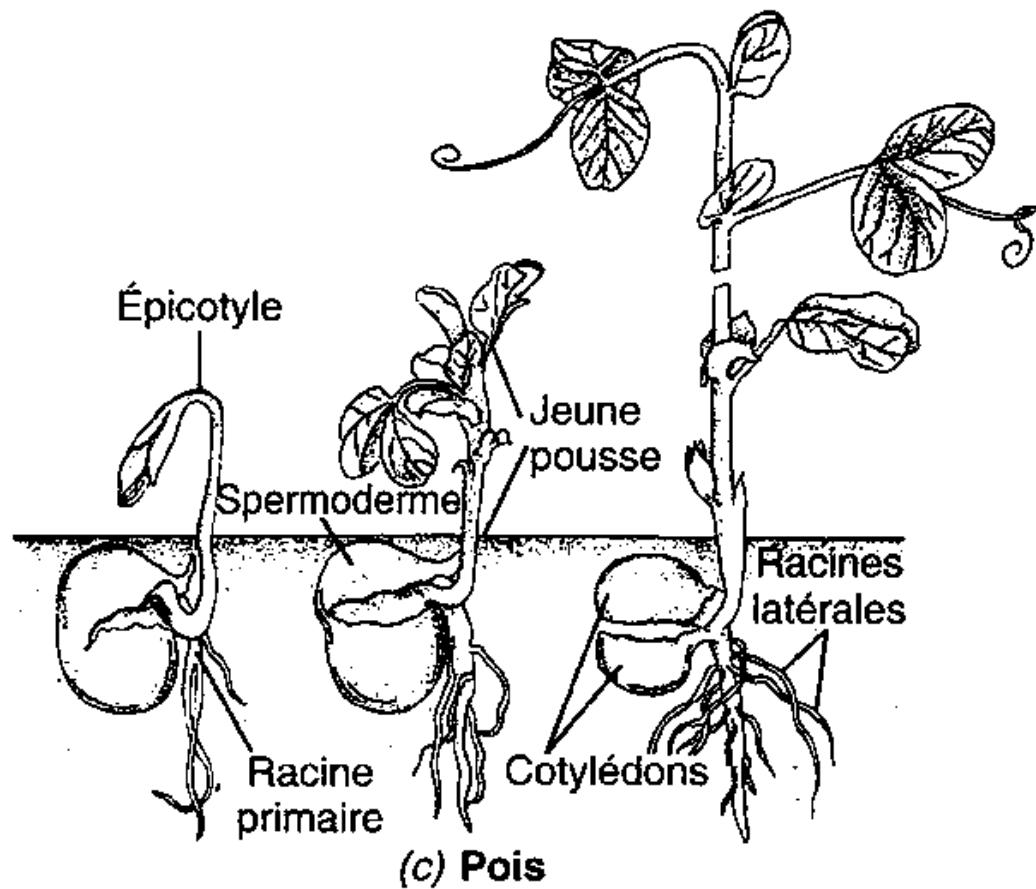


Schéma de la germination hypogée

## **2)La germination hypogée**

Chez certaines plantes comme le Blé, le Pois, le Riz, etc., la tigelle ne s'allonge pas, les graines restent en terre. La tige provient uniquement de la gemmule qui s'accroît. Cette germination est dite hypogée (sous-sol).

## **CONCLUSION GENERALE**

Les fleurs des plantes contiennent des organes reproducteurs qui donnent naissance aux gamètes (cellules reproductrices). Ces cellules reproductrices sont mises en contact par la pollinisation, lorsque les conditions de germination sont favorables. Le pollen germe en émettant un tube pollinique dans lequel se forment les 2 gamètes males (ou anthérozoïdes). En contact avec le sac embryonnaire, les 2 gamètes contenus dans le tube pollinique, migrent et fécondent respectivement l'oosphère et les deux noyaux du sac embryonnaire donnant deux (2) œufs qui se développent pour donner la graine. Cette graine germe pour donner la nouvelle plantule. Ainsi, les plantes d'une même espèce se ressemblent d'une génération à une autre. Elles possèdent le même nombre de chromosome décrivant ainsi un cycle.

La méiose et la fécondation partagent ce cycle en deux (2) phases :

- la phase de réduction chromosomique ( $n$ ) à la méiose ;
- la phase de rétablissement du nombre initial diploïde ( $2n$ ) à la fécondation.

La phase à  $2n$  chromosome ou diplophase, représentée par l'œuf, la graine et la plante feuillée, se termine par la production des spores, par les étamines des ovules par le carpelle et la plante feuillée appelée **sporophyte**.

La phase à  $n$  chromosome ou haplophase, représentée par les graines de pollen et le sac embryonnaire (les organes reproducteurs) qui produisent les gamètes sont appelés Gamétophytes.

### **❖ la reproduction sexuée et asexuée**

La reproduction est une fonction biologique selon laquelle les êtres vivants produisent des descendants qui leur sont semblables et qui leur permet de pérenniser leur espèce.

On distingue deux modes de reproduction :

- ✓ **La reproduction sexuée** ;
- ✓ **La reproduction asexuée**.

**La reproduction sexuée** est un mode de reproduction qui fait intervenir deux individus de sexes opposés (mâle et femelle), ou simplement des cellules sexuelles male (spermatozoïde) et femelle (ovule) appelés aussi gamètes haploïdes.

Cette reproduction s'effectue chez les Eucaryotes et est marquée par la fécondation qui aboutit à la formation d'une cellule œuf ou zygote diploïde, point de départ d'un nouvel organisme ou individu.

Cependant, elle n'implique pas forcément d'accouplement ou de copulation. Car, des organismes immobiles comme les plantes à fleurs sont aussi capables de la reproduction sexuée.

Par contre, **la reproduction asexuée** est un mode de reproduction ne faisant pas intervenir les cellules sexuelles ou gamètes. Dans ce type de reproduction, un individu produit des nouveaux individus ou organismes sans qu'il y ait intervention d'un partenaire de sexe opposé.

## **CHAPITRE 6 : LA REPRODUCTION HUMAINE**

Comme chez les autres Mammifères, la reproduction humaine est sexuée. Elle met en évidence deux individus de sexe opposé et nécessite un accouplement ou copulation au cours duquel, les gamètes males haploïdes sont déposés dans les voies génitales femelles. Cette reproduction est caractérisée par la fécondation (ou fusion de 2 gamètes), donnant une cellule œuf ou zygote.

diploïde qui constitue le point de départ d'un nouveau être humain.

Dans l'espèce humaine, la fonction de reproduction débute à la puberté et est assurée par un ensemble des organes reproducteurs **appelé appareil reproducteur ou génital**.

### I- L'appareil reproducteur ou génital

L'appareil reproducteur de l'homme et celui de la femme sont construits sur le même plan d'organisation. Ils comprennent :

- **Des gonades** qui élaborent des gamètes ou cellules sexuelles haploïdes ;
- **Des voies génitales** qui assurent la conduction des gamètes ou cellules sexuelles et servent chez la femme au développement de l'œuf ;
- **Des glandes reproductrices** qui produisent des hormones reproductrices ;
- **Des organes copulateurs** qui permettent l'accouplement ou la copulation.

#### A) l'appareil reproducteur mâle

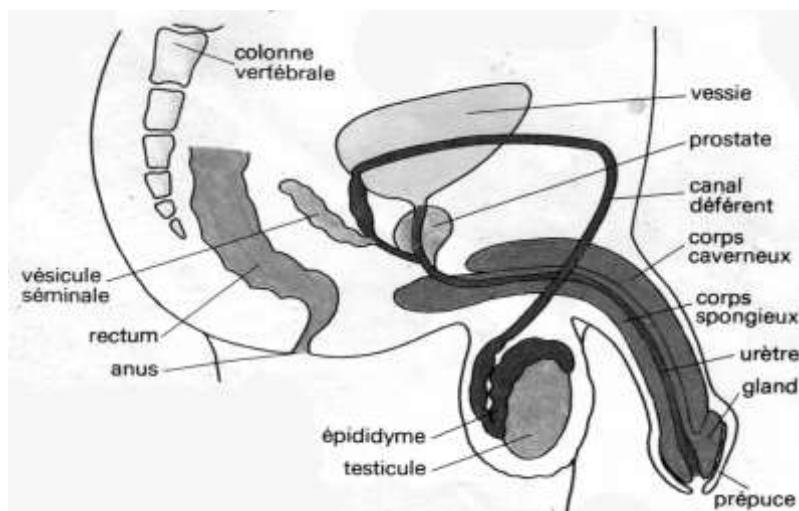


Schéma de l'appareil uro-génital

L'appareil reproducteur de l'homme est partiellement confondu avec l'appareil urinaire d'où son nom de **l'appareil uro-génital**.

Il comprend :

- les **testicules ou gonades** males dans lesquels sont fabriqués les gamètes males ou spermatozoïdes (testostérone)
- les **voies génitales** qui conduisent les produits génitaux (sperme contenant des spermatozoïdes);
- les **glandes annexes** qui produisent des hormones génitales ;
- **l'organe copulateur** ou d'accouplement appelé **pénis ou verge**.

#### a) Les testicules ou gonades mâles

De forme ovoïde de 5cm de long sur 3cm de large et 2,5cm d'épaisseur, les testicules sont logés dans une poche ou enveloppe appelée bourse ou scrotum. La migration des testicules dans la bourse a lieu vers le 7<sup>ème</sup> mois de la vie fœtale. Mais lorsque les testicules restent bloquer dans la cavité abdominale, on parle de la **cryptorchidie**. Chez ces sujets(ou individus affectés), les caractères sexuels secondaires apparaissent normalement à la puberté mais ils sont stériles.

##### a1-Etude histologique des testicules

L'observation d'une coupe de testicule au microscope montre qu'il est formé de trois types de tissus assurant deux fonctions physiologiques :

**2-La fonction exocrine** est caractérisée par la production des gamètes males ou spermatozoïdes. Elle débute à la puberté et dure toute la vie de l'homme(ou jusqu'à la mort).

La fonction exocrine à lieu dans les tubes séminifères des testicules.

**3-La fonction endocrine** est assurée par les cellules interstitielles ou de Leydig des testicules.

Elle consiste à la sécrétion des hormones males appelée testostérone ou androstérone, hormones responsables du développement des caractères sexuels secondaires.

#### a1) Etude microscopique des testicules

L'étude microscopique des testicules relève que les testicules sont constitués des milliers des canaux très fins pelotonnés les uns contre les autres. Ce sont des tubes séminifères. Ces tubes séminifères sont séparés (les uns) entre eux par des tissus conjonctifs constitués des vaisseaux sanguins et des cellules interstitielles ou de Leydig.

L'examen microscopique (microscope électronique) au fort grossissement montre que les tubes sont constitués d'une ligne germinale, reconnaissable par leur taille, leur place et l'aspect de leur noyau. Cette lignée se présente de la paroi du tube (ou périphérie) vers la lumière (centre) comme suit :

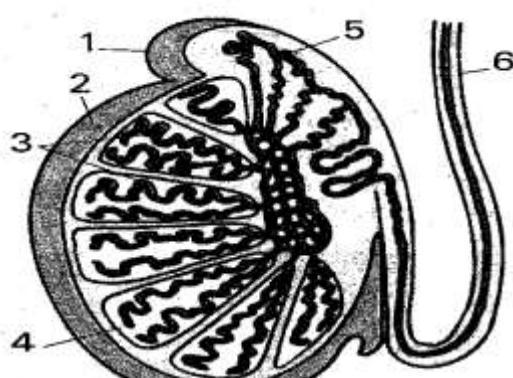
- ✓ Des **spermatogonies**, cellules diploïdes, de petite taille à noyau foncé ;
- ✓ Des **spermatocytes de 1<sup>er</sup> ordre**, cellules diploïdes, de grande taille disposée en deux(2) rangées;
- ✓ Des **spermatocytes de 2<sup>eme</sup> ordre**, cellules haploïdes, de petite taille à noyau clair ;
- ✓ Des **spermatides**, cellules haploïdes, de petite taille à noyau clair, disposées en plusieurs rangées ;
- ✓ Des **spermatozoïdes**, cellules haploïdes, fonctionnelles, de petite taille ayant un petit noyau possédant un flagelle dans la lumière.

On rencontre dans la paroi du tube séminifère, des grandes cellules somatiques appelées cellules de Sertoli ou cellules nourricières qui remplissent des rôles variés et important dans les tubes séminifères :

- Assurent le maintien de la cohésion du tube séminifère ;
- Assurent la coordination de la spermatogenèse ;
- assurent la libération des spermatozoïdes dans la lumière du tube ;
- sécrètent un liquide qui assure le transport des spermatozoïdes jusqu'à l'épididyme

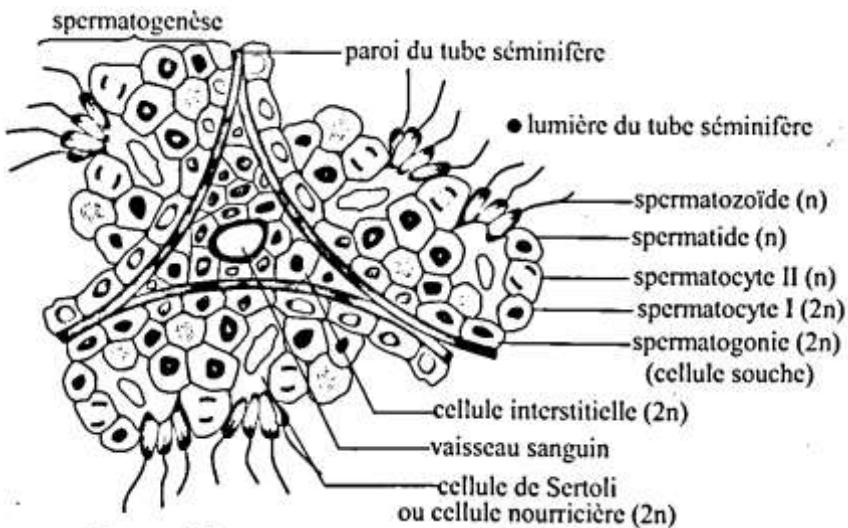
**NB : La formation des spermatozoïdes dans les tubes séminifères est centripète.**

C'est-à-dire de la périphérie du tube vers le centre ou lumière du tube.

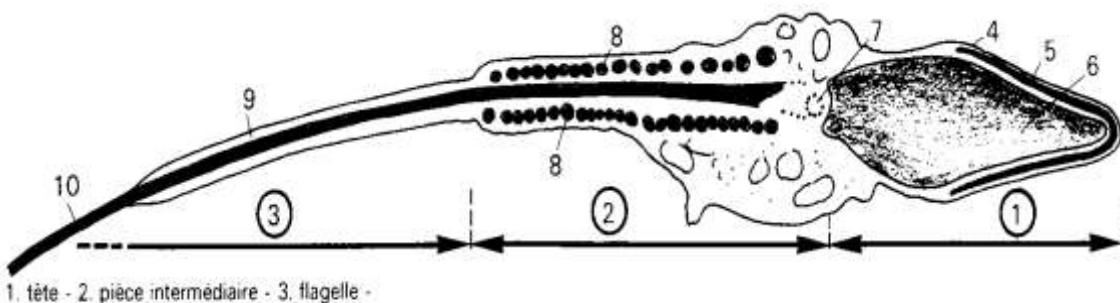


1 - épидidyme. 2 - testicule. 3 - tubes séminifères. 4 - lobule testiculaire.  
5 - canal de l'épididyme.  
6 - canal déférent.

Coupe longitudinale du testicule



Coupe transversale entre trois tubes séminifères



Ultrastructure d'un spermatozoïde humain

#### **4) Dispositif de la ligné germinale dans le tube séminifère**

##### **a) Les organes génitaux annexes**

Ces organes sont constitués des voies génitales et des glandes annexes. Ils commencent par l'épididyme qui par de chaque testicule et se prolonge par le canal déférent qui débauche dans l'urètre. Ces organes sécrètent un liquide nutritif appelé sperme qui alimente et assure le transport des spermatozoïdes ou cellules sexuelles males (ou gamètes). Avant de rejoindre l'urètre, le canal déférent forme la vésicule séminale. A ce niveau, les voies génitales et urinaires se confondent et forment un seul conduit pour le sperme et l'urine appelé urètre. Après la prostate, l'urètre reçoit la sécrétion de la glande de Cowper qui neutralise l'acidité de l'urine. Par contre, la sécrétion des vésicules séminales et celle de prostate viennent s'ajouter au sperme.

##### **b) L'organe d'accouplement ou copulateur**

L'organe copulateur de l'homme est le pénis ou verge. Cet organe permet l'acte sexuel (accouplement) et pénétration lors du rapport sexuel et assure l'écoulement de l'urine et du sperme contenant des spermatozoïdes.

Le pénis ou verge est constitué d'un corps spongieux et de deux (2) corps caverneux qui se gonflent de sang lors de l'érection. Un renflement à l'extrémité du pénis constitue le gland. La fine peau qui recouvre le gland est appelée prépuce.

##### **B) L'appareil reproducteur femelle**

L'appareil reproducteur de la femme est totalement indépendant de l'appareil urinaire. Il

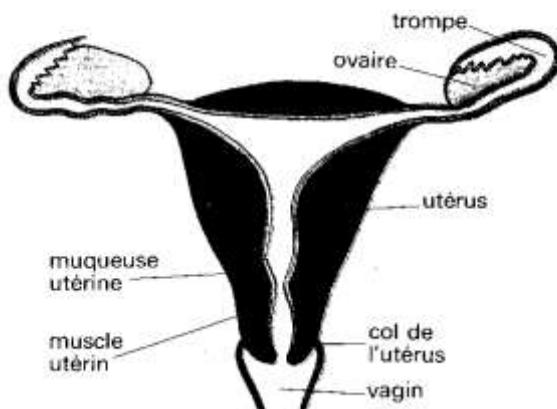
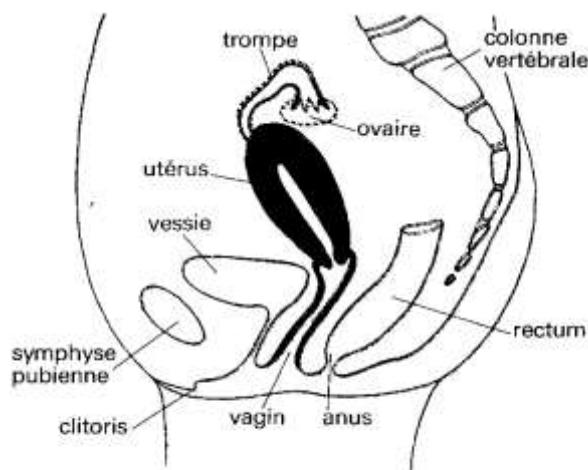
comprend :

- Deux (2) ovaires ou gonades femelles;
- Des voies génitales ;
- Les glandes reproductrices ;
- Un organe copulateur ou vagin.

#### a) Les ovaires ou gonades femelles

De même forme que les testicules, les ovaires sont des organes ovoïdes, très volumineux comprenant deux zones :

- Une zone médullaire(ou centrale) essentiellement constituée d'un tissu conjonctif riche en vaisseaux sanguins ;
- Une zone périphérique ou corticale(ou cortex) dans laquelle l'on distingue des structures arrondies de différente taille appelées follicules ovariens au niveau desquels évoluent les gamètes femelles(ou ovules) et le corps jaune.



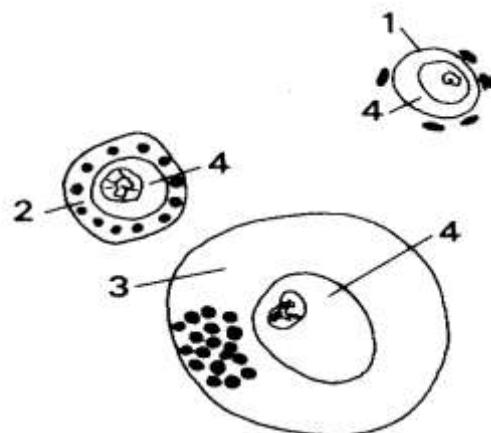
#### Appareil reproducteur féminin

##### a<sub>1</sub>) Les fonctions des ovaires

Comme les testicules, les ovaires sont aussi des glandes à double fonction :

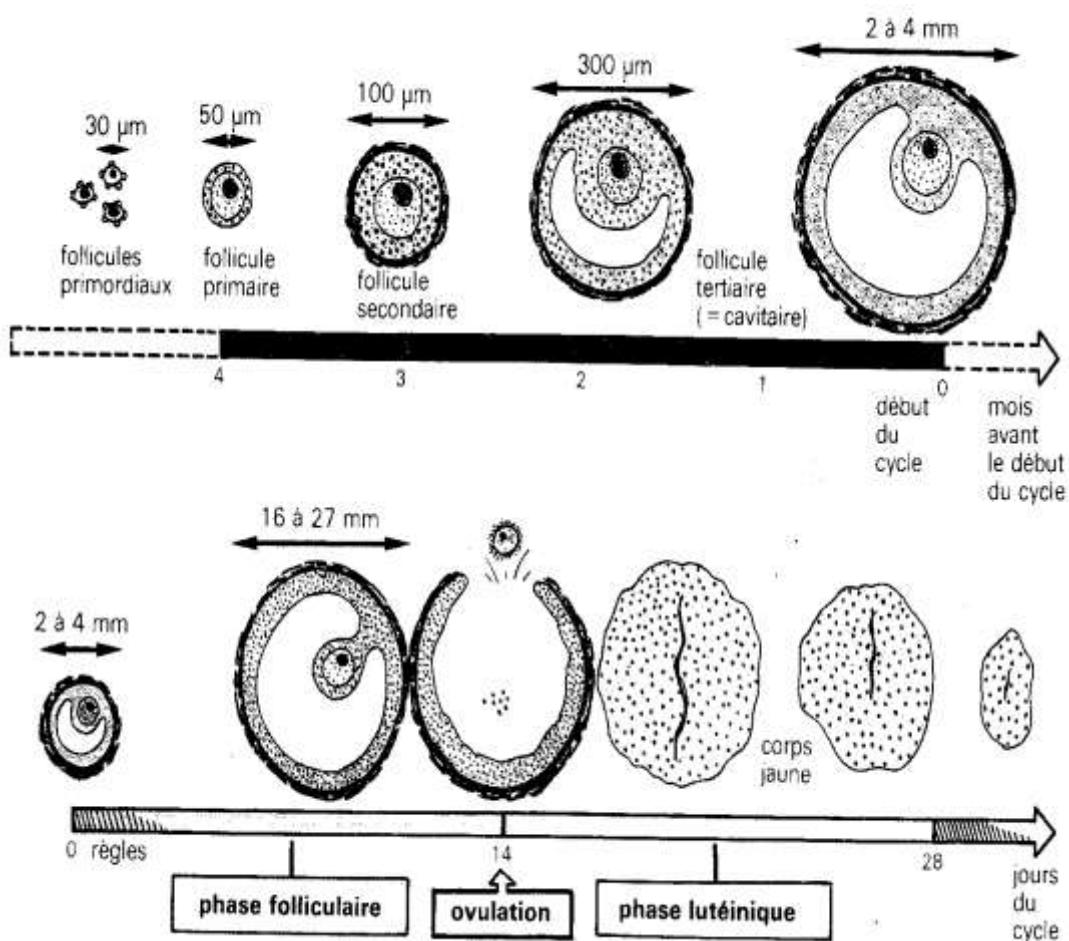
- ✓ **La fonction exocrine**, caractérisée par la production des gamètes femelles ou ovules. Elle débute dès la vie fœtale et s'achève à la ménopause chez la femme.
- ✓ **La fonction endocrine** qui consiste à la sécrétion ou production des hormones ovarriennes (œstrogènes et la progestérone).

## a<sub>2</sub>) L'examen des follicules ovariens ou la folliculogénèse



- 1. follicule primordial
- 2. follicule primaire
- 3. follicule secondaire
- 4. ovocyte

### Début de croissance d'un follicules



### La croissance folliculaire

## **La folliculogenèse est l'évolution des follicules en des stades différents de leur croissance.**

. On distingue suivant les différents stades évolutifs, 5 sortes de follicules ovariens et il révèle que chaque follicule ovarien est constitué d'un ovocyte (= cellule pouvant évoluer en gamète femelle) entouré des cellules folliculaires :

- **Les follicules primordiaux**

Ces follicules sont de petite taille et situés à la périphérie de l'ovaire. Ils sont constitués chacun d'un ovocyte I bloqué en prophase réductionnelle (méiose I) et entourés de quelques cellules folliculaires aplatis, non jointifs.

Les follicules primordiaux très nombreux dans la zone périphérique ou corticale sont formés au cours de la vie fœtale. Un fœtus de 5 mois contient déjà environ 7 000 000 de follicules primordiaux qui dégénèrent progressivement et à la naissance, la jeune fille n'en possède que 600 000 à 1 000 000 de follicules primordiaux qui reprendront leur développement à partir de la puberté (= 13 à 14 ans). Périodiquement, plusieurs follicules primordiaux évoluent en follicules primaires.

- **Les follicules primaires**

Ces follicules sont constitués de l'ovocyte I plus volumineux, entouré d'une couche régulière des cellules folliculaires.

- **Les folliculaires secondaires ou plains**

Les follicules secondaires sont constitués chacun d'un ovocyte I entouré d'une couche acellulaire (ou amorphe) ou zone pellucide, des plusieurs couches de cellules folliculaires formant la granulosa et des thèques dont la thèque interne et la thèque externe qui entourent la granulosa.

- **Les follicules tertiaires ou cavitaire jeunes**

Ces follicules sont caractérisés chacun par un ovocyte I volumineux, une granulosa creusée d'une cavité appelée antrum qui se remplit d'un liquide folliculaire. Ce liquide devient de plus en plus abondant dans la cavité et repousse (ou refoule) les cellules du granulosa à la périphérie. L'ovocyte I entouré d'un massif de cellules folliculaires (cumulus oophorus) fait saillie dans la cavité, des thèques bien différenciées dont la thèque interne constituée des cellules glandulaires qui sont responsables de la sécrétion des œstrogènes (ou hormones ovarientes) et la thèque externe formée de cellules aplatis protectrices et des fibres conjonctives.

- **Les follicules murs ou de Degaaf**

Ces follicules sont très gros et constitués essentiellement par la cavité ou antrum (occupe plus de ¾ du follicule). Il contient un ovocyte I entouré d'un massif cellulaire ou cumulus oophorus qui fait saillie à la surface de l'ovaire. A ce moment, l'ovocyte I bloqué en prophase I de la méiose, reprend sa division méiotique et donne un ovocyte II (grosse cellule) et un 1<sup>er</sup> globule plaire (de petite taille). L'ovocyte II entame la 2<sup>eme</sup> division méiotique mais reste bloqué à la métaphase II. L'ovulation ou ponte ovulaire

Survient et libère un ovocyte II bloqué en métaphase II, accompagné de son 1<sup>er</sup> globule polaire. Dans l'antrum, les cellules folliculaires se multiplient et se chargent d'un pigment jaune-orangé appelé lutéine. Ce massif ou structure prend le nom de corps jaune qui dégénère, si l'ovocyte II n'est pas fécondé. On parle du corps jaune **progestatif ou cyclique**. Par contre, si l'ovocyte II libéré est fécondé, le corps jaune persiste et assure le maintien et le développement du fœtus. On parle du corps jaune **gestatif ou gravidique**.

**Remarque : Chez les femmes, seuls 400 à 500 follicules primordiaux arrivent en maturité de la puberté à la ménopause. Les autres follicules primordiaux dégénèrent : on parle d'atrézie folliculaire.**

### **b) Les voies génitales ou organes génitaux annexes**

Au voisinage de chaque ovaire, un pavillon se prolonge dans l'oviducte dont l'ensemble forme la trompe de Fallope. Les trompes débouchent dans l'utérus en forme d'un triangle. L'utérus est un organe creux comprenant deux parties dont le corps de l'utérus en haut et le col de l'utérus en bas. Le col de l'utérus est traversé par un canal appelé canal cervical qui débouche dans le vagin ou vulve.

### **c) L'organe copulateur**

Chez la femme, le vagin ne constitue pas seulement un organe copulateur mais il assure aussi la sortie du fœtus lors de l'accouchement.

Long de **7 à 10 cm**, le vagin est formé de 2 lèvres dont la petite à l'intérieur, recouverte à l'extérieur par la grande lèvre. La partie postérieure du vagin est fermée en partie par une membrane appelée **hymen** qui sera déchirée partiellement lors du **1<sup>er</sup>** rapport sexuel et complètement lors du **1<sup>er</sup>** accouchement. Vers la partie antérieure, les petites lèvres se rejoignent et forment un petit organe érectile appelé clitoris.

### **Exercice d'application**

- 1- Qu'est-ce qu'un follicule ovarien.
- 2- Combien de sorte de follicules existe-t-il ?
- 1- Citez 3 caractéristiques de leur évolution ;
- 2- A quels moments de la vie apparaissent-ils ?
- 3- Faites les schémas correspondant aux différents stades évolutifs des follicules.

**Tableau de comparaison des appareils génitaux (mâle et femelle)**

Eléments de comparaison	Appareil génital de la femme	Appareil génital de l'homme	Fonction
<b>Gonades (glandes reproductrices)</b>	Ovaires	Testicules	Production des gamètes (cellules reproductrices) et des hormones.
<b>Cellules reproductrices ou Gamètes</b>	Ovules	Spermatozoïdes	Fécondation
<b>Hormones Sexuelles</b>	Hormones Féminines : -les Oestrogènes ; -la Progestérone	Hormones Masculines : - la Testostérone	Fonctionnement de l'appareil génital et apparition et maintien des caractères sexuels secondaires.
<b>Les voies génitales ou canaux reproducteurs</b>	Oviducte + Pavillon = Trompes de Fallope ou canaux reproducteurs	Epididyme, canal déférent (canaux spermatiques), glande de Cowper et Urètre	Transport des cellules sexuelles (gamètes).
<b>Organes de la reproduction</b>		Prostate et vésicules séminales	Production du sperme
	Utérus		Grossesse
<b>Organes copulateurs ou organes génitaux</b>	Vulve ou Vagin	Pénis ou Verge	Rapports sexuels
<b>Appareil</b>	Génital	Uro-génital	Reproduction

## **C-La gaméto-génèse**

La gaméto-génèse est un ensemble des étapes et des modalités conduisant les cellules souches diploïdes des gonades à la formation des cellules haploïdes ou gamètes (spermatozoïdes ou ovules).

**Par définition, la gaméto-génèse est l'ensemble des processus conduisant à la formation des gamètes haploïdes à partir des cellules souches diploïdes.**

Elle s'effectue en **4 phases** chez l'homme et en **3 phases** chez la femme.

**NB :** Chez l'homme la gaméto-génèse est appelée **spermatogenèse**. Tandis que chez la femme, on parle de **l'ovogenèse**.

### **a) La spermatogenèse**

Chez l'homme la spermatogenèse débute à la puberté (= 13 ans) et se déroule dans les testicules sans interruption jusqu'à la mort. Elle comprend 4 phases :

- La phase de multiplication ;
- La phase d'accroissement ;
- La phase de maturation (ou méiose) ;
- La phase de différenciation (ou spermogénèse).

#### **a.1) La phase de multiplication**

Pendant cette phase, les spermatogonies souches diploïdes des tubes séminifères subissent plusieurs mitoses successives (3 chez l'homme) et augmentent leur nombre en donnant toujours des cellules diploïdes appelées spermatogonies (2n).

#### **a.2) La phase d'accroissement**

Pendant cette phase, les spermatogonies (2n) augmentent de taille en accumulant une quantité importante des réserves cytoplasmiques et deviennent des spermatocytes de 1<sup>er</sup> ordre.

#### **a.3) La phase de maturation**

Cette phase est marquée par **la méiose** et aboutit à la formation des gamètes fonctionnels ou spermatozoïdes.

Au cours de la méiose, les spermatocytes I (2n) diploïdes subissent la 1<sup>ere</sup> division réductionnelle pour donner des cellules haploïdes appelées spermatocytes de 2<sup>ème</sup> ordre ou spermatocyte II à n chromosomes à 2 chromatides. Les spermatocytes II subissent à leur tour la 2<sup>ème</sup> division de la méiose ou division équationnelle pour donner des cellules toujours haploïdes appelées spermatides à n chromosomes à 1 chromatide. Ces cellules sont déjà pratiquement des spermatozoïdes mais doivent subir une simple transformation morphologique.

#### **a.4) La phase de différenciation ou la spermogénèse**

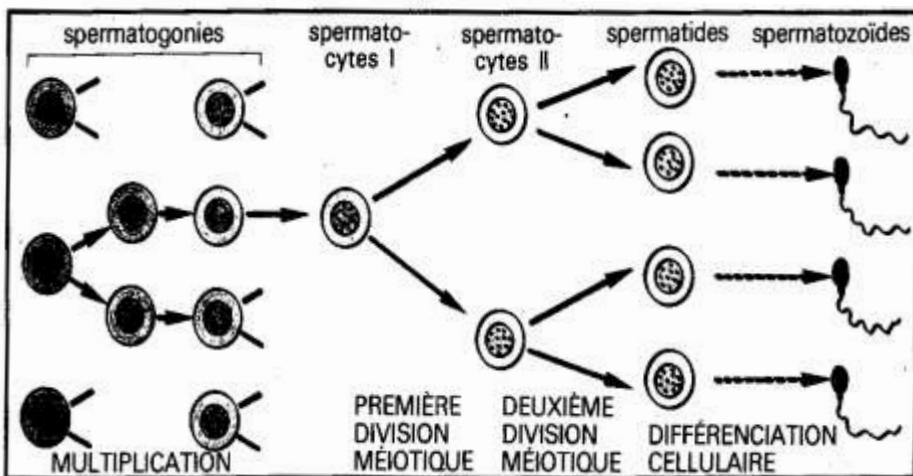
Cette phase correspond simplement à la transformation morphologique des spermatides en spermatozoïdes ou cellules spécialisées fonctionnelles. Au cours de cette spermogénèse, la spermatide, cellule arrondie va évoluer progressivement en une petite cellule flagellée, par :

- L'élimination d'une partie de cytoplasme ;
- La Formation de l'acrosome par l'appareil de Golgi ;
- L'Emission du flagelle par le centriole ;
- L'organisation des mitochondries à la base du flagelle en manchon mitochondrial ;
- L'élongation et aplatissement du noyau donnant la forme de la tête du spermatozoïde et la condensation de la chromatine.

On obtient alors des cellules mobiles appelées spermatozoïdes à n chromosomes à 1 chromatide.

**NB :** La durée de la spermatogenèse est évaluée à 74 jours +/- 4.

### a.5)-Etapes schématiques de la spermatogenèse



### b) L'ovogenèse

L'ovogenèse est la formation des gamètes femelles ou ovules. Elle débute très tôt dans l'ovaire de l'embryon (phase de multiplication) et s'achève à la ménopause chez la femme.

Contrairement à la spermatogenèse, l'ovogenèse se déroule dans les ovaires en trois(3) phases :

- La phase de multiplication ;
- La phase d'accroissement ;
- La phase de maturation (ou méiose).

#### b.1) la phase de multiplication

Elle a lieu avant la naissance. C'est-à-dire dès la vie fœtale.

Dans l'ovaire embryonnaire parallèlement à l'évolution folliculaire (ou folliculogenèse), les ovogonies souches diploïdes contenues dans les follicules subissent plusieurs mitoses (3 mitoses chez la femme) et augmentent leur nombre. Mais cette phase de multiplication cesse avant la naissance et se constitue un stock d'ovogonies diploïdes.

Il ne s'en formera plus mais au contraire une grande partie de ces ovogonies va dégénérer avant la naissance.

#### b.2) La phase d'accroissement

Après leur multiplication ; les ovogonies diploïdes débutent leur croissance en accumulant des réserves, augmentent de volume et deviennent des ovocytes I (ou de 1<sup>er</sup> ordre) à 2n chromosomes à 2 chromatides. A la naissance, tous les ovocytes I sont bloqués en prophase I de la 1<sup>ère</sup> division méiotique et reprendront leur croissance et la méiose à la puberté. Pendant cette phase de repos, chaque ovocyte I entouré de quelques cellules folliculaires constitue de follicule primordial.

#### b.3) La phase de maturation

Elle débute à la puberté chez la femme et aboutit à la fabrication des gamètes femelles fonctionnels ou ovules.

Pendant cette phase, quelques ovocytes contenus dans les follicules primordiaux vont continuer leur évolution au hasard au cours des cycles ovariens et les autres vont dégénérer. Cette évolution est marquée par la méiose au cours de laquelle, ces ovocytes I subissent la 1<sup>ère</sup> division de la méiose pour donner deux cellules de taille différente dont l'une de grande taille appelée ovocyte de 2<sup>eme</sup> ordre ou ovocyte II et l'autre de petite taille appelée premier globule polaire. Toutes ces deux(2) cellules sont haploïdes à n chromosomes à 2 chromatides.

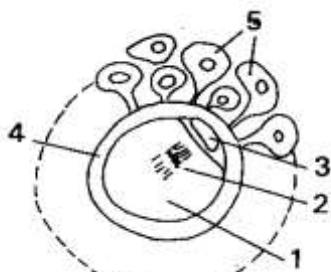
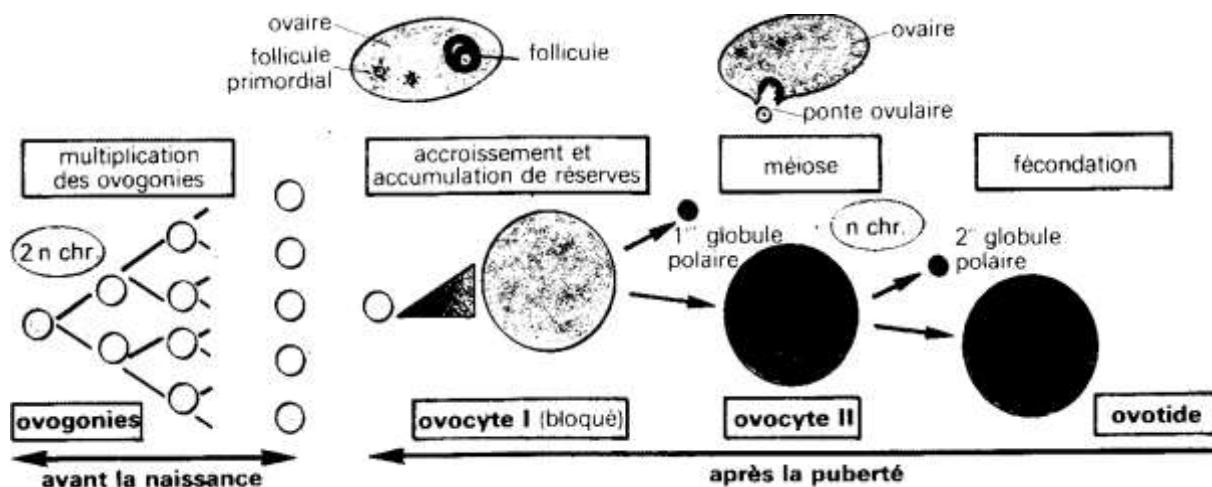
La deuxième de la méiose ou division équationnelle de l'ovocyte II débute 6 heures avant l'ovulation mais restera bloquée à la métaphase II et ne reprendra que si y a fécondation. Car, c'est la pénétration du spermatozoïde qui déclenchera la reprise de la division équationnelle de l'ovocyte II qui s'achèvera par l'émission du 2<sup>eme</sup> globule polaire et la formation de l'ovotide ou

ovule haploïde à  $n$  chromosomes à 1 chromatide.

Il faut noter que c'est l'ovocyte II accompagné de son premier globule polaire qui est expulsé à l'ovulation et non un gamète fonctionnel véritable (ou ovule).

**NB : sans la fécondation, le gamète femelle n'est pas un véritable gamète, sa formation est encore inachevée (il est bloqué en métaphase II de la méiose).**

#### b.4) Les étapes schématiques de l'ovogenèse



1. ovocyte II - 2. noyau en division - 3. premier globule polaire - 4. zone pellucide - 5. cellules péri-ovocytaires

**c) Etude comparée de l'ovogenèse et la spermatogenèse**

Eléments	Spermatogenèse	Ovogenèse
Gamète	Spermatozoïde	Ovule
Quantité de production	300 million/ml de spermes	Un seul/ cycle
Début	A la puberté	Vie embryonnaire ou vie fœtale
Fin	Jusqu'à la mort	A la ménopause
Rythme	Continu et permanent	Discontinu et cyclique
Age du gamète	Environ 74 +/- 4 jours	Age de la femme plus quelques mois

**c.1) Structure du gamète mâle (spermatozoïde) et de gamète femelle (ovocyte II)**

Exercice d'application ( testez vos connaissances)

- 1-Après avoir donné le schéma annoté du gamète male et du gamète femelle, faites l'étude comparée de ces deux cellules dans un tableau.
- 2- Définir les termes suivants : spermatogenèse, ovogenèse, folliculogenèse, méiose et gamète.
- 3 – Comparez sous forme de tableau spermatogenèse et ovogenèse.

**c.2) Tableau résumant la garniture chromosomique des cellules aux différents stades de la spermatogenèse et de l'ovogenèse**

	Ovogenèse	Spermatogenèse	Nombre de chromosomes
1	Ovogonie (cellule souche)	Spermatogonie (cellule souche)	2n
2	Ovocyte I(avant accroissement)	Spermatocyte I (avant accroissement)	2n
2'	Ovocyte I(fin d'accroissement)	Spermatocyte I (fin accroissement)	2n à 2 chromatides
3	Ovocyte II	Spermatocyte II	n à 2 chromatide
3'	Globule polaire 1	Spermatocyte II	n à 2 chromatides
4	Ovotide	Spermatide	n à 1 chromatide
4'	Globule polaire 2	Spermatide	n à 1 chromatide
5	Ovule	Spermatozoïde	n à 1 chromatide

**d) Tableau de comparaison entre spermatozoïde et ovule**

Eléments de comparaison	Spermatozoïde	Ovule
Taille	Petite	Volumineuse
Forme	Allongée	Arrondie ou ovoïde
Production	Permanente ou continue	Cyclique : 1 ou 2/ cycle
Mobilité	Mobile	Immobile
Durée de vie	3 à 7 jours	48 heures ou 2 jours
Formation	Achevée	Inachevée
Réserves	Inexistantes	Existantes (abondantes)
Age	74 jours +/- 4	Age de la femme plus(+) mois.

### e) Caractères généraux et la biologie des gamètes

Les gamètes sont des cellules haploïdes obtenues par réduction chromosomique à partir des cellules diploïdes lors de la méiose.

On distingue deux types de gamètes chez les animaux :

- ✓ Le gamète male appelé Spermatozoïde ;
- ✓ Le gamète femelle appelé ovule.

#### a) **les caractères généraux et biologiques des gamètes males ou spermatozoïdes.**

Les gamètes males sont des petites cellules très mobiles, allongées en forme de têtard et présentant 3 parties dont la tête, la pièce intermédiaire et le flagelle :

##### ➤ **La tête**

Aplatie dans la région postérieure du spermatozoïde, la tête est constituée d'un noyau surmonté d'un acrosome contenant des nombreuses enzymes qui serviront à digérer localement la membrane de la cellule sexuelle femelle (pénétration du spermatozoïde) lors de la fécondation.

##### ➤ **La pièce intermédiaire**

C'est la zone ou pièce de jonction entre la tête et le flagelle. Elle est limitée en avant par le centriole à partir duquel par le flagelle. La pièce intermédiaire est garnie d'une hélice provenant de la condensation des mitochondries, formant le manchon mitochondrial.

##### ➤ **Le flagelle**

Confondu à la queue, le flagelle ne possède pas de mitochondries mais a une gaine fibreuse ou faisceau de microtubules qui disparaît vers l'extrémité du flagelle.

Il faut noter que la mobilité du spermatozoïde est provoquée par les ondulations du flagelle. Et les mouvements du flagelle sont dus aux glissements de ces microtubules les uns par rapport aux autres. L'énergie nécessaire(ATP) aux mouvements est fournie par les mitochondries à partir de la dégradation **du fructose** contenu dans le liquide séminal.

**Remarque :** La durée de vie des spermatozoïdes dans les voies génitales femelles encore mal connue, serait de **2 à 5** jours chez l'homme avec une moyenne de **3 jours ou 72heures**.

### f) Caractères généraux et biologique des gamètes femelles

Produit en petit nombre par les femelles des Mammifères, les gamètes femelles ou ovules prennent naissance dans les ovaires et achèvent leur maturation après l'émission du **2<sup>ème</sup> globule polaire** lors de leur pénétration par un spermatozoïde au cours de la fécondation.

Contrairement aux gamètes males, les gamètes femelles sont des grosses cellules. Car, elles ont accumulé des réserves dans leur cytoplasme et ont conservé la plus grande partie de cytoplasme au cours de la méiose.

Du fait de l'absence du flagelle, les gamètes femelles sont des cellules immobiles. Leur survie dans les voies génitales (après ovulation) est aussi mal connue, mais serait de **2 jours, soit 48 heures**.

## **D- Les cycles sexuels**

Le cycle sexuel est un ensemble des modifications structurales et fonctionnelles périodiques de l'appareil génital des femelles des mammifères. Il commence à la puberté et s'achève à la ménopause.

On distingue deux types de cycles sexuels :

- Le cycle œstral ;
- Le cycle menstruel.

Qu'il soit œstral ou menstruel, le cycle sexuel est marqué par un événement physiologique, remarquable appelé **ovulation**.

### **1) Le cycle œstral**

Chez la plupart des femelles des mammifères, le cycle est œstral, caractérisé par l'apparition périodique d'un comportement d'œstrus (ou chaleur) ou comportement d'acceptation du male

pendant la période qui précède l'ovulation. Chez ces femelles, l'ovulation a lieu au début du cycle. Ce cycle peut s'observer chez la chatte, la chienne, la truie, etc.

## **2) Le cycle menstruel**

Les cycles sexuels de la femme sont qualifiés des cycles menstruels. Ils sont caractérisés par des transformations cycliques ou des menstruations dont l'ensemble exprime une activité sexuelle reproductrice. Cette activité sexuelle commence chez la femme, à partir de la puberté (vers 13 ans) et se poursuit sans phase de repos jusqu'à la ménopause avec pause pendant la grossesse. Chaque cycle sexuel est marqué par un événement apparent, les règles ou menstruations d'où son nom de cycle menstruel.

Par convention, le début du cycle menstruel commence le premier jour des règles ou menstruations et se termine la veille des règles suivantes. Il dure en moyenne **28jours** pour un cycle sexuel normal, mais il n'est pas exclu qu'on assiste aussi à des cycles de **25jours** (cycle court) **ou 36 jours** (ou cycle long) que l'on qualifie d'anormaux.

Chaque cycle menstruel est caractérisé par l'évolution puis la maturation d'un follicule ovarien aboutissant à une ovulation ou ponte ovulaire. Les modifications du cycle menstruel affectent également certains organes ou substances de l'organisme. C'est ainsi qu'on parle de : **cycle ovarien, cycle des effecteurs (cycle utérin, cycle des seins, cycle vaginal), cycle des températures, cycle de la glaire cervicale et cycle hormonal, etc.**

### **a) Le cycle ovarien**

Les modifications ovariennes qui surviennent au cours du cycle menstruel sont subdivisées en trois(3) phases :

- La phase folliculaire ;
- La phase ovulatoire ;
- La phase lutéinique ou lutéale.

### **b) La phase folliculaire ou phase pré-ovulatoire**

Cette phase va de 1<sup>er</sup> jour du cycle au 13<sup>eme</sup> jour pour un cycle normal de 28jours. Elle est caractérisée par la croissance rapide de quelques follicules parmi lesquels quelques-uns seulement arrivent à maturité et les autres dégénèrent. Cette phase, correspond à l'achèvement de la croissance de l'un des follicules cavitaires visibles à la surface de l'ovaire appelés follicules murs ou follicules de DEGRAAF.

Ces follicules évolutifs sont bloqués depuis la vie embryonnaire.

Il faut noter que cette phase est également marquée vers le 13<sup>eme</sup>jour du cycle, par la fin de la 1<sup>re</sup> division méiotique donnant l'ovocyte II et son 1<sup>er</sup> globule polaire entouré par une couronne des cellules appelée **corona radiata**.

### **c) La phase ovulatoire ou ponte ovulaire(ou encore ovocytation)**

La phase ovulatoire ou ponte ovulaire est très brève et intervient généralement au 14<sup>eme</sup>jour du cycle menstruel normal ( cycle normal de 28jours).

Elle correspond à la rupture **du follicule mur ou de Degraaf** en un point appelé stigma et libérant l'ovocyte II (gamète femelle chez les mammifères) accompagné de son premier globule polaire et du liquide folliculaire de la cavité, entouré de la **corona radiata**. On parle de l'ovulation.

**Remarque :** Le nombre ou taux d'ovulation varie selon les espèces :

- Chez la femme et la vache : 1 ovule/cycle ;
- Chez la brebis : 2 ovules /cycle
- Chez la truie : 8ou30 ovules/cycle
- Chez la souris : 6 à 17 ovules/cycle

Chez la femme et la majorité des femelles des Mammifères, l'ovulation est **spontanée**.

Cependant, dans certaines espèces (chatte, chienne, lapine, truie, etc.) l'ovulation est dite **provoquée**, car elle est déclenchée par l'accouplement ou le coït.

#### **d) La phase lutéinique ou phase post-ovulatoire**

Elle est constante et dure 14+-1 jours. Elle s'étend du 14<sup>ème</sup> jour au 28<sup>ème</sup> jour du cycle ou au cycle suivant.

Cette phase est caractérisée par la formation et l'évolution du corps jaune.

En effet, après ovulation, le follicule mur rompu se referme, les vaisseaux sanguins pénètrent dans le **granulosa** et les cellules du granulosa se transforment en cellules lutéales ou lutéiniques qui produisent un pigment jaune appelé lutéine dont l'ensemble forme une masse cellulaire appelée **corps jaune**.

Le devenir de ce corps jaune dépend du devenir de l'ovocyte II émis :

- Si, l'ovocyte II est fécondé, le corps jaune persiste et les cycles sexuels sont interrompus ;
- Si, l'ovocyte II n'est pas fécondé, le corps jaune dégénère.

**NB :** Le cycle ovarien est alternatif, c'est-à-dire l'ovaire droit ou gauche par cycle. Mais, exceptionnellement, les 2 ovaires à la fois.

#### **e)Le cycle des effecteurs**

Parallèlement aux modifications ovariennes, les organes annexes ou les effecteurs subissent aussi des transformations cycliques. C'est le cas de l'utérus, du vagin et des seins.

#### **f)Le cycle de l'utérus**

L'utérus est un organe dans lequel se développe un embryon. Il est constitué de deux muscles dont l'un externe, lisse appelé **myomètre** et l'autre interne, muqueux appelé **endomètre**, riche en vaisseaux sanguins et formé des tissus conjonctifs.

En effet, au début du cycle, les règles ou menstruations proviennent de la rupture de la structure de l'endomètre dont les artères se dilatent et se rompent provoquant une hémorragie accompagnée de l'élimination des débris de l'endomètre à l'extérieur sous forme des règles ou menstruations qui durent en moyenne 3 à 5 jours.

**En phase Folliculaire**, l'endomètre qui a été presque détruit pendant les règles ou menstruations, se reconstitue et s'épaissie progressivement. Les glandes en tubes se creusent, se ramifient et les vaisseaux sanguins deviennent nombreux.

**En phase lutéinique**, le développement de l'endomètre atteint son maximum quelques jours après l'ovulation. A ce moment, les glandes en tubes deviennent tortueuses et donnent un aspect en dentelle qu'on appelle dentelle Utérines , favorable à l'accueil d'un éventuel embryon. C'est-à-dire cette dentelle utérine est favorable à la nidation ou à l'implantation de l'œuf ou zygote.

**NB : A la fin du cycle, et en l'absence de la fécondation, les vaisseaux sanguins spiralés et les glandes formées se dilatent, leurs parois se rompent, entraînant des hémorragies ou menstruations (débris cellulaires mêlés de sang provenant de destruction de la muqueuse utérine ou endomètre) appelées règles.**

#### **g) Le cycle de la glaire**

La glaire cervicale ou mucus cervical est une sécrétion des glandes du col de l'utérus. Elle est formée de filaments protéiques disposés en réseau aux mailles variables et obstruant l'orifice du col de l'utérus.

**En phase folliculaire**, elle forme un réseau dense et imperméable aux spermatozoïdes ;

**En phase ovulatoire**, la sécrétion de la glaire est abondante et elle devient de plus en plus fluide, apte à favoriser la progression des spermatozoïdes. C'est-à-dire elle devient lâche et perméable, facilitant le passage des spermatozoïdes vers la cavité de l'utérus, mais en filtrant et sélectionnant les spermatozoïdes qui pourraient la traverser.

**En phase lutéinique**, la sécrétion de la progestérone rend la glaire cervicale dense, épaisse et imperméable aux spermatozoïdes

### **g.1) La température corporelle**

Chez la femme, la température corporelle subit une évolution pendant les différentes phases du cycle menstruel.

Prise le matin au réveil, à la phase folliculaire, la température est toujours inférieure à **37°C**. Le jour de l'ovulation, elle s'élève au-dessus de **37°C** et s'y maintient pendant toute la phase lutéinique.

**Remarque :** Chez certaines espèces, il existe également chez la femelle des modifications cycliques marquées du vagin et des seins. Mais dans l'espèce humaine, ces modifications sont discrètes et ne peuvent faire l'objet d'une étude particulière.

### **3) Le cycle hormonal**

#### **3.1) Chez la femme**

Les ovaires des femelles produisent de façon cyclique des hormones, qui sont à l'origine du développement cyclique des organes effecteurs (utérus et voies génitales).

##### **3.1.1) Mise en évidence**

###### **Expérience de l'ablation des ovaires**

Expériences	Résultats
Ovariectomie chez une femelle	Arrêt des cycles (absence des règles et régression des caractères sexuels secondaires)
Ovariectomie suivi d'une greffe d'ovaire	Reprise des cycles.
Ovariectomie suivi des injections d'extraits ovariens	Reprise des cycles.
Ovariectomie suivi de la parabiose	Reprise des cycles.

Ces expériences nous permettent de déduire que l'ovaire est indispensable au fonctionnement des effecteurs et en particulier de l'utérus. Il agit sur ces effecteurs par l'intermédiaire des substances chimiques qu'il sécrète et déverse dans le sang et qui agit sur ces organes cibles. Ces substances sont appelées **hormones ovariennes**.

**3.1.2) Définition : On appelle hormone, une substance ou molécule produite par une glande déversée dans le sang qui la transporte et va agir à distance sur un ou plusieurs organes cibles.**

#### **3.2) Les hormones ovariennes**

Les ovaires sécrètent deux types d'hormones stéroïdes :

- les **œstrogènes ou folliculines** (ainsi appelées parce qu'elles déclenchent l'œstrus ou chaleur chez les animaux). Ces hormones sont sécrétées par les **cellules de la thèque interne** et **les cellules du granulosa** du follicule évolutif pendant la phase folliculaire dont le pic se situe entre le 11<sup>ème</sup> et 12<sup>ème</sup> jour du cycle moyen de 28jours et en faible quantité par **le corps jaune** pendant la phase lutéinique. Parmi ces hormones, l'œstradiol est celle dont l'activité biologique est la plus importante.
- les **progestagènes ou hormones progestatives** (ainsi appelées parce qu'elles préparent l'utérus à la gestation) dont la plus importante est la progestérone. Ces hormones sont sécrétées en quantité importante par le corps jaune pendant la phase lutéinique dont le pic se situe entre le 20<sup>ème</sup> et le 22<sup>ème</sup> jour du cycle moyen de 28jour. Pendant cette phase, le corps jaune produit aussi des œstrogènes.

**Remarque :** En cas de grossesse, les œstrogènes sont sécrétés par le placenta à partir du 3<sup>ème</sup> mois. C'est pour cette raison qu'une ablation des ovaires avant le 3<sup>ème</sup> mois est suivie d'un avortement alors que l'ablation après le 3<sup>ème</sup> mois est sans conséquence. Car, le placenta prend le relais du corps jaune en sécrétant les hormones ovariennes.

##### **3.2.1) Les rôles ou actions des hormones ovariennes**

- **Les œstrogènes** assurent la croissance et le développement de l'utérus (de la muqueuse utérine avec la formation des glandes utérines), des glandes annexes et l'augmentation des contractions de myomètre et le déclenchement de la sécrétion du mucus ou glaire par le col de l'utérus.
- **La progestérone** est une hormone de grossesse. Elle inhibe les contractions du myomètre faisant un silence utérin favorable à l'implantation du fœtus. Elle assure le développement de la muqueuse utérine, la formation des dentelles utérines, la sécrétion du glycogène et des lipides, le développement des cellules lactées, l'élévation de la température et empêche la maturation des nouveaux follicules.

#### **4) La régulation des cycles sexuels**

##### **4.1) Les hormones hypophysaires**

L'hypophyse est un petit organe logé dans une cavité de la boîte crânienne, suspendu à la base inférieure de l'encéphale, juste en dessous de l'hypothalamus auquel il est relié par une tige. L'hypophyse agit sur les gonades (ou glandes) par l'intermédiaire de deux hormones hypophysaires appelées gonadostimulines ou gonadotrophines (ainsi appelées parce qu'elles stimulent les gonades). Ce sont :

-**La FSH** ou hormone folliculo- stimulante ;

-**La LH** ou hormone luténisante.

##### **4.1.1) Sécrétion cyclique des gonadostimulines (FSH et LH)**

La sécrétion de ces hormones hypophysaires subit également une variation cyclique :

✓ **Pendant la phase folliculaire**, les taux des hormones hypophysaires dans le sang sont faible et constants. A la veille de l'ovulation, on note une augmentation de ces taux donnant un pic de décharge de la FSH et de LH, mais surtout le pic de la LH qui provoque l'ovulation.

✓ **Pendant la phase lutéinique**, les taux sanguins de la FSH et de la LH sont faibles et comparables à ceux de la phase folliculaire.

Schémas d'illustration (voir graphique des variations des taux sanguins des gonadostimulines)

##### **4.1.2) Les rôles ou actions des hormones hypophysaires**

###### **a) Chez la femme**

Chez la femme, la **FSH** stimule la croissance des follicules, la maturation de l'ovocyte et agit également sur la théque interne qui à son tour sécrète les œstrogènes(ou œstradiol).

**NB : Le taux excessif des œstrogènes dans le sang inhibe la sécrétion de la FSH par rétrocontrôle ou Feed-back.**

**La LH** est responsable de l'ovulation par la rupture de la paroi du follicule mur ou de DEGRAAF. Ce phénomène d'ovulation est déclenché par une augmentation brusque du taux de la **LH** (pic de décharge). La **LH** agit également sur le corps jaune en phase lutéale.

C'est-à-dire assure son développement et stimule la sécrétion de la progestérone. Elle participe également au développement des glandes mammaires.

**Remarque : La FSH et LH agissent toujours en synergie pendant un cycle sexuel.**

**C'est-à-dire en phase folliculaire, elles commandent la maturation des follicules ; en phase ovulatoire, les taux de ces hormones augmentent et surtout celui de la LH provoquant l'ovulation et en phase lutéinique, ces 2 hormones agissent sur le corps jaune et stimulent la sécrétion de la progestérone et des œstrogènes.**

###### **b) Chez l'homme**

Chez l'homme, la **FSH** et la **LH** agissent respectivement sur les tubes séminifères et les cellules de Leydig ou cellules interstitielles :

✓ Sur les tubes séminifères, la **FSH** stimule et contrôle la production des spermatozoïdes ;

- ✓ Sur les cellules de Leydig ou cellules interstitielles, la LH stimule la sécrétion de la progestérone, hormone responsable des caractères sexuels secondaires.

## **5)La régulation de la sécrétion des hormones sexuelles**

### **5.1) La régulation de la sécrétion des hormones ovariennes**

#### **a)Mise en évidence du rôle de l'hypophyse dans la sécrétion des hormones ovariennes**

##### **Expérience**

Expériences	Chez une femme adolescente	Chez une femme adulte
Ablation de l'hypophyse (hypophysectomie)	Pas de développement des ovaires	Les ovaires s'atrophient et les cycles ovariens et utérins disparaissent
Ablation de l'hypophyse suivie du greffage ou d'injections d'extraits hypophysaires	Croissance rapide des ovaires +évolution folliculaire	Reprise des cycles ovariens et utérins.
Ablation de l'hypophyse+ ablation des ovaires suivie d'injections d'extraits hypophysaires	Pas de cycle ovarien	Disparition du cycle Utérin

**Conclusion : L'hypophyse est indispensable au fonctionnement des ovaires et de l'utérus par l'intermédiaire des gonadostimulines (FSH et LH) qu'il sécrète et déverse dans le sang.**

### **5.2)Le rôle de l'hypothalamus dans sécrétion des hormones hypophysaires ou gonadostimulines (FSH et LH)**

L'hypothalamus est un organe situé au-dessus de l'hypophyse. La section de la tige liant l'hypophyse à l'hypothalamus entraîne l'arrêt des cycles sexuels par insuffisance des gonadostimulines (FSH et LH).

**Conclusion : L'hypothalamus est donc indispensable à la production des gonadostimulines et partant de celle des hormones ovariennes et testiculaires.**

#### **a)Action de l'hypothalamus sur l'hypophyse**

L'hypothalamus agit sur l'hypophyse par l'intermédiaire d'une hormone appelée GnRH (ou Gonadotrophine releasing hormone). La GnRH sécrétée par les neurones hypothalamiques, stimule la sécrétion des gonadostimulines par l'hypophyse antérieure ou antéhypophyse.

La sécrétion de la GnRH est, stimulée par la réception des messages nerveux provenant des différentes régions de l'encéphale, par les neurones hypothalamiques. C'est ainsi qu'est appelée neuro-hormone ou neurosécrétion.

Le fonctionnement du complexe hypothalamo-hypophysaire permet d'établir les relations suivantes :

#### **a.1)Schémas de mise en évidence des différentes relations existant entre les différents organes du système hypothalamo-hypophysaire**

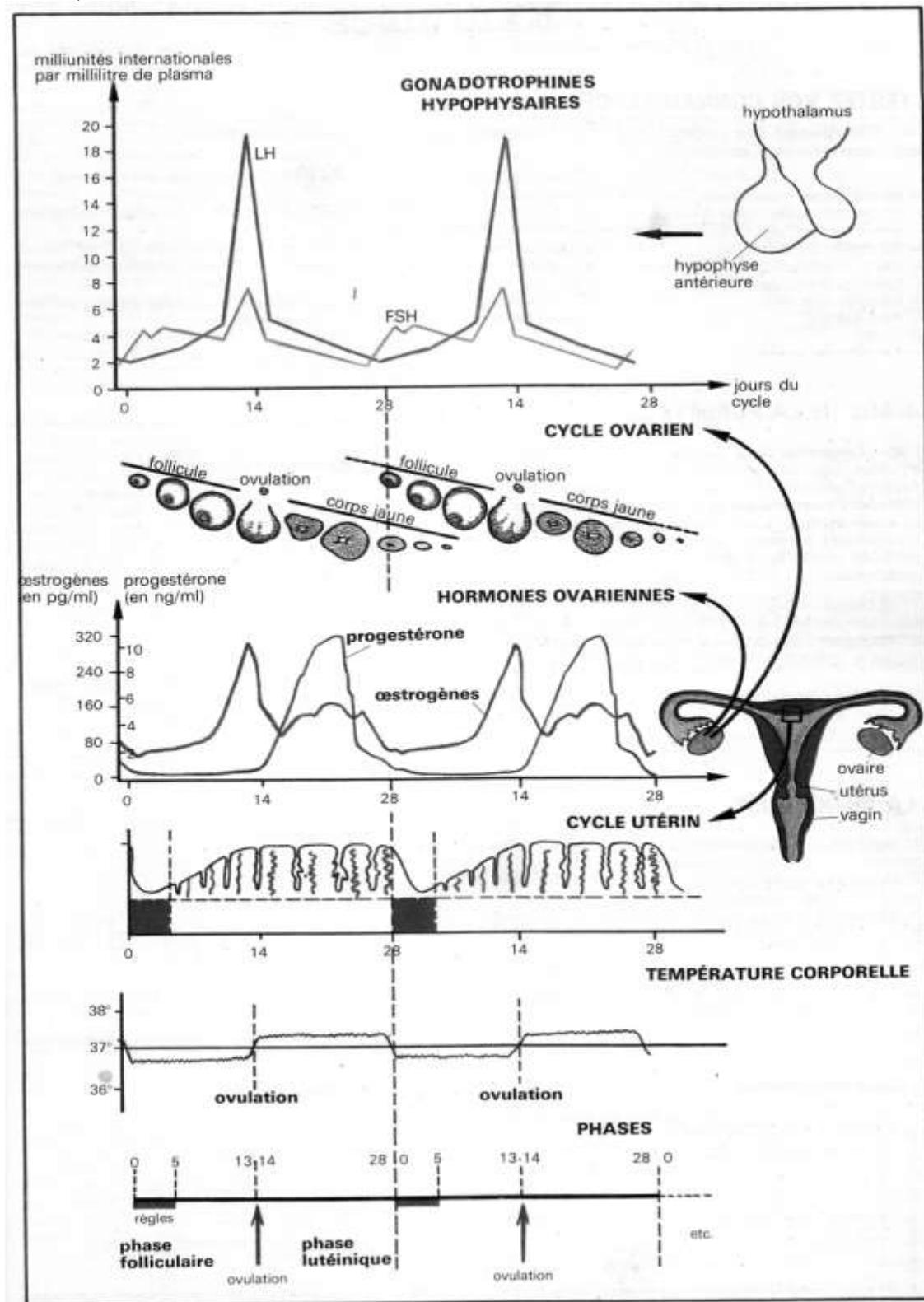
##### **a.1.1) Chez la femme**

(Voir schéma de la mise en évidence des différentes relations)

##### **a.1.2)Chez l'homme**

Chez l'homme, l'hypothalamus agit sur l'hypophyse par la GnRH qui à son tour sécrète les gonadostimulines qui stimulent au niveau des testicules la production des gamètes mâles ou spermatozoïdes et la production des hormones testiculaires ou testostérone. Ce complexe

hypothalamus-hypophysaire se résume de la manière suivante : schéma de la mise en évidence de ces différentes relations entre les différents organes(voir document).



Synchronisation des cycles sexuels

## **6)La notion de rétrocontrôle**

a) **Définition** : On appelle rétrocontrôle ou Feedback, un mécanisme de contrôle de l'activité d'un organe par l'organe dont il stimule l'activité.

### **a)La mise en évidence du rétrocontrôle**

#### **a.1)Chez la femme**

##### **a.1.1)Action des hormones ovariennes sur le complexe hypothalamo-hypophysaire**

Expériences	Résultats	Conclusions
Ablation des deux ovaires chez une femme pubère non gestante	Hypertrophie de l'hypophyse	Les ovaires en place exercent une activité inhibitrice sur l'hypophyse
Injection des petites quantités d'œstrogènes dans l'hypothalamus	Absence d'ovulation	Des faibles quantités d'œstrogènes dans le sang inhibent la sécrétion de GnRH et des gonadostimulines (Retro contrôle négatif)
Injection des grandes quantités d'œstrogènes dans l'hypothalamus	Production d'une quantité importante de la LH dans le sang et déclenchement de l'ovulation	Des fortes concentrations des œstrogènes dans le sang stimulent la sécrétion de GnRH et des gonadostimulines (Rétrocontrôle positif)
Injection de progestérone et des œstrogènes en concentration élevée dans le sang	Arrêt des cycles ovariens et pas d'ovulation	La progestérone inhibe la sécrétion de la GnRH et des gonadostimulines quelle que soit la quantité des œstrogènes. C'est un retro contrôle négatif

#### **a.2) Chez l'homme**

##### **a.2.1)Le rétrocontrôle des testicules sur le complexe hypothalamo-hypophysaire**

L'ablation ou la castration des testicules chez un male provoque une hypertrophie de l'hypophyse (antéhypophyse). Cette expérience permet de déduire que les testicules en place exercent une activité de freinage sur l'hypophyse.

Si, on injecte des quantités importantes de testostérone chez un mâle castré, l'activité de l'hypophyse et de l'hypothalamus baissent. La production de la GnRH et des gonadostimulines est inhibées. L'activité inhibitrice exercée par les testicules sur le complexe hypothalamo-hypophysaire est un rétrocontrôle négatif, exercée par l'intermédiaire de la testostérone.

## **CHAPITRE 7 : DE LA FECONDATION A LA NAISSANCE ET LA LACTATION**

La **fécondation** de l'ovule qui se réalise dans les trompes de la femme, nécessite préalablement le dépôt de spermatozoïdes dans le fond du vagin, suivi de la rencontre des deux gamètes (mâle et femelle). La **gestation ou grossesse** commence, et dure en moyenne **9 mois** soit **265** jours et se termine par **l'accouchement ou la parturition**. Cependant, il s'établit entre la mère et l'enfant une nouvelle dépendance physiologique au cours de **la lactation**.

## **I- La fécondation**

La fécondation est la fusion des gamètes haploïdes mâle et femelle donnant un œuf ou zygote.

**On distingue deux types de fécondation :**

- **La fécondation interne ;**
- **La fécondation externe.**

### **I.1) La fécondation interne**

Dans l'espèce humaine, la fécondation est **interne**, c'est-à-dire elle se déroule à l'intérieur des voies génitales femelles, dans lesquelles le mâle a déposé ses spermatozoïdes lors de l'accouplement (ou rapport sexuel) et elle entraîne la constitution d'un œuf ou zygote, point de départ de tout individu humain. Les modalités de la fécondation sont variables selon les espèces mais chez tous les métazoaires elle comporte trois étapes :

- Le rapprochement des gamètes ;
- La rencontre et pénétration d'un spermatozoïde dans l'ovocyte II ;
- La fusion des 2 noyaux des gamètes (**caryogamie ou amphimixie**).

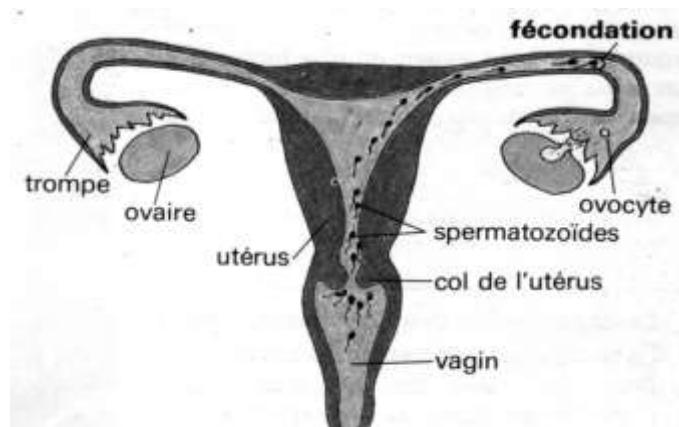
#### **a)Le rapprochement des gamètes**

A l'éjaculation, les spermatozoïdes introduits dans le vagin ( $\approx 100\text{millions/ml}$ , soit  $300\text{millions}$  par éjaculat), pénètrent dans l'utérus par le canal cervical, remontent les trompes de Fallope jusqu'au niveau de la partie élargie de la trompe appelée "ampoule" ou tiers supérieur de la trompe où a lieu la fécondation. Au cours de leur migration, ces spermatozoïdes subissent une sélection systématique : une première se produit lors de la traversée du col de l'utérus où la glaire cervicale (substance muqueuse) joue le rôle de filtre sélectif, sa structure se modifie du 10<sup>ème</sup> au 15<sup>ème</sup> jour du cycle sexuel et la 2<sup>ème</sup> sélection se fait à la partie basse de la trompe. Ainsi, au terme(ou la fin) de leur déplacement (voyage) sauf quelques 500 spermatozoïdes seulement sur les 300 millions déposés parviennent au contact de l'ovocyte II.

C'est au cours de ce cheminement(ou migration) dans les voies génitales femelles que les spermatozoïdes acquièrent leur **capacitation** (ou pouvoir fécondant). Ils conservent leur pouvoir fécondant pendant **72 heures**, en moyenne et en règle générale, pendant **4 à 5 jours**. Puisque l'ovule pour sa part, n'est fécondable que **48 heures** après ovulation, pour qu'un rapprochement sexuel(ou rapport sexuel) ne puisse amener la fécondation, il faut qu'il ait lieu **48 heures** plus tôt, ou **24 heures** au plus tard après l'ovulation. C'est à dire pour une fécondation sûre, le rapport sexuel doit avoir lieu 2 ou 3 avant l'ovulation ou 1jour après l'ovulation. On parle de la période de fécondité sûre.

**NB : Durée du voyage : 5 à 10 min après éjaculation aux trompes.**

**Distance à parcourir : 40cm.**



Migration des spermatozoïdes

### **b)la rencontre et pénétration d'un spermatozoïde dans l'ovocyte II**

Piégés par l'ovocyte II dans l'ampoule de la trompe, les centaines ( $\approx 500$ ) de spermatozoïdes arrivent au contact de l'ovocyte II. A ce niveau, le spermatozoïde fécondant doit d'abord franchir la barrière constituée des cellules folliculaires (ou corona radiata) pour atteindre la zone pellucide. Une fois au contact de cette zone, l'acrosome contenu dans la tête du spermatozoïde, libère des enzymes lytiques ou hydrolyses.

Ces enzymes (la hyaluronidase, la corona penetrating enzyme (CPE) et acrosine) permettent la destruction locale de la membrane de l'ovocyte II et la pénétration du spermatozoïde dans la zone pellucide puis favorisent la fusion des membranes des spermatozoïdes et de l'ovocyte II. Cette pénétration provoque le réveil physiologique de l'ovocyte II bloquée en métaphase II dont les signes sont :

- Reprise physiologique et achèvement de la méiose avec expulsion du 2<sup>ème</sup> globule polaire ;
- La dépolarisation de la membrane suite à la fusion des membranes plasmiques des 2 gamètes entraînant une inversion(ou dépolarisation) brutale de la **polarisation membranaire** faisant varier le potentiel de la membrane de **-60mv à +20mv** correspondant à un véritable **blockage précoce** de la polyspermie, ce qui repousse instantanément les autres spermatozoïdes (empêche la pénétration d'un 2<sup>ème</sup> spermatozoïde) assurant ainsi, la monospermie. Une fois ce spermatozoïde à l'intérieur de l'ovocyte II, la membrane retrouve son potentiel initial de -60mv.

Cependant, le 2<sup>ème</sup> **blockage dit blockage tardif** est déjà en cours, le noyau du spermatozoïde étant entré dans le cytoplasme de l'ovocyte II, les granules corticaux de l'ovocyte II expulsent (éclatent et déversent) leur contenu en même temps dans l'espace péri- ovocytaire. Ces substances vont modifier la structure des récepteurs qui ne seront plus capables de recevoir les protéines des têtes d'autres spermatozoïdes. C'est le blockage tardif qui assure aussi la monospermie. Ce blocage correspond à la mise en place d'une membrane de fécondation avant la fin du 1<sup>er</sup> blocage.

### **c)La fusion des noyaux des gamètes (ou caryogamie ou amphimixie)**

Dans le cytoplasme de l'ovocyte II, au fur et à mesure que le noyau du spermatozoïde se dirige vers le noyau femelle, il effectue une rotation de **180°c** afin de retourner les centrioles vers le noyau femelle. Ces deux noyaux accumulent des substances de réserves, augmentent de volume et deviennent des **pronucléi** dont le **pronucléus** mâle et le **pronucléus** femelle. Les deux **pronucléi** migrent et se mettent l'un contre l'autre et fusionnent pour former un noyau unique appelé noyau de fécondation. C'est la **caryogamie** ou l'**amphimixie**. La cellule qui en résulte est appelée cellule œuf ou zygote. Cette cellule contient le double de stock chromosomique de chaque gamète. Il est donc diploïde (**2n**) et constitue le point de départ d'un nouvel individu. Ainsi, on peut déduire que la fécondation rétablit non seulement la diploïdie de la garniture chromosomique, mais elle assure aussi la détermination du sexe. Elle peut se résumer de la manière suivante :

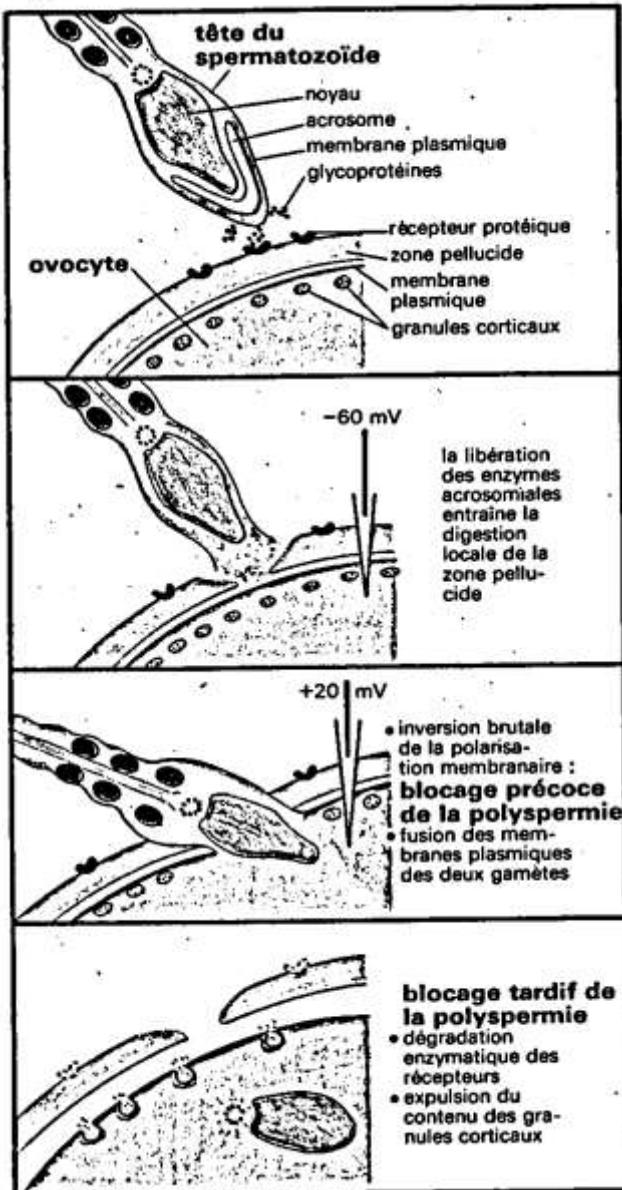


Schéma pénétration d'un spermatozoïde dans l'ovocyte II

d) Rétablissement de la garniture chromosomique :

$n + n = 2n$  chromosomes

- |   |
|---|
| • 1 ovule + 1 spermatozoïde = 1 cellule œuf ou zygote |
| • 23 chromosomes + 23 chromosomes = 46 chromosomes    |

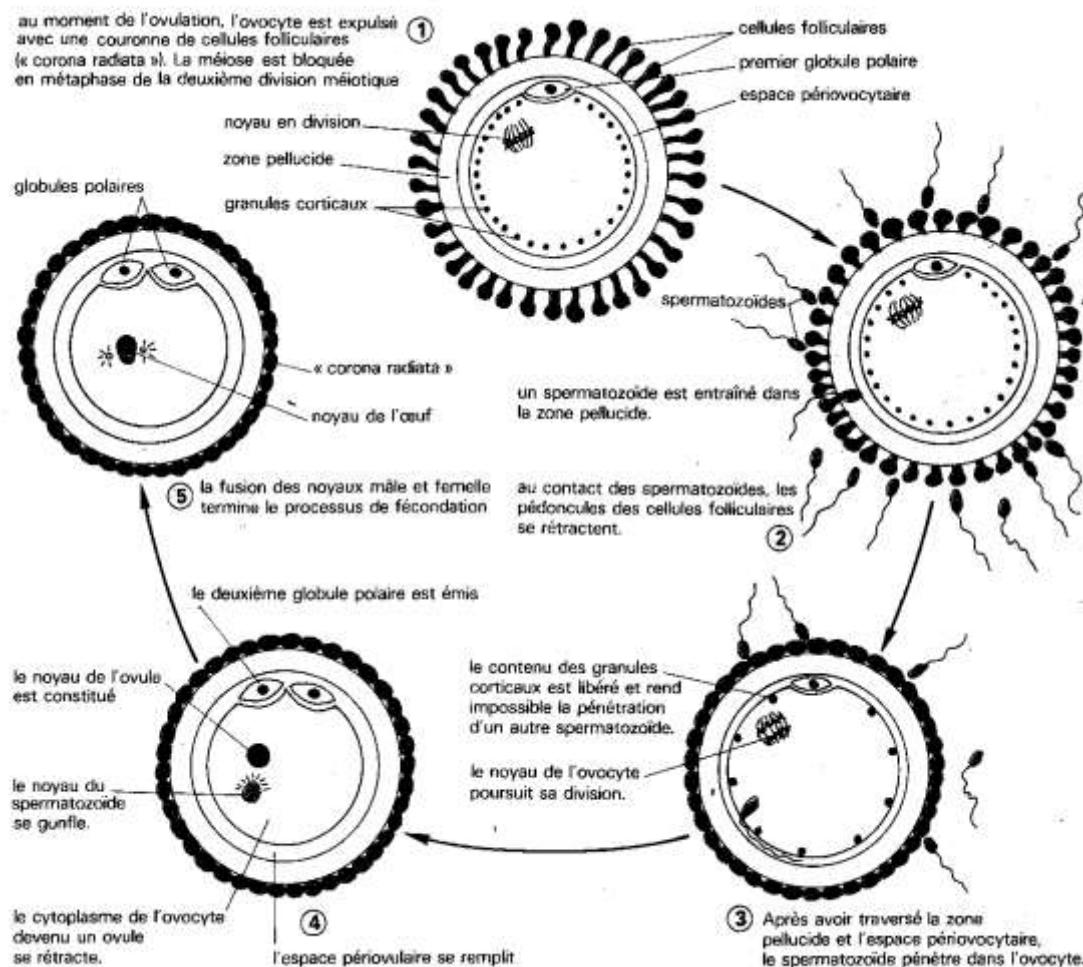
De la mère	du père	de l'enfant
------------	---------	-------------

e) Détermination du sexe à la fécondation.

Ainsi, les combinaisons suivantes sont possibles :

- 1 ovule + 1 spermatozoïde = 1 cellule œuf de sexe féminin.  
22 autosomes + X 22 autosomes + X 44 autosomes + XX (fille)
- ou 1 ovule + 1 spermatozoïde = 1 cellule œuf de sexe masculin  
22 autosomes + X 22 autosomes + Y 44 autosomes + XY (garçon)

## I.2) Etapes schématiques de la fécondation chez la femme



### Schéma résumant les principales étapes de la fécondation

#### I.2) Les conséquences de la fécondation

En conduisant à la formation d'un noyau diploïde, la fécondation présente trois **conséquences** :

- L'activation (réveil physiologique) de l'ovocyte II.
- Le rétablissement de la garniture chromosomique diploïde.
- La détermination chromosomique du sexe de nouvel individu.

#### Remarque :

Chez la femme, l'œuf est le plus souvent unique. Dans le cas des grossesses doubles (1%), il convient de distinguer les **“faux jumeaux”** des **“vrais jumeaux”** :

- Les faux jumeaux appelés aussi **jumeaux dizygotiques**, les plus souvent fréquents, résultent de la fécondation de deux ovocytes II différents par deux spermatozoïdes différents donnant naissance à deux cellules œufs ou zygotes. Ce sont deux individus engendrés en même temps. Ils peuvent être de même sexe ou de sexes différents (ou opposés).
- Les vrais jumeaux appelés aussi **jumeaux monozygotiques**, résultent de la fécondation d'un seul ovocyte II et d'un seul spermatozoïde donnant une seule cellule œuf ou zygote. Cette fécondation est suivie d'un clivage de cet œuf en deux embryons distincts. Ces deux embryons ou jumeaux représentent deux copies identiques d'un même individu, possédant le même matériel héréditaire, se ressemblent parfaitement et sont toujours du même sexe.

Le nombre des enveloppes des vrais jumeaux varie selon le moment auquel s'est réalisé le clivage de l'œuf :

- Si le clivage survient dès la première division du zygote, les jumeaux ont deux placentas, deux chorions et deux amnios. Ils sont di chorioniques ;
- Si le clivage survient plus tard au 7<sup>ème</sup> jour, au stade blastocyste, les jumeaux ont un seul placenta, un seul chorion et ont deux amnios différents. C'est le cas plus fréquent ;
- Si le clivage survient entre le 7<sup>ème</sup> et le 13<sup>ème</sup> jour, les jumeaux ont un seul placenta, un seul chorion et un seul amnios. C'est des cas très rares ;
- Si le clivage survient après le 13<sup>ème</sup> jour, il aura formation des monstres doubles (ou des siamois).

### **Conclusion :**

La fécondation et la méiose sont deux phénomènes biologiques compensateurs, car la méiose assure la réduction chromosomique (moitié du nombre de chromosome) dans les cellules reproductrices, tandis que la fécondation rétablit la diploïdie. C'est-à-dire le nombre  $2n$  chromosomes dans les cellules diploïdes.

### **I.3) La fécondation externe**

Elle s'observe chez les animaux comme la grenouille et l'Oursin, qui pendant la période de reproduction, produisent des gamètes qu'ils rejettent dans l'eau (à l'extérieur) et si ces gamètes se rencontrent, ils fusionnent en dehors de l'organisme et engendrent une cellule œuf. On parle de la fécondation externe.

#### **a) La fécondation externe chez l'oursin**

Les Oursins sont des animaux aquatiques(Batraciens). Ils possèdent **5 gonades** qui sont visibles après ouverture de l'animal. Les Oursins **males** ont des **gonades jaunâtres** et les Oursins **femelles** ont **des gonades orangées**.

Les Oursins femelles libèrent par leurs orifices génitaux un liquide orangé contenant des ovules entourés d'une gangue gélatineuse et les males libèrent un liquide blanc contenant des spermatozoïdes. Les spermatozoïdes nagent à la rencontre de l'ovule et l'entourent lors de la fécondation.

**NB :** Les gonades des oursins constituent les parties comestibles de l'animal.

#### **a.1) Les gamètes chez l'oursin**

Les Oursins produisent des gamètes males appelés spermatozoïdes et femelles appelés ovules. L'ovule de l'oursin est une grosse cellule ayant déjà achevé sa méiose. Il a un cytoplasme riche en vitellus et est délimité par une membrane plasmique doublée d'une membrane vitelline, le tout autour de la gangue gélatineuse. Sous la membrane plasmique, l'ovule de l'oursin contient de nombreux granules corticaux et coiffée par les deux globules polaires. Par contre, les spermatozoïdes de l'oursin sont semblables à celui de l'homme. Ils possèdent une tête, une pièce intermédiaire et un flagelle.

#### **b) Les principales étapes de la fécondation chez l'Oursin**

##### **b.1) Attraction des gamètes males par les gamètes femelles ou le chimiotactisme positif**

Les ovules libérés dans l'eau de Mer pendant la période de reproduction, sécrètent dans l'eau des substances appelées **fertilisines(ou gamones)** qui entraînent une attraction ou agglutination des spermatozoïdes autour d'eux. C'est le **chimiotactisme positif**.

**Remarque : Les ovules sécrètent une ou plusieurs substances qui activent les spermatozoïdes et orientent leurs mouvements. Ces substances sont appelées gamones. Elles sont spécifiques, c'est-à-dire qu'elles n'exercent d'attraction que sur les spermatozoïdes de la même espèce.** Les éléments chargés pour assurer la reconnaissance entre les gamètes de la même espèce sont **des protéines membranaires spécifiques**, qui se trouvent sur la membrane de la tête du spermatozoïde, qui recouvre **l'acrosome spermatozoïde**. Ces protéines coïncident(ou correspondent) avec d'autres protéines appelées «

sites récepteurs » fixés sur la membrane de la zone pellucide de l'ovule.

### **b.2)Pénétration d'un gamète mâle et activation de l'ovule**

Au contact de l'ovule, plusieurs spermatozoïdes traversent la gangue gélatineuse mais un seul est attiré par un soulèvement de la membrane cytoplasmique appelé « cône de fécondation ou d'attraction ». L'acrosome s'ouvre et libère des enzymes qui perforent la membrane à partir du cône : c'est la réaction acrosomale. Et, il se forme un tube acrosomal qui entre en contact avec la membrane de l'ovule et par ce tube, le contenu du spermatozoïde pénètre dans l'ovule. Cependant, les granules corticaux libèrent leur contenu à l'extérieur formant une membrane appelée membrane de fécondation et l'espace per vitellin se forme.

Tous ces phénomènes synchronisés observés au niveau de l'ovule après la pénétration du spermatozoïde constituent la **réaction corticale**, se déroulent en moins d'une minute. Chez l'oursin, seul le noyau accompagné du centriole proximal (futur aster) pénètre dans l'ovule.

### **b.3)Fusion des noyaux ou Amphimixie ou Caryogamie**

Dans le cytoplasme de l'ovule, la tête du spermatozoïde perd son cytoplasme et l'ensemble noyau-pièce intermédiaire pivote sur lui-même décrivant un angle  **$\alpha$  de 180°**, ce qui place la pièce intermédiaire en direction du noyau de l'ovule. Les deux noyaux (noyau du spermatozoïde et de l'ovule) absorbent des substances, augmentent légèrement de volume et deviennent des **pronucléi(pronucléus male et pronucléus femelle)**. Ces **pronucléi** se dirigent l'un vers l'autre, fusionnent et l'aster se dédouble. C'est la **Caryogamie** ou l'**amphimixie**. On obtient la cellule œuf ou zygote diploïde qui entre immédiatement en division mitotique.

### **NB : sujet élaboré au Bac D 2011- TCHAD.**

**Sujet :** Les batraciens (tels les oursins) se multiplient dans l'eau. Au cours de leur accouplement le male et la femelle libèrent chacun des gamètes dans l'eau. Ces derniers, une fois libérés, se dirigent les uns vers les autres.

1)- Expliquez comment se déroule cette attraction ?

2)- La fécondation se fait telle qu'un gamète male (spermatozoïde) s'unit obligatoirement au gamète femelle (ovule) de la même espèce. Dites quels sont les éléments chargés d'assurer la reconnaissance entre les gamètes ? Dans lequel des deux gamètes les trouve-t-on ?

3)Schématissez un gamète femelle chez les oursins en montrant :

- Comment le gamète male le pénètre ?
- Comment le noyau spermatique s'unit au noyau ovulaire tout en précisant l'angle  $\alpha$  décrit par le noyau spermatique pour tamponner celui de l'ovule (noyau ovulaire).

4) Naturellement, plusieurs spermatozoïdes environnent l'ovule mais un seul pénètre.

Expliquez le processus de rejet d'autres spermatozoïdes en employant des termes appropriés.

5) Comment appelle-t-on la collision noyau spermatique/noyau ovulaire ?

6) Si la cellule somatique de l'oursin a  $2n= 24$  chromosomes, quelle sera la garniture chromosomique de la cellule œuf ou zygote formé ?

## **II- La gestation ou grossesse**

### **1)Comment une femme peut-elle savoir qu'elle est enceinte ?**

**Réponses :** Interruption des règles chez une femme normalement réglée et l'apparition de fatigue, nausées, vomissement permettant de supposer une grossesse ; ou par un examen gynécologique ou le médecin pourra formuler un diagnostic et confirmer par des examens au laboratoire (analyse d'urine) ou tests pharmaceutiques.

### **2)De la trompe à l'utérus**

#### **2.1)La vie libre de l'embryon (avant la nidation)**

Après la fécondation, la cellule œuf migre lentement vers l'utérus en se divisant (mitoses) en 2 puis en **4,8, 16** cellules sans changer de volume jusqu'à obtenir une sphère de cellules ayant l'aspect d'un mur appelée morula. C'est la segmentation. Il s'agit ici des mitoses et toutes les cellules issues de ce développement de l'œuf sont diploïdes (**2n**).

Au bout de **4** jours, la masse cellulaire appelée Morula, atteint l'utérus et commence à s'organiser pour donner une première ébauche embryonnaire appelée blastocyste. Cependant, quelques cellules plus volumineuses se regroupent au centre en une petite masse et forment le bouton embryonnaire (futur embryon).

Les autres cellules plus petites se placent à la périphérie et forment une couche appelée trophoblaste (organes annexes de l'embryon) puis une cavité (cavité amniotique) remplie de liquide amniotique se creuse dans l'embryon.

Vers le **7<sup>ème</sup>** jour, après la fécondation, la zone pellucide est détruite et l'embryon peut s'accrocher à la muqueuse utérine préparée pour le recevoir.

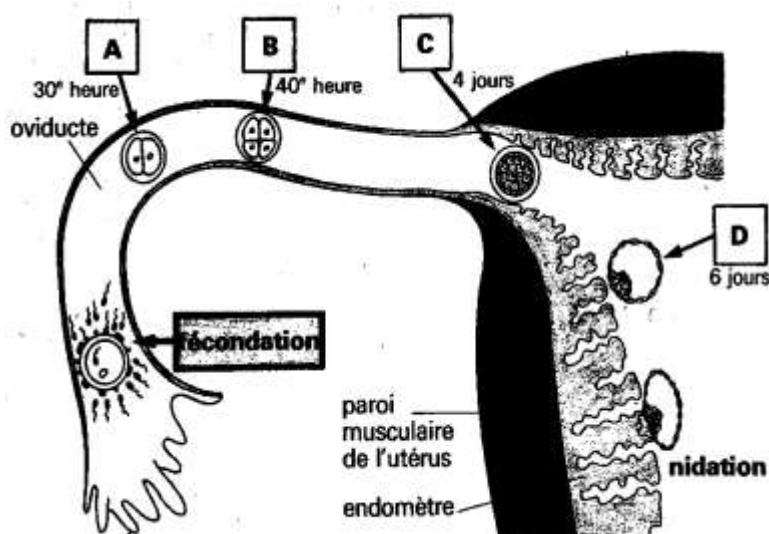
A ce niveau, le trophoblaste sécrète des enzymes qui creusent la muqueuse utérine et l'embryon s'enfoncent à l'intérieur (dans l'endomètre) et la brèche se referme (ou dans l'endomètre utérin). C'est la nidation ou implantations. A ce moment, commence la gestation.

Après la nidation, le blastocyste est constitué d'une part de l'embryon et d'autre part des annexes embryonnaires dont le placenta. Et une **2<sup>ème</sup>** membrane appelée **amnios** puis l'organisme maternel s'adaptent alors à une nouvelle fonction.

Pendant la gestation, le placenta joue des rôles très importants dans les échanges cellulaires entre la maman et le fœtus : ainsi, à partir du **3<sup>ème</sup>** mois de gestation, le fœtus prend la forme humaine et durant toute la grossesse, dépend **du placenta** auquel il est relié par le **cordon Ombilical**.

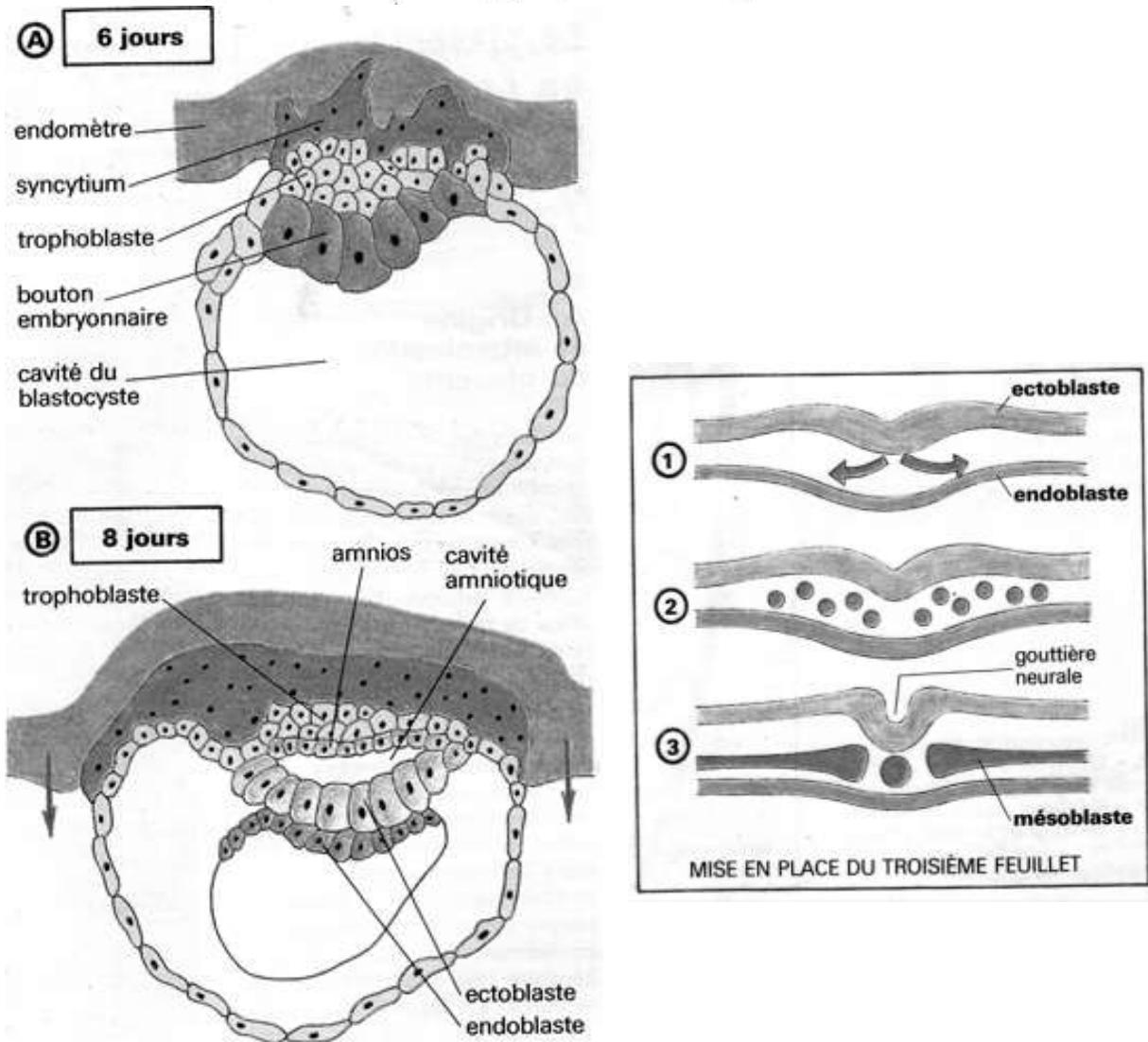
**Le placenta** est un filtre sélectif, il assure la fixation et la nutrition du fœtus, il sélectionne des substances nécessaires pour le développement du fœtus et rejette toutes celles qui sont nocives (microbes, médicaments...). **Le placenta** produit à partir du **3<sup>ème</sup>** mois des hormones : les œstrogènes et la progestérone. Cependant, les taux de ces hormones croissent régulièrement pour atteindre en fin de grossesse des valeurs considérables. Il sécrète également, la HCG (gonadotrophine chorionique hormone) dont le taux dans l'urine permet de déceler la grossesse. La HCG qui à son tour, stimule le corps jaune qui sécrète des quantités croissantes des œstrogènes et la progestérone qui permettent le maintien et le développement du fœtus (ou développement de la grossesse). Le placenta sécrète également une **hormone placentaire lactogène** appelée (**H.P.L**), qui assure la maturation des glandes mammaires (glandes des seins).

**NB :** Toute implantation de l'œuf en dehors de l'utérus est appelée grossesse extra-utérine ou grossesse ectopique. Ces cas sont à fort risques et nécessite une opération chirurgicale d'urgence.



#### La première semaine du développement humain : de la fécondation à la nidation

- A - "Embryon" humain à 2 cellules (30 heures) - diamètre 120 µm.  
 B - "Embryon" humain à 4 cellules (48 heures) - diamètre 120 µm.  
 C - "Embryon" humain à 8-12 cellules : stade morula (4 jours) - diamètre 120 µm.  
 D - Blastocyste humain complètement sorti de la zone pellucide avant nidation (7 jours) - diamètre 150 µm.



La nidation progressive de l'embryon dans l'endomètre. A – Le blastocyste s'accroche à la muqueuse utérine. B – Deux jours plus tard, l'implantation dans la muqueuse se poursuit et la structure de l'embryon se complique.

### **3)La parturition ou accouchement**

Après 9<sup>ème</sup> mois soit **270 à 280** jours de grossesse, on dit que l'enfant est à terme et est prêt à venir au monde. C'est la fin de la grossesse. A ce moment, une sécrétion du cortisol (hormone) vient diminuer la production de la progestérone, provoquant la reprise des contractions utérines (du myomètre suite au manque de la progestérone dans le sang). Ces contractions déclenchent par voie reflexe la sécrétion de l'**ocytocine** et la **prostaglandine** par le complexe hypothalamo-hypophysaire.

Ces hormones viennent renforcer et stimuler les contractions utérines et déclenchent **le travail ou la parturition**.

La parturition chez la femme se déroule en trois étapes :

- Le travail ;
- L'expulsion ;
- La délivrance ou expulsion du placenta.

#### **a) Le travail**

C'est l'ensemble des phénomènes mécaniques aboutissant à l'expulsion du fœtus. Il est marqué par des douleurs au bas ventre suivi de perte des eaux ou liquide amniotique chez certaines femmes. Après 30mn de travail sous la pression de la tête de fœtus, le col de l'utérus se dilate puis s'efface.

#### **b) L'expulsion du fœtus**

C'est l'étape la plus compliquée. Elle commence lorsque la dilatation du col est terminée. Les contractions se multiplient et deviennent plus intenses. Le fœtus est poussé dans l'ouverture du bassin. La tête s'engage dans le vagin, puis à l'extérieur suivi du reste du corps. Il est alors expulsé et devient un nouveau-né.

#### **c) La délivrance**

La délivrance est l'expulsion du placenta. L'enfant expulsé reste encore relié au placenta par le cordon Ombilical. Ainsi, on ligature le cordon par 2 fils et on le coupe entre les 2 liens (nœud) de 4 à 5 cm et le reste est appelé nombril. C'est alors que 15 à 40 min après la naissance les contractions reprennent et expulsent l'ensemble du placenta, le reste du cordon ombilical et les enveloppes rompues. C'est la délivrance.

#### **e) La lactation**

La lactation est un phénomène réflexe qui se produit aussitôt après la naissance. Elle est marquée par la sécrétion du lait par les glandes mammaires. Et stimulée par une hormone hypophysaire appelée **prolactine**. Si la femme cesse d'allaiter, le réflexe est rompu et il n'aura plus sécrétion de la **prolactine**. Il faut noter que la **succion (action de sucer les mamelons)** exercée par le nouveau-né sur les mamelons, est à l'origine du (la sécrétion) réflexe qui maintient la sécrétion de la **prolactine** et partant celle **du Lait**.

### **4)La structure de la mamelle**

Sous la peau, le sein est constitué de 3 tissus :

- ✓ Le tissu adipeux abondant à la périphérie,
- ✓ Le tissu conjonctif qui occupe le reste du sein,
- ✓ Le tissu glandulaire enfoui dans le tissu conjonctif(ou glande mammaire).

Le tissu glandulaire est constitué de lobule (ensemble des alvéoles ou acini). Chaque acinus est un petit sac formé des cellules sécrétrices entourées des cellules contractiles et des vaisseaux sanguins. Les canaux excréteurs des acini s'unissent les uns aux autres pour former une **quinzaine(15) de canaux galactophores** qui s'ouvrent par des orifices au sommet du mamelon. Ces canaux assurent la conduction du lait vers l'extérieur.

### **5)Composition et éjection du lait**

La composition du Lait varie d'une espèce à l'autre. Elle est l'œuvre des cellules sécrétrices du Lait appelée acini. Ces acini prélevent dans le sang, l'eau, les sels minéraux, des protides, du

lactose et des lipides (issus de la digestion des aliments) qu'elles mélangent pour donner le Lait. L'éjection du Lait se fait grâce aux cellules contractiles enserrant chaque acinus. Ces cellules se contractent et chassent le Lait vers les canaux excréteurs ou canaux galactophores qui le conduisent à leur tour vers les orifices du mamelon.

## **6)Contrôle et entretien de la lactation.**

Le contrôle de la lactation est l'œuvre des **œstrogènes**, de la **progesterone** et de l'**H.P.L.** sécrétées par le placenta d'une part et surtout de la **prolactine** (sécrétée par antéhypophyse) et l'**ocytocine** (sécrétées par l'hypophyse postérieure) d'autre part. Ces deux hormones cheminent par voie sanguine et arrivent au niveau de la mamelle :

- **La prolactine** agit sur les cellules des acini et entretient la sécrétion du lait ;
- **L'ocytocine** agit sur les cellules contractiles et provoque l'éjection du lait.

**NB : le colostrum est un liquide jaunâtre, sécrété les 2 ou 3 premiers jours après la parturition. Ce liquide est moins riche en lipides et glucides mais plus riche en protéines qui sera progressivement remplacé par le Lait définitif. Le colostrum a un rôle protecteur.**

## **HEREDITÉ**

L'hérédité vient du latin hereditas qui signifie héritage. C'est-à-dire la transmission des caractères des parents aux descendants. La science de l'hérédité est la génétique. La génétique signifie étude de la transmission des caractères héréditaires par l'intermédiaires des gênes d'où le nom génétique. Cette science considérée jadis comme une force mystérieuse sans aucune règle de ressemblance et de différence obéissait à des lois que depuis longtemps éleveur et agriculteur utilisaient empiriquement.

En cherchant à comprendre ces lois, John Gregor Mendel (1822-1884) qui en expérimentant sur les pois, découvre les lois de la transmission des caractères héréditaires. Après une période d'oubli, suite à sa mort, les lois de Mendel sont redécouvertes par divers savants en 1900. C'est alors que Thomas Morgan et ses étudiants, en travaillant sur la drosophile (*Drosophila melanogaster*) ont établi en 1910, les bases de la génétique classique basée sur la théorie chromosomique de l'hérédité. Cette étude est basée sur la méthode d'hybridation ou le croisement entre des individus de race pure ou lignée pure de même espèce différent par un certain nombre de caractère :

- Par un caractère. On parle du monohybridisme.
- Par deux caractères, on parle du dihybridisme.
- Par trois caractères, on parle du trihybridisme.

Les caractères étudiés sont déterminés par des gênes occupant sur chaque chromosome un point appelé locus.

Au terme de la théorie chromosomique, on distingue deux cas d'hérédité :

- Hérédité autosomale dont les gênes sont situées sur les autosomes du caryotype ;
- Hérédité gonosomale ou hérédité liée au sexe dont les gênes sont situés sur les chromosomes sexuels.

### **1. Hérédité autosomale ou Mendélienne**

#### **1.1. Etude statistique des lois de la transmission des caractères héréditaires**

Pour réussir cette étude, certaines conditions doivent être respectées :

- Les individus parentaux croisés doivent être de race ou lignée pure ;
- Les individus choisis doivent être prolifiques, à croissance rapide et des conditions de cultures ou élevage faciles.

Exemple : Le pois de Mendel, la souris, la drosophile, etc.

## **CHAPITRE 8 : LE MONOHYBRIDISME**

On parle de monohybridisme lorsqu'on réalise un croisement entre deux individus de race pure ou lignée pure différent par un seul caractère.

Exemple : pois à graine jaune ; pois à graine verte ; souris grise ; souris blanche ; etc.

On distingue deux types de monohybridisme :

- Le monohybridisme autosomale avec dominance parfaite(ou totale).
- Le monohybridisme autosomale avec dominance intermédiaire ou la concordance.

### **I- Le monohybridisme autosomale avec dominance parfaite**

Dans ce cas, les parents croisés sont de race pure ou lignée pure et l'un possède un caractère dominant et l'autre aux caractères récessifs.

#### **1. Etude d'un exemple**

Mendel croise deux lignées pures de pois dont l'une à graine jaune et l'autre à graine verte. Après germination et maturation, il récolte à la première génération filiale( $F_1$ ) uniquement des pois à graines jaunes. Pour vérifier l'hybridation de pois à graines jaunes de  $F_1$ , il réalise une autofécondation, c'est-à-dire un croisement des individus de la  $F_1$  entre eux.

$$F_1 \times F_1 = F_2$$

Après germination et maturation, Mendel obtient une deuxième génération filiale notée  $F_2$ , composée de 75% de pois à graines jaunes et 25% de pois à graines vertes soit  $\frac{3}{4} : \frac{1}{4}$ .

#### **a) Interprétation des résultats obtenus**

Interpréter les résultats d'un exercice ou d'un problème en génétique consiste à expliquer les faits suivants :

- Identifier le ou les caractères étudiés ;
- Rechercher les rapports de dominance ;
- Symboliser les allèles des caractères ;
- Ecrire les génotypes des parents de race pure ;
- Etablir l'échiquier du croisement permettant de retrouver les proportions phénotypiques et génotypiques de la 2<sup>ème</sup> génération  $F_2$ .

Exemple

#### **1. Interprétation analytique**

Le caractère dans cette expérience est la couleur des graines de pois.

Dans cette expérience, on constate qu'en  $F_1$ , tous les pois ont des graines jaunes et ressemblent à l'un des parents de race pure. C'est-à-dire ces pois de  $F_1$  sont uniformes (même couleur ou même caractère). Cette uniformité des graines jaunes de pois de la  $F_1$  constitue la **1<sup>ère</sup> loi de Mendel : Loi d'uniformité des hybrides de la première génération  $F_1$** .

En  $F_2$ , on constate que le caractère vert qui semble disparu en  $F_1$  réapparaît avec 25% de résultat. Cette réapparition exprime la 2<sup>ème</sup> loi de Mendel : **Loi de ségrégation des allèles ou loi de pureté des caractères**.

De cette loi, on déduit que le vert réapparu en  $F_2$  était présent en  $F_1$  mais masqué par le caractère dominant qui s'est exprimé à seul. Ainsi, on conclut que le caractère jaune est dominant et le caractère vert en  $F_1$  est récessif.

#### **b) Symbolisation des allèles des caractères**

Par convention, on symbolise les allèles des caractères par l'initiale de leur mot en utilisant la majuscule pour le caractère dominant ou la minuscule pour le caractère récessif.

Exemple : Dans notre expérience ci-dessus, on peut symboliser les allèles de ces caractères de la manière suivante :

**NB :** Les graines jaunes obtenues en  $F_1$  ne sont pas de race pure comme les parents croisés. On

les appelle hybrides.

2<sup>ème</sup> croisement ou autofécondation

$$F_1 \times F_1 = F_2$$

Parents : ♂ F<sub>1</sub>[J] (x) ♀ F<sub>1</sub>[J]

Génotypes : J<sup>†</sup>J<sup>†</sup> J<sup>†</sup>j

Gamètes : J<sup>†</sup>; j J<sup>†</sup>; j

F<sub>2</sub> : Echiquier de croisement

	♀ F <sub>1</sub>	J <sup>†</sup> 50%	j 50%
♂ F <sub>1</sub>	J <sup>†</sup> 50%	J <sup>†</sup> J <sup>†</sup> [J] ¼ soit 25%	J <sup>†</sup> j[J] ¼ soit 25%
j <sup>†</sup> 50%	j <sup>†</sup> J <sup>†</sup> [J] ¼ soit 25%	j <sup>†</sup> j[j] ¼ soit 25%	

Résultats statistiques

- ✓ Proportion phénotypiques

[J] : 3/4 soit 75% de pois à graines jaunes

[j] : ¼ soit 25% de pois à graines vertes

- ✓ Proportions génotypiques

- ¼ soit 25% de pois à graines jaunes homozygotes de génotypes : J<sup>†</sup>J<sup>†</sup> ;
- ½ soit 50% de pois à graines jaunes hétérozygotes de génotypes : J<sup>†</sup>j ;
- ¼ soit 25% de pois à graines vertes de génotypes : j<sup>†</sup>j.

NB : le crochet [ ] exprime le phénotype.

- Le phénotype est le couple des allèles d'un gène.

Exemple : J<sup>†</sup>J<sup>†</sup> ou J<sup>†</sup>j ou j<sup>†</sup>j

- Les allèles sont des unités d'un gène.
- Le gène : portion d'ADN responsable des caractères héréditaires.

### Application

On croise deux parents P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub> de souris différentes l'une de l'autre par un seul caractère. Le P<sub>1</sub> a un pelage gris et le P<sub>2</sub> a un pelage blanc. La F<sub>1</sub> obtenue est constituée uniquement des souris à pelage gris.

1. Combien des caractères sont-ils étudiés ?
2. Comment appelle-t-on ce type de croisement ?
3. De quel caractère étudie-t-on la transmission chez les souris ?
4. Qu'appelle-t-on les individus obtenus en F<sub>1</sub> ?
5. Qu'indique ce résultat ?
6. Quelle est la loi de Mendel qui peut s'appliquer à ce résultat ?
7. Que signifie phénotype et génotype ?
8. On croise ensuite les individus de F<sub>1</sub> entre eux et on obtient une F<sub>2</sub> constituée de 15 souris grises et cinq(5) souris blanches.

- Calculer les proportions phénotypiques de F<sub>2</sub>.
- Etablir l'échiquier de F<sub>2</sub> et dites quels sont les individus de F<sub>2</sub> qui sont homozygotes et hétérozygotes.

### Résolution

#### Réponses aux questions

- On étudie un seul caractère.
- Ce type de croisement est appelé monohybridisme à dominance parfaite.
- On étudie la transmission de la couleur de pelage chez les souris.
- Les individus obtenus en F<sub>1</sub> sont des hybrides.
- Le résultat indique qu'il y a une dominance totale de l'allèle gris sur l'allèle blanc.
- La loi de Mendel qui peut s'appliquer à ce résultat est la 1<sup>ère</sup> loi : loi d'uniformité des hybrides de la F<sub>1</sub>. Car toutes les souris obtenues en F<sub>1</sub> sont grises.
- Confère à la leçon.
- a. Calculons les proportions phénotypiques de F<sub>2</sub>.

Total de souris de F<sub>2</sub>

$$15+5 = 20 \text{ souris}$$

- Proportion phénotypique des souris grises de F<sub>2</sub>

$$\frac{15}{20} \times 100 = 75\%$$

- Proportion phénotypique des souris blanches de F<sub>2</sub>

$$\frac{5}{20} \times 100 = 25\%$$

- Etablir l'échiquier du croisement et indiquons les individus homozygotes et hétérozygotes de F<sub>2</sub>.

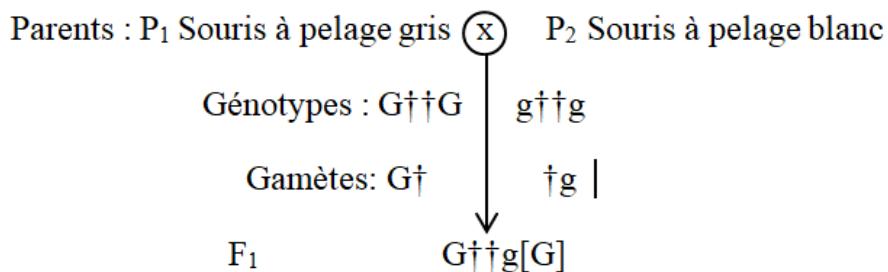
Pour établir cet échiquier on doit d'abord symboliser les allèles de caractères, écrire les génotypes des parents et réaliser des croisements.

- Symbolisons les allèles compte tenu de la dominance exprimée en F<sub>1</sub>. On symbolise : gris par G et blanc par g.
- Les génotypes

P<sub>1</sub> : souris à pelage gris : G††G

P<sub>2</sub> : souris à pelage blanc : g††g

#### 1<sup>er</sup> croisement



## 2<sup>ème</sup> croisement

Parents : ♂ F<sub>1</sub>[G] x ♀ F<sub>1</sub>[g]

Génotypes : G††G      G††g

Gamètes: G† ; †g      G† ; †g

F<sub>2</sub>: Echiquier du croisement

♂ F <sub>1</sub>	G† 50%	g† 50%
G† 50%	G††G[G] ¼ soit 25%	G††g[G] ¼ soit 25%
g† 50%	G††g[G] ¼ soit 25%	g††g[g] ¼ soit 25%

### Résultats statistiques

- Proportions phénotypiques

[G] ¾ soit 75% de souris à pelage grise

[g] ¼ soit 25% de souris à pelage blanche

- Proportions génotypiques

Homozygotes : GttG : souris à pelage grise

g††g : souris à pelage blanche

G††g : souris à pelage grise

### I.2. Le test-cross ou croisement test

Le croisement-test ou le test cross permet de rechercher et de connaître le génotype d'un individu ayant le phénotype dominant dont on ignore son génotype.

Il consiste à croiser un individu de phénotype dominant et de génotype inconnu avec un individu ayant le caractère récessif ou testeur, car les allèles récessifs s'expriment toujours à l'état homozygote et ses individus ne peuvent produire qu'un seul type de gamète.

Exemple : On réalise un croisement entre le pois à graines jaunes dont on ignore le génotype et on veut chercher à connaître avec le pois à graines vertes récessives. Sachant que les allèles verts s'expriment à l'état homozygote et ce pois ne produit qu'un seul type de gamète : tj.

### Croisement

Parents : pois à graines jaunes x pois à graines vertes

Génotypes : J††J      j††j

Gamètes: J† ;      †j

F<sub>2</sub>: J††j[¶]

Dans ce croisement, deux cas peuvent se présenter.

1<sup>er</sup> cas : Si à l'issu du croisement on obtient en F<sub>2</sub> : uniquement des pois à graines jaunes, on déduit que le parent de génotype inconnu a produit un seul type de gamète. Ainsi, il est homozygote pour l'allèle dominant et a pour génotype :

2<sup>ème</sup> cas : si à l'issu du croisement, on obtient en F<sub>2</sub> un résultat hétérogène constitué de 50% des graines jaunes (allèle dominant) et 50% des graines vertes (allèle récessif), on déduit que le parent de génotype inconnu a produit deux types de gamètes. Il est donc hétérozygote ou hybride de génotype : Jttj. Il a produit des gamètes du type : Jt et jt.

NB : Le test-cross est un backcross, mais un backcross n'est pas un test-cross, car un backcross consiste à croiser un hybride de F<sub>1</sub> avec des parents homozygote dominant ou récessif.

## **II. Le monohybridisme à dominance intermédiaire ou codominance**

C'est un cas de croisement au cours duquel les parents de race pure ou lignée pure donne une naissance au caractère intermédiaire. C'est-à-dire un caractère qui ne ressemble à aucun des caractères des parents.

### **II.1 Etude d'un exemple sur les Belles de nuit (végétaux)**

On croise des Belles de nuit à fleurs rouges avec des Belles de nuit à fleurs blanches. On obtient à la première génération F<sub>1</sub> uniquement des Belles de nuit à fleurs roses.

Le croisement des Belles de nuit à fleurs roses entre elles donne une 2<sup>ème</sup> génération F<sub>2</sub> composée de 25% des Belles de nuit à fleurs rouges, 50% des Belles de nuit à fleurs roses et 25% des Belles de nuit à fleurs blanches.

#### **a) Interprétation des résultats obtenus**

En F<sub>1</sub>, on remarque que toutes les Belles de nuit sont semblables entre elles mais ne ressemblent à aucun phénotype des parents croisés. On dit qu'il y a absence de dominance. Il s'agit ici d'un cas de dominance intermédiaire ou la codominance, car la couleur rose n'est ni rouge ni blanche. C'est un caractère intermédiaire entre le blanc et le rouge des parents croisés.

#### **a1. Comment symboliser les allèles des caractères intermédiaires ou codominance**

Par convention, les caractères codominants où intermédiaires sont symboliser respectivement par l'initial de leur mot en majuscule.

Exemple :

Caractère allèles (symboles)

$$\begin{array}{l} \text{Rouge} \longrightarrow R \\ \text{Blanc} \longrightarrow B \end{array}$$

#### **a2. Ecriture des parents ayant les caractères ayant les caractères codominants**

Exemple :

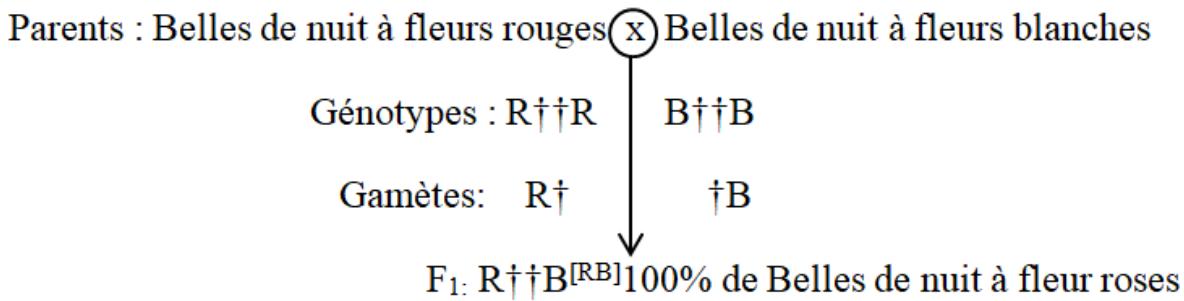
Individus(Parents)	Génotypes
Belles de nuit à fleurs rouges	R RttR $\neq$ ou      RR R
Belles de nuit à fleurs blanches	B BttB ; BB : $\neq$ B

#### **a3. Les génotypes des hybrides de F<sub>1</sub> belles de nuit à fleurs roses**

Pour écrire ces génotypes, il est recommandé de passer par le croisement des parents de race pure.

Exemple : Croisements

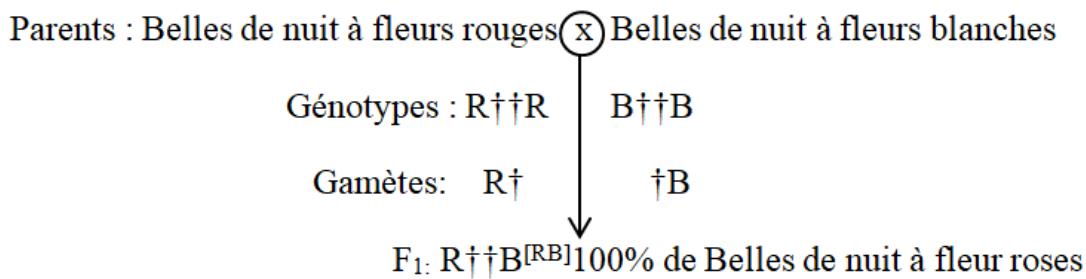
#### **1<sup>er</sup> croisement**



Les hybrides de  $F_1$  ont pour génotype :  $R\ddagger\ddagger B$

### 2<sup>ème</sup> Croisement ou autofécondation

$F_1$	$R\ddagger$ 50%	$\ddagger B$ 50%
$R\ddagger$ 50%	$R\ddagger\ddagger R^{[R]}$ $\frac{1}{4}$ soit 25%	$R\ddagger\ddagger B^{[RB]}$ $\frac{1}{4}$ soit 25%
$B\ddagger$ 50%	$R\ddagger\ddagger B^{[RB]}$ $\frac{1}{4}$ soit 25%	$B\ddagger\ddagger B^{[RB]}$ $\frac{1}{4}$ soit 25%



### Résultats statistiques

[R] :  $\frac{1}{4}$  soit 25% de Belles de nuit à fleurs rouges

[RB] :  $\frac{1}{2}$  soit 50% de Belles de nuit à fleurs roses

[B] :  $\frac{1}{4}$  soit 25% de Belles de nuit à fleurs blanches

**Remarque :** Dans certains cas de monohybridisme, la descendance présente, la descendance présente en  $F_2$  les proportions de  $2/3$  et  $1/3$  au lieu de  $3/4$  et  $1/4$ .

Ces résultats expliquent par l'intervention d'un certain allèle qui entraîne la mort chez l'individu homozygote pour le génotype, on parle de létalité et l'allèle concerné est appelé l'allèle létal ou morbide.

L'allèle létal peut-être dominant ou récessif. Ainsi, s'il est dominant, l'individu homozygote et hétérozygote ne sont pas viables. Par contre si l'allèle est récessif seuls les individus homozygotes pour l'allèle ne sont pas viables, mais les individus hétérozygotes pour l'allèle peuvent vivre assez longtemps et transmettre cet allèle à leurs descendances de génération en génération. En plus des cas de létalité, il existe des exceptions à la 1<sup>ère</sup> loi de Mendel. Il s'agit de l'hérédité gonosomique liée au sexe.

## **CHAPITRE 9 : LE DIHYBRIDISME**

On parle du dihybridisme lorsqu'on réalise un croisement ou une hybridation entre deux individus qui diffèrent par deux couples de caractère.

Dans ce croisement, deux cas peuvent se présenter :

- Cas du dihybridisme à gènes indépendants ou gènes non liés ;
- Cas du dihybridisme à gènes liés ou « Linkage ».

Ce chapitre a pour objectif d'expliquer, d'énoncer la 3<sup>e</sup> loi de Mendel, le mécanisme du crossing-over et aussi d'expliquer les différentes méthodes de calcul de proportion de la génération F<sub>2</sub>.

Ainsi, à la fin du chapitre, je dois être capable de :

- D'énoncer et expliquer la 3<sup>e</sup> loi de Mendel ;
- De reconnaître les différentes proportions phénotypiques des différents cas étudiés ;
- D'expliquer le mécanisme du crossing-over dans le cas de la liaison partielle entre les gènes ;
- Je dois être capable d'établir l'échiquier de croisement et de dégager les pourcentages statistiques de la F<sub>2</sub>.

### **I- Le dihybridisme à gènes indépendants ou gènes non liés**

#### **I.1-Etude d'un exemple sur les pois Mendel**

##### **a)Expérience**

Mendel croise deux variétés pures de pois différent entre elles par deux couples de caractères dont l'une à graines jaunes et lisses et l'autre à graines vertes et ridées.

Après la récolte, Mendel obtient en F<sub>1</sub> uniquement de pois à graine jaunes et lisses.

Pour vérifier l'hybridation des hybrides de la F<sub>1</sub>, Mendel croise les hybrides à graines jaunes et lisses de la F<sub>1</sub> entre eux. Après avoir laissé les fleurs s'autofécondées, il obtient une 2<sup>e</sup> génération F<sub>2</sub> constituée de 4 phénotypes :

- 315 pois à graines jaunes et lisses ;
- 108 pois à graines jaunes et ridées ;
- 101 pois à graines vertes et lisses ;
- 32 pois à graines vertes et ridées.

Sur un total de : 556 pois graines récoltées.

##### **a.1)Interprétation des résultats obtenus**

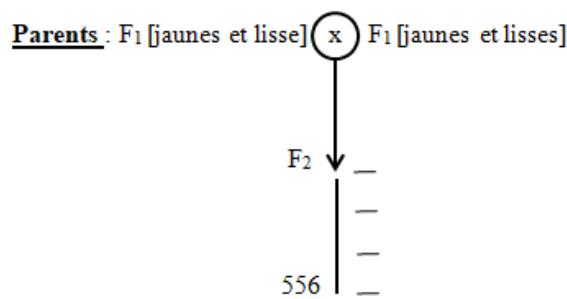
- ❖ Résultats obtenus
- ❖ 1<sup>er</sup> croisement

Parents : pois à grains jaune et lisse  x pois à graine vertes et ridées



F<sub>1</sub> : 100% de pois à graine jaunes et lisses

## 2<sup>e</sup> croisement ou autofécondation



Le résultat de la 1<sup>ère</sup> génération F<sub>1</sub> est conforme à la 1<sup>ère</sup> loi de Mendel : **uniformité des hybrides de la F<sub>1</sub>**. C'est-à-dire toute la population de la F<sub>1</sub> est constituée de pois à graine jaunes et lisses.

Les parents croisés étant de race pure, ce résultat nous permet de déduire que les caractères jaunes et lisses sont respectivement dominants et domine les caractères verts et ridées qui sont récessifs. Ainsi, pour la couleur des graines jaunes (dominant) est symbolisé par J et vert (récessif) par j. De même pour la forme des graines, lisses (dominant) est symbolisés par L et ridée (récessif) en l.

En F<sub>2</sub>, on constate qu'il apparaît en plus de deux phénotypes parentaux, deux phénotypes nouveaux (jaunes et ridées et vertes et lisses).

### ❖ Comment expliquer un tel résultat.

Pour expliquer un tel résultat, Mendel a émis des hypothèses. Il a supposé que lors de la formation des gamètes chez les hybrides de la F<sub>1</sub>, les allèles des deux couples de caractères (couleur et forme) se sont séparés indépendamment l'un de l'autre et se sont repartis équitablement dans les gamètes formés.

Sachant qu'un gamète ne peut porter qu'un seul allèle de chaque gène, il y a eu des possibilités suivantes :

- pour la couleur : J sépare de j peut s'associer au hasard à L (jL) ou à l(Jl).

Ainsi, on peut obtenir les combinaisons suivants : (JL) et (Jl). De même pour le caractère vert, le j peut s'associer au hasard jL ou jl. D'où les combinaisons jL et jl.

Ainsi, à la fin de la formation (méiose) chaque hybride de F<sub>1</sub> produit 4 types de gamètes de proportion :

- ✓ ¼ ou 25% JL ; ¼ ou 25% de jL ;
- ✓ 1/4 ou 25% Jl ; 1/4 ou 25% de jl.

Cette ségrégation indépendante des allèles ou caractères lors de la formation des gamètes, exprime la 3<sup>e</sup> loi de Mendel : **Loi de ségrégation ou disjonction indépendante des caractères**.

Cette 3<sup>e</sup> loi de Mendel explique le brassage inter chromosomique et ne peut s'appliquer que lorsqu'on étudie la transmission d'au moins deux caractères.

Puisque chaque hybride a produit 4 types de gamètes, en F<sub>2</sub>, on aura les combinaisons suivantes: 4 x 4 = 16 dont 16 combinaisons.

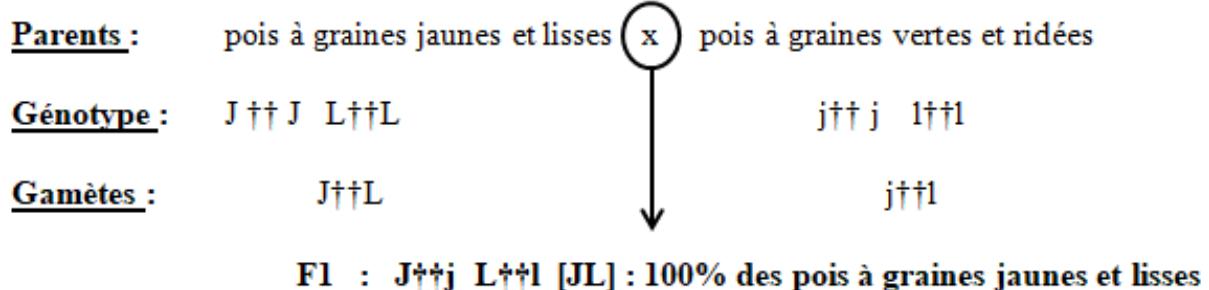
**Chaque combinaison de F<sub>2</sub> correspond à 1/16**

### a.2) Génotype des parents

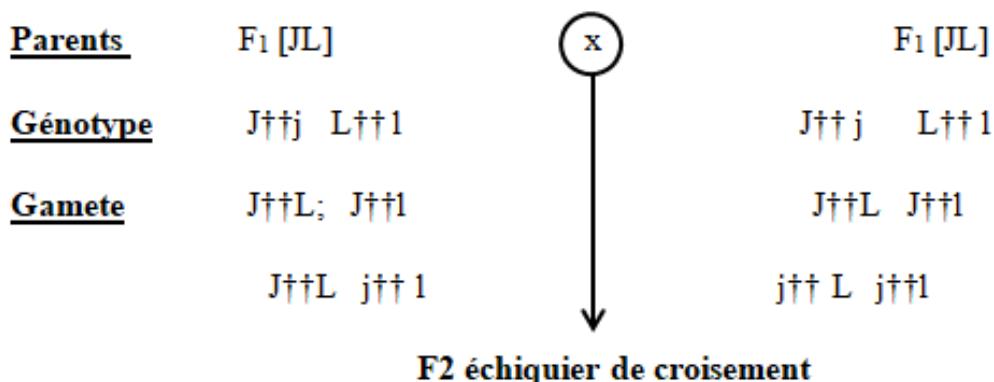
Sachant qu'il s'agit d'un dihybridisme à ségrégation indépendante, les allèles des gènes sont portés par des chromosomes différents :

- $P_1$  pois à graines jaunes et lisses de génotype  $J \text{ } \text{ } J \text{ } L \text{ } \text{ } L$  ( $JJLL$ )
- $P_2$  pois à graines vertes et ridées de génotype  $j \text{ } \text{ } j \text{ } l \text{ } \text{ } l$  ( $jjll$ )

### 1<sup>er</sup> Croisement



### 2<sup>e</sup> croisement



		$J \text{ } \text{ } L$			
		$J \text{ } \text{ } L$			
$J \text{ } \text{ } L$		$J \text{ } \text{ } J \text{ } L \text{ } \text{ } L$ [JL]	$J \text{ } \text{ } J \text{ } L \text{ } \text{ } l$ [JL]	$J \text{ } \text{ } j \text{ } L \text{ } \text{ } L$ [JL]	$J \text{ } \text{ } j \text{ } L \text{ } \text{ } l$ [JL]
$J \text{ } \text{ } l$		$J \text{ } \text{ } J \text{ } L \text{ } \text{ } l$ [JL]	$J \text{ } \text{ } J \text{ } l \text{ } \text{ } l$ [JL]	$J \text{ } \text{ } j \text{ } L \text{ } \text{ } l$ [JL]	$J \text{ } \text{ } j \text{ } l \text{ } \text{ } l$ [JL]
$j \text{ } \text{ } L$		$J \text{ } \text{ } j \text{ } L \text{ } \text{ } L$ [JL]	$J \text{ } \text{ } j \text{ } L \text{ } \text{ } l$ [JL]	$j \text{ } \text{ } j \text{ } L \text{ } \text{ } L$ [jl]	$j \text{ } \text{ } j \text{ } L \text{ } \text{ } l$ [jl]
$j \text{ } \text{ } l$		$J \text{ } \text{ } j \text{ } L \text{ } \text{ } l$ [JL]	$J \text{ } \text{ } j \text{ } l \text{ } \text{ } l$ [JL]	$j \text{ } \text{ } j \text{ } L \text{ } \text{ } l$ [jl]	$j \text{ } \text{ } j \text{ } l \text{ } \text{ } l$ [jl]

### ❖ Analyse du tableau

Le tableau ou l'échiquier présenté donne au total 9 génotypes différents qui correspondent à la règle de dominance à quatre phénotypes (graines jaunes et lisses; graines jaunes et ridées; graines vertes et lisses; graines vertes et ridées).

Ces quatre phénotypes correspondent à 4 proportions théoriques de Mendel obtenu en F<sub>2</sub>.

Les proportions de 9/16 ; 3/16 ; 3/16 ; et 1/16 sont caractéristiques de l'autofécondation (F<sub>1</sub> x F<sub>1</sub>) d'un hybride à ségrégation indépendante.

	Nombre de génotypes	Nombre de phénotype	
[ JL] { J †† J L †† L J †† J L †† l J †† j L †† L J †† j L †† l	→ → → →	1 2 3 4	$\frac{9}{16}$ Pois à graines jaunes et lisse
[ Jl ] { J †† j l †† l J †† j l †† L	→ →	1 2	$\frac{3}{16}$ Pois à graine jaune et ridée
[ jL ] { j †† j L †† L j †† j L †† l	→ →	1 2	$\frac{3}{16}$ Pois à graine vertes et lisses
[ jl ] { j †† j l †† l	→	1	$\frac{1}{16}$ Pois à graines vertes et ridées

### b) Méthode de recherche de 4 proportions phénotypiques par calcul de pourcentage des allèles

#### b.1) Calcul des pourcentages réels

Cette méthode permet de déterminer les pourcentages des résultats expérimentaux.

Ex : en utilisant les données de l'expérience de Mendel sur le croisement des hybrides de F<sub>1</sub> entre eux, on aura :

#### ❖ Données (F<sub>2</sub>) :

$$315 \text{ graines jaunes et lisses} : \frac{315}{556} \times 100 = 56.6\% ;$$

$$108 \text{ graines jaunes et ridées} : \frac{108}{556} \times 100 = 19.4\% ;$$

$$101 \text{ graines vertes et lisses} : \frac{101}{556} \times 100 = 18.16\%$$

$$32 \text{ graines vertes et ridées} : \frac{32}{556} \times 100 = 5.75\%$$

### Pour un total de 556 graines

Ces proportions calculées (pourcentage), sont des proportions réelles obtenues suite à une expérience. Ces proportions réelles correspondent aux pourcentages théoriques de Mendel selon le tableau ci-dessous :

**Tableau de correspondance**

Phénotype	Pourcentage	
	Réels	Théoriques
[JL] : 9/16	56.6%	56.25%
[Jl] : 3/16	19%	19.4%
[jL] : 3/16	18%	18.19%
[jl] : 1/16	5.75%	6.25%

**NB :** les pourcentages réels calculés varient en fonction des données de l'exercice ou de problème de génétique.

### c) Méthode d'interprétation factorielle des résultats obtenus

Cette méthode consiste à faire de regroupement des résultats par caractère étudié et de déterminer le pourcentage de chaque allèle.

#### Exemple :

En utilisant les résultats obtenus en F<sub>2</sub> du chromosome des hybrides de F<sub>1</sub> à graines jaunes et lisses.

Soit 315 à graines jaunes et lisses ;

108 à graines jaunes et ridées ;

101 à graines vertes et lisses ;

32 à graines vertes et ridées.

Dans ce croisement, il y a deux caractères étudiés :

- la couleur
- la forme

Déterminons les pourcentages de chaque caractère en appliquant la méthode factorielle.

#### ▪ Pour la couleur :

##### a. couleur jaune

$$\frac{315+108}{556} \times 100 = 76\% \text{ soit } 75\% = \frac{3}{4} J$$

##### b. couleur verte

$$\frac{101+32}{556} \times 100 = 23.92\% \text{ soit } 25\% = \frac{1}{4} j$$

#### ▪ forme

##### a. forme lisse

$$\frac{315+101}{556} \times 100 = 74.82\% \text{ soit } 75\% = \frac{3}{4} L$$

##### b. forme ridée

$$\frac{108+32}{556} \times 100 = 25\% = \frac{1}{4} l$$

Sachant que le dihybridisme est une juxtaposition de deux mono hybridismes avec dominance, on peut avoir la forme factorielle suivante :

$$\left( \frac{3}{4} J + \frac{1}{4} j \right) \left( \frac{3}{4} L + \frac{1}{4} l \right) = \frac{9}{16} JL + \frac{3}{16} Jl + \frac{3}{16} Lj + \frac{1}{16} jl = 9, 3, 3, 1$$

**NB :** la méthode d'interprétation factorielle permet aussi de déterminer les proportions factorielle de 9, 3, 3, 1 du dihybridisme à ségrégation indépendante.

## ➤ Application

### BAC 2013

On croise les mufliers de race pure dont les fleurs diffèrent par plusieurs caractères. Les hybrides de F1 croisent entre eux donnent la descendance suivante :

- ✓ 189 plantes à corolles typiques rouge ;
- ✓ 370 plantes à corolles typiques roses ;
- ✓ 187 plantes à corolles typiques blanches ;
- ✓ 62 plantes à corolles régulières rouge ;
- ✓ 126 plantes à corolles régulières roses ;
- ✓ 63 plantes à corolles régulières blanches.

1. Quel étaient les phénotypes et les génotypes des parents ?
2. Donner les génotypes des individus de F<sub>1</sub> et F<sub>2</sub>.
3. A quelle descendance s'attendra-t-on l'on croise des individus à corolles typiques et roses avec des individus à corolles régulières et blanches et dans quelle proportion.

### d) Le back cross du dihybridisme à ségrégation indépendante

Le back cross consiste à croiser un hybride de F<sub>1</sub> avec un parent à birécessif ou doublement récessif (parent ayant les deux caractères récessifs).

Dans ce croisement, si on obtient en F<sub>b</sub> quatre phénotypes dans les proportions de ¼ ou 25% par tout on peut déduire que le parent hybride de F<sub>1</sub> a produit 4 types de gamètes à proportion égale (¼ ou 25%).

Ce résultat nous permet de déduire qu'il y a eu ségrégation indépendante des allèles lors de la formation des gamètes chez les parents hybrides.

Sachant que le parent bi récessif est homozygote et ne peut produire un seul type de gamète, il faut noter que les 4 phénotypes exprimés en F<sub>b</sub> sont imposés par les 4 gamètes produits par les parents hybrides de F<sub>1</sub>.

### Exemple :

On croise un hybride de F<sub>1</sub> à graine jaunes et lisses avec un parent birécessif. Ce croisement donne en F<sub>b</sub> 4 phénotypes

F<sub>b</sub> : { *Pois à graines jaunes et lisses*  
*Pois à graines vertes et lisses*  
*Pois à graines jaunes et ridées*  
*Pois à graines vertes et ridées*

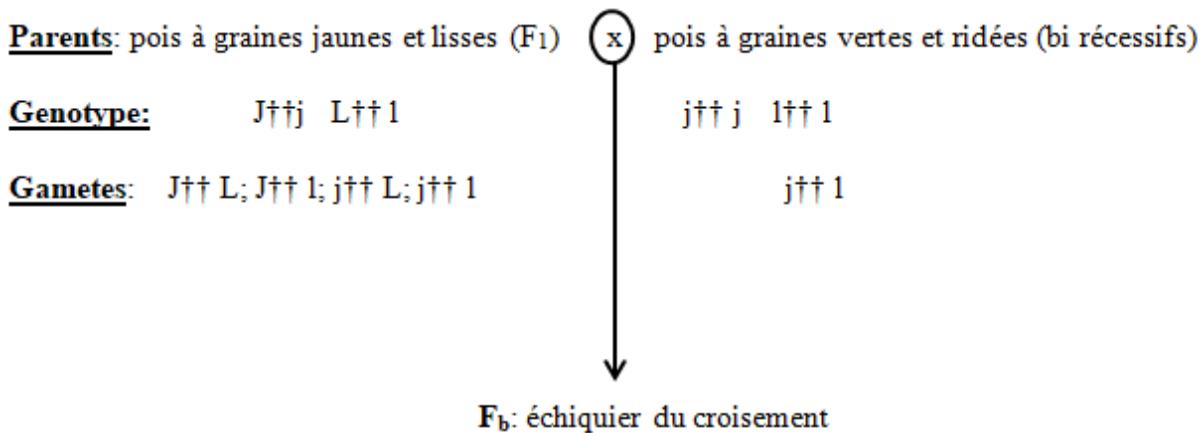
## ➤ Interprétation

Le croisement réalisé est un back cross au cours duquel on obtient une génération de 4

Phénotypes. Ces résultats nous permettent de conclure que l'hybride de F<sub>1</sub> a produit 4 types de gamètes qui se sont respectivement imposé dans les 4 phénotypes de la descendance. Car, le parent bi récessif homozygote ne produit qu'un seul type de gamète ayant les caractères récessifs.

## ➤ Illustration

### Croisement



F1 Gamètes		$J\ddagger L$	$J\ddagger 1$	$j\ddagger L$	$j\ddagger 1$
P bi récessif	$J\ddagger 1$	$\frac{1}{4}$ soit 25%	$\frac{1}{4}$ soit 25%	$\frac{1}{4}$ soit 25%	$\frac{1}{4}$ soit 25%
100%	$J\ddagger L \quad j\ddagger 1$	$J\ddagger 1 \quad j\ddagger 1$	$j\ddagger L \quad j\ddagger 1$	$j\ddagger 1 \quad j\ddagger 1$	$j\ddagger 1 \quad j\ddagger 1$

### ➤ Résultats statistiques de $F_b$

[JL] :  $\frac{1}{4}$  soit 25% de pois à graines jaunes et lisses;

[J1] :  $\frac{1}{4}$  soit 25% de pois à graines jaunes et ridées ;

[jL] :  $\frac{1}{4}$  soit 25% de pois à graines vertes et lisses ;

[jl] :  $\frac{1}{4}$  soit 25% de pois à graines vertes et ridées.

**REMARQUE** : le back cross permet aussi de vérifier la 3<sup>e</sup> loi de Mendel ou loi de ségrégation (ou disjonction) indépendante de caractères. C'est-à-dire, le back cross permet de vérifier si les gènes sont indépendants ou liés.

### II-Le dihybridisme avec linkage ou liaison entre les différents gènes

On parle du dihybridisme avec linkage lorsque les gènes déterminant les différents couples des caractères sont portés par un même chromosome.

On distingue dans cette étude deux cas de linkage ou liaison :

- ❖ le dihybridisme à linkage (ou liaison) absolue ou (total), sans crossing-over ;
- ❖ le dihybridisme à linkage partiel avec crossing-over.

### II.1)Le dihybridisme à linkage (ou liaison) absolue

Cette étude a été effectuée par Morgan et ses étudiants sur la Drosophile ou mouche de vinaigre. Ainsi, Morgan dispose de deux liens purs de drosophile dont l'une constitue des drosophiles à corps gris et ailes longues et l'autre constituée des drosophiles à corps noir et ailes vestigiales.

#### a)Etude d'un exemple dans le cas de linkage absolu

##### a.1)Expérience

Morgan croise les Drosophiles à corps gris et ailes longues de lignée pure avec des drosophiles à corps noir et ailes vestigiales des lignées pures.

Il obtient en  $F_1$  uniquement (100%) des drosophiles à corps gris et ailes longues.

Le croisement des hybrides de  $F_1$  entre eux donne une 2<sup>e</sup> génération  $F_2$  composée de deux phénotypes de proportion phénotypique :

- ❖ 75% soit  $\frac{3}{4}$  des drosophiles à corps gris et ailes longues ;
- ❖ 25% soit  $\frac{1}{4}$  des drosophiles à corps noir et ailes vestigiales.

##### a.2)Interprétation des résultats obtenus

En F<sub>1</sub>, on constate que toutes les drosophiles sont à corps gris et ailes longues. C'est un résultat conforme à la 1<sup>ère</sup> loi de Mendel : Loi d'uniformité des hybrides à la 1<sup>ère</sup> génération F<sub>1</sub>.

Ces résultats nous permettent de déduire que les ailes grises et longues sont respectivement dominantes et dominent les ailes noires et vestigiales qui sont récessifs. Ainsi, on symbolise gris par G et noir par g pour la couleur. De même, pour la taille des ailes, on symbolise long par L et vestigiale par l.

En F<sub>2</sub>, on s'attendait à 4 phénotypes de proportions : 9, 3, 3, 1, résultat du dihybridisme à dominance, mais il n'en est rien.

On obtient plutôt deux phénotypes de proportion 3/4 (75%) et 1/4(25%) résultat du mono hybridisme avec dominance total.

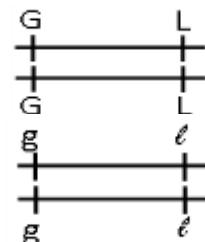
Pour expliquer ces résultats obtenus, on suppose (hypothèse) que les 2 couples d'allèles sont portés par un même chromosome, c'est-à-dire gris et longue d'une part et noir et vestigiale d'autre part.

Ainsi, lors de la transmission, ces allèles se comportent respectivement comme un seul caractère et sont transmis en bloc comme le cas du mono hybridisme.

Alors, on dit qu'il existe une liaison entre gris et longue et entre noir et vestigiale.

### a2.1) Ecriture des génotypes des parents dans le cas de linkage (ou gène lies)

- Drosophile à corps gris et ailes longues :



- Drosophile à corps noir et ailes vestigiales :



### ➤ Vérification des résultats obtenus (hypothèse)

#### 1<sup>er</sup> Croisement

##### Parents :

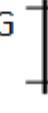
Drosophiles à corps gris et à ailes longues  Drosophiles à corps noir et ailes vestigiales

##### Génotypes :



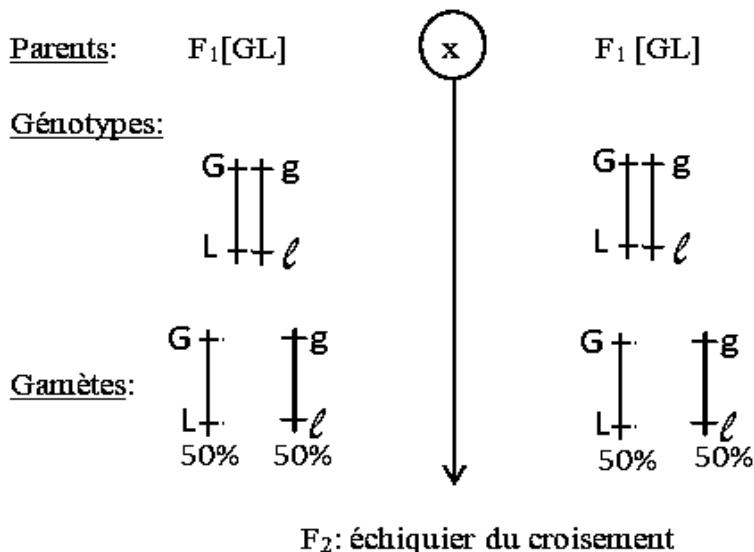
##### Gamètes :



F<sub>1</sub>  G  g [GL] L  l

100% des drosophiles à corps gris et ailes longues

## 2<sup>ème</sup> Croisement



<i>♂F<sub>1</sub></i> <i>♀F<sub>1</sub></i>	G <sup>+</sup>	g
G <sup>+</sup>	G <sup>+</sup> G L <sup>+</sup> L	G <sup>+</sup> g L <sup>+</sup> l
g	G <sup>+</sup> g L <sup>+</sup> l	g g l l

Les résultats statistiques phénotypiques :

[GL] : 3/4 soit 75% des Drosophiles à corps gris et ailes longues

[gl] : 1/4 soit 25% des Drosophiles à corps noir et ailes vestigiales

**Remarque :** Dans le cas du dihybridisme à linkage total, chaque hybride de F<sub>1</sub> produit toujours deux types de gamètes de proportion 1/2 (50%) au lieu de 4 types de gamètes de proportion 1/4 ou 25% partout (cas des gènes non liés).

### II.1.2) Le backcross ou croisement retour du dihybridisme à linkage absolu

Ce backcross permet de vérifier ou de déterminer la localisation des gènes sur les chromosomes.

Il consiste à croiser un hybride de F<sub>1</sub> avec un parent bi récessif.

#### a) Etude d'un exemple

##### a1) Expérience

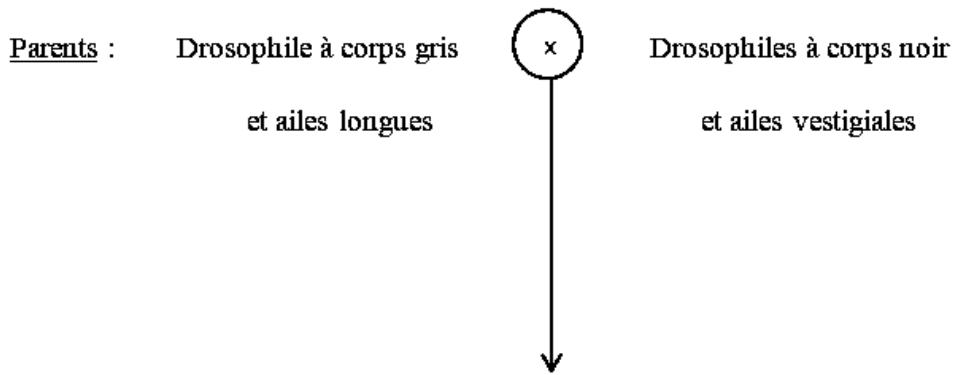
Morgan croise une Drosophile male hybride de F<sub>1</sub> avec une femelle bi récessif à corps noir et ailes vestigiales. Il obtient une génération F<sub>b</sub> composée de deux phénotypes de proportion :

\*1/2 ouv 50% des drosophiles à corps gris et ailes longues

\*1/2 ou 50% des drosophiles à corps noir et ailes vestigiales.

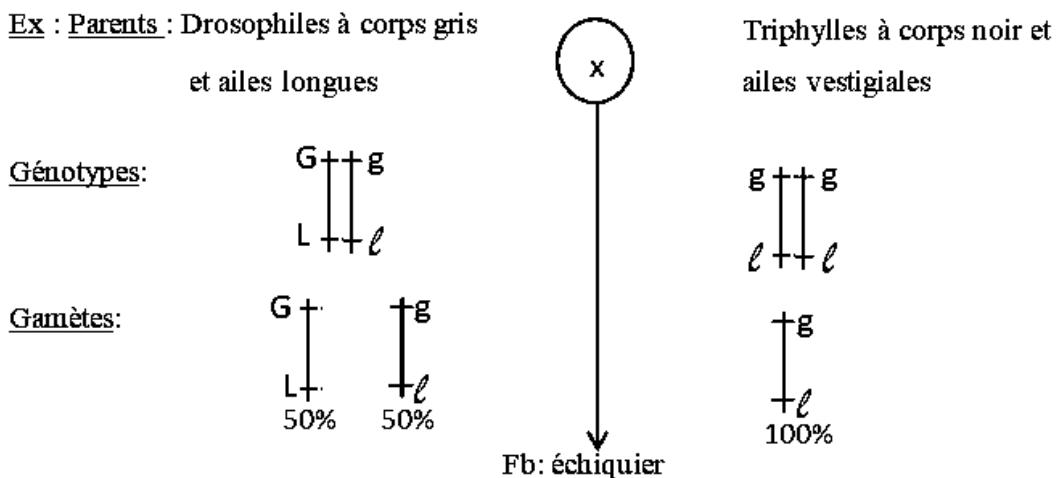
##### a2- Interprétation

### Résultat



$$F_b = \begin{cases} \frac{1}{2} \text{ ou } 50\% \text{ des drosophiles à corps gris et ailes longue} \\ \frac{1}{2} \text{ ou } 50\% \text{ des drosophiles à corps noir et ailes vestigiales} \end{cases}$$

Les résultats obtenus en F<sub>b</sub> caractérisent un linkage absolu ou total entre les gènes sur les chromosomes. Car, les proportions phénotypiques de  $\frac{1}{2}$  ou 50% obtenues à l'issue du backcross indiquent que le croisement entre les drosophiles male hybride de F<sub>1</sub> a produit que 2 types de gamètes dans les proportions de  $\frac{1}{2}$  ou 50% au lieu 4 types de gamètes dans le cas des gènes non liés.



$F_1$	$G+$ $L+$ 50%	$+g$ $+l$ 50%
$+g$ $+l$	$G+++g$ $L+++l$ 50% [GL]	$g+++g$ $l+++l$ 50% [gl]

## II.2) le dihybridisme avec linkage partiel (ou liaison partielle) avec crossing-over

### a) Le backcross du dihybridisme à linkage partiel avec crossing-over

#### a.1) Expérience

Morgan croise une drosophile de F<sub>1</sub> avec une drosophile male bi récessif à corps noir et ailes vestigiale.

Pour ce croisement, on devrait s'attendre à deux phénotypes en F<sub>b</sub> comme dans l'exemple précédent de proportion ½ ou 50% partout mais, on obtient plutôt 4 phénotypes de proportion :

$$F_b : \begin{cases} 41.5\% \text{ des drosophiles à corps gris et ailes longues} \\ 41.5\% \text{ des drosophiles à corps noir et ailes vestigiales} \\ 8.5\% \text{ des drosophiles à corps gris et ailes vestigiales} \\ 8.5\% \text{ des drosophiles à corps noir et ailes longues} \end{cases}$$

### a.2)Interprétation

Ces résultats obtenus ne ressemblent ni à ceux d'un dihybridisme à ségrégation indépendante, ni à ceux d'un dihybridisme à linkage absolu ou total. Alors, comment expliquer un tel résultat ?

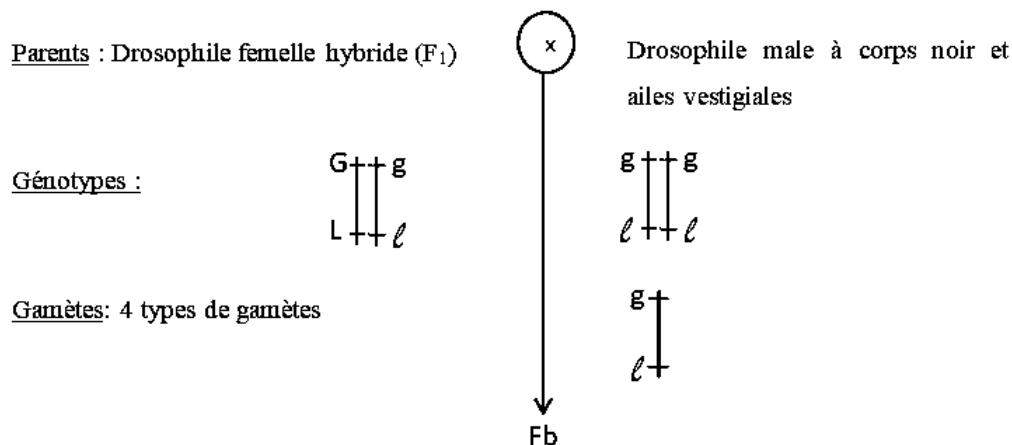
Pour expliquer ce résultat, on doit penser à nos cas où les gènes sont liés partiellement entre eux avec intervention d'un crossing-over puisque l'hybride de F<sub>1</sub> est une femelle. Car l'apparition de deux phénotypes nouveaux dans la génération F<sub>b</sub>, justifie qu'il y a eu échange des fragments des chromatides entre les chromosomes homologues lors de la formation des gamètes (ou méiose) chez la drosophile, femelle hybride de F<sub>1</sub>.

A l'issu de cette formation, elle a produit 4 types de gamètes mais de proportion : 41.5%, 41.5%, 8.5%, 8.5%.

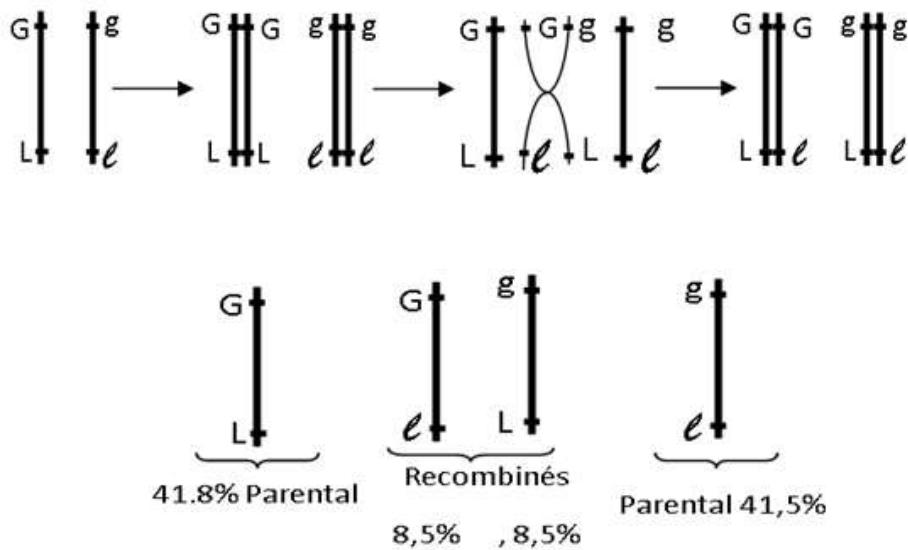
Par contre, le mâle bi récessif homozygote produit seulement un seul type de gamète de proportion 100%. Ainsi, les 4 proportions phénotypiques de F<sub>b</sub> sont donc imposées par les 4 gamètes de l'hybride femelle de F<sub>1</sub>. Ce résultat est caractéristique du backcross d'un dihybridisme à linkage partiel entre les gènes avec intervention d'un crossing-over.

### Exemple

### Croisement



Les gamètes produits par l'hybride femelle de F<sub>1</sub>



L'hybride femelle produit 4 types de gamètes dans les proportions suivantes: 41.5%, 41.5%, 8.5%, 8.5%.

Fb : échiquier

	G   L     41.5%	G   L     8.5%	g   L     8.5%	g   L     41.5%
g   L 	G   g     L   l [GL]	G   g     l   L [GI]	g   g     L   l [gL]	g   g     l   l [gl]

### Résultats Statistiques

[GL] : 41.5% des drosophiles à corps gris et ailes longues

[gl] : 41.5% des drosophiles à corps noir et ailes vestigiales

[Gl] : 8.5% des drosophiles à corps gris et ailes vestigiales

[gL] : 8.5% des drosophiles à corps noir et ailes longues

### Résumé

Ce croisement donne :

\*83% des types parentaux

\*17% des types recombinés, inattendu, constituant les phénotypes nouveaux.

**Remarque** : ce phénotype nouveau exprime un pourcentage ou taux de recombinaison noté 17% de taux de recombinaison.

Par convention, 1% des taux de recombinaison correspond à 1CM (Centi Morgan)

Exemple : 17% = 17CM

Ce taux détermine la distance qui sépare deux gènes sur un chromosome.

Exemple : G



NB : Le taux de recombinaison peut-être aussi déterminé par calcul en utilisant la formule générale suivante :

$$D = \frac{\text{Nombre d'individus phenotype recombinés}}{\text{Nombre d'individu total}} \times 100$$

$$D = \frac{8.5\% + 8.5\%}{41.5\% + 41.5\% + 8.5\% + 8.5\%} \times 100$$

$$= \frac{17\%}{100\%} \times 100$$

$$D = 17 \text{ CM}$$

### Exercice

I. On croise une race pure de drosophile à ailes normales et à tarses normaux avec une autre race pure de drosophiles à ailes tronquées et tarses insuffisant (4 tarses). On obtient en F<sub>1</sub> uniquement de drosophiles à ailes normales et tarses normaux et cela quel que soit le sens du croisement.

1. Quelles hypothèses peut-on faire sur la transmission des caractères ?
2. Etablir les génotypes des parents et des individus de F<sub>1</sub>

II. On croise des drosophiles de F<sub>1</sub> avec des parents mâles à ailes tronquées et tarses anormaux. On obtient :

\*243 drosophiles à ailes normales et tarses normaux

\*231 drosophiles à ailes tronquées et tarses normaux

\*57 drosophiles à ailes normales et tarses normaux

\*53 drosophiles à ailes tronquées et tarses normaux.

Expliquez cette descendance.

III. Les drosophiles à tarses normaux ont aussi des yeux bruns et celles à tarses anormaux ont des yeux pourpres (parent P').

En croisant des drosophiles de race pure, on obtient des drosophiles à tarses normaux et à yeux bruns.

1. Donnez les génotypes des individus P' et F<sub>1</sub>'.
2. Quels sont les gamètes que peuvent produire les individus de F<sub>1</sub>' ?
3. L'analyse des croisements a permis de calculer un taux de recombinaison de 23% entre les gènes « tarses normaux » et « yeux pourpres ». situez les trois gènes sur le chromosome de la drosophile.

## **CHAPITRE 10 : L'HEREDITÉ HUMAINE OU GENÉTIQUE**

### **Introduction**

L'étude de la transmission des caractères héréditaires chez l'homme, autrefois fondée sur les caractères morphologiques au sein d'une famille est aujourd'hui devenue une génétique essentiellement médicale. Elle s'intéresse d'une part à l'étude de la transmission des caractères héréditaires et des gènes marqueurs de l'identité biologique, d'autre part, à l'étude des anomalies chromosomiques. Les lois de transmission et les conditions d'expression des gènes sont les mêmes pour tous les êtres vivants des mammifères. Mais dans l'hérédité humaine, cette étude pose aux médecins et généticiens plusieurs difficultés ou problèmes.

### **I- Les problèmes de la génétique humaine et méthodes d'étude en génétique humaine**

#### **I.1) Problèmes ou contraintes pratiques et morales**

La méthode expérimentale utilisée en génétique Mendélienne est impossible à être utilisée en génétique humaine pour plusieurs raisons :

- L'homme ne peut être considéré comme un matériel génétique expérimental dont Impossibilité de diriger des unions à cause des interdits sociaux (marier des couples à volonté, marier les frères et sœurs ou parents avec leurs enfants pour des raisons expérimentales) ;
- La durée d'une génération est longue et la fécondité faible ;
- Les interruptions volontaires de grossesses et avortements spontanés ;
- les naissances adultérines rendent inefficaces l'application des lois statistiques ;
- L'Homme possède une formule chromosomique compliquée. C'est-à-dire l'homme a un nombre élevé de chromosomes et les possibilités de combinaisons sont aussi considérables ( $2^{23}$  types de gamètes mâles ou femelles) dont l'union ( $2^{23}$ )<sup>2</sup>.

#### **I.2) Méthodes d'analyse ou d'étude des arbres généalogiques**

Compte tenu des problèmes ou difficultés énumérées ci-dessus, l'étude de l'hérédité humaine est fondée sur trois méthodes :

- L'analyse ou étude de l'arbre généalogique ou pédigrée ;
- Le diagnostic prénatal et analyse de caryotype ;
- Le diagnostic prénatal et analyse des marqueurs de l'identité biologique (ADN et groupes sanguins).

#### **I.2.1) Analyse ou étude de l'arbre généalogique**

##### **a) Qu'est-ce qu'un arbre généalogique ?**

Un arbre généalogique ou pédigrée est une représentation conventionnelle des liens parentaux qui unissent les différents membres d'une famille.

Dans un arbre généalogique, les chiffres romains (**I**, **II**, **III**, etc.) représentent les différentes générations ou fratrie et les chiffres **1**, **2**, **3**, **4**, **5**, etc., indiquent les différents degrés de parenté de la famille.

**Exemple :**

##### **b) Analyse ou étude d'arbre généalogique**

Si vous êtes en présence d'un arbre généalogique ou pédigrée pour lequel l'on vous demande d'analyser, d'interpréter et de donner les génotypes des individus, il est important de se poser les deux principales questions :

**Première question : Le mode de transmission des caractères est-il récessif ou dominant ?**

Pour répondre à cette question :

- **Pour le mode récessif**, il faut chercher dans l'arbre généalogique un individu malade dont les parents ne sont pas malades. S'il y a, on déduit que le mode de la transmission est récessif. Et, cela nous permet de symboliser les allèles.
- **Pour le mode dominant**, il faut noter que quand le gène est dominant, chaque individu malade a au moins l'un des caractères des parents malades et chaque fois que l'un des parents d'un couple est malade, au moins un des descendants est malade. Ainsi, la maladie s'exprime dans toutes les générations.

**NB : vérifier tous les cas avant de confirmer son hypothèse. Car, certains arbres généalogiques peuvent tromper.**

**Deuxième question : L'hérédité est-elle autosomale ou liée au sexe ?**

Pour répondre à cette question, il faut vérifier ou chercher dans l'arbre généalogique, si la maladie frappe tous les deux sexes (fille et garçon). Si oui, chercher une fille malade :

- Si son père n'est pas malade, **l'hérédité est autosomale**.
- Si son père est malade, **l'hérédité est liée au sexe**. C'est-à-dire le gène est porté par le chromosome sexuel X. Et, ces réponses nous permettent d'écrire les génotypes des individus.

**Remarque** : cette étude se base sur des **symboles conventionnels**.

**II-Etude de quelques exemples d'hérédité humaine**

**II.1)Hérédité humaine autosomale**

**a)Hérédité autosomale récessive**

**a.1) Etude d'un exemple : Cas de l'Albinisme**

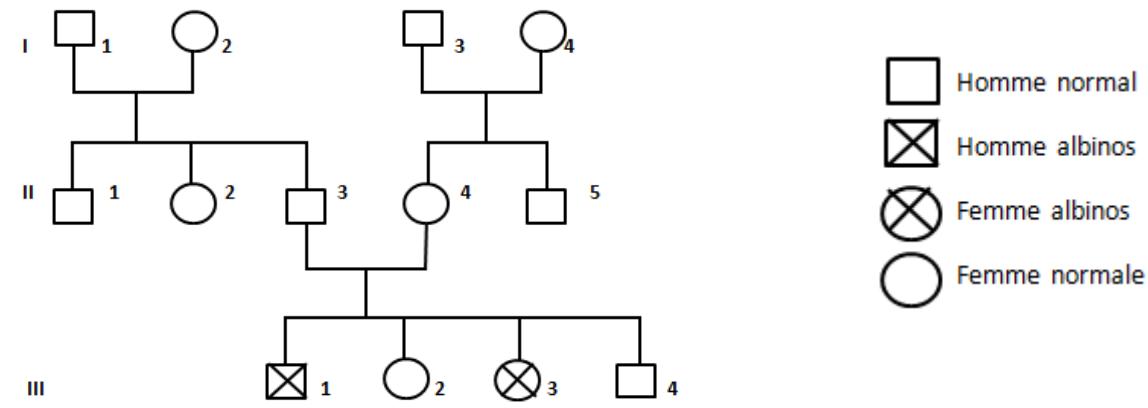
L'albinisme est une maladie ou affection due à la synthèse défective par les mélanocytes (cellules productrices) de la peau, **d'un pigment** noir appelé **mélanine**. Cette synthèse est bloquée par l'absence d'une enzyme. Chez l'homme, le sujet atteint est totalement dépigmenté, sa peau est d'un blanc laiteux ainsi que ses cheveux, ses cils et ses sourcils. Son iris est clair ou parfois rose.

**Le mode de transmission de l'albinisme est autosomal récessif.**

L'allèle responsable de l'albinisme est symbolisé par « **a** » et l'allèle normal, dominant par « **A** » ou « **N** ». Ainsi, les individus albinos auront pour génotype **aa** et sont homozygotes ou homogamétiques. Par contre, les individus sains sont :

- Soit homozygotes de génotype **AA** ;
- Soit hétérozygotes de génotype **Aa**. Les individus hétérozygotes sont apparemment sains mais porteurs ou vecteurs. Ainsi, un enfant albinos peut apparaître dans des familles où aucun parent n'est atteint (malade).

**Exemple de l'arbre généalogique d'une famille atteinte**



**Analyse :** Les individus 3 et 4 de la 2<sup>ème</sup> génération (**II<sub>3</sub>** et **II<sub>4</sub>**) phénotypiquement normaux ont donné naissance à 2 enfants albinos (**III<sub>1</sub>** et **III<sub>3</sub>**). On peut déduire que l'allèle albinos **a** est récessif par rapport à l'allèle normal **A** qui est dominant. La transmission de l'albinisme se fait donc selon un mode récessif. Les parents **II<sub>3</sub>** et **II<sub>4</sub>** sont tous deux hétérozygotes de génotypes **Aa**.

Etablissons l'échiquier de croisement permettant l'interprétation de la naissance de leurs enfants :

**Croisement :**

**Parents : II<sub>3</sub> X II<sub>4</sub>**

**Génotypes : Aa ↓ Aa**

**Gamètes: A, a A, a**

**Echiquier du croisement**  $\frac{3}{4}$  de AA et  $\frac{1}{4}$  de aa

	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

Ce couple a la probabilité d'avoir  $\frac{1}{4}$  des enfants albinos **aa** dont le garçon **III<sub>1</sub>** et la fille **III<sub>3</sub>**.

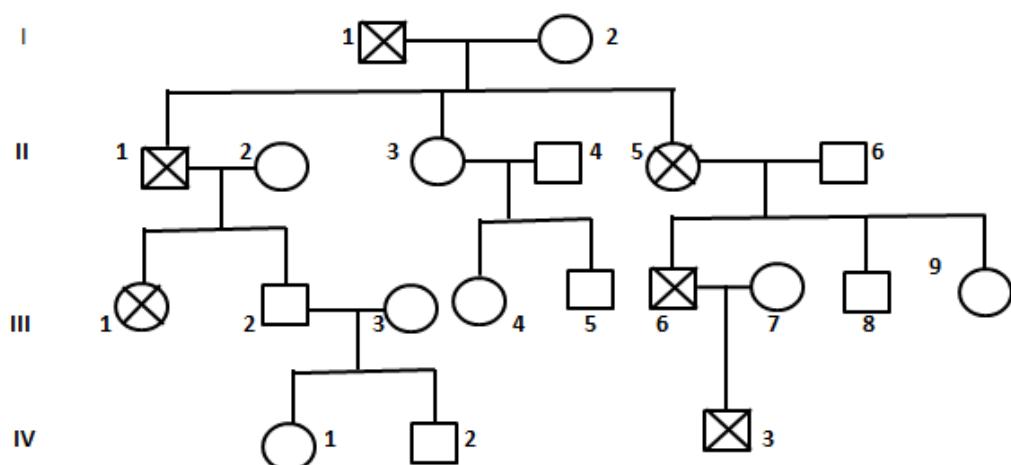
**Remarque :** En cas de transmission récessive, l'allèle responsable de la maladie ou tare est symbolisé en minuscule et l'allèle normal en majuscule. Par contre en cas de transmission dominante, l'allèle responsable de la maladie ou tare est en majuscule et l'allèle normal en minuscule.

**b) Hérédité autosomique dominante :**

**b1) Etude d'un exemple : cas de la chorée de Huntington**

La chorée de Huntington est une affection du système nerveux qui apparaît tardivement vers 30-50 ans. Elle est due à une dégénérescence progressive des neurones du cortex cérébral et provoque un déficit cérébral pouvant entraîner des mouvements involontaires de la face puis des muscles du corps.

**Exemple d'un arbre généalogique d'une famille atteinte.**



**L'analyse de l'arbre généalogique permet de réaliser les remarques suivantes :**

- La maladie touche toutes les générations.

- A chaque fois qu'un individu est malade, au moins un de ses parents est malade.
- Dans un couple où il y a un individu malade, on trouve au moins un enfant malade.
- Les sujets apparemment indemnes donnent naissance à des enfants saints.

**En conclusion** il n'existe aucun individu malade donc les parents sont sains (indemnes) et on dit que la maladie se transmet selon un mode dominant.

**La chorée de Huntington** est donc un cas d'hérédité autosomique dominante.

Ainsi, l'allèle responsable de la chorée de Huntington est symbolisé par « C » et l'allèle normal par « c » ou « n ». Comme la transmission est dominante, tous les individus atteints portent l'allèle C. Or, si les individus atteints étaient homozygotes CC, à chaque fois qu'un individu est malade dans le couple tous les enfants seraient atteints. On peut donc déduire que tous les malades sont hétérozygotes de génotype Cc ou Cn.

Les individus sains (indemnes) sont homozygotes de génotype cc ou nn.

## II.2) Transmission des maladies héréditaires liées au sexe

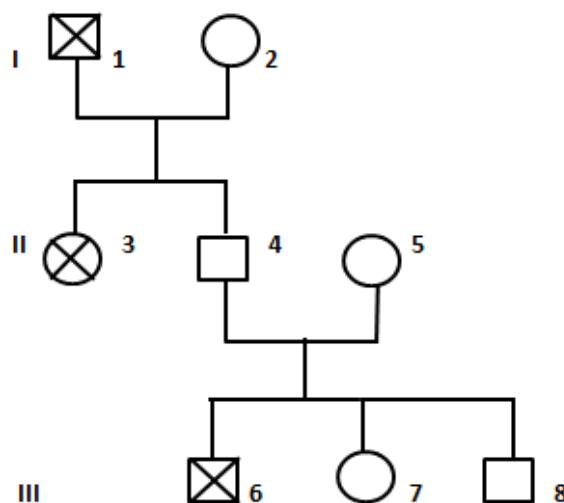
### 1) Maladies héréditaires récessives

#### a) Etude d'un exemple : cas du daltonisme

Le daltonisme est une anomalie bénigne (sans conséquences graves). Le sujet atteint (daltonien) ne distingue pas le rouge et le vert. Le gène responsable de cette anomalie est porté par chromosome sexuel X.

**NB :** Le daltonisme atteint 4% d'hommes et 20 fois moins les femmes.

#### Etude de l'arbre généalogique d'une famille atteinte



**Analyse :** Les individus 4 et 5 de la 2<sup>ème</sup> génération (II), apparemment sains ont donné naissance à un garçon (1) de la 3<sup>ème</sup> génération, malade ; on peut déduire que le daltonisme se transmet selon un mode récessif. L'allèle responsable du daltonisme est symbolisé par (d) et l'allèle normal par (D) ou (N). Les individus 1 et 2 ont donné naissance à une(1) fille (3) daltonienne. Si l'hérédité était autosomale, aucune fille ne serait malade, alors, on peut conclure que l'hérédité est liée au sexe.

Ainsi les génotypes sont les suivants :

- Homme daltonien : XdY ; Homme normal : XDY ;
- Femme daltonienne : XdXd ; Femme normale : XDXD ; Femme vectrice : XdXd.

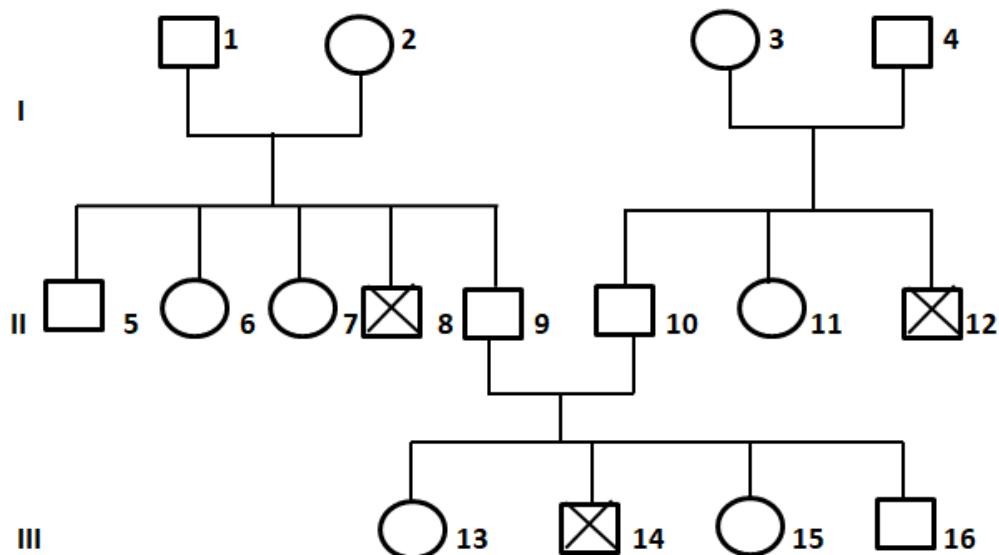
**Remarque :** En cas d'hérédité liée au sexe, pour écrire le génotype de la mère, il faut vérifier si elle a donné naissance à un garçon malade. Si oui, elle est hétérozygote et qualifiée de **vectice**.

La femme (2) de génotype XNXd est qualifiée de **vectice** ou porteuse donc susceptible de transmettre la maladie à sa progéniture.

## 2)La myopathie de Duchenne

La myopathie de Duchenne est une maladie génétique dont le gène responsable est porté par le chromosome X.

### Etude de l'arbre généalogique d'une famille



**Analyse :** Les individus 3 et 4 ont donné naissance à un garçon (**I2**) de la 2<sup>ème</sup> génération malade. Alors, on déduit que la maladie se transmet de manière récessive. Et on constate aussi que tous les malades sont des garçons, l'hérédité est liée au sexe.

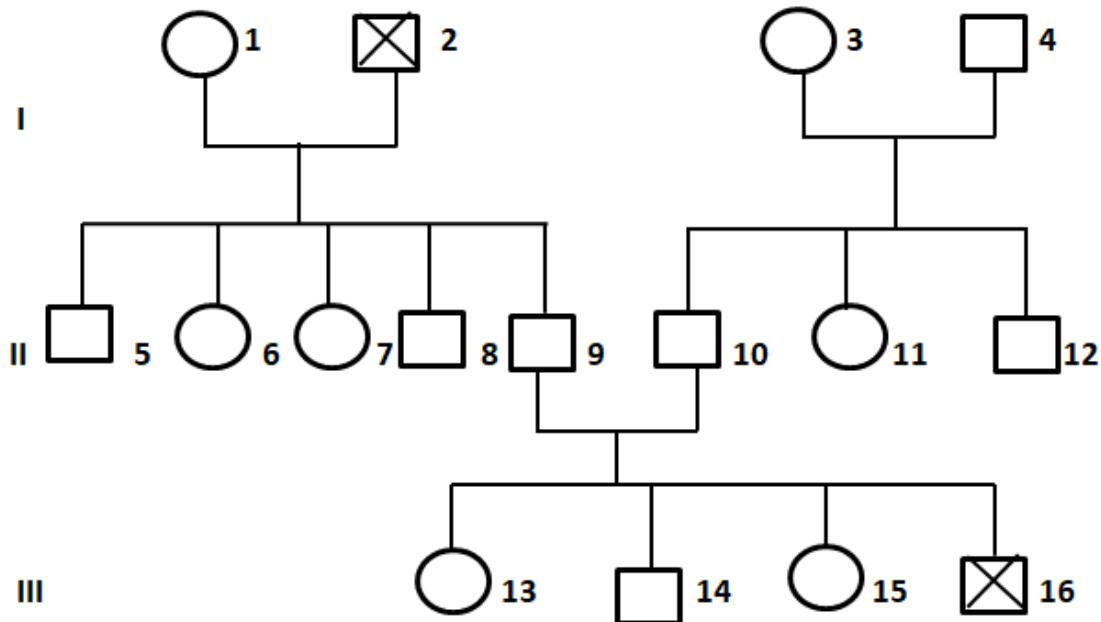
## 3)Hémophilie

L'hémophilie est aussi une hérédité récessive liée au sexe. Cette maladie se manifeste par une mauvaise ou non coagulation du sang (hémorragies importantes lors des blessures ou cycles menstruels). Elle est due à l'absence d'un facteur de coagulation du sang.

Le gène responsable de l'**hémophilie est létal**, raison pour laquelle il n'existe pas des femmes hémophiles. L'allèle de l'hémophilie est récessif et symbolisé par **h**. L'allèle normal est noté **H**.

Les femmes hémophiles ont pour génotype : **XhXh** ;

Les femmes vectrices ou porteuses ont génotype : **XhXH**.



#### **4)Hérédité autosomale codominante ou la Polyallélie**

##### **a) La transmission des groupes sanguins**

###### **a.1)Le système ABO**

Le système **ABO** comporte quatre groupes sanguins (**A, B, AB et O**). Ces 4 groupes sont déterminés à partir des agglutinogènes **A** et **B** présents sur la membrane des hématies et des agglutinines **anti A** et **anti B** présents dans le plasma.

Les groupes **A** et **B** sont codominants et dominent respectivement le groupe **O** qui est récessif. Chaque individu n'ayant qu'un couple d'allèle, il existe **6** génotypes possibles :

###### **Tableau résumant les caractéristiques des groupes sanguins**

Groupes Sanguins	Agglutinogènes	Agglutinines	Génotypes	Phénotypes
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>antiB</b>	<b>A/A ou A/O</b>	<b>Groupe A</b>
<b>B</b>	<b>B</b>	<b>antiA</b>	<b>B/B ou B/O</b>	<b>Groupe B</b>
<b>AB</b>	<b>AB</b>	<b>Aucune</b>	<b>AB</b>	<b>Groupe AB</b>
<b>O</b>	<b>Aucune</b>	<b>antiA et antiB</b>	<b>O/O</b>	<b>Groupe O</b>

###### **a.2)Le système rhésus**

A côté du **système ABO**, un autre système sanguin, **le système rhésus** est également pris en considération lors des transfusions sanguines. **Le système Rhésus** est déterminé génétiquement définie par la présence ou l'absence des agglutinogènes sur la membrane des hématies (globules rouges). Ceux qui en possèdent sont dits de rhésus positif (**Rh+**) et ceux qui n'en possèdent pas sont dits de rhésus négatif (**Rh-**). L'allèle **Rh<sup>+</sup>** est dominant et **Rh<sup>-</sup>** est récessif. Ainsi, on peut avoir les génotypes suivants :

**Rh<sup>+</sup>Rh<sup>+</sup>** et **Rh<sup>+</sup>Rh<sup>-</sup>** sont du groupe **Rh<sup>+</sup>**

**Rh<sup>-</sup>Rh<sup>-</sup>** est du groupe **Rh<sup>-</sup>**

**Remarque** : Lors des transfusions sanguines, on doit tenir compte des compatibilités et des facteurs rhésus. Ainsi, on peut avoir les compatibilités suivantes :

➤ **Rh-** ..... → **Rh+A**

➤ **O AB**

Les individus du groupe **O** sont des donneurs universels et les individus du groupe **AB** sont des receveurs universels.

L'allèle **O** étant récessif, la naissance d'un individu de groupe **O** montre que les parents sont hétérozygotes.

**NB** : Un individu du rhésus positif peut donner du sang à une personne de rhésus négatif. Mais que cela soit faite une seule fois dans sa vie. Car, lors de la première transfusion, il aura une formation de l'anti rhésus dans l'organisme de cette personne qui entraînera des réactions lors des prochaines transfusions.

###### **3.b) La drépanocytose ou Sicklémie**

La drépanocytose est une maladie héréditaire caractérisée par la présence dans le sang de certains, des hématies en forme de faucille. C'est une maladie héréditaire de l'hémoglobine, transporteur du dioxygène.

Il existe une hémoglobine **A** normale et une hémoglobine **S** anormale. Les allèles **A** normal et l'allèle **S** anormal sont codominants. Ainsi, les sujets **A/A** ou **AA** sont normaux et ils n'ont que l'hémoglobine normale dans leur sang. Les sujets **A/S** sont normaux. Car, l'allèle **A** exerce une dominance sur **S**. Mais, ils sont porteurs. Par contre, les sujets **S/S** sont drépanocytaires et ils n'ont que l'hémoglobine anormale **S** dans leur sang. Ces sujets respirent difficilement et sont constamment anémiques et ont des yeux jaunes.

### **III-Les anomalies chromosomiques**

#### **1)Les aberrations sur le nombre de chromosomes**

## **1.1)Un cas d'autosome : La trisomie 21.**

La trisomie **21** ou maladie de **Down ou Mongolisme** est due à l'existence d'un chromosome surnuméraire. Le caryotype d'un enfant mongolien révèle que le chromosome **21** est représenté par 3 exemplaires de chromosomes au lieu de 2. Ce phénomène est la conséquence du non disjonction de la paire du **chromosome 21** chez l'un des parents lors de la méiose

## **1.2 )Cas des chromosomes sexuels**

### **1.2.1)Le syndrome de Turner**

Le syndrome de Turner affecte des femmes qui restent de petite taille. Elles sont stériles et les caractères sexuels secondaires ne se développent pas. Le caryotype de ces sujets montre 45 chromosomes dont 44 autosomes et un seul chromosome sexuel X. **On a 44 A + X O = 45.**

### **1.2.2)Le syndrome de Klinefelter**

Le syndrome de Klinefelter affecte des individus présentant à la fois des caractères sexuels masculins (grande taille...) et féminins (larges hanches, développement de seins...). Ils sont stériles, les testicules demeurent petits, le sperme ne contient pas de spermatozoïdes (azoospermie). Le caryotype de ces sujets montre **44 A + XXY = 47** chromosomes.

Ces aberrations s'expliquent par une anomalie au cours de la méiose lors de la gamétogenèse d'un des parents par la non disjonction de la paire de chromosome sexuels.

## **2)Aberration concernant la structure des chromosomes**

### **2.1)La délétion :**

La délétion est la perte d'un fragment plus ou moins important de chromosomes telle que la délétion du bras court du chromosome n°5 qui se traduit par des anomalies importantes sur le plan morphologique et intellectuel.

### **2.2)La translocation**

La translocation est un remaniement structural qui résulte du transfert d'un segment de chromosome ou d'un chromosome entier sur un autre chromosome.

## **IV-Travaux dirigés sur les spermaphytes**

(Compréhension de cours par des questionnaires à réponses ouvertes)

### **Questions réponses**

#### **1- Quel nom donne-t- on généralement aux plantes à fleurs?**

**Réponse :** Les plantes à fleurs sont généralement appelées Spermaphytes ou Phanérogame.

#### **2- Que signifie phanérogame ?**

**Réponse :** Phanérogame(ou spermatophyte) signifie « mariage visible » où la reproduction s'effectue dans un organe : la fleur.

#### **3- Quels sont les deux(2) principaux groupes des Spermaphytes ?**

**Réponse :** Les Spermaphytes comportent deux groupes : Le groupe des Gymnospermes et le groupe des Angiospermes.

#### **4-Quelle est la caractéristique essentielle de ces deux groupes?**

**Réponse :** C'est la graine. C'est-à-dire ce sont des plantes à graines.

#### **5-Quelle est la caractéristique essentielle des Angiospermes et des Gymnospermes ?**

**Réponse :** Les Angiospermes sont des plantes à graines nues, c'est-à-dire graines non enfermées dans un fruit. Par contre, les gymnospermes sont des plantes à graines enfermées dans un fruit.

#### **6- Les Quelles sont les deux (2) classes des Angiospermes ?**

**Réponse :** Les classes des Angiospermes sont : \* La classe des Monocotylédones et la classe des Dicotylédones.

#### **7- Quelles sont les classes respectives de Maïs et de Haricot ?**

**Réponse :** Le Mais est une Monocotylédone et le Haricot est une Dicotylédone.

#### **8- Quels types de reproduction distingue t- on chez les Spermaphytes ?**

**Réponse :** La reproduction sexuée et la reproduction végétative ou multiplication végétative (ou asexuée).

#### **9- Quel nom donne-t- on à l'appareil reproducteur des Spermaphytes ?**

**Réponse** : L'appareil reproducteur des Spermaphytes est constitué par la fleur.

**10- Qu'est-ce qu'une fleur ?**

**Réponse** : On appelle fleur, un rameau spécialisé portant les organes reproducteurs (étamines et carpelles) produisant les gamètes.

**11- Qu'est-ce qu'un gamète ?**

**Réponse** : C'est une cellule haploïde issue de la méiose. On distingue chez les Spermaphytes : le gamète mâle appelé anthérozoïde et le gamète femelle appelé oosphère.

**12- De quoi est composée la fleur ?**

**Réponse** : La fleur est constituée des sépales dont l'ensemble forme le calice, des pétales formant la corolle et des organes reproducteurs mâles (étamines) et femelles (carpelles).

**13- Quelles sont les parties fertiles de la fleur ?**

**Réponse** : Les parties fertiles de la fleur sont : les étamines ou androcée (maies) et carpelle (femelle) ou gynécée(ou pistil).

**14- Par quelle expression désigne -t- on le gynécée (pistil) et I, androcée ?**

**Réponse** : On les désigne par l'expression pièces reproductrices ou organes reproducteurs ou encore verticilles reproducteurs.

**15- Quelles sont les parties stériles de la fleur ? Et comment appelle-t- on leur ensemble et quels rôles jouent elles ?**

**Réponse** : les parties stériles de la fleur sont : le calice (sépales) et la corolle (pétales). Elles constituent les enveloppes florales protectrices de la fleur dont l'ensemble est appelé périanthe.

**16-Quel nom donne- t-on à l'ensemble des parties reproductrices femelles de la fleur ?**

**Réponse** : C'est le gynécée ou pistil.

**17-Quel nom donne- t-on à l'ensemble des parties reproductrices mâles de la fleur?**

**Réponse** : C'est l'androcée.

**18-Dans quelle partie de l'androcée se déroule le processus de formation du grain de pollen?**

**Réponse** : la formation du grain de pollen se déroule dans le sac pollinique de l'anthère.

**19-Comment peut-on distinguer une anthère jeune d'une anthère mure ?**

**Réponse** : L'anthère jeune renferme dans le sac pollinique, la cellule mère du grain de pollen ; tandis que l'anthère mure contient dans le sac pollinique des grains de pollen.

**19-Dans quelle partie du gynécée ou pistil se déroule la formation du sac embryonnaire ?**

**Réponse** : La formation du sac embryonnaire se déroule dans l'ovule.

**20-Quel est le nom de la cellule qui donne naissance au grain de pollen ?**

**Réponse** : C'est la cellule mère du grain de pollen ou cellule Sporogène male.

**21- Qu'appelle-t-on la cellule sporogène femelle ?**

**Réponse** : La cellule Sporogène femelle est appelée cellule mère du sac embryonnaire.

**22-Comment appelle-t-on le processus qui conduit à la formation du grain de pollen?**

**Réponse** : C'est la microsporogenèse ou la pollinogenèse,

**23-Comment appelle-t-on le processus qui conduit à la formation du sac embryonnaire ?**

**Réponse** : C'est la Macrosporogenèse ou mégasporogenèse.

**24-Comparez la formation du sac embryonnaire et celle du grain de pollen.**

**Réponse** : La cellule mère du sac embryonnaire subit la méiose et 4 macrospores dont 3 dégénèrent et la rescapée, appelée mégaspore, augmente de taille et son noyau subit 3 mitoses donnant une cellule à 8 noyaux qui se disposent en 7 cellules formant le sac embryonnaire. Tandis que pour le grain de pollen, la cellule mère du grain de pollen subit une méiose et donne 4 cellules haploïdes appelées microspores qui subissent chacune une endomitose (division du noyau ou mitose) donnant 4 cellules haploïdes à 2 noyaux (noyau reproducteur et le noyau végétatif) appelées grain de pollen.

**25- Pourquoi dit- on que le grain de pollen n'est pas un gamète ?**

**Réponse** : Le grain de pollen est un gamétophyte ou prothalle mâle, il contient les gamètes mâles

ou anthérozoïdes qui sont des vrais gamètes.

**26- Nommez les gamètes mâles et femelles des Spermatophytes.**

**Réponse :** Les gamètes mâles des Spermaphytes sont appelés anthérozoïdes et le gamète femelle est l'oosphère.

**27- comparez l'ovule des mammifères et l'ovule des Spermatophytes.**

**Réponse :** L'ovule des mammifères est un véritable gamète femelle haploïde à n chromosome. Il forme après fécondation avec le spermatozoïde, un œuf ou zygote diploïde à l'origine d'un embryon. Tandis que, l'ovule des Spermatophytes n'est pas un véritable gamète. Il renferme le sac embryonnaire, qui, lui-même, renferme l'oosphère qui est un véritable gamète femelle ou l'équivalent de l'ovule de mammifère. Le sac embryonnaire est un gamétophyte femelle et l'ovule est un macrosporange des Spermatophytes.

**28- Comment peut-on distinguer un ovule jeune d'un ovule adulte ?**

**Réponse :** L'ovule jeune renferme la cellule mère du sac embryonnaire. Tandis que l'ovule adulte contient le sac embryonnaire lui-même.

**29- comparez le Spermatozoïde des mammifères et le grain de pollen des Spermatophytes.**

**Réponse :** Le Spermatozoïde des mammifères est un véritable gamète mâle haploïde. Il forme après fécondation avec l'ovule, une cellule œuf ou zygote à l'origine de l'embryon. Alors que le grain de pollen contient les gamètes mâles (anthérozoïdes), véritables gamètes mâles, qui, après la fécondation vont former l'œuf principal ou l'œuf accessoire. Le grain de pollen est un gamétophyte mâle des Spermatophytes et non un gamète.

**30- La reproduction chez les Spermaphytes comprend deux phases : la gamétophyte et le sporophyte. Quels sont leurs synonymes ?**

**Réponse :** Le synonyme de gamétophyte est le prothalle et le synonyme de sporophyte est la plante feuillée.

**31- Qu'est-ce qu'un gamétophyte ?**

**Réponse :** Le gamétophyte est un organe dans lequel se forme le gamète.

**32- Chez les Spermatophytes, qu'appelle-t-on prothalle mâle. Prothalle femelle, macrosporange et microsporange?**

**Réponse :** Le prothalle mâle est le grain de pollen, le prothalle femelle est le sac embryonnaire, le macrosporange est l'ovule et le microsporange est le sac pollinique.

**33- Pourquoi parle-t-on - de la double fécondation chez les Spermatophytes ?**

**Réponse :** Chez les Spermaphytes, il y a une fusion d'un anthérozoïde avec l'oosphère, donnant l'œuf principal et une fusion de l'autre anthérozoïde avec les noyaux du sac embryonnaire constituant l'œuf accessoire. Ce sont ces deux fusions qui constituent ce qu'on appelle la double fécondation chez les spermatophytes.

**34- Comment appelle-t-on les œufs (ou zygotes) obtenus à l'issue de double fécondation ? Et que deviennent-ils ?**

**Réponse :** Les deux zygotes se nomment :- zygote principal qui devient l'embryon ou future plantule et le zygote accessoire ou albumen qui devient l'albumen.

**35- Comparez l'équipement chromosomique (ou la ploidie) de l'œuf principal ou embryon et de l'œuf accessoire ou albumen.**

**Réponse :** L'œuf principal ou embryon est une cellule diploïde à 2n chromosomes. Tandis que l'œuf accessoire ou albumen est une cellule triploïde à 3n chromosomes.

**36-Comment appelle-t-on le passage de la fleur au fruit ?**

**Réponse:** Le passage de la fleur au fruit s'appelle fructification.

**37- Quel est le phénomène qui déclenche ce processus ?**

**Réponse :** Le phénomène qui déclenche ce processus est la fécondation.

**38- Certaines plantes sont hermaphrodites, c'est-à-dire le même pied produit à la fois les gamètes mâles et les gamètes femelles. D'autres sont à sexes séparés, c'est-à-dire possède des pieds mâles et des pieds femelles. Comment désigne-t-on ces deux groupes de plantes ?**

**Réponse :** Ces deux groupes sont désignés par :- les plantes hermaphrodites, qui produisent à la fois des gamètes maies et femelles sont dites **monoïques** ; les plantes à sexes séparés sont dites **dioïques**.

**39- Que signifie pollinisation ?**

**Réponse :** La pollinisation signifie transport et dépôt du grain de pollen de l'anthère sur le stigmate de la fleur d'une même espèce.

**40- En quoi consistent ces différentes pollinisations :**

**pollinisation anémophile ?**

- **pollinisation entomophile ? -pollinisation artificielle ?**

**Réponses :**

- la pollinisation anémophile est une pollinisation assurée par le vent ;
- la pollinisation entomophile est une pollinisation assurée par les insectes ;
- la pollinisation artificielle est une pollinisation assurée par l'homme.

**41- Qu'est-ce que la germination de la graine?**

**Réponse :** la germination est le passage de la graine de la vie ralentie à la vie active.

**42- Dans certaines germinations, les cotylédons restent dans le sol et d'autres, les cotylédons sont soulevés au-dessus du sol. Comment qualifie-t-on chacune de ces germinations ?**

**Réponses :**

- la germination au cours de laquelle les cotylédons restent dans le sol est dite hypogée. Par contre, la germination au cours de laquelle les cotylédons sont soulevés au-dessus du sol est dite épigée.

**43-Dans une plantule : Réponses :**

**a)- Quelle est l'origine de l'axe hypocotylé ?**

a)- C'est la tige.

**b)-Quelle est l'origine de l'axe épicotylé ?**

b)- C'est la gemmule.

**44- Citez trois(3) aspects physiologiques de la germination de la graine.**

**Réponse :** Ce sont : hydratation (absorption d'eau), digestion (assimilation des substances nutritives) et la respiration (échanges gazeux respiratoires).

**45- Citez les conditions internes et externes de la germination de la graine.**

**Réponse :**

- les conditions internes sont : mure, saine, tégument, perméable à l'eau et à l'oxygène;
- les conditions externes sont : température favorable, lumière indispensable sans inhibiteur chimique, aération du sol, humidité du sol.

**46- Qu'appelle-t-on longévité de la graine ?**

**Réponse :** On appelle longévité, la durée du pouvoir germinatif de la graine.

**47- Quels sont les facteurs de la longévité de la graine ?**

**Réponse :** la longévité de la graine dépend : des téguments de la graine et de la nature chimique des réserves qui sont plus ou moins oxydables.

**48- Qu'est-ce qu'une graine ?**

**Réponse :** Chez les végétaux Spermaphytes, une graine est un organe résultant de la transformation de l'ovule après fécondation. Elle est formée d'un embryon et des réserves de matières organiques (albumen, cotylédon et téguments).

**49- Donnez le rôle de chacune des différentes parties de la graine : embryon, albumen, cotylédon et tégument.**

**Réponses :**

- l'embryon se développe et donne nouvelle plantule qui assure la reproduction ;
  - l'albumen et les cotylédons sont des réserves nutritives de la graine ;
- les téguments assurent la protection de la graine.

**50- Citez les différents types de graines.**

**Réponse :**

- les graines à albumen (ex. le grain de blé) ; les graines sans albumen (ex. le grain de haricot) et les graines à périsperme (ex. le Nénuphar).

**51- Le grain de pollen et l'ovule des spermatophytes ont-ils leurs homologies dans l'appareil reproducteur chez les mammifères ? Justifiez votre réponse.**

**Réponse :** Non, parce que le grain de pollen est un gamétophyte maie et l'ovule est un macrosporange des spermatophytes.

**52- Faites correspondre à chaque pièce reproductrice maie, son homologue femelle.**

**Réponses :** Pièce reproductrice maie. Pièce reproductrice femelle.

- Etamine → Carpelle.
- Anthère → Ovaire.
- Sac pollinique → Ovule.
- Androcée → Gynécée ou pistil.
- Anthérozoïde → Oosphère.
- Microspore → Macrospore.
- Grain de pollen → Sac embryonnaire
- Cellule Sporogène male → Cellule sporogène femelle.
- Cellule mère de grain de pollen → Cellule mère de sac embryonnaire.

**53- Que révèle une coupe de l'anthère ; de l'ovaire chez les Spermaphytes ?**

**Réponse :** Une coupe de l'anthère chez les Spermaphytes montre qu'il est formé des Sacs polliniques. Dans chaque sac pollinique on trouve les cellules mères des grains de pollen. Une coupe de l'ovaire chez les spermaphytes montre qu'il est formé des ovules. Un ovule contient le nucelle et dans le nucelle on trouve un sac embryonnaire.

**54- Expliquez le déroulement de la microsporogenèse et de la macrosporogenèse chez les végétaux.**

**Réponse :** La Microsporogenèse est la formation des grains de pollen. Elle se déroule dans le sac pollinique à partir d'une cellule mère diploïde qui subit la méiose pour donner 4 microspermes disposés en tétrades et appelés tétra spores. Chaque microspore subit une mitose de son noyau et devient une cellule haploïde à 2 noyaux (noyau reproducteur et noyau végétatif) appelée grain de pollen.

La Macrosporogenèse est la formation du sac embryonnaire à partir d'une cellule mère diploïde contenue dans le nucelle. Elle subit la méiose pour donner 4 cellules haploïdes appelées macrospores dont 3 vont dégénérer, le noyau de la macrospore restant va subir 3 mitoses successives pour donner 8 noyaux haploïdes organisés en 7 cellules formant le sac embryonnaire.

**55- Comment se déroule la double fécondation chez les Spermaphytes ?**

**Réponse :** La double fécondation chez les spermaphytes se déroule de la manière suivante : aux conditions favorables, le grain de pollen déposé sur le stigmate du carpelle germe en émettant un tube pollinique dans lequel se forment les 2 gamètes mâles ou anthérozoïdes. Le tube pollinique s'allonge, traverse le style et arrive au contact du sac embryonnaire. Dans le sac embryonnaire, le 1<sup>er</sup> anthérozoïde féconde l'oosphère et donne une cellule œuf à 2n chromosomes qui va se développer pour donner l'embryon. Le 2<sup>eme</sup> anthérozoïde fusionne avec les noyaux du sac embryonnaire pour donner un œuf à 3n chromosomes appelé œuf accessoire qui va se développer pour donner l'albumen riche en substances nutritives

**56-Citez les conséquences de la double fécondation chez les spermaphytes.**

**Réponse :** Les conséquences de la double fécondation sont :

- l'ovule fécondé se transforme en graine ; -l'œuf principal donne l'embryon ;
- l'œuf accessoire forme l'albumen ;
- les synergides et les antipodes dégénèrent, les pièces florales se fanent et tombent ;
- L'ovaire se transforme en fruit.

### **57- Donnez la classification des ovules chez les spermaphytes.**

**Réponse :** On distingue 3 types d'ovules chez les spermaphytes :

- les ovules droits ou orthotropes ;
- les ovules courbés appelés ovules campylotropes ;
- les ovules renversés appelés anatropes.

### **58- Expliquez les termes suivants : monoïque, dioïque, dicotylédone, monocotylédone, gymnosperme et angiosperme.**

**Réponses :** Explication des termes :

- Monoïque : Plantes ayant des fleurs mâles et fleurs femelles sur le même pied.
- Dioïque : Plante possédant les fleurs mâles et fleurs femelles sur des pieds séparés.
- Dicotylédone : Plante donnant des grains à deux cotylédons.
- Monocotylédone : Plante donnant les grains possédant un seul cotylédon.
- Gymnosperme : Plante possédant des ovules non enfermés dans un fruit.
- Angiosperme : Plante ayant des ovules enfermés dans un fruit.

### **59- Quelle est la différence entre l'ovule animal et l'ovule végétal ?**

**Réponse :** La différence en est que l'ovule animal est un véritable gamète femelle alors que l'ovule végétal n'est pas un véritable gamète femelle mais il le contient : l'oosphère.

### **60- Dégagez la différence entre graine et grain.**

**Réponse :** une graine est un organe des plantes provenant de la transformation de l'ovule après fécondation. Elle contient un embryon provenant de l'œuf principal et qui est à l'origine d'une nouvelle plante.

**Exemple :** la graine de haricot, de blé, de maïs, etc.

Par contre, un grain est un petit corps sphérique ressemblant à un grain ou élément minuscule de la matière.

**Exemple :** le grain de sable, grain de pollen, grain de blé, grain de beauté, grain de haricot, etc.

### **61- Citez les différents types de fruits des Angiospermes.**

**Réponse :** On distingue deux types de fruits des Angiospermes :

- les **Akènes** ou fruits secs indéhiscents à un seul grain,
- les **Drupes** ou fruits charnus à noyau tel que la mangue.

## **TROISIEME PARTIE : LA COMMUNICATION DANS L'ORGANISME**

Les relations entre l'individu et son environnement utilisent les mécanismes d'origine nerveuse et hormonale qui assurent la transmission de l'information dans l'organisme.

### **CHAPITRE 11 : LA COMMUNICATION NERVEUSE**

#### **I- L'organisation du système nerveux et ses propriétés**

##### **I.1)l'organisation du système nerveux**

Le système nerveux comprend :

➤ Le système nerveux central (ou névraxe) formé de la moelle épinière logée dans le canal médullaire et de l'encéphale logée dans la boîte crânienne ;

➤ Le système nerveux périphérique formé par l'ensemble des nerfs et des ganglions qui relient le système nerveux central aux organes périphériques ou internes soit sensitifs (peau) soit moteurs (muscles).

Le système nerveux précède au fonctionnement de tous les appareils. La communication par message nerveux utilise un réseau des cellules nerveuses ou neurone.

## I.1.1) Le neurone

### 1) La structure d'un neurone

Le neurone est l'unité fonctionnelle du système nerveux.

C'est une cellule très particulière faite d'une masse cytoplasmique appelée corps cellulaire contenant le noyau, des prolongements cytoplasmiques généralement courts et ramifiés appelés dendrites et d'un axone souvent très long présentant des collatérales et des arborisations terminales.

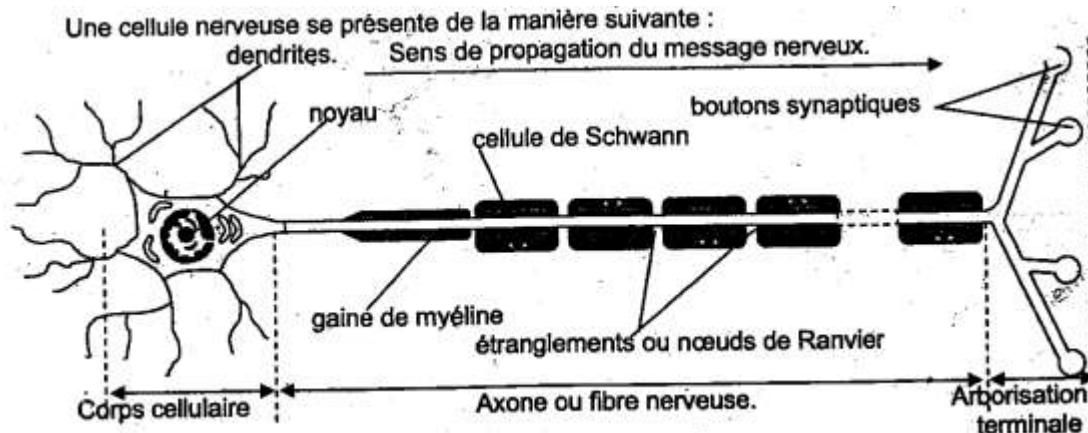


Schéma annoté d'un neurone

### 2) Les différentes formes de neurone

D'après le nombre et la disposition des dendrites, on distingue plusieurs sortes de neurones :

- Les neurones multipolaires (moelle épinière) ;
- Les neurones unipolaires (ganglions rachidien) ;
- Les neurones bipolaires (rétine) ;
- Les neurones pyramidaux (cortex cérébral).

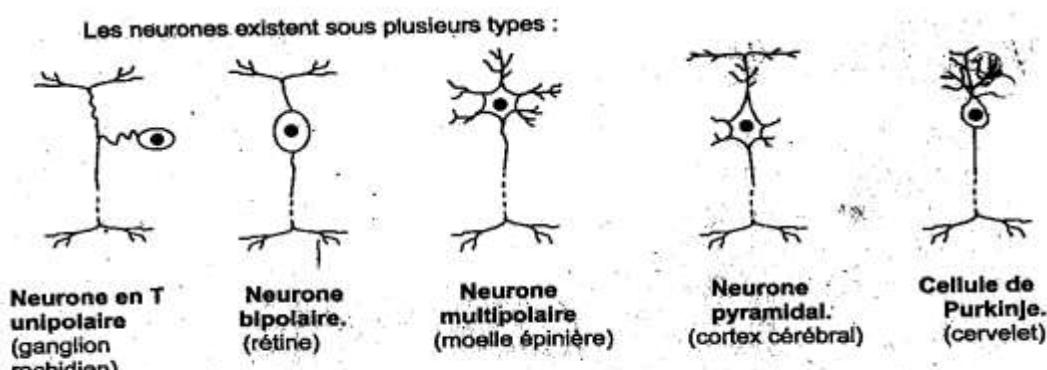


Schéma des différentes sortes de neurones

Le tissu nerveux présente deux propriétés essentielles :  
- l'excitabilité,  
- la conductibilité.

**Remarque :** Le neurone est une cellule différenciée qui a perdu le pouvoir de se diviser. A la naissance, l'homme possède déjà la totalité de ses neurones et, si tous ne sont pas en état de fonctionner, c'est que la myélinisation des fibres est inachevée et que les dernières ramifications des dendrites ne sont pas encore développées. Si à la suite d'un accident ou d'une maladie, un certain nombre de neurone est détruit, la perte est irréparable (irréversible). De toutes les cellules de l'organisme, le neurone est la plus sensible à l'interruption de la circulation artérielle.

**Exemple :** après quatre (4) minutes de manque d'oxygène, les neurones de l'écorce cérébral peuvent arrêter de fonctionner (anoxie).

## **I.2)Etude du tissu nerveux**

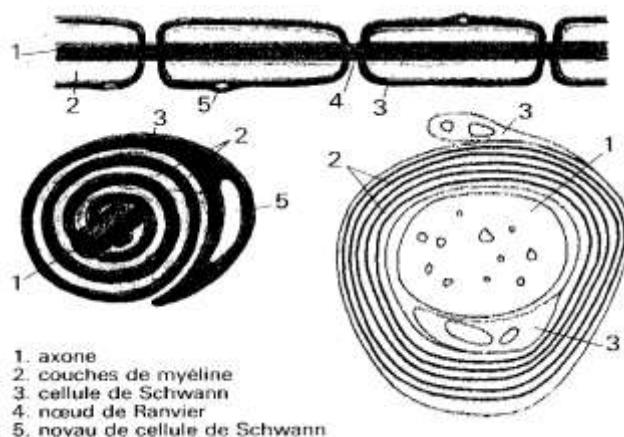
On appelle tissu nerveux, l'ensemble des cellules et leurs annexes qui forment les centres nerveux et les nerfs.

Un nerf contient dans son enveloppe conjonctive résistante des faisceaux des fibres nerveuses. Chaque faisceau est entouré à son tour d'une gaine conjonctive. A l'exception des nerfs orthosympathiques, les nerfs sont formés des fibres blanches. Chacune de ces fibres contient le cylindraxe (axone) entouré d'un manchon blanc appelé myéline. La myéline est une substance de nature lipidique qui est recouverte elle-même par la gaine de Schwann. On distingue deux types de fibres :

- Les fibres à myéline ;
- Les fibres sans myéline.

### **I.2.1)Les fibres a myéline**

Les fibres à myéline sont les plus nombreuses et volumineuses. Chaque fibre contient un axone central (cylindraxe) entouré d'une gaine de myéline. Dans le sens de la longueur, la gaine de myéline est interrompue de place en place par des étranglements de **Ranvier** ou **Nœud de Ranvier** qui contient parfois des collatérales. Les étranglements de **Ranvier** sont séparés par des intervalles de quelques millimètres (mm).



**Schéma d'une fibre nerveuse**

**NB :** La myéline possède les propriétés d'un isolant électrique.

### **I.2.2)Les fibres sans myéline**

Elles ne possèdent qu'une seule gaine. C'est-à-dire la gaine de **Schwann** et elles appartiennent en général aux nerfs du système neurovégétatifs.

### **I.2.3)La substance grise**

La substance grise du neurone contient les corps cellulaires, des dendrites et des portions de neurone non entourées de gaine de **Schwann**. Certains neurones courts sont entièrement contenus dans la substance grise.

## **I.3)Le fonctionnement du neurone**

Les neurones sont des cellules nerveuses pourvues d'un long prolongement qui transmet très rapidement le message nerveux (influx nerveux) et établit la communication à l'intérieur de l'organisme. Les différentes parties du neurone sont spécialisées pour la réception, la conduction et la transmission du message nerveux (influx nerveux).

Chaque neurone apparaît dans le tissu nerveux comme une unité anatomique en liaison avec les autres unités voisines au niveau des points de contact appelés synapses.

### **a)Les synapses**

Les synapses sont des points de contact entre deux neurones ou plusieurs. Lors d'une excitation,

l'information nerveuse (ou message nerveux) arrive au niveau des synapses et provoque l'ouverture des vésicules synaptiques visibles au microscope électronique. Ces vésicules libèrent une substance à rôle neurotransmetteur. Cette substance est captée par des sites récepteurs du 2<sup>e</sup> neurone (molécules protéïniques intégrée à la membrane). Ainsi, la perméabilité aux ions se trouve donc modifier. Le mécanisme déclenche un message nerveux (influx nerveux) qui peut se propager d'un neurone à l'autre dans le sens axone - dendrites. C'est-à-dire axone arborisation terminale - dendrite. Le sens inverse est impossible. Le passage de l'influx nerveux d'un neurone à l'autre demande environ 0.5ms. Ce temps est appelé délai synaptique. On distingue plusieurs sortes de synapses :

- Synapses : neurone > neurone ;
- Synapses : neurone > fibre ;
- Synapses : neurone > cellules glandulaire.

1. Arrivée du potentiel d'action au niveau de la synapse;

2. entrée massive d'ions  $\text{Ca}^{2+}$  à travers la membrane présynaptique;

3. libération par exocytose, dans la fente synaptique, d'un certain nombre de molécules de neurotransmetteur (ici l'acétylcholine), stockées jusque-là dans des vésicules du cytoplasme axonique;

4. fixation des molécules d'acétylcholine sur des canaux à  $\text{Na}^+$  de la membrane postsynaptique (appelés récepteurs à acétylcholine), ce qui provoque leur ouverture;

5. entrée massive de  $\text{Na}^+$  qui déclenche la dépolarisation de la membrane postsynaptique;

6. naissance d'un potentiel d'action musculaire postsynaptique qui va se propager le long de la membrane de la fibre musculaire;

7. hydrolyse de l'acétylcholine, fixée sur les récepteurs postsynaptiques, par une enzyme, l'acétylcholinestérase, présente à forte concentration dans la fente synaptique et fermeture des canaux à  $\text{Na}^+$  chimiodépendants;

8. recapture par la terminaison présynaptique de la choline libérée par l'hydrolyse (la choline peut ainsi servir à la synthèse de nouvelles molécules d'acétylcholine).

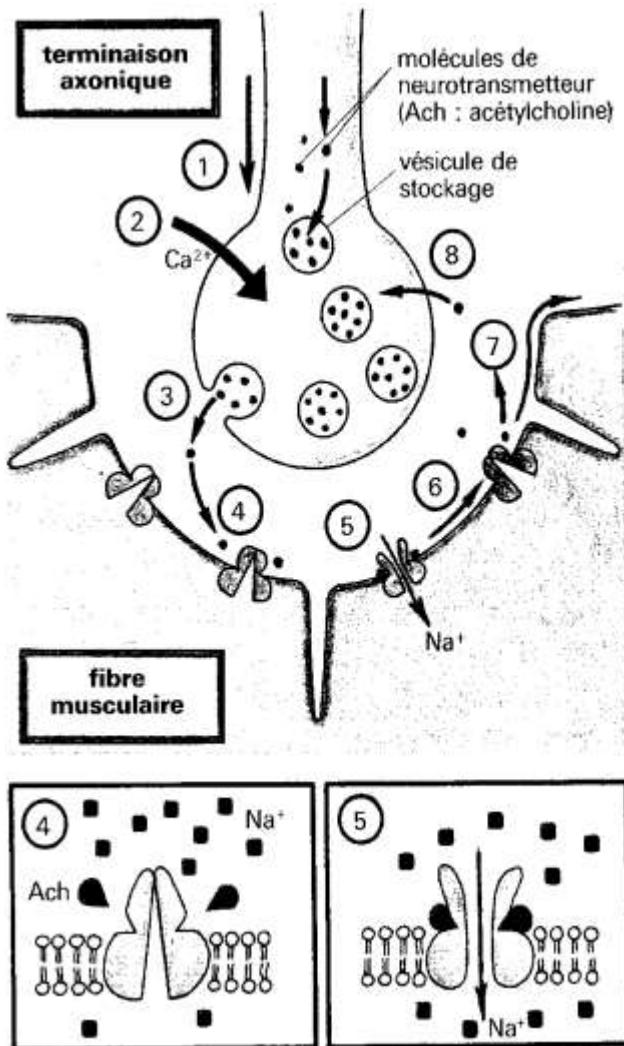


Schéma d'un fonctionnement d'une synapse neuromusculaire

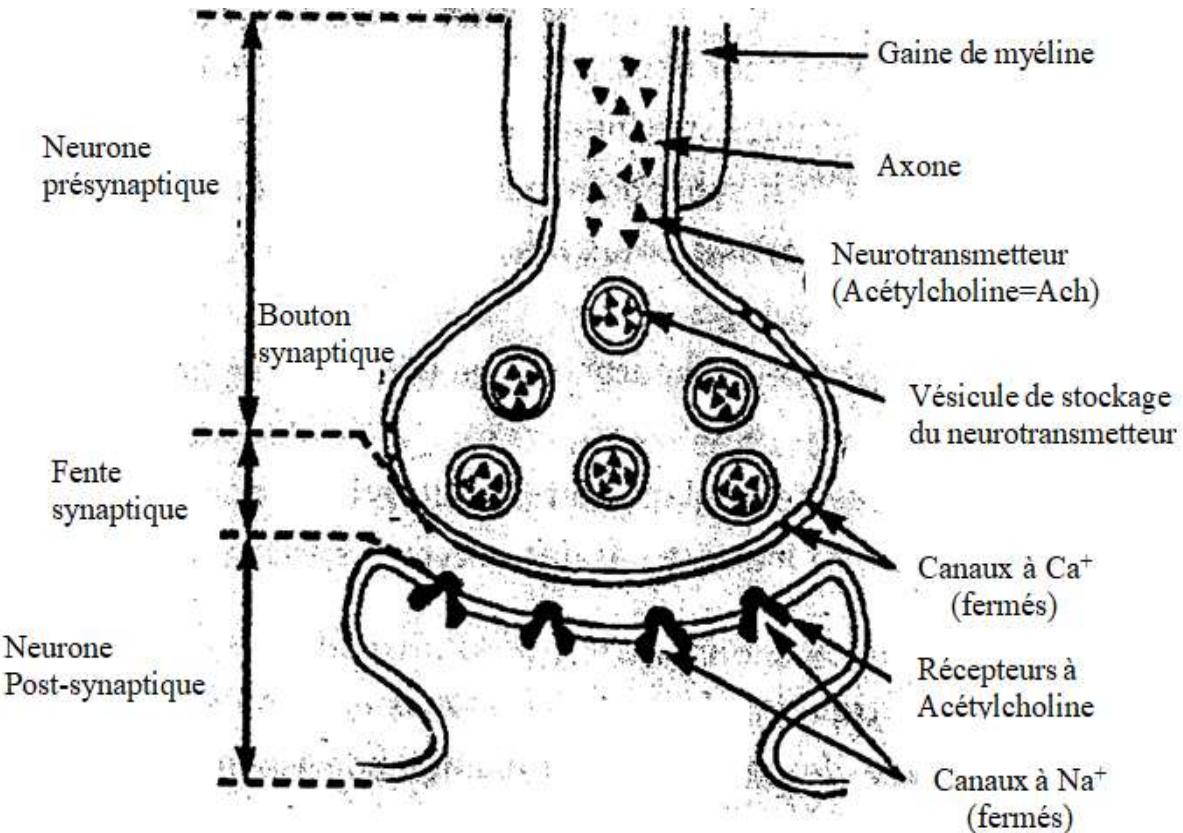


Schéma du détail d'une synapse neuro-neuronique

Toutes les synapses neuromusculaires et neuro-glandulaires sont chimiques alors que les synapses à transmission électriques sont généralement des synapses neuro-neuroniques. Au niveau d'une synapse électrique les membranes des deux éléments sont en contact.

## II-Les propriétés du tissu nerveux

Le tissu nerveux présente deux propriétés essentielles :

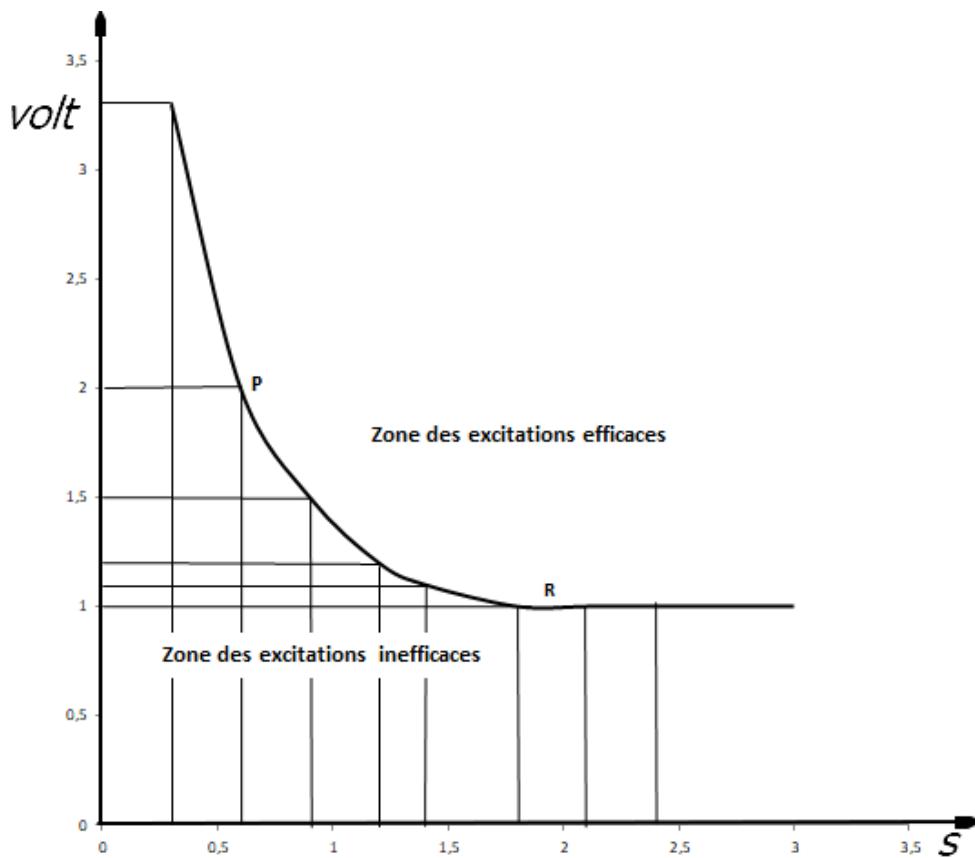
- L'excitabilité ;
- La conductibilité.

### a)Mise en évidence de ces propriétés

- Si à une grenouille décérébrée et démodulée, on dégage le muscle gastronomien et le nerf sciatique qui lui correspond, puis sur ce nerf, on a porté L'intensité ;
- La durée d'excitation.

Ainsi, on peut construire la courbe d'excitabilité en fonction de la durée d'excitation en milliseconde (ms). **Tracée de courbe**

<b>f(ms)</b>	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3
<b>I(V)</b>	3,3	2	1,5	1,2	1,1	1	1	1	1	1



**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 2s 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.)

### b) Définition des termes

- ❖ **La chronaxie** : La chronaxie est le temps minimum d'application d'une stimulation efficace dont l'intensité est égale au double de la Rhéobase ;
- ❖ **La rhéobase** : La Rhéobase est le seuil de stimulation ;
- ❖ **Le temps utile** : C'est le temps minimum d'application d'une stimulation d'intensité seuil pour faire naître un message nerveux.

Il faut noter que tous les points situés au-dessus du seuil d'excitation sont appelés excitations supraliminaires, tandis que ceux situés en dessous sont dits excitations infraliminaires.

### c) La conductibilité

#### c.1) influx nerveux

On appelle influx nerveux, une perturbation membranaire produite au point d'excitation et se propage le long du nerf jusqu'au muscle qui réagit. La conductibilité nerveuse est la propriété qu'ont les cellules nerveuses (par exemple le nerf) de conduire l'influx nerveux. Cette conductibilité varie en fonction de plusieurs

paramètres :

- Du diamètre de la fibre : la vitesse de propagation est d'autant plus grande que le diamètre de la fibre est grand ;
- Du type de la fibre : fibre myélinisée ou fibre myélinisée :
  - ❖ Pour une fibre myélinisée, la conduction de l'influx nerveux (message) est plus rapide. Car, les charges électriques se déplacent par saut d'un étranglement de **Ranvier** au suivant. On dit que la conduction de l'influx nerveux dans la fibre myélinisée est saltatoire ;
  - ❖ Pour une fibre à myélinisée ou sans myéline/la conduction du message nerveux (influx) est lente. Car, les charges électriques se déplacent de proche en proche grâce à des courants locaux.

On dit une excitation électrique efficace, on constate que le muscle se contracte aussitôt. Cette réaction peut être Interprétée de la manière suivante :

1 - sous l'action du choc électrique, le nerf a subi une perturbation invisible. On dit qu'il est excitable ;

2 - cette perturbation a été conduite jusqu'au muscle qui s'est contracté. On dit que le nerf est conductible.

La perturbation subi par le nerf sous le choc électrique est appelée influx nerveux.

On distingue trois (3) sortes de nerfs :

- Les nerfs sensitifs ;
- Les nerfs moteurs ;
- les nerfs mixtes (nerf sciatique).

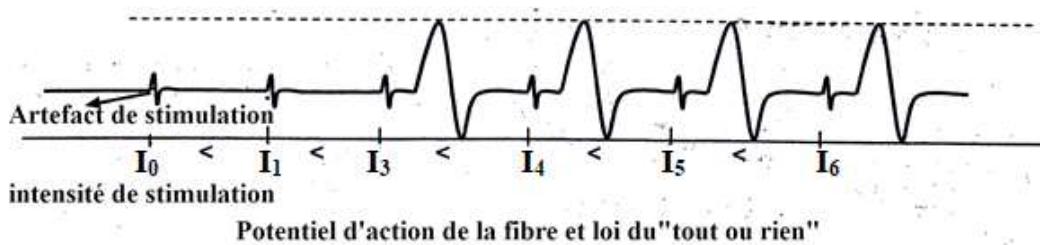
#### e) L'excitabilité

L'excitabilité est une propriété commune à toutes les cellules vivantes. Elle est liée à un certain état électrique de la membrane plasmique appelé potentiel membranaire ou potentiel de repos. Ce potentiel de repos peut être mis en évidence sur une fibre ou un nerf isolé.

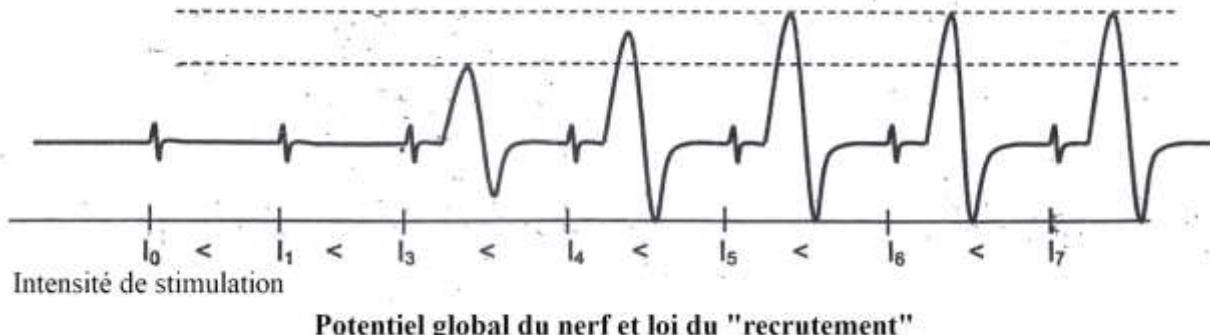
#### Expérience :

Le nerf ou la fibre peut être excité (e) si on le (la) stimule avec un excitant. Il existe une valeur minimale de l'intensité de l'excitant en dessous de laquelle, la fibre ou le nerf n'est pas excité (e) quel que soit le temps de stimulation. C'est le seuil de stimulation ou Rhéobase. Une fois le seuil d'excitation atteint, le potentiel d'action d'une fibre isolée présente toujours la même amplitude. C'est-à-dire d'emblée maximale. On dit que la fibre obéit à la "loi de Tout ou Rien". Si l'excitation est portée sur un nerf au-delà du seuil (Rhéobase), l'amplitude du potentiel d'action augmente jusqu'à une valeur limitée où elle reste constante quel que soit l'intensité d'excitation. Puisque le nerf est constitué des fibres ou dit qu'en ce moment toutes les fibres nerveuses qui composent le nerf sont excitées. Le nerf obéit donc à la loi de recrutement ou "loi de sommation". Exemple des potentiels d'action

#### Cas d'une fibre nerveuse



## Cas d'un nerf



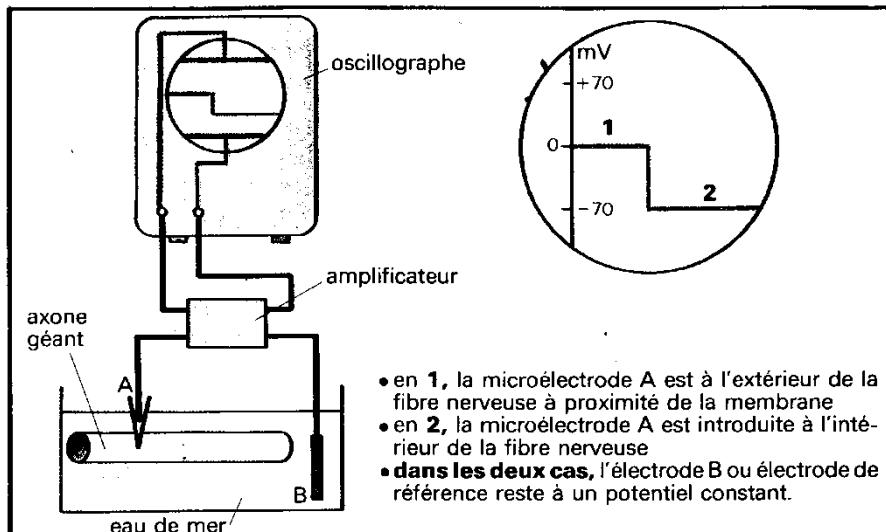
**Remarque:** En maintenant l'intensité de stimulation à une valeur supérieure à la Rhéobase et en faisant varier la durée de l'excitation/on constate que pour des temps très courts, il n'y a pas de réponse. L'excitation du nerf dépend de deux (2) paramètres : la conduction dans une fibre sans myéline est de proche en proche.

### II.1) Le potentiel de repos

#### 1) Mise en évidence

##### ❖ Dispositif expérimental

Enfoncée à l'intérieur d'une fibre nerveuse grâce à un micromanipulateur, une microélectrode reliée à un oscilloscopie très sensible (fig. 2) permet de mettre en évidence une polarisation électrique de la membrane cellulaire, sa face interne étant électronégative par rapport à sa face externe. Cette différence de potentiel, d'environ 70 mV entre les deux faces de la membrane de la fibre nerveuse «au repos», est appelée potentiel de repos de la membrane, ou plus simplement, potentiel de membrane.



La différence de potentiel observée entre l'électrode A et l'électrode B, à partir de l'instant où la microélectrode A traverse la membrane de la fibre nerveuse, est appelée potentiel de membrane.

Pour cette étude, on utilise deux (2) électrodes impolarisables appliquées l'une à la surface et l'autre à la section. Ces électrodes sont reliées au galvanomètre très sensible : Une des bornes du galvanomètre liée à une électrode est piquée dans la section du nerf, l'autre borne à une autre électrode avec laquelle on touche la surface du nerf. Lorsque la 2<sup>e</sup> électrode touche la surface du nerf, l'aiguille du galvanomètre dévie. Cette déviation indique le passage de courant allant de la surface du nerf vers la section.

### Conclusion

Ces faits expérimentaux traduisent l'existence d'une différence de potentiel entre la surface et la section. Cette différence de potentiel ( $\Delta\Delta P$ ) est de l'ordre de 70mV. Elle est

appelée potentiel de repos. Le sens de courant de repos indique que la surface des cellules nerveuses est chargée positivement et la surface interne négativement. On dit que la membrane de ces cellules est polarisée. C'est pourquoi on parle aussi du potentiel membranaire.

### Interprétation

Des études ont montré que cette polarisation membranaire est due à la répartition inégale des ions de part et d'autre de la membrane plasmique. C'est-à-dire les ions  $\text{Na}^+$  (sodium) et  $\text{Cl}^-$  (chlore) sont plus concentrés à l'extérieur de la membrane, alors que les ions  $\text{K}^+$  (potassium) et  $\text{Pr}^-$  (protéinates) sont dominants à l'intérieur.

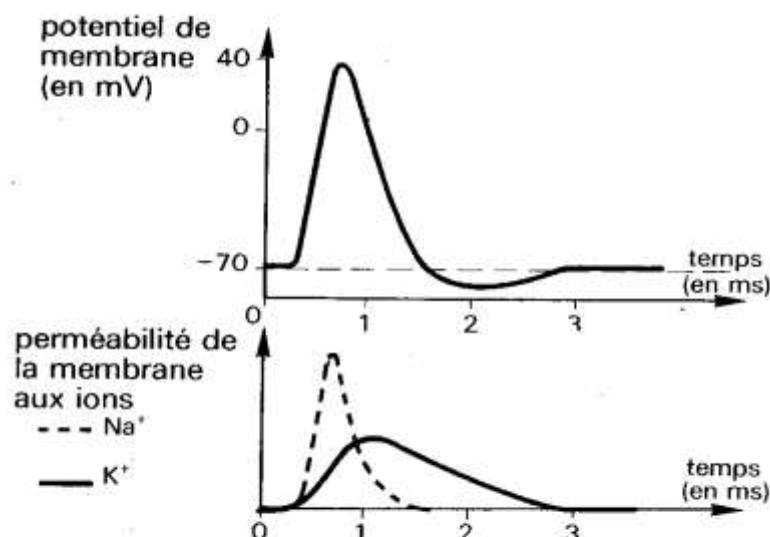
D'autre part, des expériences ont permis d'établir que la membrane plasmique est perméable aux ions  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$ . Au repos elle est plus perméable à  $\text{K}^+$  et peu perméable à  $\text{Na}^+$ . Il en résulte le passage presque exclusif des ions  $\text{K}^+$  à l'extérieur d'où la charge positif à la surface de la membrane.

### II.2) Potentiel d'action

#### a) Interprétation ionique

Au moment de l'excitation, les flux (migration ou déplacement) des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  sont modifiés, on note une entrée plus massive de  $\text{Na}^+$  qui entraîne une inversion de la polarisation. Après une courte période, une sortie compensatrice de  $\text{K}^+$  permet la repolarisation. A la fin de potentiel d'action, les concentrations initiales des ions  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$  vont être ramenées aux valeurs initiales par une expulsion des ions  $\text{Na}^+$  et une entrée des ions  $\text{K}^+$  grâce à la pompe sodique et potassique.

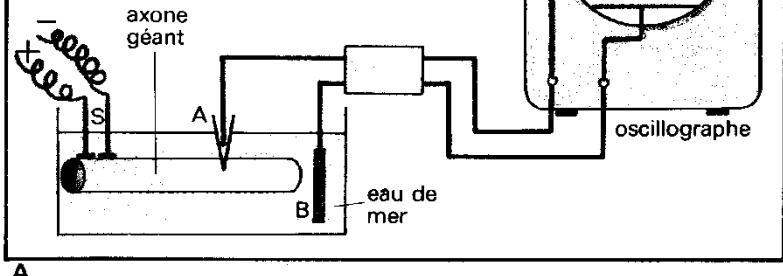
La perturbation créée au point excité et qui se propage le long de la fibre ou du nerf est appelée potentiel d'action.



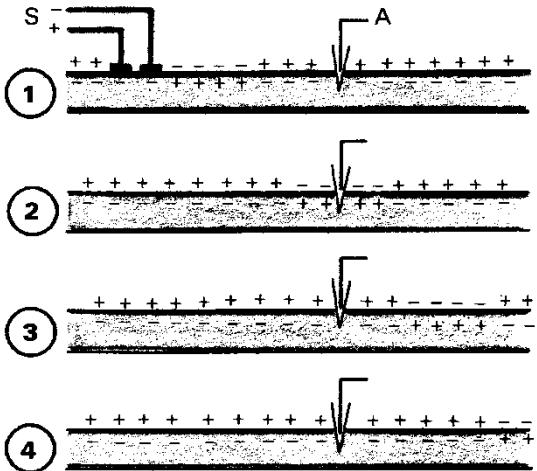
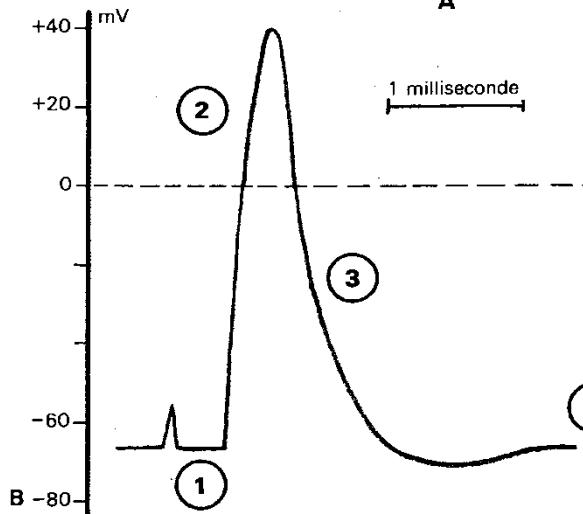
**Lors d'un potentiel d'action, l'inversion de polarisation de la membrane est associée à une variation de perméabilité de cette membrane aux ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ .**

## Le potentiel d'action

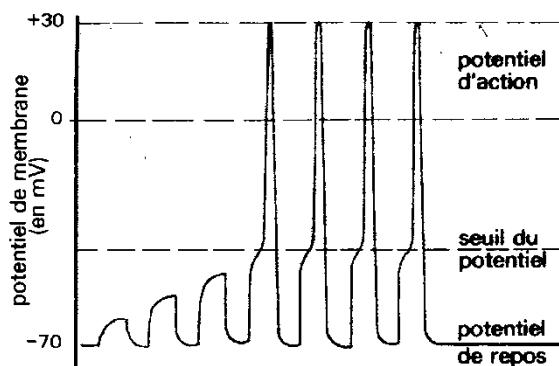
S : électrodes stimulatrices  
 A : microélectrode  
 B : électrode de référence



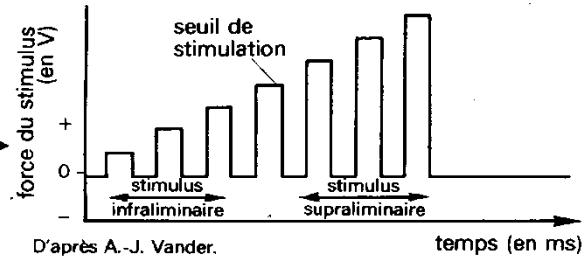
Le potentiel d'action correspond à une inversion de la polarisation entre les deux faces de la membrane de la fibre nerveuse.  
**A** – Dispositif d'enregistrement.  
**B** – Enregistrement et son interprétation.



Lorsqu'une fibre nerveuse est stimulée électriquement l'enregistrement obtenu sur l'écran de l'oscilloscope montre, au niveau de la microélectrode réceptrice, le passage d'un signal nerveux ou **potentiel d'action** qui se manifeste par une inversion temporaire de la polarisation membranaire de repos. Le potentiel de la face interne de la membrane passe brusquement de  $-70\text{ mV}$  à  $+40\text{ mV}$ . Ce potentiel d'action qui est la réponse de la fibre nerveuse à la stimulation a toujours la même amplitude (une centaine de mV environ) quelle que soit l'intensité de la stimulation, à condition que celle-ci ait dépassé une **valeur seuil**. Le potentiel d'action obéit à la loi du «tout ou rien».



Les potentiels d'action ne peuvent naître que si l'intensité du stimulus atteint (ou dépasse) une valeur seuil appelée intensité liminaire. On dit que la naissance d'un potentiel obéit à la loi du «tout ou rien» : pourquoi ?



D'après A.-J. Vander.

## **CHAPITRE 12 : COMMUNICATION HORMONALE**

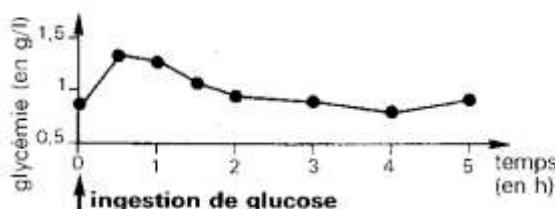
### **I-Régulation de la glycémie**

**La glycémie** est la concentration de glucose dans le sang en  $\text{g.L}^{-1}$  de plasma sanguin à jeun.

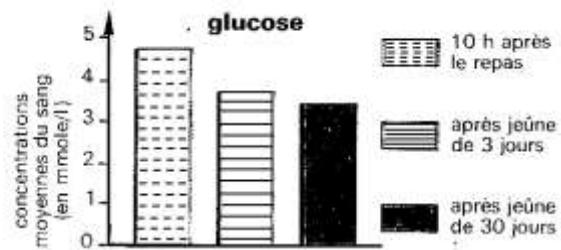
**La régulation** est une action permettant le maintien d'un paramètre physiologique à une valeur constante (exemple : la température corporelle).

Chez un individu sain **la glycémie oscille faiblement autour de 1  $\text{g.L}^{-1}$**  de plasma à jeun. Si on provoque une forte variation de la glycémie (jeun, repas) cette valeur est rapidement de retour à la valeur habituelle.

On peut dire que **la glycémie est régulée**.



Un homme normal ingère 100 g de glucose. Des dosages du glucose sanguin sont réalisés pendant plusieurs heures après l'ingestion.



Des dosages de la glycémie sont effectués chez un sujet maintenu en état de jeûne prolongé.

Cet homéostat glycémique doit être obligatoirement réglé car **le glucose est indispensable aux cellules** de l'organisme, c'est un métabolite nécessaire aux réactions métaboliques productrices d'énergie.

Il existe des cellules ne pouvant utiliser que **le glucose comme source d'énergie**, on parle de **glucodépendance** (exemple : les hématies, les neurones).

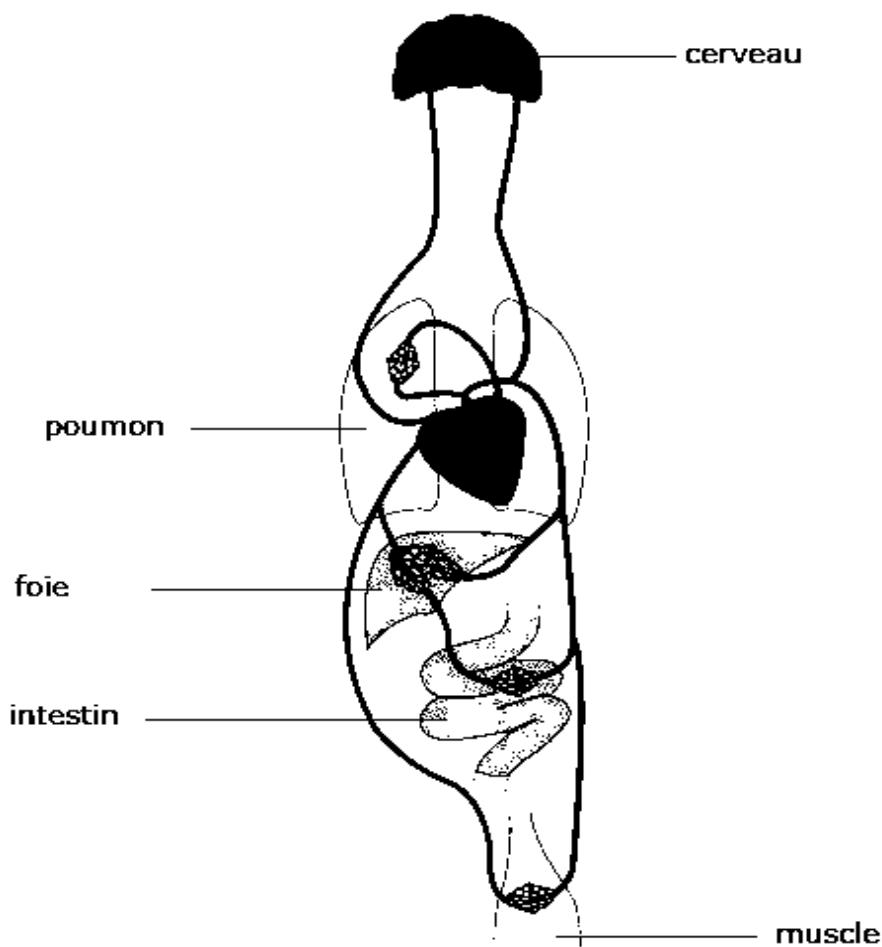
L'hypo- et l'hyper-glycémie sont donc des **pathologies**.

### **II. Les échanges de glucose au sein de l'organisme**

#### **a. Le devenir du glucose**

Le glucose ingéré est **assimilé dans le sang** au niveau de l'intestin grêle. Il est ensuite **distribué à l'ensemble des organes** via la circulation sanguine.

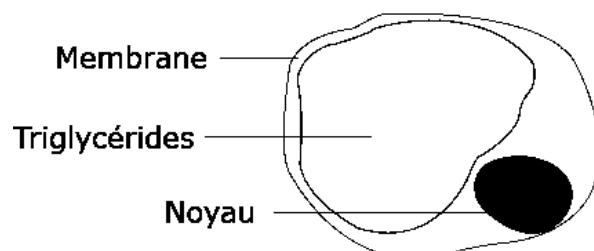
Cependant, une partie du glucose peut être prélevée par le foie qui occupe une place privilégiée dans la circulation entre l'intestin et les autres organes.



Le foie stocke le glucose sous forme de **glycogène** (polymère de glucose) tout comme les muscles.

Cependant, les **adipocytes** (cellules des tissus adipeux) constituent d'autres réserves de glucose sous forme de triglycérides.

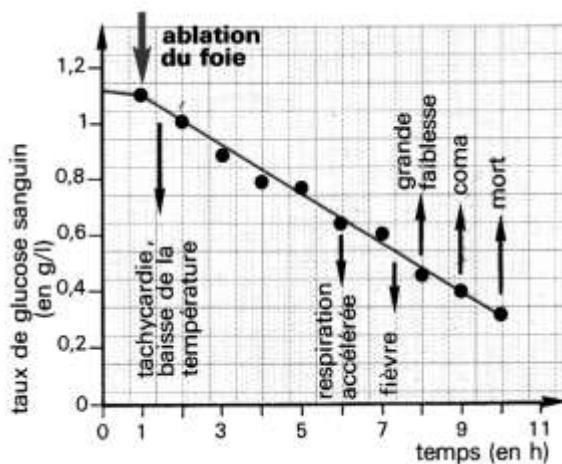
Le tissu adipeux est le principal **réservoir de substances énergétiques** mais seuls les **hépatocytes** (cellules du foie) sont capables de **restituer du glucose au sang**.



## b. Le rôle du foie

### Expériences d'ablation du foie

Un animal ayant subi l'ablation du foie ne survit que quelques heures; auparavant il manifeste divers troubles. La perfusion d'une solution glucosée, pratiquée lorsque l'animal est déjà en état de coma, permet un rétablissement spectaculaire; en 30 secondes, il sort du coma, le pouls et la respiration redeviennent normaux. Les troubles constatés immédiatement après ablation du foie sont donc la conséquence d'une hypoglycémie (le coma étant par exemple dû à l'hypoglycémie des cellules cérébrales). Le foie est nécessaire au maintien de la glycémie à sa valeur normale. Ce répit procuré par la mise sous perfusion glucosée ne dépasse pas 18 à 24 heures car le foie assure de nombreuses autres fonctions vitales.



Le foie est indispensable à l'organisme, toute ablation du foie provoque la mort.

On note qu'un sang hypo- ou hyper-glycémique passant par le foie retrouve une glycémie normale. On peut montrer qu'**un foie est un organe contenant du glucose en quantité importante**.

L'expérience « **du foie lavé** » de Claude Bernard démontre la **capacité du foie à produire du glucose**. Le glucose y est stocké sous forme de **glycogène**. Cette molécule est un **polymère de glucose**, il existe donc un mécanisme qui permet de **transformer les glucoses en glycogène et inversement** en fonction des besoins de l'organisme.

### 3 LES EXPÉRIENCES DE CLAUDE BERNARD

#### Premières observations

Claude Bernard recherche le devenir du glucose provenant de la digestion :

- un premier chien reçoit une alimentation sucrée; intestin et sang contiennent du glucose;
- un deuxième chien reçoit une alimentation sans sucre; il n'a pas de glucose dans l'intestin, par contre il en a dans le sang. Il n'en a pas dans la veine porte à la sortie de l'intestin mais en présente, «en aval du foie, dans les vaisseaux sus-hépatiques, dans la veine cave inférieure, dans le cœur droit et au-delà». Le foie sécrète donc du «glycose» (terme utilisé alors pour glucose).

#### L'expérience du foie lavé

En 1855 se situe la célèbre expérience du «foie lavé» que Claude Bernard décrit en ces termes :

«J'ai choisi un chien adulte, vigoureux et bien portant, qui depuis plusieurs jours était nourri de viande; je le sacrifiai 7 heures après un repas copieux de tripes.

Aussitôt, le foie fut enlevé, et cet organe fut soumis à un lavage continu par la veine porte...

... Je laissai ce foie soumis à ce lavage continu pendant 40 minutes; j'avais constaté au début de l'expérience que l'eau colorée en rouge qui jaillissait par les veines hépatiques était sucrée; je constatai en fin d'expérience que l'eau parfaitement incolore qui sortait, ne renfermait plus aucune trace de sucre...

... J'abandonnai dans un vase ce foie à température ambiante et, revenu 24 heures après, je constatai que cet organe que j'avais laissé la veille complètement vide de sucre s'en trouvait pourvu très abondamment»;

et C. Bernard conclut ainsi :

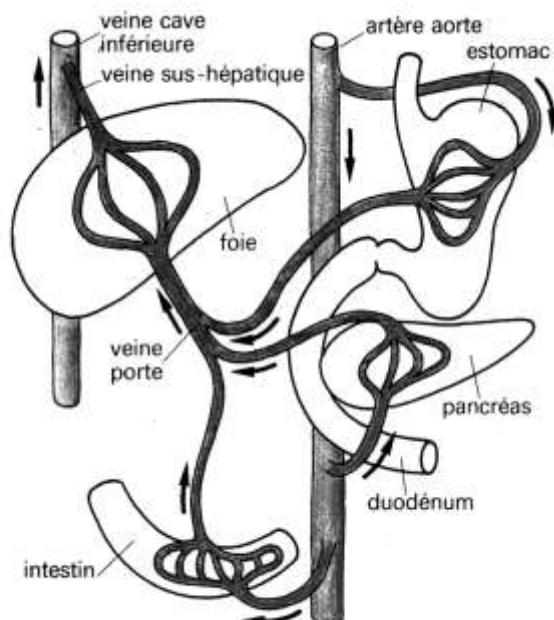
... «Cette expérience prouve que dans un foie frais, à l'état physiologique, c'est-à-dire en fonction, il y a deux substances :

- le sucre, très soluble dans l'eau, emporté par lavage;
- une autre matière assez peu soluble dans l'eau; c'est cette dernière substance qui, dans le foie abandonné à lui-même, se changea peu à peu en sucre.

Claude Bernard appelle cette substance la «matière glycogène».

1<sup>e</sup> Indiquez comment les deux premières observations ont permis à Claude Bernard de dégager la conclusion : «le foie sécrète du glucose».

2<sup>e</sup> Analysez les conditions de l'expérience du foie lavé. Comment interprétez-vous la libération de glucose observée par Claude Bernard dans cette expérience ?



#### c) Stockage et déstockage du glucose

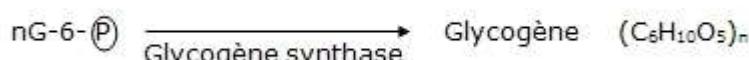
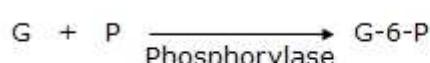
##### 1. Synthèse du glycogène (stockage du glucose)

Cette réaction biochimique peut s'effectuer dans le **foie et les muscles**.

Ce mécanisme se nomme la **glycogénogenèse**.

Elle permet d'éviter l'**hyperglycémie**.

**Glycogénogenèse :**

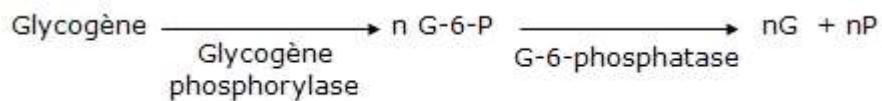


##### 2. La synthèse du glucose à partir du glycogène (déstockage du glucose)

Cette réaction est l'inverse de la précédente ; elle est appelée **glycogénolyse**.

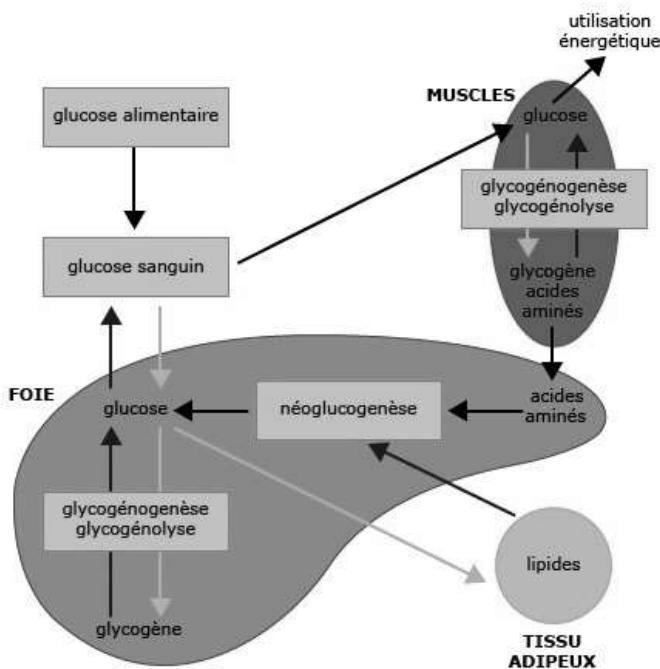
Le glucose néoformé est largué dans le sang. Elle ne s'opère que dans les **hépatocytes** quand l'organisme en fait la demande afin d'éviter l'**hypoglycémie**.

## Glycogénolyse :



G : glucose =  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$

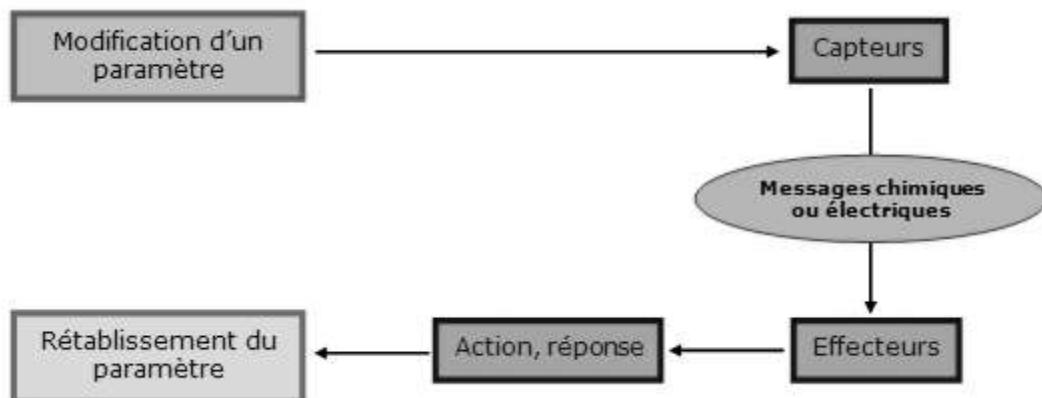
P : phosphate



### 3) La régulation de la glycémie

#### a) Principes généraux d'une régulation

Toute régulation fait de manière générale intervenir les acteurs suivants :



#### b) Rôles du pancréas

##### - Expérience

Lorsque l'on réalise une ablation du pancréas, on observe rapidement une hyper-glycémie.

Si on rétablit le pancréas grâce à une greffe au niveau de la circulation sanguine, la

glycémie redevient normale.

### Interprétation

On en déduit que le pancréas a pour fonction de réduire la glycémie, il agit via une substance transportée par le sang (certainement une hormone).

### Explications

Le pancréas est en fait une **glande double** :

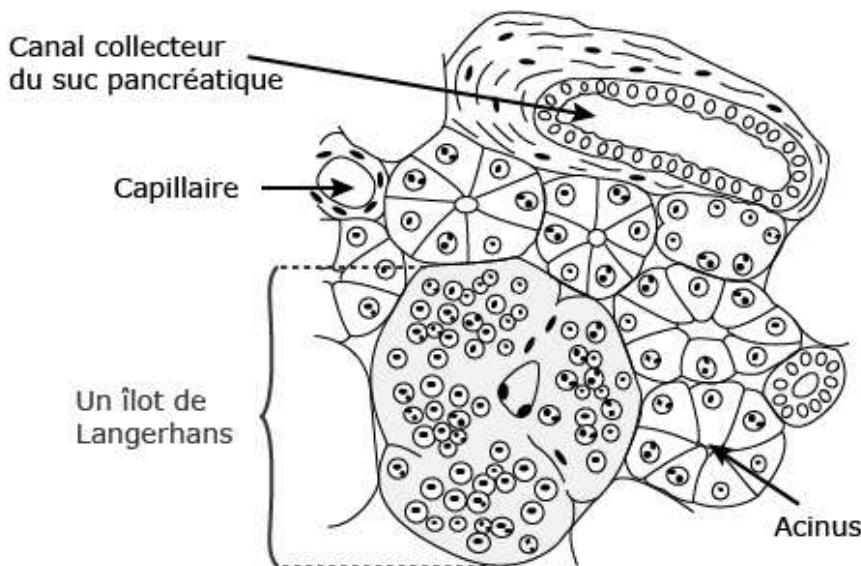
- C'est une **glande exocrine** qui **produit des sucs digestifs** (enzymes digestives) qui agissent lors de la digestion. Ces sucs sont produits par des cellules glandulaires regroupées en acini, ils sont déversés au niveau de canaux pancréatiques qui se regroupent pour former un canal de grande taille qui rejoint l'intestin grêle au niveau du duodénum.

- C'est une **glande endocrine** qui possède des cellules regroupées en amas : les **îlots de Langerhans**.

Ces cellules produisent 2 types de substances :

- Les **cellules alpha**, situées à la périphérie des îlots produisent du **glucagon** ;
- Les **cellules bêta**, situées au centre des îlots produisent de **l'insuline**.

Ces 2 substances sont des hormones qui agissent comme des messagers chimiques.



## Un îlot de Langerhans dans le parenchyme pancréatique

Une **hormone** est une substance biochimique produite par une glande endocrine et véhiculée par le sang agissant sur des cellules cibles.

L'**insuline**, produite par les cellules bêta, est libérée lorsqu'on observe une hausse de la glycémie, elle a une **action hypo-glycémiant**e.

Le **glucagon**, produit par les cellules alpha, est libéré lorsqu'on observe une baisse de la glycémie, il a une **action hyperglycémiant**e.

### c. Contrôle de la glycémie par les hormones pancréatiques

Les **cellules alpha et bêta** sont directement sensibles aux variations de la glycémie et remplissent donc le **double rôle** :

- de **détecteur d'écart** (capteur) ;
- de système de **commande de la régulation**.

Dans des conditions normales, avec une glycémie au voisinage de  $1\text{ g.L}^{-1}$ , il existe une certaine quantité d'insuline et de glucagon dans le sang. En effet, **le pancréas assure une sécrétion basale de ces 2 hormones**.

Si une **augmentation de la glycémie** est détectée, cela induira une augmentation de la sécrétion d'insuline et une baisse de la sécrétion de glucagon.

Si une **diminution de la glycémie** est détectée, cela induira une augmentation de la sécrétion de glucagon et une baisse de la sécrétion d'insuline.

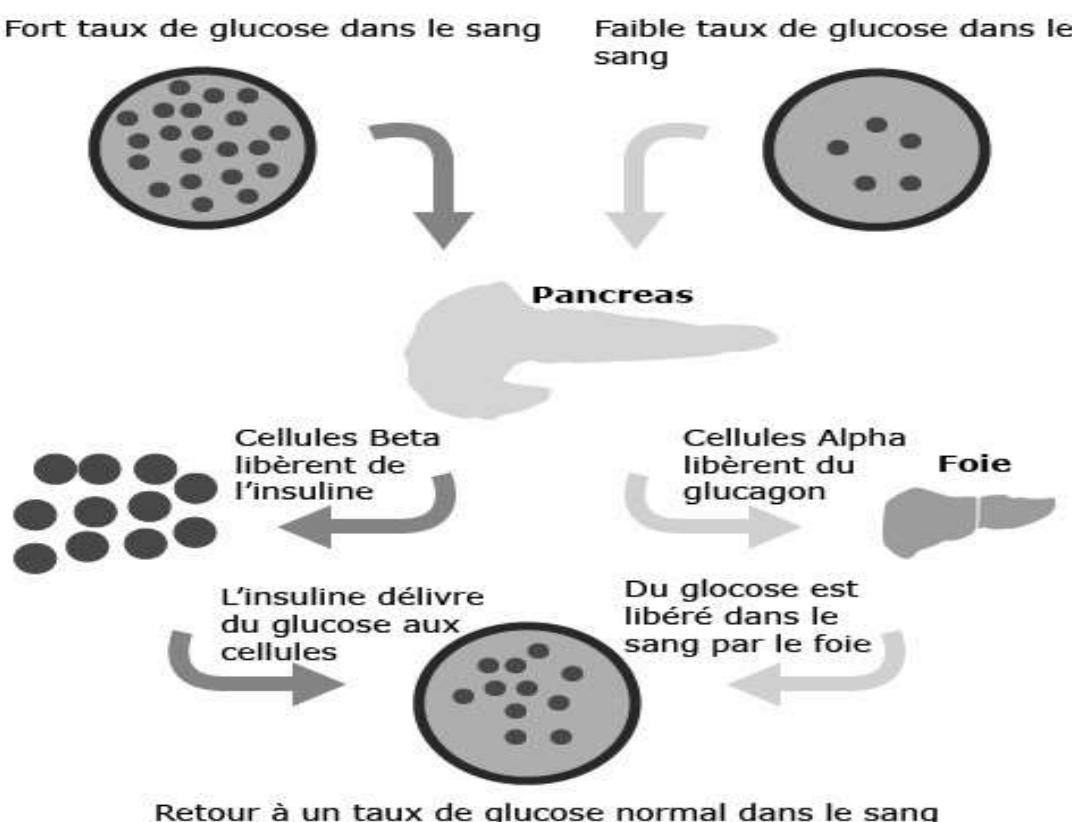
La production d'hormone n'induit aucun effet direct sur la glycémie en tant que telle.

Les hormones agissent sur des cellules cibles qui vont les détecter et réaliser une action permettant de **modifier la glycémie en réponse à ce signal**.

L'**insuline** agit sur la plupart des cellules de l'organisme, elle favorise :

- la **pénétration du glucose dans les cellules** (en activant les transporteurs de glucose à travers la membrane plasmique) ;
- la **consommation**, en activant le métabolisme de la respiration qui consomme du glucose ;
- la **glycogénogenèse** dans le foie et les muscles, et la synthèse de graisse dans les adipocytes.

Le **glucagon** agit essentiellement sur les hépatocytes en favorisant la **glycogénolyse** et la **libération de glucose dans le sang**.



## **Bibliographie**

1. Bendou Besso, Science de la vie et de la terre, information génétique et reproduction, Terminales Cet D, fascicule, N'Djamena, 2013
2. Adonidja Mana Gomdet, Cours de physiologie, Terminales scientifiques, fascicule, N'Djamena
3. JP Boden, J Lamarque, A Vareille, JN Cloarec, P. Lamarque, M. Vareille, B. Gaudin, C. Lizeaux, A. Videaud, R. Tavernier, Biologie, Terminale D, Collection Tavernier, Bordas, Paris, 1989
4. Banque de schémas-SVT-Académie de Dijon, 2005-2019

**Partenariat**  
Lycée Saint François Xavier  
Label 109



Livret à ne pas vendre

**Contact**  
[info@label109.org](mailto:info@label109.org)

Télécharger gratuitement les applications et livres numériques sur le site:  
<http://www.tchadeducationplus.org>

Mobile et WhatsApp: 0023566307383



Rejoignez le groupe: <https://www.facebook.com/groups/tchadeducationplus>