

REPUBLIQUE ISLAMIQUE DE MAURITANIE

Honneur - Fraternité - Justice



MINISTRE DE L'EDUCATION NATIONALE  
ET DE LA REFORME DU SYSTEME EDUCATIF  
INSTITUT PEDAGOGIQUE NATIONAL

# Sciences Naturelles

## 7<sup>ème</sup> M

Les auteurs :

Mohamed Mohamed Aly - Mohamed Mahmoud Abdella - Mamadou Salif Diop

Inspecteur

Inspecteur

Inspecteur

2023

المجلة التريبي الوطني



## PREFACE

Collègues Educateurs,

Chers élèves,

Dans le cadre des efforts visant à améliorer la qualité du système éducatif national et en accompagnement de la révision des programmes de l'Enseignement Secondaire opérée en 2020 et des innovations nationales et internationales, l'Institut Pédagogique National cherche à concrétiser cette tendance en élaborant et publiant un manuel scolaire de qualité occupant une place de choix dans l'amélioration des pratiques pédagogiques.

Dans ce contexte, nous sommes heureux de mettre entre les mains des élèves de la 7<sup>ème</sup>M du secondaire, le manuel de Sciences Naturelles dans sa version expérimentale.

Nous espérons que ce manuel constituera une aide précieuse pour améliorer l'efficacité de construction des savoirs chez les élèves.

Tout en souhaitant recevoir de la part des collègues professeurs, toute observation, suggestion ou proposition de nature à améliorer la version finale de cet ouvrage, nous ne pouvons qu'adresser nos vifs remerciements aux :

Concepteurs :

- Mohamed Mohamed Aly, Inspecteur
- Mohamed Mahmoud Abdella, Inspecteur
- Mamadou Salif Diop, Inspecteur

Cheikh Ahmedou

# المحطة التدريبية الوطنية



## AVANT-PROPOS

Chers collègues Professeurs,

Chers élèves,

C'est dans le cadre des énormes efforts que fournit l'Institut Pédagogique National pour mettre à votre disposition, dans les meilleurs délais, un outil pouvant vous aider à accomplir votre tâche que s'inscrit l'élaboration de ce manuel intitulé : Sciences Naturelles 7<sup>ème</sup> M. Celui-ci est conçu conformément aux nouveaux programmes en vigueur révisés selon une vision de l'apprentissage holistique. Il vise à offrir aussi bien au professeur qu'à l'élève une source d'informations pour aider le premier à préparer son cours et le second à mieux assimiler son programme de l'année et même à élargir son horizon. Il importe, cependant, de dire qu'il ne peut, en aucun cas, être le seul support, ni pour l'un, ni pour l'autre et doit être renforcé et enrichi à travers la recherche d'autres sources d'informations.

Le contenu de ce manuel est réparti en quatre chapitres intitulés respectivement :

LA REPRODUCTION DES MAMMIFERES, LA GÉNÉTIQUE, LA PHYSIOLOGIE NERVEUSE, GRANDS ENSEMBLES GÉOLOGIQUES/POTENTIALITÉS MINIÈRES ET HYDROGÉOLOGIQUES DE LA MAURITANIE.

Chaque chapitre renferme tous les savoirs énoncés dans le programme dégagés à partir de l'étude d'exemples ou de situations décrites dans divers documents choisis pour leur adaptation -dans la mesure du possible- à nos réalités. Chaque chapitre renferme les rubriques suivantes :

- **Je découvre** : Cette rubrique renferme des activités qui mènent l'apprenant à cerner toutes les notions (savoirs) définies par le programme. L'objet de l'activité peut être :

- ✓ une expérience : protocole expérimental, étapes, analyse, conclusion ;
- ✓ un TP : préparation de l'animal, matériel de dissection, étapes de la dissection, conclusion ;
- ✓ une étude d'un document : texte, schéma, photos, tableau (statistiques), courbes, histogramme... ;
- ✓ une sortie pédagogique sur le terrain, une visite à une boucherie, à une entreprise, à un laboratoire, à une institution...: préparation d'un questionnaire, inventaire du matériel nécessaire, dispositions à prendre, rédaction d'un compte-rendu, exploitation en classe ;

- **Je retiens** : Il s'agit de résumer l'essentiel du chapitre en quelques phrases dans un langage simple, adapté au niveau des élèves et insistant sur les mots-clés.

- **Je m'exerce** : C'est l'ensemble des exercices proposés en vue d'une application des contenus véhiculés.

Les exercices de difficulté graduelle, doivent toucher tous les aspects évoqués.

- **J'approfondis mes connaissances** : Cette rubrique renferme un ensemble de documents :

- ✓ donnant d'autres exemples pour offrir des choix divers au profit de la contextualisation ;
- ✓ parlant d'un ou de quelques aspects qui n'ont pas pu être abordés ;
- ✓ développant des notions évoquées plus haut pour permettre au lecteur (professeur ou élève) d'élargir son horizon ;

- **J'utilise mes connaissances** : Elle consiste à décrire une application dans la vie courante, une activité lucrative, un petit projet ...

Nous attendons vos précieuses remarques et suggestions en vue d'améliorer ce manuel dans ces prochaines éditions.

#### **Les auteurs :**

- **Mohamed Mohamed Aly**  
Inspecteur

- **Mohamed Mahmoud Abdella**  
Inspecteur

- **Mamadou Salif Diop**  
Inspecteur

**Maquettiste:**

**Oumry Ahmed Bebba**

**I.P.N**

الجمعية الوطنية للتدريب



# TABLE DES MATIERES

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CHAPITRE I : LA REPRODUCTION DES MAMMIFERES.....</b>               | <b>11</b> |
| I- Activité sexuelle mâle.....  | 11        |
| A- Appareil reproducteur.....   | 11        |
| B- Fonctions du testicule.....  | 12        |
| C- Régulation du fonctionnement de l'appareil génital de l'homme..... | 16        |
| II- Activité sexuelle femelle.....                                    | 18        |
| A- Appareil reproducteur.....   | 18        |
| B- Fonctions de l'ovaire.....   | 20        |
| C- Cycle sexuel.....  | 25        |
| D- Régulation de l'activité sexuelle femelle.....                     | 32        |
| III- Interruption du cycle sexuel.....                                | 35        |
| A- Fécondation.....   | 35        |
| B- Gestation.....   | 40        |
| C- Parturition.....   | 43        |
| D- Allaitement.....   | 45        |
| IV- Maitrise de la procréation.....                                   | 49        |
| A- Méthodes contraceptives et méthodes contragestives.....            | 49        |
| B- Procréation médicalement assistée.....                             | 50        |
| C- Diagnostic prénatal.....   | 52        |
| QCM.....  | 59        |
| EXERCICES.....  | 62        |
| <b>CHAPITRE II : LA GÉNÉTIQUE.....</b>                                | <b>77</b> |
| I- Notions de base.....   | 77        |
| II- Génétique formelle.....   | 78        |
| A- Notions d'autofécondation et de fécondation croisée.....           | 78        |
| B- Monohybridisme.....  | 79        |
| C- Dihybridisme.....  | 94        |
| III- Génétique humaine.....   | 111       |
| A- Outils et techniques.....  | 111       |
| B- Etude de quelques cas.....   | 114       |

|   |            |
|---|------------|
| IV- Anomalies chromosomiques.....   | 119        |
| A- Anomalies du nombre.....   | 119        |
| B- Anomalies de structures.....   | 122        |
| QCM.....  | 126        |
| EXERCICES.....  | 128        |
| <b>CHAPITRE III : LA PHYSIOLOGIE NERVEUSE.....</b>  | <b>145</b> |
| I- Organisation du système nerveux.....   | 145        |
| II- Propriétés du tissu nerveux.....  | 150        |
| A- Mise en évidence.....  | 150        |
| B- Excitabilité.....  | 150        |
| C- Conductibilité.....  | 152        |
| III- Influx (message) nerveux.....  | 155        |
| A- Dispositif d'enregistrement.....   | 155        |
| B- Potentiel de repos.....  | 156        |
| C- Potentiel d'action.....  | 158        |
| IV- La synapse neuroneuronique.....   | 164        |
| V- Danger des psychotropes sur le fonctionnement du système nerveux.....  | 169        |
| QCM.....  | 175        |
| EXERCICES.....  | 177        |
| <b>CHAPITRE IV : GRANDS ENSEMBLES GÉOLOGIQUES/ POTENTIALITÉS MINIÈRES ET<br/>HYDROGÉOLOGIQUES DE LA MAURITANIE.....</b> | <b>189</b> |
| I- Notions de base.....   | 189        |
| II- Eres géologiques.....   | 192        |
| III- Ensembles géologiques de la Mauritanie.....  | 193        |
| IV- Ressources minières.....  | 196        |
| V- Ressources en pétrole et gaz naturel.....  | 200        |
| VI- Ressources hydrogéologiques.....  | 211        |
| QCM.....  | 220        |
| EXERCICES.....  | 221        |
| BIBLIOGRAPHIE.....  | 227        |
| REFERENCES.....   | 228        |



# CHAPITRE I: LA REPRODUCTION DES MAMMIFERES

# المجلة التثريوي الوطني

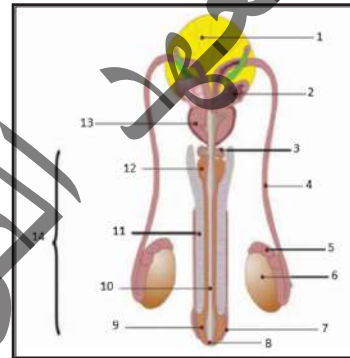
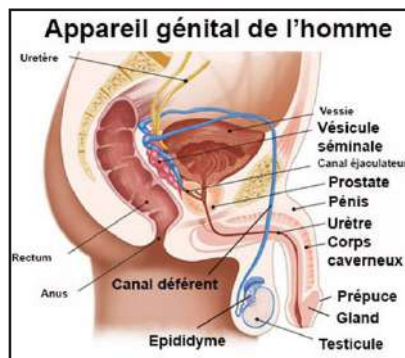
## Je découvre :

## I- Activité sexuelle mâle

## A- Appareil reproducteur

## Activité 1 :

Se rappeler l'organisation de l'appareil génital de l'homme.



Annoter la 2<sup>ème</sup> figure du document puis dégager les principales parties de l'appareil génital mâle sous forme d'un tableau.

Le tableau suivant renferme les principales subdivisions de l'appareil génital de l'homme :

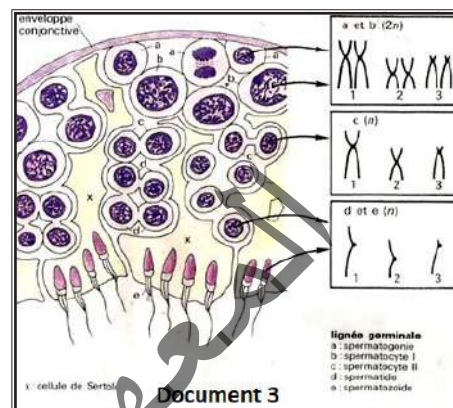
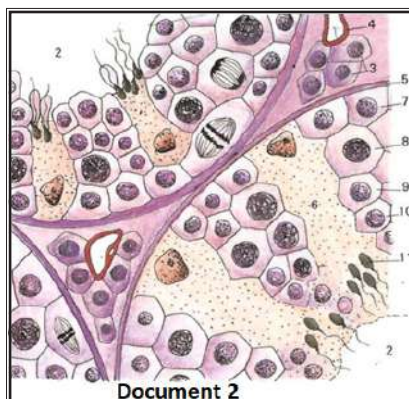
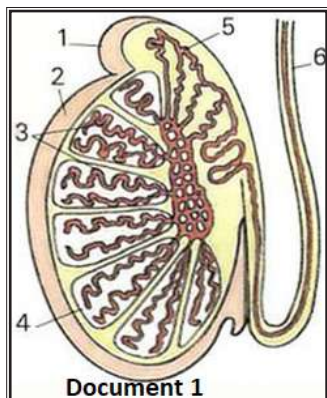
|  |  |  |
|--|--|--|
| <b>GONADES</b>                                 | Testicules   | Glandes ovoïdes de 4 à 5 cm de long logées à l'extérieur du corps dans un sac cutané (scrotums ou bourses).  |
| <b>VOIES GÉNITALES</b>                         | Epididymes   | Organes coiffant les testicules contenant un long canal (6 m) pelotonné sur lui-même.  |
|  | Canaux déférents (Spérmiductes)                            | Fins canaux de 40 cm de long faisant suite à l'épididyme. Ils pénètrent dans l'abdomen par le canal inguinal, se dilatent en ampoule en arrière de la vessie, reçoivent les vésicules séminales, traversent la prostate et débouchent dans l'urètre.   |
|  | Urètre (uro-spérmiductes)                                  | Canal de vidange de la vessie qui devient après avoir reçu les canaux déférents un canal commun au sperme et à l'urine. Il reçoit les glandes de Cowper, parcourt le corps spongieux du pénis et s'ouvre à l'extérieur du gland. L'urètre est entouré de 2 anneaux musculaires.                                |
| <b>GLANDES ANNEXES</b>                         | - Vésicules séminales<br>- Prostate<br>- Glandes de Cowper | - secrètent les liquides (liquide séminal) qui entrent dans la composition du sperme ; modifient le pH du sperme ;<br>permettent d'accroître leur motilité ; apportent du fructose nécessaire à la motilité ; permettent l'approvisionnement en ions (Cl...) ; diluent le sperme et favorisent son écoulement. |
| <b>ORGANES EXTERNES</b><br>(organe copulateur) | Pénis ou verge   | Il est constitué de 3 corps érectiles : 2 corps caverneux accolés l'un à l'autre et 1 corps spongieux contenant l'urètre. Le corps spongieux se dilate à son extrémité et forme le gland de la verge recouvert d'une peau fine mobile, le prépuce.   |

## B- Fonctions du testicule

### Activité 2 :

Connaitre les fonctions du testicule.

Le document 1 représente une coupe d'un testicule adulte. Les documents 2 et 3 montrent un examen de coupes histologiques dans un testicule pubère.



Annoter les documents 1 et 2 avec l'aide du document 3 et préciser la garniture chromosomique des cellules a, b, c et d du document 3 puis dégager les fonctions du testicule.

- Fonction exocrine du testicule :

✓ **Mise en évidence des tubes séminifères :**

Après avoir enlevé l'enveloppe du testicule, on observe que l'intérieur est constitué d'une multitude de canaux très fins (0,2 mm de diamètre) et très longs (400 à 1 000 mm) pelotonnés les uns contre les autres, les tubes séminifères.

Tous les tubes séminifères débouchent dans un réseau complexe qui aboutit finalement dans le canal de l'épididyme.

✓ **Examen de Coupes histologiques :**

Une coupe de testicule montre de nombreuses sections de tubes serrés.

Chaque section présente une paroi et une lumière centrale : le tube séminifère est creux. L'examen d'une section de tube à plus fort grossissement montre de nombreuses cellules arrondies (ce sont en fait les noyaux que l'on voit) côte à côte dans la paroi, alors que la lumière est bordée de cellules avec un prolongement filiforme, les spermatozoïdes.

L'examen au microscope électronique à balayage confirme cette structure. La paroi du tube est constituée en fait par les divers stades cellulaires conduisant aux spermatozoïdes, et la position de ceux-ci en bordure de la lumière suggère une formation centripète depuis la périphérie jusque vers la lumière du tube.

Le peu d'espace entre les tubes est occupé par un tissu conjonctif contenant des capillaires sanguins et de grosses cellules appelées cellules interstitielles ou cellules de Leydig. Les testicules assurent une double fonction (glande mixte) :

- une fonction exocrine ou spermatogénèse ;
- une fonction endocrine ou sécrétion des hormones.

✓ **Formation et caractères des gamètes mâles :**

La formation des gamètes mâles s'effectue dans les testicules. La position des testicules en dehors du corps est favorable à un bon déroulement de la spermatogénèse.

On a pu montrer, en effet, que la température corporelle est un peu trop élevée pour que ce déroulement soit correct.

### ✓ **Le déroulement de la spermatogenèse :**

Chez toutes les espèces la spermatogenèse se déroule de manière comparable.

► Les cellules situées à la périphérie du tube (gonies ou cellules souches) subissent quelques mitoses qui donnent naissance à plusieurs spermatogonies.

Ces mitoses renouvellent le capital en cellules souches et assurent une multiplication des cellules reproductrices.

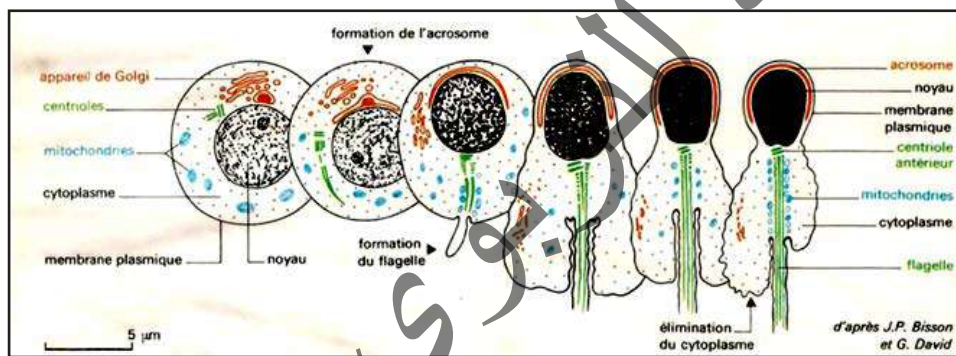
► Les spermatogonies subissent un faible accroissement et deviennent des spermatocytes de premier ordre.

► Pendant cette phase, chaque spermatocyte de premier ordre se divise en 2 spermatocytes de deuxième ordre qui à leur tour se divisent chacun en 2 spermatides.

Ces 2 divisions étroitement enchaînées constituent le phénomène de méiose.

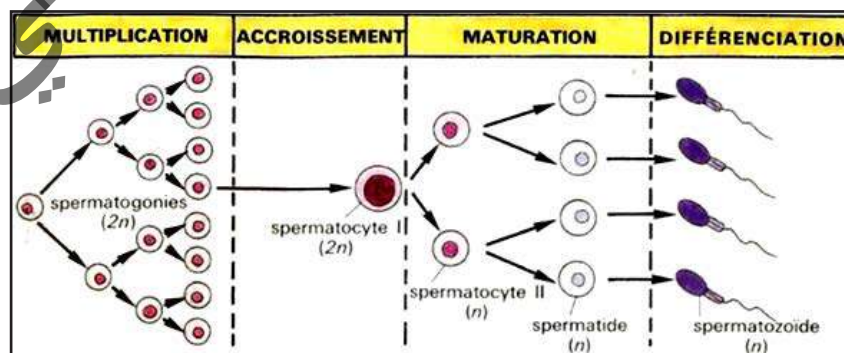
► Chaque spermatide se transforme ensuite en spermatozoïde au cours d'une phase de différenciation appelée spermiogénèse.

Le schéma suivant résume cette évolution :



Ainsi la spermatogenèse comprend :

- une phase de multiplication,
- une phase d'accroissement ou croissance,
- une phase de méiose (maturation),
- une phase de différenciation ou spermiogénèse.

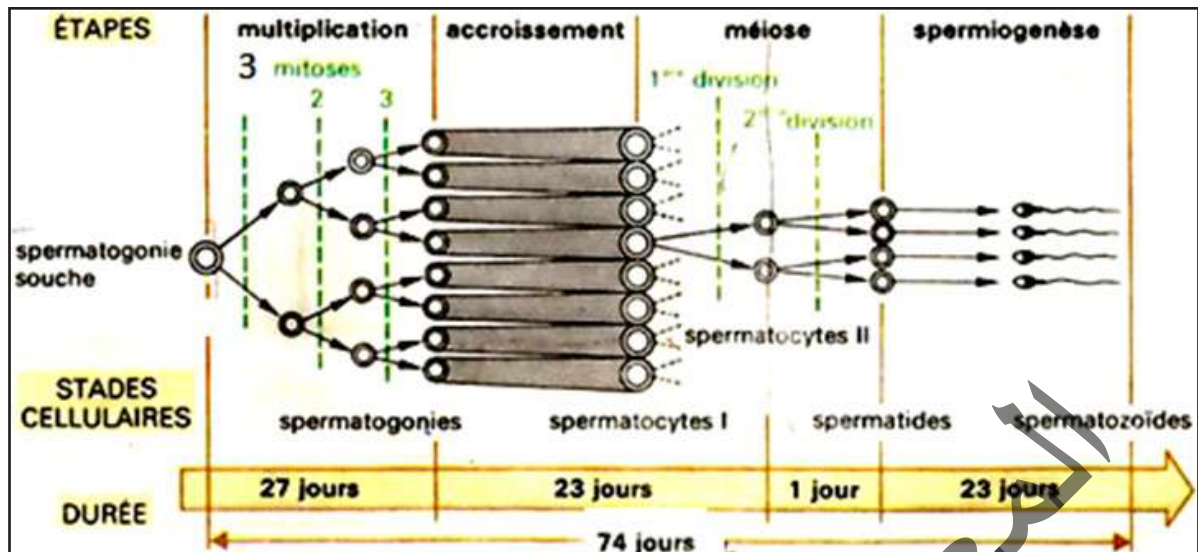


### ✓ **La durée de la spermatogenèse :**

Elle a été étudiée grâce à l'utilisation d'éléments radioactifs qui, après avoir été incorporés par les cellules reproductrices, les « marquent » de leur radioactivité. Il devient ensuite facile de suivre la



destinée de ces cellules sur des coupes histologiques.



Elle a été évaluée à 74 jours chez l'Homme (de la gonie souche au spermatozoïde) avec un temps sensiblement égal pour la phase de multiplication, de méiose et de spermiogénèse.

La division du spermatocyte II en 2 spermatides demande seulement 1 jour ; ce qui explique la rareté des spermatocytes II sur les coupes.

### Les cellules de Sertoli

On rencontre dans la paroi des tubes séminifères de grandes cellules qui occupent toute la largeur de la paroi et dont les ramifications entourent presque toutes les cellules reproductrices. Considérées comme des cellules nourricières à rôle un peu secondaire, on s'aperçoit en fait qu'elles remplissent des rôles variés et très importants dans le tube séminifère : maintien de la cohésion du tube, coordination de la spermatogenèse, libération des spermatozoïdes dans la lumière, sécrétion d'un liquide qui assure le transport des spermatozoïdes jusqu'à l'épididyme.

#### ✓ Le résultat à la sortie du tube séminifère.

Le tube séminifère est tapissé sur toute sa longueur de milliers de cellules souches qui entrent successivement en spermatogenèse. Cette disposition assure une production continue de millions de spermatozoïdes par jour.

**NB-** Le rendement théorique de la spermatogenèse dépend du nombre de mitoses de la phase de multiplication. Dans l'espèce humaine il y a 3 mitoses (si on considère la synchronisation) goniales; ce qui aboutit après les 2 divisions de la méiose à la formation de 32 spermatozoïdes à partir d'une spermatogonie souche.

✓ **L'évolution de la spermatogenèse au cours de la vie :** La spermatogenèse débute à la puberté et se déroule ensuite de manière permanente durant toute la vie du mâle. On note simplement avec l'âge une diminution progressive de l'activité du testicule, mais il n'y a pas d'arrêt complet de la gamétogenèse comme chez la femelle. Ainsi quel que soit l'âge du mâle, les spermatozoïdes ont toujours le même « âge ».

#### ✓ Le transit dans les voies génitales :

**La maturation des spermatozoïdes dans l'épididyme :** Les spermatozoïdes libérés dans la lumière des tubes séminifères sont acheminés par un réseau complexe jusqu'à l'épididyme. Ce transport est passif car à l'entrée du canal épидидymaire, les spermatozoïdes sont immobiles. Ils sont également inféconds alors qu'au contraire, ils sont mobiles et féconds à la sortie de l'épididyme.

Les spermatozoïdes, à la sortie du testicule achèvent leur maturation au cours de la longue traversée (6 m en une douzaine de jours chez l'Homme) de l'épididyme.

Ils y sont également revêtus d'un enduit protéique qui les empêchera d'être reconnus comme étrangers dans les voies génitales femelles et d'être rejetés comme tels.

La production des spermatozoïdes est continue mais leur émission est discontinue : la queue de l'épididyme constitue la zone principale de stockage de milliards de spermatozoïdes entre 2 émissions.

✓ **La formation et l'émission du sperme** : Au cours d'un rapport sexuel :

- les conduits génitaux (épididymes, canaux déférents) se contractent et propulsent les spermatozoïdes dans un peu de liquide jusqu'à l'urètre,

- les vésicules séminales, la prostate sécrètent un liquide abondant qui se mélange aux spermatozoïdes, l'ensemble constitue le sperme.

Le sperme s'accumule sous pression dans l'urètre entre les 2 anneaux musculaires contractés.

- Lorsque la tension devient trop forte, une série de contractions des muscles du périnée chasse le sperme par saccades à l'extérieur (éjaculation).

**Le sperme comprend :**

- une phase cellulaire, les spermatozoïdes,
- une phase liquide, le liquide spermatique.

**NB - Le volume de l'éjaculat et la concentration en spermatozoïdes varient suivant les espèces et chez un même individu en fonction de la fréquence des émissions.**

**Le sperme normal contient toujours un nombre de spermatozoïdes immobiles et anormaux.**

✓ **Les caractéristiques du spermatozoïde qui sont en relation avec sa fonction.**

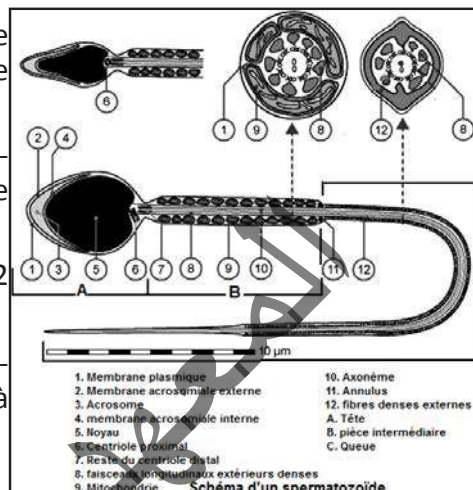
Les caractéristiques cytologiques : Le spermatozoïde est une cellule mobile, formée par une tête, une pièce intermédiaire et un flagelle (une queue). Il est caractérisé par une forme allongée hydrodynamique, une masse très faible (cytoplasme réduit), la présence des mitochondries pour fournir de l'énergie, la présence d'acrosome qui contient des enzymes d'hydrolyse pour la fécondation et présence d'un flagelle qui assure la mobilité.

\* Les caractéristiques chromosomiques : Le spermatozoïde est une cellule haploïde à  $n=23$  chromosomes simples pour assurer le rétablissement de la diploïdie dans le zygote.

**- Fonction endocrine :**

Le tableau suivant résume les différentes hormones mâles, leur origine et leurs rôles.

| Hormones     | Origine             | Rôles  |
|--------------|---------------------|--|
| Testostérone | Cellules de Leydig  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- différenciation des voies génitales mâles ;</li> <li>- inhibition de la cyclicité de l'hypothalamus ;</li> <li>- développement des caractères sexuels primaires ;</li> <li>- Apparition des caractères sexuels secondaires ;</li> <li>- Achèvement de la spermatogenèse ;</li> <li>- Feed-back négatif sur le CHH.</li> </ul> |
| AMH          | Cellules de Sertoli | - Inhibition de la différenciation des voies génitales femelles.   |
| Inhibine     |                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coordination de la spermatogenèse ;</li> <li>- Feed-back négatif sur l'hypophyse.</li> </ul>  |



## C- Régulation du fonctionnement de l'appareil génital de l'homme

### Activité 3 :

Comment se fait la régulation du fonctionnement de l'appareil reproducteur de l'homme ?

Le tableau suivant résume quelques expériences réalisées chez le rat mâle et leurs conséquences :

| Expériences   | Résultats   | Conclusions |
|---|---|-------------|
| Testiculéctomie bilatérale  | - Régression des caractères sexuels secondaires<br>- Stérilité<br>- Augmentation des taux sanguins de FSH et de LH.                                 |             |
| Injections d'extraits testiculaires ou greffe de testicule                        | - Correction des troubles sauf la stérilité<br>- Baisse notable des taux sanguins de gonadostimulines surtout la LH.                                |             |
| Ablation de l'antéhypophyse   | - Régression des caractères sexuels secondaires<br>- Stérilité<br>- Atrophie des testicules<br>- Baisse des taux de FSH et de LH.                   |             |
| Injections d'extraits hypophysaires ou greffe d'hypophyse près de l'hypothalamus. | Correction de tous les troubles   |             |
| Lésion locale de l'hypothalamus   | - Régression des Caractères sexuels secondaires<br>- Stérilité<br>- Atrophie des testicules et de l'hypophyse<br>- Baisse des taux de FSH et de LH. |             |
| Injections d'extraits hypothalamiques   | Correction de tous les troubles.  |             |

Compléter le tableau puis résumer les interactions entre les différents organes sous forme d'un schéma fonctionnel commenté.

- L'hypophyse contrôle le fonctionnement des testicules :

- **Mise en évidence expérimentale**

Les expériences d'ablation de l'hypophyse chez un animal mâle et d'injection d'extraits hypophysaires à cet animal montrent que l'hypophyse contrôle le développement des testicules, le déroulement de la spermatogenèse et la sécrétion de la testostérone par les cellules interstitielles. Ce contrôle se fait par l'intermédiaire d'hormones.

- **Action des hormones hypophysaires :**

L'hypophyse sécrète deux hormones agissant sur les testicules : la **LH** et la **FSH**. Ces hormones sont nommées : **gonadostimulines** ou **gonadotrophines** :

✓ La **LH** : c'est une hormone hypophysaire qui, agissant sur les cellules interstitielles ou cellules de Leydig, stimule la sécrétion de testostérone.

✓ La **FSH** : c'est une hormone hypophysaire qui active indirectement la spermatogenèse. En se liant aux récepteurs des cellules de Sertoli, la **FSH** stimule la synthèse par ces cellules d'une protéine,



l'ABP (Androgen Binding Protein) indispensable à la réception de la testostérone par les cellules germinales ; ce qui active la spermatogenèse.

La sécrétion de FSH est pulsatile et synchronisée avec celle de LH.

#### - L'hypothalamus contrôle l'hypophyse :

Les résultats expérimentaux montrent que l'hypothalamus contrôle l'activité de l'hypophyse par l'intermédiaire d'une neurohormone.

L'hypothalamus sécrète une hormone nommée GnRH (Gonadotrophin-Releasing hormon) ou gonadolibérine. C'est une neurohormone car elle est sécrétée par des neurones ayant leurs corps cellulaires dans un noyau de l'hypothalamus et leurs axones dans la tige hypothalamo-hypophysaire au niveau des vaisseaux sanguins. La GnRH se fixe sur des récepteurs des cellules de l'antéhypophyse et stimule la synthèse et la sécrétion par ces cellules de deux hormones gonadotropes LH et FSH.

La sécrétion de GnRH est pulsatile avec une fréquence d'une pulse toutes les 90 minutes.

Les sécrétions de LH et de testostérone sont également pulsatiles avec des pics de sécrétion qui sont légèrement décalés dans le temps par rapport aux pics de GnRH, ce qui montre qu'il y a une relation de causalité entre les trois sécrétions : les pulses de GnRH entraînent les pulses de LH qui entraînent les pulses de la testostérone.

Le tableau suivant résume l'action du CHH sur le testicule :

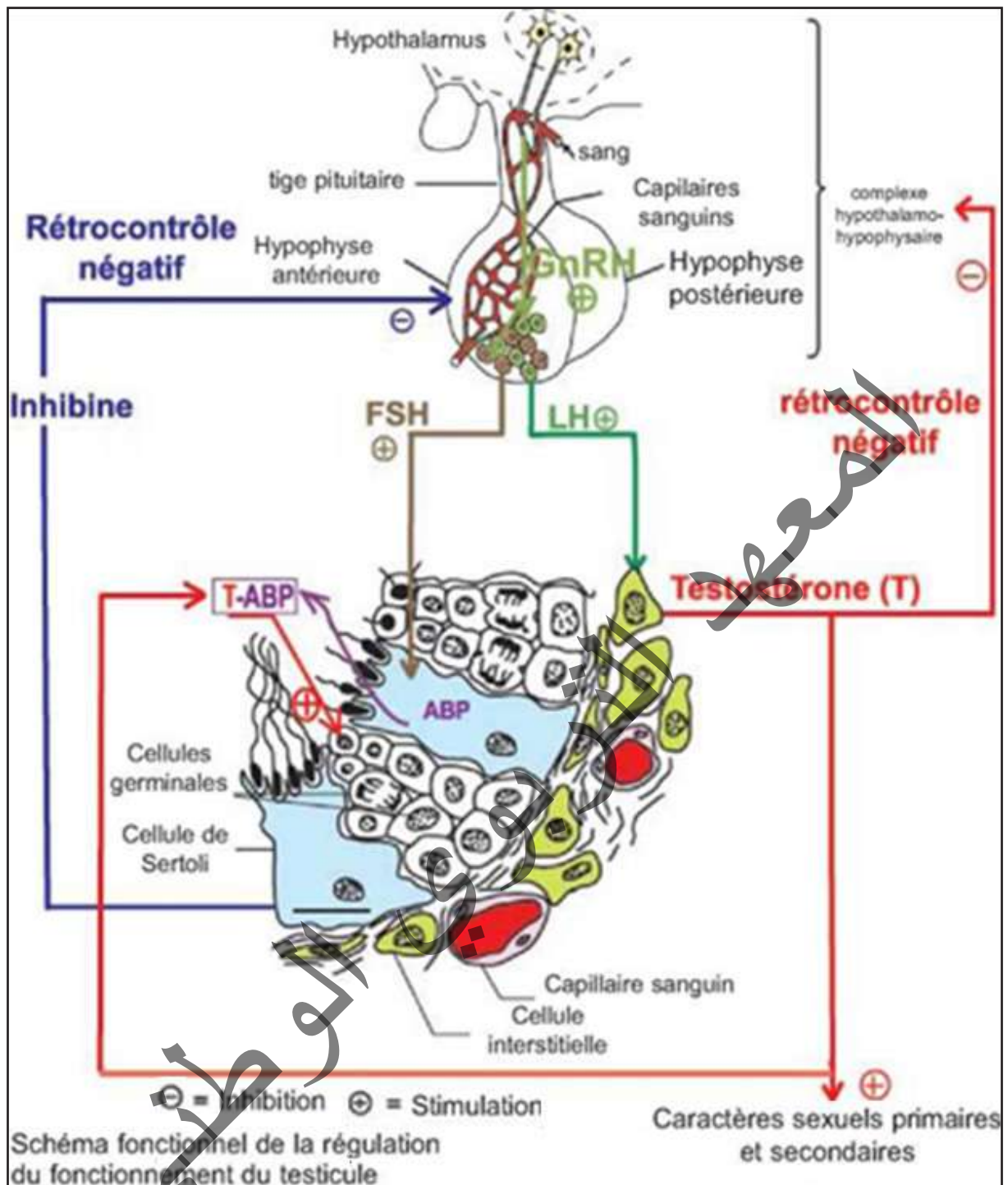
| Hormones  | Origine                   | Rôles  |
|-----------|---------------------------|--|
| FSH       | Hypophyse antérieure      | -stimule la multiplication des gonies            |
| LH (ICSH) |                           | -stimule la sécrétion d'ABP                      |
| GnRH      | Cellules hypothalamiques. | -stimule la sécrétion de la testostérone         |
|           |                           | -stimule l'hypophyse à sécréter la FSH et la LH. |

#### - Les testicules exercent un feed-back sur l'axe hypothalamo-hypophysaire :

Des expériences montrent que la testostérone exerce en permanence un effet modérateur sur l'axe hypothalamo-hypophysaire. Ce mécanisme, désigne sous le nom de feed-back négatif ou rétro-contrôle négatif ou rétroaction négative, assure une stabilité des sécrétions de la testostérone. Toute hausse du taux de testostérone par rapport aux valeurs de référence accentue le freinage sur l'axe hypothalamo-hypophysaire. Il se produit alors une baisse de la production des gonadostimulines et le testicule, moins stimulé, abaisse sa production de testostérone.

En revanche la baisse du taux de testostérone par rapport aux valeurs de référence provoque une levée de l'inhibition sur l'axe hypothalamo-hypophysaire. Il se produit alors, une augmentation de la production de gonadostimulines, ce qui stimule le testicule et augmente sa production et sa sécrétion de testostérone.

L'inhibine, une hormone sécrétée par les cellules de Sertoli, exerce un rétrocontrôle négatif sur la synthèse et la sécrétion de FSH par les cellules gonadotropes. Cette rétroaction négative a pour but de maintenir la production des spermatozoïdes à une valeur normale.



## II- Activité sexuelle femelle

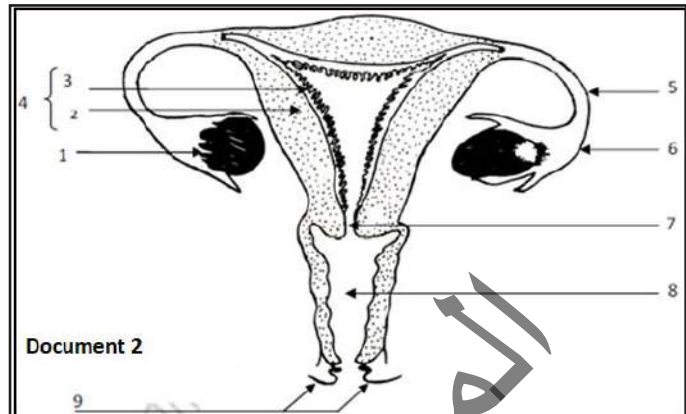
### A- Appareil reproducteur

#### Activité 4 :

Organisation de l'appareil génital chez la femme.

Le document 1 ci-dessous représente une vue en coupe de l'appareil génital de la femme.

Le document 2 ci-dessous représente une vue de face de l'appareil génital de la femme.



Légender le document 2 en vous aidant du document 1 puis dégager les principales parties de l'appareil génital femelle sous forme d'un tableau.

Le tableau suivant renferme les principales subdivisions de l'appareil génital de l'homme :

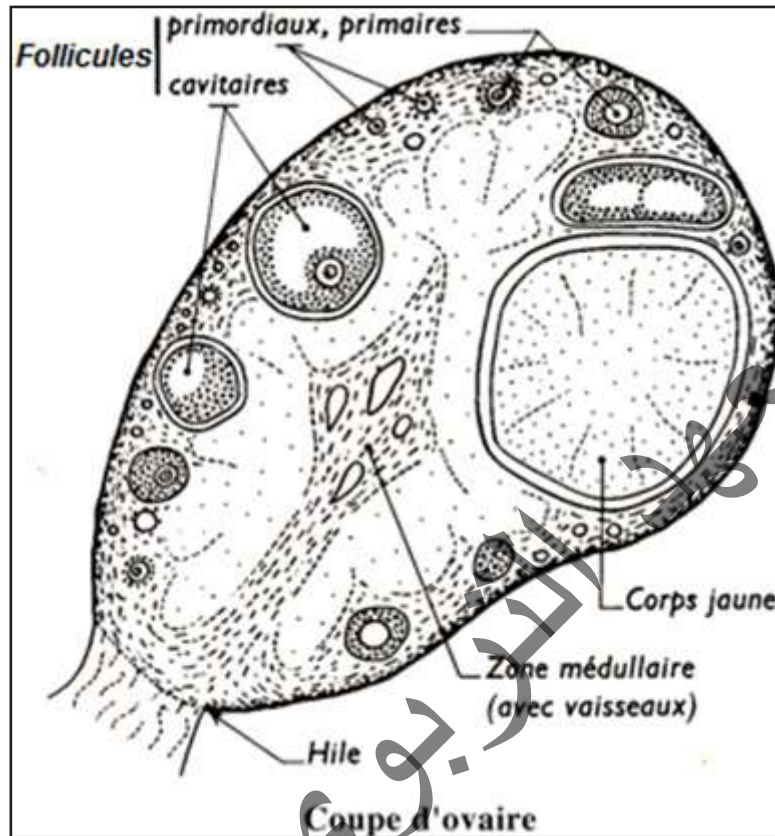
| ORGANES                | NOMS   | RÔLES   |
|------------------------|--|---|
| Gonades :              | Les 2 ovaires.                                   | Produisent les gamètes femelles (fonction exocrine) à partir de la puberté ainsi que les hormones sexuelles (fonction endocrine). |
| Voies génitales :      | 2 trompes de Fallope débutant par les pavillons. | Conduisent les gamètes et l'embryon. C'est le lieu de la fécondation (trompes), de gestation (utérus), de copulation (vagin).     |
|                        | Utérus.  |   |
|                        | 1 vagin débouchant à l'extérieur par la vulve.   |   |
| Glandes annexes :      | 2 glandes de Bartholin.                          | - lubrifie les voies génitales ;  |
|                        | Des glandes cervicales.                          | - produisent la glaire cervicale ;  |
|                        | Des glandes utérines.                            | - produisent des sécrétions riches en glycogène ;   |
|                        | Des glandes mammaires.                           | - produisent le lait.   |
| Organe de copulation : | Le vagin (vulve).                                | La copulation.  |

## B- Fonctions de l'ovaire

### Activité 5 :

Dégager la structure de l'ovaire à partir de l'étude d'un document.

Le document ci-dessous montre une coupe d'ovaire.



Observer la figure et décrire la structure de l'ovaire.

L'ovaire est une petite glande paire, ovoïde située dans le petit bassin (cavité pelvienne). Il est divisé en une zone corticale (cortex ovarien) et une zone médullaire (médulla ovarienne). Dans le tissu conjonctif lâche de la médulla ovarienne se trouvent des vaisseaux sanguins et lymphatiques, alors que les ovocytes se trouvent dans la zone corticale à différents stades folliculaires. Les ovaires sont irrigués par une artère qui pénètre entre les follicules et se ramifie. Mais les capillaires ne dépassent pas la lame basale des follicules.

### Activité 6 :

Etude de la fonction exocrine de l'ovaire.

L'ovaire est une glande mixte ; c'est-à-dire ayant deux fonctions :

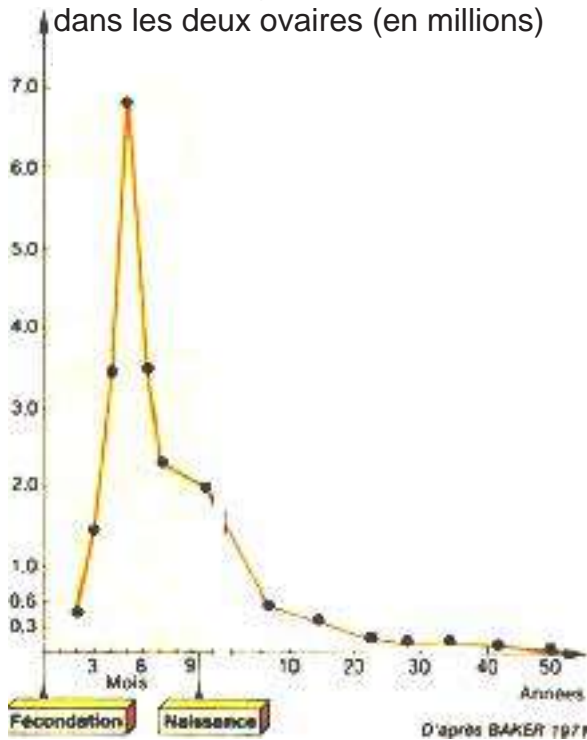
\*Fonction **exocrine** : production des gamètes femelles

\*Fonction **endocrine** : sécrétion des hormones.

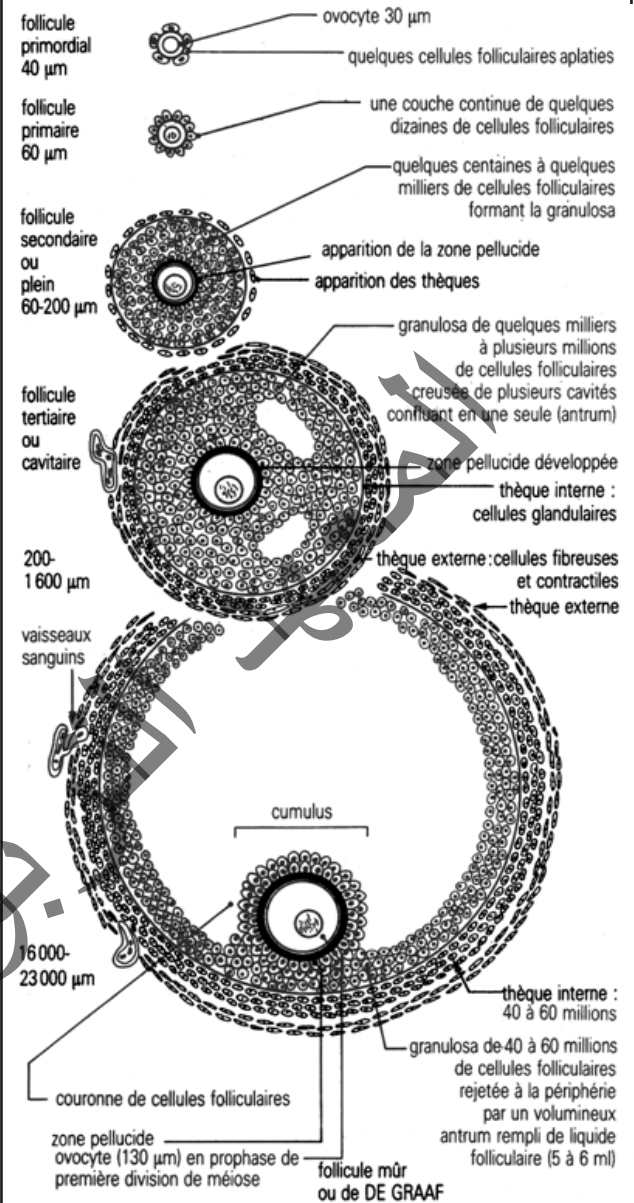


**Document 1 : La variation du nombre d'ovogonies puis d'ovocytes dans les deux ovaires en fonction de l'âge.**

Nombre d'ovogonies puis d'ovocytes dans les deux ovaires (en millions)

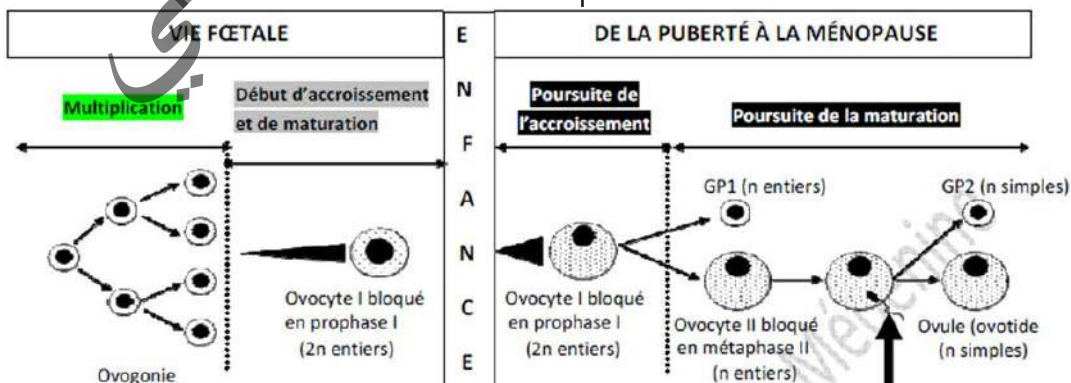


**Document 2 : La folliculogenèse chez la femme.**



*Croissance du follicule ovarien (folliculogenèse) chez la femme.*

**Document 3 : Les étapes de l'ovogenèse.**



A partir de l'analyse de ces documents, expliquer quelques aspects des fonctions de l'ovaire notamment comment se fait la production du gamète femelle et par quel mécanisme se fait la réduction chromosomique.

Le graphe du document 1 montre une diminution du nombre de cellules germinales à partir du 6<sup>ème</sup> mois qui aboutit à une valeur 0 vers 50 ans.

Au cours de la vie d'une femme, on distingue trois phases :

- la diminution la plus marquée a lieu après le 6<sup>ème</sup> mois de la vie fœtale, après avoir atteint le nombre maximal de 7 millions de cellules germinales (6<sup>ème</sup> mois) ;
- une autre période brève d'involution a lieu peu après la naissance ;
- la plus longue période de diminution dans le temps et la moins spectaculaire s'observe durant la puberté.

Les follicules sont les formations qui contiennent les cellules reproductrices femelles. Les plus petits sont toujours à la périphérie de l'ovaire. Ils comprennent une grosse cellule, l'ovocyte I, entouré de quelques cellules aplaties, les cellules folliculaires ou folliculeuses.

Ces follicules sont délimités par du stroma ovarien et une lame basale. Les cellules stromales mésenchymateuses seraient à l'origine des cellules de la thèque. Ce sont des follicules primordiaux.






A la puberté, ces follicules évoluent en groupes en (document 2) :

- **follicules primaires** : l'ovocyte a grossi, il est entouré d'une couche régulière de cellules folliculaires cubiques ; l'ensemble est entouré d'une membrane basale.

- **follicules secondaires ou pleins** : l'ovocyte I a encore grossi. Les cellules folliculaires se sont multipliées et forment autour de l'ovocyte un épithélium folliculaire pluri stratifié. Ce dernier va donc former la couche granuleuse ou granulosa. Autour de l'ovocyte, on distingue nettement une zone amorphe, non cellulaire, formée de glycoprotéines : c'est la zone pellucide. Les cellules adjacentes

de la granulosa émettent des prolongements cytoplasmiques qui traversent la zone pellucide pour assurer l'approvisionnement de l'ovocyte I. Les cellules de la granulosa, comme l'ovocyte, sont nourries par diffusion à partir des capillaires de la thèque. Au-delà de la membrane basale, le stroma ovarien se transforme en thèque du follicule qui commence à se différencier en thèque interne faite de cellules à aspect glandulaire et en thèque externe fibreuse. Les thèques sont parcourues par des vaisseaux sanguins.

- **follicules tertiaires ou cavitaires** : ces follicules se caractérisent par l'apparition de petites lacunes remplies de liquide (liquide folliculaire) dont la confluence forme la cavité folliculaire (antrum) dans la granulosa. Le liquide folliculaire est un sérum qui diffuse à partir des capillaires et s'accumule entre les cellules folliculaires.

|  | diamètre<br>moyen<br>de l'ovocyte<br>en $\mu\text{m}$ | diamètre<br>moyen<br>du follicule<br>en $\mu\text{m}$ | nombre<br>moyen<br>de cellules<br>folliculaires |
|--|---|---|---|
|  <b>follicule<br/>primordial</b>  | 25  | 30  | quelques uni                                    |
|  <b>follicule<br/>primaire</b>    | 45  | 60  | quelques<br>dizaines                            |
|  <b>follicules<br/>pleins</b>     | ↓<br>80   | ↓<br>200  | ↓<br>4 000                                      |
|  <b>follicules<br/>cavitaires</b> | ↓<br>130  | ↓<br>16 000   | ↓<br>47 000 000                                 |
|  <b>follicule<br/>mûr</b>         | 130   | 20 000  | 60 000 000                                      |

La couche granuleuse fait saillie dans l'antrum, autour de l'ovocyte, formant ainsi le cumulus oophorus ou disque proliger. La thèque interne est bien différenciée et bien vascularisée avec de grandes cellules riches en lipides (production hormonale). La thèque externe forme la transition avec le stroma de l'ovaire et contient les grands vaisseaux sanguins.

- **follicules mûrs** ou de **De Graaf** : ces follicules énormes font saillie à la surface de l'ovaire.

Les cavités ont conflué en une cavité centrale (l'antrum) qui a refoulé les cellules de la granulosa à la périphérie ; l'antrum contient le liquide folliculaire. Porté par un massif de cellules de la granulosa (le cumulus oophorus), l'ovocyte fait saillie dans l'antrum ; la zone pellucide est entourée par une couronne de cellules folliculaires (corona radiata).

Il correspond à un follicule tertiaire particulièrement grand dont on suppose qu'il arrivera jusqu'à l'ovulation.

- **corps jaunes** : ce sont des formations claires, plus volumineuses que les follicules.

Elles ne contiennent pas d'ovocytes. Les corps jaunes sont constitués de cellules appelées cellules lutéales ou lutéiniques, peu différentes des cellules folliculaires, et pénétrées de nombreux vaisseaux sanguins. La périphérie du corps jaune est entourée également par des thèques. Ils se sont formés après l'ovulation par accumulation de lipides et de pigment jaune dans les cellules du follicule rompu.

Chez la femelle comme chez le mâle, la production de gamètes ne débute qu'après la puberté, cependant l'ovogenèse très longue commence dès la vie embryonnaire et est entrecoupée de deux phases de repos :

- **Avant la puberté** :

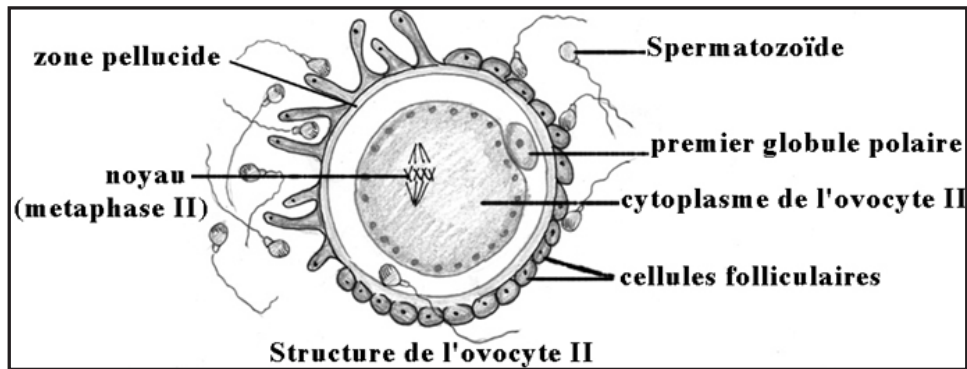
L'ovogenèse (document 3) commence approximativement au cours de la 7<sup>ème</sup> semaine de la vie embryonnaire. Les cordons sexuels corticaux invaginés se débloquent en clones cellulaires isolés qui prolifèrent par la suite. Les ovogonies restent toutefois, reliées par des ponts cytoplasmiques permettant ainsi la synchronisation de la mitose et des étapes de la méiose. Au cours de la 12<sup>e</sup> semaine, les ovogonies entrent en méiose et donnent des ovocytes I qui se bloquent en fin de prophase I. Cette phase de repos peut durer jusqu'à l'âge adulte. Se libérant de leur réseau clonal, les ovocytes I s'entourent de cellules épithéliales somatiques aplaties (cellules folliculaires) et forment les follicules primordiaux quiescents. Vers le 7<sup>e</sup> mois, le cortex ovarien contient environ 7 millions de follicules primordiaux (7 millions d'ovocytes I). A la naissance, il n'en reste qu'environ 2 millions et après la puberté, encore environ 250 000 par ovaire. Les autres dégénèrent en masse : phénomène d'**atrésie**. Celle-ci constitue le destin normal d'un follicule ou d'une cellule germinale femelle alors que l'ovulation représente l'exception.

- **Après la puberté.**

Quelques ovocytes seulement vont continuer leur évolution au hasard des cycles ovariens parallèlement à celle du follicule qui les contient. Les autres, après avoir parfois ébauché un début d'évolution, dégèneront. Cette atrésie qui continue celle observée avant la naissance et durant l'enfance épuîsera progressivement le stock d'ovocytes et sera l'une des causes de l'arrêt de la fonction de reproduction chez la femelle.

Chez la Femme 400 à 450 ovocytes seulement continueront leur évolution, au cours des 400 à 450 cycles de la vie génitale, entre la puberté et la ménopause.

Le gamète femelle (un ovocyte II) présente les particularités cytologiques et chromosomiques suivantes :



- **Particularités cytologiques de l'ovocyte II :**

- ✓ Cellule volumineuse, sphérique de 100µm de diamètre ;
- ✓ Cellule immobile entourée d'une zone pellucide et de la corona radiata ;
- ✓ Cellule à cytoplasme abondant riche en substances de réserve ;
- ✓ Cellule accompagnée d'une petite cellule ; c'est le premier globule polaire.

- **Particularités chromosomiques :**

Le gamète femelle à l'ovulation est un ovocyte II à noyau haploïde ( $n = 23$  chromosomes dédoublés) excentrique et bloqué en métaphase II.

Le tableau suivant donne une comparaison entre le gamète mâle et le gamète femelle :

|                       | Gamète ♂                 | Gamète ♀                              |
|-----------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| Forme                 | Effilée/ Allongée        | Sphérique                             |
| Taille                | Réduite 60µm             | Volumineuse                           |
| Cytoplasme            | Peu abondant             | Abondant                              |
| Substances de réserve | Peu abondantes           | Abondantes                            |
| Mobilité              | Mobile grâce au flagelle | Sans mouvement propre                 |
| Matériel nucléaire    | n Chromosomes simples    | n Chromosomes fissurés bloqués en MII |

L'ovogenèse commence avant la naissance et se déroule en trois phases :

- **la multiplication** : les cellules souches ou ovogonies ( $2n=46$ ) se multiplient par mitoses.
- **l'accroissement** : les ovogonies ( $2n=46$ ) subissent un accroissement et se transforment en ovocytes I (prophase). Chaque ovocyte I s'entoure de quelques cellules folliculaires et constitue le follicule primordial. À la naissance, une petite fille a un stock de follicules primordiaux. C'est à partir de la puberté que les follicules primordiaux commencent leur évolution.
- **la maturation** : juste avant l'ovulation (24 à 36 heures), l'ovocyte I subit la division réductionnelle et donne deux cellules **très inégales** (division excentrique) ; une grosse cellule appelée ovocyte II et une très petite cellule qui reste accolée à l'ovocyte II, appelée le 1<sup>er</sup> globule polaire.

L'ovocyte II commence la division équationnelle et se bloque en métaphase II.

La méiose ne s'achève qu'après pénétration du spermatozoïde lors de la fécondation.



| Phénomène       | Spermatogenèse                         | Ovogenèse                            |
|-----------------|--|--------------------------------------|
| Phase           | Continue de la puberté jusqu'à la mort | Discontinue, s'arrête et se poursuit |
| Multiplication  | Mitoses                                | Mitoses                              |
| Accroissement   | Faible                                 | Important                            |
| Maturation      | Méiose continue (4 spermatides)        | Méiose bloquée en MII                |
| Différenciation | Importante                             | Absente                              |

Maturation et accroissement ne sont pas séparés en ovogenèse.

- La spermatogenèse commence à la puberté alors que l'ovogenèse commence avant la naissance et reprend à la puberté d'une façon cyclique.

- L'ovogenèse s'achève en dehors des ovaires alors que la spermatogenèse s'achève dans les testicules.

La fonction endocrine de l'ovaire se résume en une sécrétion d'hormones de nature stéroïdiennes.

| Œstrogènes   | Progestagènes  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sécrétés par les cellules de thèque interne des follicules cavitaires et mûrs et par les cellules de la zone granuleuse ainsi que par le corps jaune pendant la phase lutéale.</li> <li>- la principale hormone de ce groupe est l'œstradiol.</li> <li>- Sur la muqueuse utérine : l'œstradiol se fixe sur des récepteurs au niveau de la muqueuse, favorise la multiplication cellulaire, le développement des glandes et des vaisseaux sanguins.</li> <li>- stimule la contraction du myomètre.</li> <li>- maintient la température du corps constante légèrement au-dessous de 37°C : effet hypothermisant.</li> <li>- Assure le développement des CSI.</li> <li>- Assure le développement et le maintien des CSII (hormone de la femme).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sécrétés par les cellules lutéiniques du corps jaune pendant la phase lutéale.</li> <li>- la principale hormone du groupe est la progestérone.</li> <li>- la progestérone agit seulement si les œstrogènes ont agi avant (les œstrogènes et la progestérone agissent en synergie).</li> <li>- sur la muqueuse utérine : elle permet le développement de la dentelle utérine et stimule la sécrétion de mucus et de glycogène.</li> <li>- provoque une légère hyperthermie : rôle hyperthermisant.</li> <li>- inhibe les contractions du myomètre.</li> <li>- Hormone gestative assurant le bon déroulement de la grossesse (hormone de la mère).</li> </ul> |

## C- Cycle sexuel

La puberté est marquée dans les 2 sexes par l'entrée en fonction des organes génitaux,

Pendant des différences importantes existent entre le mâle et la femelle.

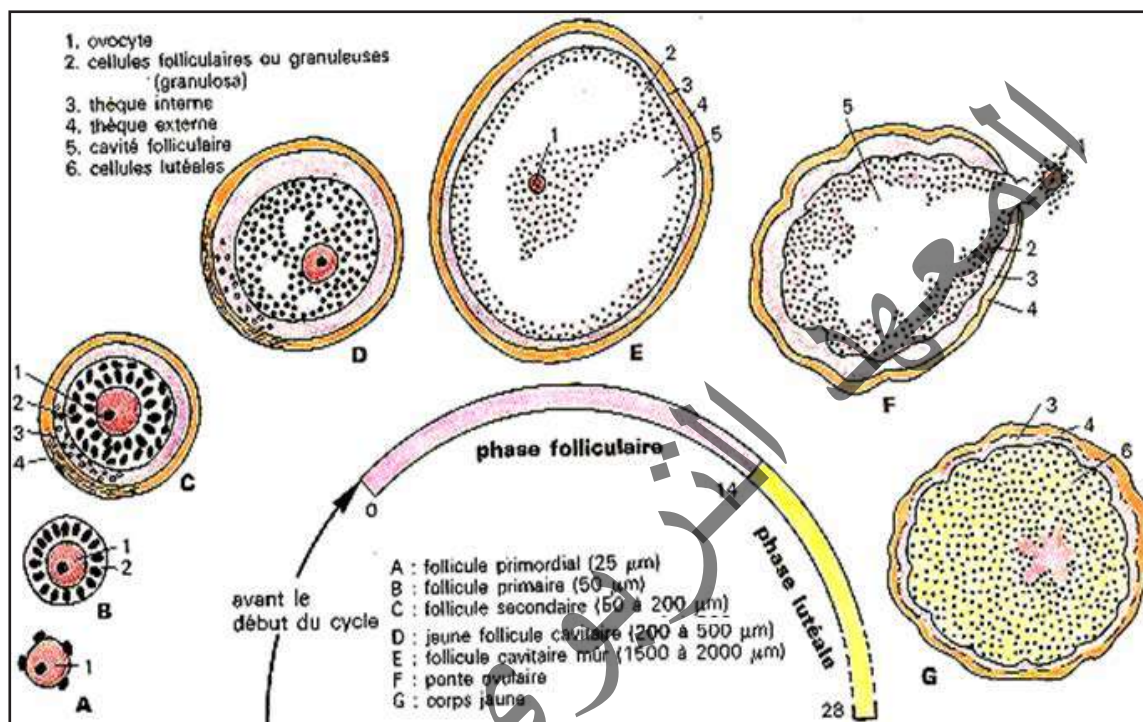
Chez le mâle, le fonctionnement de l'appareil génital est continu et ne se traduit extérieurement par aucun signe visible. Au contraire l'appareil génital de la femme est caractérisé par un fonctionnement cyclique qui débute de la puberté et s'achève à la ménopause. Le cycle génital, dont la durée moyenne est de 28 jours, est marqué par un écoulement sanguin : ce sont les règles ou menstruations.

A chaque cycle menstruel se répète une série de transformations qui concernent plusieurs organes. On peut distinguer les cycles : ovarien, utérin, vaginal mais aussi un cycle des hormones hypophysaires, un cycle de température...

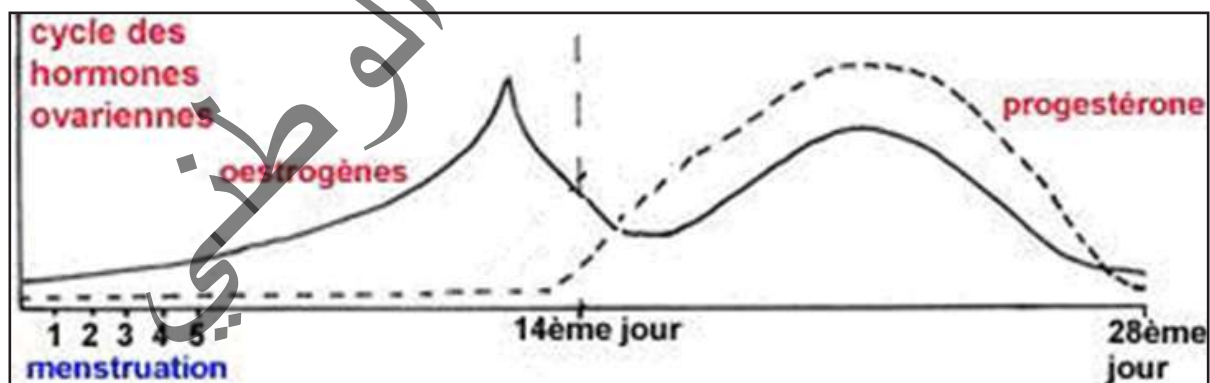
### Activité 7 :

Comment se déroule l'activité des ovaires ?

Document 1 : Evolution des structures ovariennes au cours du cycle sexuel.



Document 2 : Variation des hormones ovariennes au cours du cycle sexuel.



A partir de l'analyse des deux documents, expliquer le cycle ovarien.

Les cycles ovariens se manifestent à la puberté, s'interrompent à la grossesse et s'arrêtent à la ménopause. Au niveau des structures ovariennes, chaque cycle présente deux phases séparées par l'ovulation (Document 1) :

- **Phase folliculaire** : Caractérisée par la mise en croissance d'un groupe de follicules parmi lesquels un seul en moyenne (le follicule dit dominant) atteindra le stade mûr, les autres dégénèrent (phénomène d'atrésie).

### - L'ovulation ou ponte ovulaire :

Elle intervient quelques heures (36 à 40 heures chez la Femme) après la libération de l'ovocyte dans la cavité folliculaire.

Durant ce phénomène le follicule étant arrivé à maturité, il y a amincissement des parois folliculaires et ovariennes, le cumulus oophorus se détache de la granulosa et baigne ainsi dans la cavité folliculaire ; il y a alors reprise de la méiose bloquée en Prophase I depuis la vie embryonnaire. L'ovocyte I cesse de synthétiser ARN et protéines, les chromosomes se condensent, la première division méiotique s'achève et le 1<sup>er</sup> globule polaire est émis. L'ovocyte I reste bloqué en Métaphase II jusqu'à la pénétration du spermatozoïde. Le follicule mûr est tellement gros qu'il fait saillie à la surface de l'ovaire.

Les parois amincies se rompent et le follicule expulse le gamète femelle qui est un ovocyte II en Métaphase II.

**NB-** Chez la Femme et la plupart des Mammifères l'ovulation se produit automatiquement à la fin de la phase folliculaire, on parle d'ovulation spontanée.

Chez certaines femelles (Chatte, Lapine, femelle du Furet, du Vison, de l'Ecureuil) au contraire, ce sont les stimuli de l'accouplement qui déclenchent la rupture ; c'est l'ovulation provoquée.

Cette distinction est sans doute trop rigide et il est probable qu'il existe dans certains cas des ovulations provoquées chez la Femme.

### - Phase lutéinique ou lutéale:

\* Après l'ovulation, le follicule rompu se transforme en corps jaune. Il se referme, les vaisseaux sanguins pénètrent dans la granulosa dont les cellules se transforment en cellules lutéiniques ou lutéales. Les cellules de la thèque interne accompagnent la pénétration des vaisseaux et participent à la constitution du corps jaune. Il persiste au centre du corps jaune une cavité occupée par un caillot sanguin.

\* Le corps jaune se forme en quelques heures, fonctionne quelques jours et en l'absence de fécondation régresse : un nouveau cycle ovarien peut reprendre.

\* Cette phase post-ovulatoire caractérisée par la formation, le fonctionnement, la régression du (ou des) corps jaune(s) est appelée phase lutéinique (de luteus = jaune).

**NB-** Un tel corps jaune qui régresse en fin de cycle est appelé corps jaune cyclique ou progestatif. En quelques jours il perd sa couleur et se transforme en une masse fibreuse, le corps blanc, qui disparaîtra : il ne reste qu'une cicatrice à la surface de l'ovaire.

Si au contraire il y a fécondation et qu'un jeune embryon se fixe dans l'utérus le corps jaune persiste, se développe, et prend le nom de corps gestatif ou de grossesse.

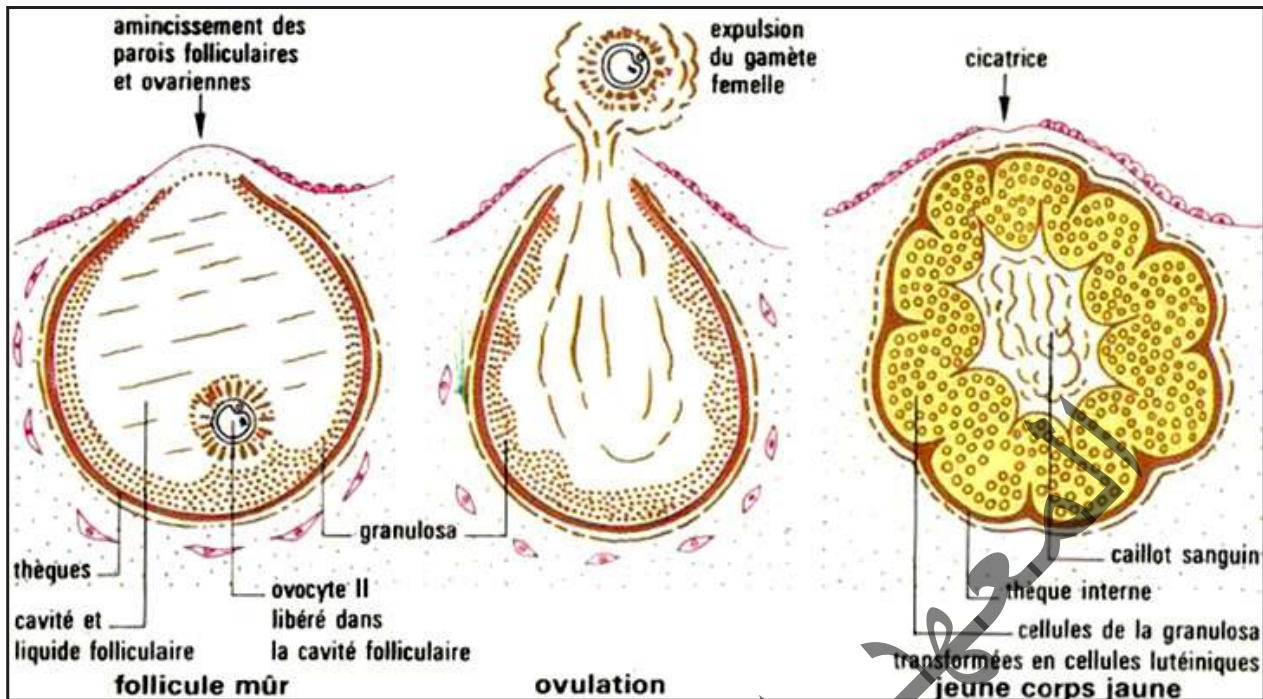
Le cycle hormonal (document 2) se caractérise par :

\* La production d'œstrogènes est faible en début de cycle ; elle s'accroît rapidement par la suite et présente un pic très net à la veille de l'ovulation ; elle subit un fléchissement au moment de l'ovulation et présente un second sommet, plus discret, au milieu de la phase lutéinique.

\* La production de progestérone débute un peu avant l'ovulation ; elle s'accroît très vite dès le début de la phase lutéinique pour atteindre un pic au milieu de cette phase et s'interrompt en fin de cycle. Ainsi, s'établit un cycle des hormones ovariennes qui se répercute sur les effecteurs.



**Conclusion :** Deux phases séparées par l'ovulation (figure ci-dessous) :



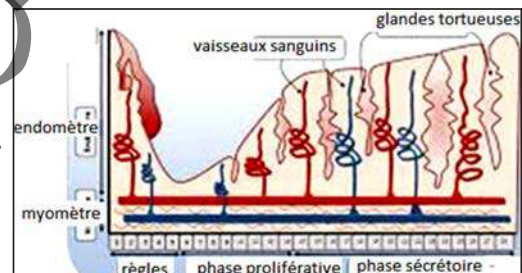
## Activité 8 :

### Comment se déroule l'activité de l'utérus ?

La paroi de l'utérus est constituée de 2 parties : une épaisse couche de muscles lisses (myomètre) tapissée intérieurement d'une fine muqueuse appelée endomètre.

Chez toutes les femmes, cet endomètre présente des modifications importantes.

La figure ci-contre représente les variations subies par l'endomètre au cours du cycle sexuel.



### Observer la figure et décrire les transformations subies par l'endomètre au cours du cycle.

Le cycle de l'utérus concerne les modifications structurales de l'endomètre, on parle de cycle endométrial ; ces modifications, dépendantes des hormones ovariennes, conduisent à la destruction de la zone fonctionnelle de l'endomètre (zone très vascularisée) donc à l'apparition des règles, en l'absence de fécondation. Par convention, le premier jour du cycle décrit ci-dessous correspond au premier jour des règles. La croissance de l'endomètre fonctionnel recommence dès le 5<sup>e</sup> jour et se poursuit pendant tout le cycle : de 0,5 mm à la fin de la menstruation, il passe à 3mm au moment de l'ovulation pour atteindre 5 mm au 28<sup>e</sup> jour du cycle. Le cycle utérin est divisé en phases parallèles au cycle ovarien :

- **Phase folliculaire :** Durant la phase folliculaire, l'endomètre s'épaissit progressivement (de 1 à 5 mm environ chez la Femme) et se creuse de glandes en doigt de gant.

\* De J<sub>1</sub> à J<sub>5</sub> (phase de desquamation), la chute des taux plasmatiques d'œstrogènes et de progestérone liée à la dégénérescence du corps jaune provoque l'affaissement de la zone fonctionnelle de l'endomètre avec insuffisance d'apport de sang due aux contractions rythmiques des artérioles. Ceci entraîne une nécrose des glandes, du chorion et des vaisseaux : d'où menstruations (phase menstruelle).

La zone résiduelle de l'endomètre (épaisse de 0,5 mm) persiste avec quelques culs de sac glandulaires ouverts dans la cavité utérine et des vaisseaux.

\* De  $J_5$  à  $J_8$  (phase de régénération), la croissance de l'endomètre à partir des culs de sacs glandulaires est stimulée par le 17 bêta-œstradiol. L'épithélium de surface se réform, les glandes et les artérioles s'allongent un peu. On note de nombreuses mitoses dans l'épithélium de surface, les glandes et le chorion.

\* De  $J_9$  à  $J_{14}$  (phase de prolifération), la croissance de l'endomètre continue. On observe une légère sinuosité des glandes et un début de spiralisation des artères en profondeur dus à un allongement respectif des glandes et des artères plus rapide que celui du chorion. Les cellules épithéliales augmentent de hauteur présentant un pôle apical clair (phase postmenstruelle).

- **Phase lutéinique** (phase prémenstruelle):

\* De  $J_{15}$  à  $J_{21}$  (phase de transformation glandulaire), sous l'action combinée des œstrogènes et de la progestérone, les glandes deviennent plus longues et plus sinueuses et les artérioles plus spiralées. La sécrétion débutante du glycogène au pôle basal des cellules est provoquée par la progestérone.

\* De  $J_{22}$  à  $J_{28}$  (phase de sécrétion glandulaire), la lumière glandulaire est déformée par des pointes ou épines conjonctives du chorion. Ainsi, les glandes devenues très contournées sont dites glandes en dents de scie ou glandes ramifiées. Les artérioles atteignent leur spiralisation maximale. Gagnant le pôle apical des cellules, le glycogène est excrété : c'est la phase de sécrétion-excrétion. Les 21 et 22<sup>ème</sup> jours du cycle sont marqués par un œdème du chorion lié au taux plasmatique maximal des hormones ovariennes.

Durant la phase lutéinique, l'endomètre continue à proliférer et atteint son épaisseur maximum (8mm chez la Femme).

D'autre part les contractions utérines qui existaient lors de la phase folliculaire, cessent créant ainsi un silence utérin. Ces conditions sont optimales pour une éventuelle nidation. Ces transformations ne s'interrompent que pendant la gestation et la ménopause. A chaque cycle, l'endomètre se prépare ainsi à la gestation, d'où le nom de phase progestative donné également à la phase lutéinique.

A la fin du cycle (si aucun embryon n'est venu s'implanter), la chute du taux des hormones entraîne la régression de l'endomètre.

Il se produit à la fin de la phase lutéinique une régression de l'endomètre. Chez la plupart des Mammifères, la régression progressive ne se manifeste par aucun signe extérieur. Chez la Femme et certaines femelles de Singes il se produit au contraire un « décapage » de la majeure partie de l'endomètre, accompagné d'hémorragie par rupture des vaisseaux sanguins. L'élimination à l'extérieur des débris de muqueuse mêlés de sang constitue les règles ou menstruation.

A la fin des règles, la fine couche d'endomètre qui subsiste (endomètre résiduel) recommence à proliférer.

**NB-** Un tel corps jaune qui régresse en fin de cycle est appelé corps jaune cyclique ou progestatif. En quelques jours il perd sa couleur et se transforme en une masse fibreuse, le corps blanc, qui disparaîtra : il ne reste qu'une cicatrice à la surface de l'ovaire.

Si au contraire il y a fécondation et qu'un jeune embryon se fixe dans l'utérus, le corps jaune persiste, se développe, et prend le nom de corps gestatif ou de grossesse.

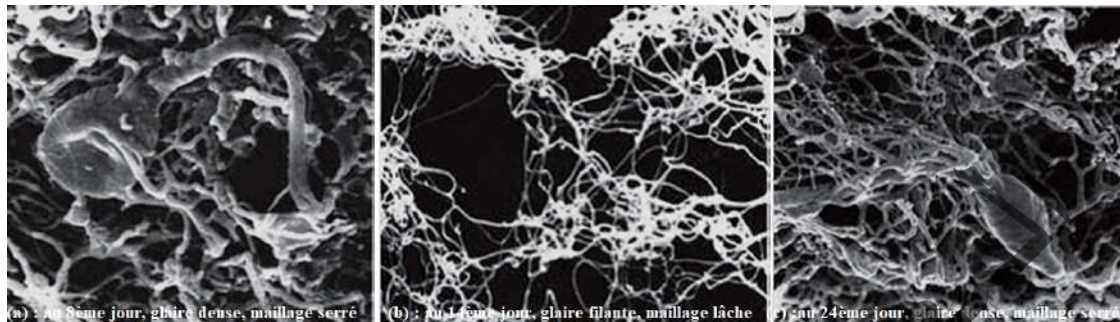
### Activité 9 :

**Quelles transformations observe-t-on au niveau du col de l'utérus ?**

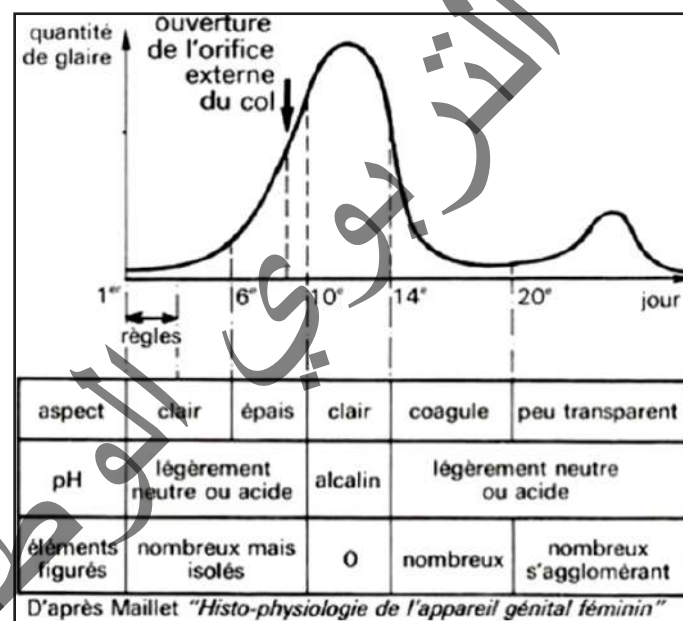
La glaire cervicale ou mucus cervical est le produit de sécrétion des glandes endocervicales auquel

s'ajoutent les sécrétions tubaires et utérines ; c'est un hydrogel visqueux riche en eau contenant des glycoprotéines organisées en microfilaments, des glucides (glycogène, glucose), des lipides, des acides aminés et protéines (dont l'albumine, la phosphatase alcaline et le lysozyme), et du Na Cl. Son abondance et ses propriétés sont variables suivant le moment du cycle sexuel. La glaire cervicale présente des modifications cycliques traduites par les documents ci-dessous.

**Document 1 :** Au cours du cycle menstruel, le col de l'utérus subit des modifications en rapport avec la sécrétion de glaire par les glandes cervicales.



**Document 2 :** Le graphe ci-dessous montre que l'abondance de la glaire ainsi que ses propriétés varient selon le jour du cycle.



**Exploiter les documents afin d'expliquer le cycle de la glaire cervicale.**

Peu importante au début du cycle, la glaire cervicale devient de plus en plus abondante et «filante» sous l'effet des œstrogènes, jusqu'à la phase ovulatoire. La progestérone sécrétée ensuite, diminue sa quantité et la rend plus épaisse. Au moment de l'ovulation, elle est particulièrement limpide car riche en eau, sa filance est maximale, son pH alcalin et le réseau de mailles de glycoprotéines est très large et étiré longitudinalement. Toutes ces conditions favorisent la survie des spermatozoïdes et leur franchissement du col. En dehors de la période ovulatoire, le mucus cervical, plus épais, forme, contre les agents microbiens, une barrière physique (mailles serrées et transverses du réseau glycoprotéique) et biochimique, notamment par son pH alcalin et par le lysozyme (enzyme bactériolytique).

On attribue au mucus cervical différents rôles physiologiques, en particulier :

- créer un milieu basique favorable à la vie des spermatozoïdes (les sécrétions vaginales, très acides, sont hostiles) ;



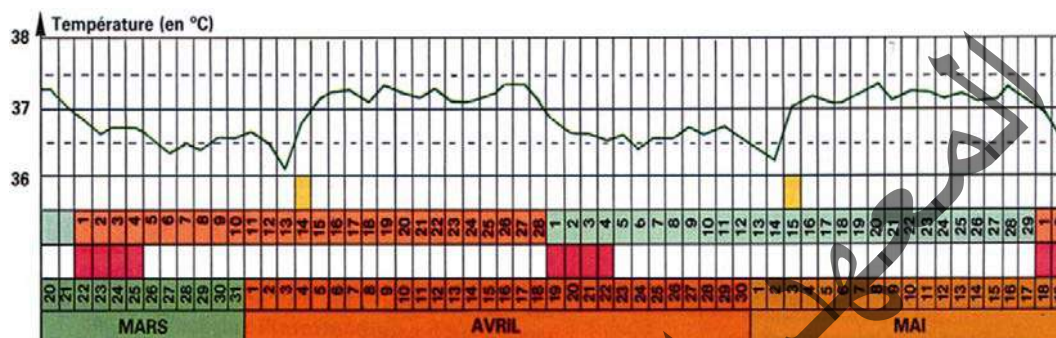
- condamner l'accès de la cavité utérine en dehors de la période ovulatoire (de nombreux germes microbiens sont arrêtés par le maillage très serré) ;
- sélectionner les spermatozoïdes les plus vigoureux (les spermatozoïdes morphologiquement anormaux ou peu actifs ne passent pas le maillage).

### Activité 10 :

#### Quelles variations de la température corporelle observe-t-on au cours du cycle sexuel ?

Pour apprécier les variations de la température, il faut la mesurer le matin au réveil et en absence de toute perturbation (par exemple, état grippal).

Le document ci-dessous exprime ces variations.



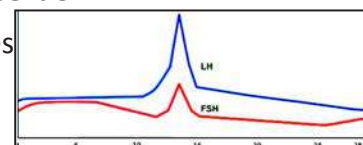
#### Exploiter les documents afin d'expliquer le cycle des températures.

En phase folliculaire, la température corporelle reste légèrement inférieure à 37°C. Au moment de l'ovulation, elle augmente et reste légèrement supérieure à 37°C au cours de la phase lutéale. La hausse brutale de température au 14<sup>ème</sup> jour est due à l'effet hyperthérmisant de la progestérone et indique le moment de l'ovulation.

### Activité 11 :

#### Observer l'évolution des hormones hypophysaires au cours du cycle sexuel.

Le graphe ci-contre exprime la variation cyclique des hormones hypophysaires.



#### Analyser les graphes pour expliquer le cycle hypophysaire.

Deux gonadostimulines stimulent le fonctionnement ovarien :

\*La FSH : son taux croissant au début régresse à partir du 7<sup>ème</sup> jour ; augmente ensuite et atteint son maximum vers le 13<sup>ème</sup> jour ; diminue après ovulation et se maintient faible pendant la phase lutéale mais reprend deux jours avant la fin du cycle.

\*La LH : son taux faible et constant durant la phase folliculaire, croît brusquement vers le 13<sup>ème</sup> jour pour atteindre son maximum (pic de LH) ; diminue après ovulation et se maintient faible pendant la phase lutéale.

La FSH stimule au début du cycle la croissance des follicules et la sécrétion d'œstrogènes. Puis, la diminution du taux de FSH survenant vers le 7<sup>ème</sup> jour, entraîne l'atresie de la plupart des follicules. En fin du cycle, l'élévation de son taux recrute de nouveaux follicules qui poursuivront leur croissance au cours des cycles suivants. La LH par son pic qui parvient vers le milieu du cycle avec le taux augmenté de FSH, déclenche l'ovulation puis la transformation du follicule éclaté en corps jaune.

## D- Régulation de l'activité sexuelle femelle

### Activité 12 :

#### Document 1 : Rôle de l'ovaire.

| Expériences   | Résultats   | Interprétations |
|---|---|-----------------|
| Ablation de l'utérus chez une ratte pubère.   | Aucun effet sur le cycle ovarien.   |                 |
| Ablation des ovaires d'une ratte pubère.  | Arrêt du cycle utérin et atrophie de l'utérus.                            |                 |
| Grefe d'un fragment de l'utérus à une ratte pubère.                                   | Le fragment greffé subit les mêmes transformations que l'utérus en place. |                 |
| Injection d'extraits ovariens à une ratte ovariectomisée.                             | Prolifération de l'endomètre sans variations cycliques.                   |                 |
| Ovariectomie bilatérale   | Hausse des taux sanguins de FSH et LH.                                    |                 |
| Injections de faibles doses d'œstradiol pendant une longue durée.                     | Baisse notable des taux sanguins de gonadostimulines surtout la LH.       |                 |
| Injections d'une forte dose d'œstradiol (courte période)                              | -Augmentation de FSH et surtout LH.<br>- Pic de LH.                       |                 |
| Injections de fortes doses d'œstradiol et de progestérone pendant une longue période. | Taux faible de LH et de FSH   |                 |

#### Document 2 : Rôle de l'hypophyse.

| Expériences   | Résultats   | Conclusions |
|---|---|-------------|
| Hypophysectomie d'une ratte pubère.   | -Atrophie des ovaires et de l'utérus et disparition de leur cycle.                            |             |
| Grefe de l'hypophyse à sa place d'origine ou injections quotidiennes de ses extraits à doses convenables. | Développement normal des ovaires et de l'utérus et restauration de leurs activités cycliques. |             |
| Injections d'extraits hypophysaires à une ratte hypophysectomisée et ovariectomisée.                      | Aucun effet sur l'utérus qui demeure atrophié.  |             |

#### Document 3 : Rôle de l'hypothalamus.

Quelques expériences historiques qui ont mis en évidence cette relation entre hypothalamus et hypophyse.

- \* La destruction de certains amas de neurones hypothalamiques a provoqué l'arrêt de la libération de FSH et de LH par l'hypophyse antérieure.
- \* La stimulation électrique de ces mêmes amas de neurones provoque l'augmentation brutale de la libération de FSH et de LH par l'hypophyse antérieure.
- \* Lorsque l'on déconnecte l'hypothalamus de l'hypophyse par section de la tige hypophysaire (c'est la zone plus étroite entre l'hypothalamus et l'hypophyse), la libération de FSH et de LH est immédiatement stoppée.
- \* Si on prélève avec une canule, du sang dans le réseau vasculaire de la tige hypophysaire, on peut isoler une substance particulièrement active, la GnRH (Gonadotrophin-Releasing Hormon) qui est responsable du déclenchement de la production et de la libération des gonadostimulines (FSH et LH).

**Compléter les tableaux des documents 1 et 2 et avec l'aide du document 3, montrer les interactions entre les différents organes cités puis établir un schéma fonctionnel résumant ces interactions.**

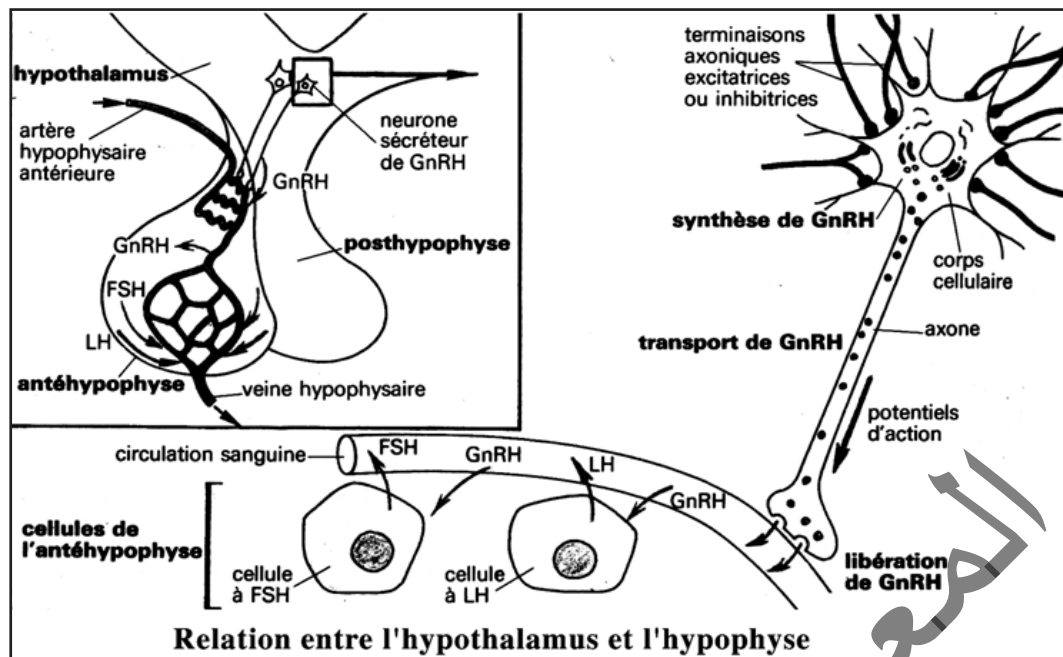


| Expériences   | Résultats   | Interprétations   |
|---|---|---|
| Ablation de l'utérus chez une ratte pubère.   | Aucun effet sur le cycle ovarien.   | L'utérus ne contrôle pas le cycle ovarien.  |
| Ablation des ovaires d'une ratte pubère.  | Arrêt du cycle utérin et atrophie de l'utérus.                            | L'ovaire contrôle le cycle utérin.  |
| Grefe sous-cutanée d'un fragment de l'utérus à une ratte pubère.                      | Le fragment greffé subit les mêmes transformations que l'utérus en place. | Les ovaires contrôlent le cycle utérin à distance par voie sanguine.  |
| Ovariectomie bilatérale   | Augmentation des taux sanguins de FSH et de LH.                           | Les ovaires en place inhibent la sécrétion de FSH et de LH.   |
| Injections de faibles doses d'œstradiol pendant une longue durée.                     | Baisse notable du taux sanguin de FSH et surtout de LH.                   | A faibles doses, l'œstradiol exerce un RC <sup>-</sup> sur la sécrétion des gonadostimulines.               |
| Injections d'une forte dose d'œstradiol   | -Augmentation de FSH et surtout de LH.<br>- Pic de LH.                    | A fortes doses, l'œstradiol exerce un RC <sup>+</sup> sur la sécrétion des gonadostimulines (surtout la LH) |
| Injections de fortes doses d'œstradiol et de progestérone pendant une longue période. | Taux faible de LH et de FSH   | La progestérone exerce toujours un rétrocontrôle négatif sur la sécrétion des gonadostimulines.             |
| Ovariectomie bilatérale   | Augmentation des taux sanguins de FSH et de LH.                           | Les ovaires en place inhibent la sécrétion des gonadostimulines.  |

L'ablation des deux ovaires, expérimentalement chez l'animal ou pour des raisons médicales chez la femme, provoque un arrêt de l'évolution cyclique de l'utérus, la régression des caractères sexuels primaires et secondaires, la stérilité et une hypertrophie de l'hypophyse. Ainsi, les ovaires contrôlent le cycle utérin, l'activité sexuelle par voie hormonale et exercent un RC sur le CHH. Ils produisent, de manière cyclique, deux types d'hormones : les œstrogènes et la progestérone (Document 1).

| Expériences   | Résultats  | Conclusions   |
|---|--|---|
| Hypophysectomie d'une ratte pubère.   | Atrophie des ovaires et de l'utérus et disparition de leur cycle.        | L'hypophyse contrôle l'activité des ovaires et de l'utérus.                     |
| Grefe de l'hypophyse à sa place d'origine ou injections quotidiennes de ses extraits à des doses convenables. | -Développement normal des ovaires et de l'utérus et retour à la normale. | L'hypophyse agit par voie hormonale en sécrétant des gonadostimulines.          |
| Injections d'extraits hypophysaires à une ratte hypophysectomisée et ovariectomisée.                          | Aucun effet sur l'utérus qui demeure atrophié.                           | L'hypophyse n'agit pas directement sur l'utérus, mais par le biais des ovaires. |

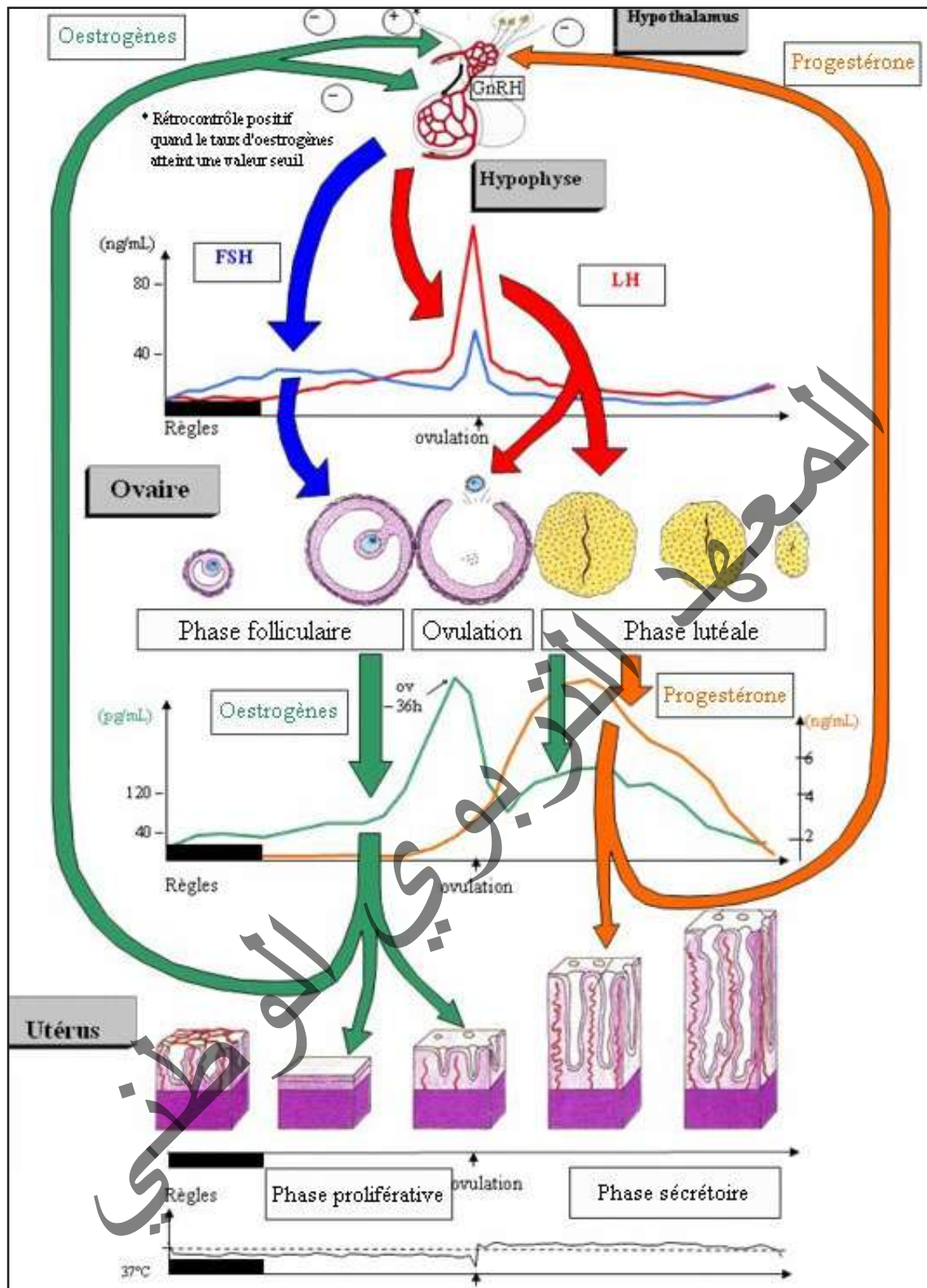
Le fonctionnement de l'ovaire est sous contrôle direct de deux hormones sécrétées par l'hypophyse antérieure : FSH et LH (Document 2).



**Relation entre l'hypothalamus et l'hypophyse**

L'hypothalamus contrôle la sécrétion hypophysaire par l'intermédiaire d'une neurohormone : la GnRH ou gonadolibérine sécrétée par des neurones hypothalamiques au niveau des capillaires sanguins de la tige hypothalamo-hypophysaire (pituitaire). La sécrétion de GnRH est pulsatile dont la fréquence varie suivant la phase du cycle. La fréquence des pulses augmente au moment de l'ovulation (Document 3). L'ovaire exerce, par l'intermédiaire de ses hormones, un rétrocontrôle (feed-back) sur le CHH. Lorsque le taux d'œstradiol augmente, la sécrétion de FSH et LH diminue, c'est un RC(-) qui se produit au début du cycle (jusqu'au 10<sup>ème</sup> j). On constate ensuite une augmentation rapide du taux d'œstradiol et aussi une augmentation brusque (pic) de FSH et de LH, c'est un RC(+) qui se produit juste avant l'ovulation. Enfin, il y a un autre RC(-) exercé par les hormones ovariennes au cours de la phase lutéale. A la fin du cycle, la chute du taux des hormones ovariennes suite à la régression du corps jaune, entraîne une reprise de la sécrétion des hormones hypophysaires et un nouveau cycle recommence.

Les messages nerveux engendrés par des stimuli (visuels, olfactifs, tactiles...) et provenant de différents centres cérébraux, modulent les sécrétions du complexe hypothalamo-hypophysaire, et donc les cycles sexuels.



### III- Interruption du cycle sexuel

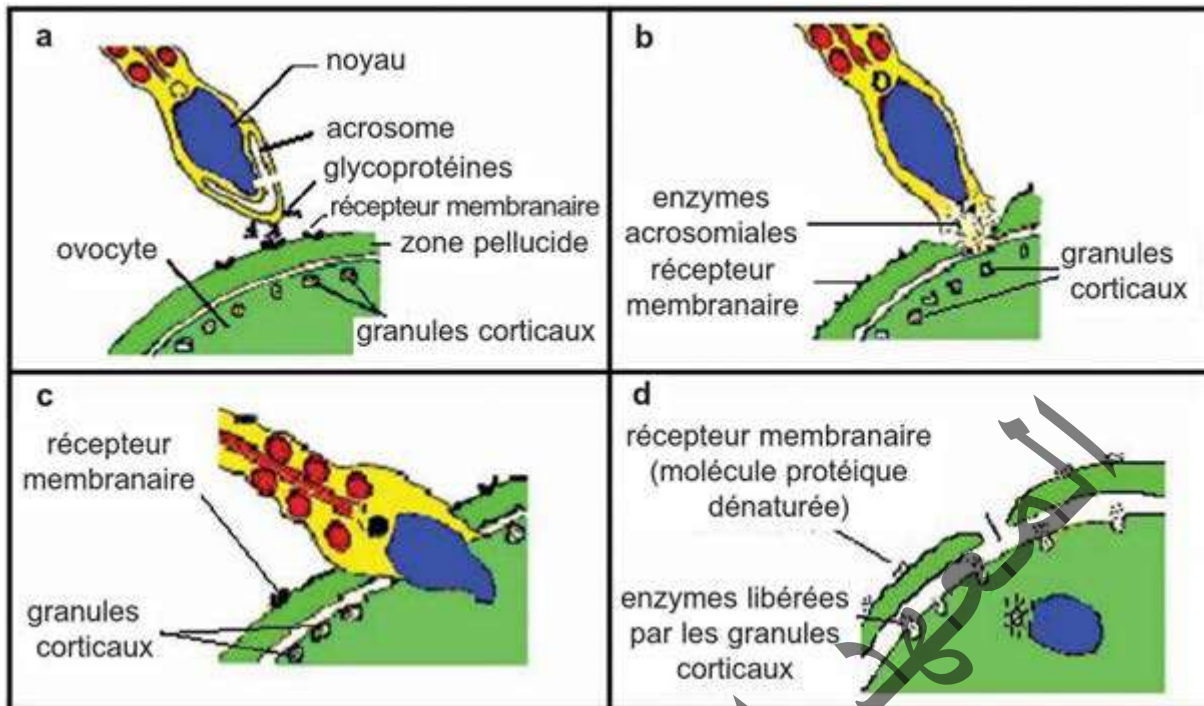
#### A- Fécondation

#### Activité 13 :

Comment se fait la rentrée du gamète mâle et quelles sont ses conséquences ?

Des observations au microscope électronique ont permis d'élucider le mécanisme de reconnaissance entre les gamètes. Elles ont aussi montré qu'un seul spermatozoïde franchit la zone pellucide et

pénètre dans l'ovocyte (document ci-dessous).



- En utilisant ces nouvelles données, expliquer la reconnaissance entre les gamètes.
- Décrire les transformations nucléaires et cytologiques déclenchées par la pénétration du spermatozoïde dans le cytoplasme ovocytaire.
- Expliquer le mécanisme assurant la monospermie.

- **La reconnaissance entre les gamètes** : Au moment de la fécondation, l'adéquation entre des récepteurs situés sur la zone pellucide qui entoure l'ovocyte et des protéines de reconnaissance situées sur le spermatozoïde permet la fixation du spermatozoïde à la zone pellucide. Cette fixation entraîne une réaction acrosomique, au cours de laquelle le contenu de l'acrosome, organe riche en enzymes digestives situé dans la tête du spermatozoïde, est répandu dans la zone pellucide. La zone pellucide, bien étudiée chez la souris, est composée de trois sortes de glycoprotéines appelées  $ZP_1$ ,  $ZP_2$  et  $ZP_3$ , de masses moléculaires respectivement égales à 200 000, 120 000 et 83 000. L'assemblage de ces trois glycoprotéines forme une enveloppe épaisse de 7  $\mu m$  autour de l'ovocyte de souris. Chez toutes les autres espèces étudiées, la zone pellucide ne contient, que quelques types de glycoprotéines. L'une de ces glycoprotéines,  $ZP_3$  est le récepteur du spermatozoïde impliqué dans la fixation de ce dernier à la zone pellucide et est également impliquée dans la réaction acrosomique, probablement parce que la fixation rend la membrane plasmique des spermatozoïdes perméables aux ions calcium, facilitant ainsi la fusion des membranes plasmique et acrosomique du spermatozoïde.

La surface de la zone pellucide comporte ainsi des dizaines de millions de molécules  $ZP_3$ . Une molécule  $ZP_3$  est elle-même une chaîne polypeptidique d'environ 400 acides aminés, sur laquelle sont fixées de courtes chaînes de sucres, les oligosaccharides, de plusieurs types. La chaîne polypeptidique n'intervient pas dans la fixation des spermatozoïdes. Les composants responsables de la fixation sont certains O-oligosaccharides de la molécule  $ZP_3$ . Par contre, la chaîne polypeptidique de la molécule  $ZP_3$  est nécessaire pour déclencher la réaction acrosomique.

- **Transformations nucléaires et cytologiques déclenchées par la pénétration du spermatozoïde dans le cytoplasme ovocytaire et explication du mécanisme assurant la monospermie** : La pénétration du gamète mâle se fait suivant le mécanisme ci-après :

- ❖ Une réaction corticale avec formation de nombreuses vésicules, les granules corticaux, qui s'ouvrent à la surface libérant sous la zone pellucide du liquide périovulaire, constitue autour de



l'ovocyte un espace (l'espace périvitellin) séparant l'ovocyte de la zone pellucide. Le contenu des granules semble modifier la composition de la zone pellucide et pourrait expliquer le blocage des spermatozoïdes présents en périphérie, la zone pellucide assurerait ainsi le contrôle de la monospermie.

❖ Une activation du cytoplasme accompagne cette réaction corticale : les métabolismes augmentent avec en particulier une synthèse notable d'A.R.N.

❖ Une reprise de la méiose avec l'achèvement de sa 2<sup>ème</sup> division et l'expulsion du 2<sup>ème</sup> globule polaire. Il résulte de ces phénomènes une cellule volumineuse constituée par le cytoplasme de l'ovocyte devenu ovotide et contenant 2 éléments nucléaires, l'un issu de l'ovocyte (pronucléus femelle), l'autre formé de la tête du spermatozoïde (pronucléus mâle).

Des mécanismes doivent rendre l'ovocyte réfractaire à toute nouvelle fécondation dès que l'un des spermatozoïdes est entré. En effet, en cas de pénétration multiple (ou polyspermie), ce qui arrive parfois, l'œuf n'est pas viable.

Des recherches récentes ont montré que le blocage de la polyspermie se déroule en 2 temps et fait intervenir deux mécanismes différents : un blocage précoce et un blocage tardif.

• **Le blocage précoce** de la polyspermie est dû à une modification de polarisation membranaire de l'ovocyte lors de la pénétration du spermatozoïde : le potentiel de membrane passe brutalement de - 60 mV à + 10 ou + 20 mV. Le mécanisme moléculaire par lequel cette dépolarisation empêche la pénétration des nouveaux spermatozoïdes est mal connu mais il est bien réel ; en effet, si l'on dépolarise artificiellement la membrane d'un ovocyte vierge à l'aide d'une microélectrode, les spermatozoïdes demeurent capables de se fixer sur cet ovocyte, mais ils ne peuvent y pénétrer. Cependant, rapidement après la pénétration du spermatozoïde, la membrane de l'œuf retrouve sa polarisation initiale. Un autre mécanisme de blocage de la polyspermie intervient donc : c'est le blocage tardif.

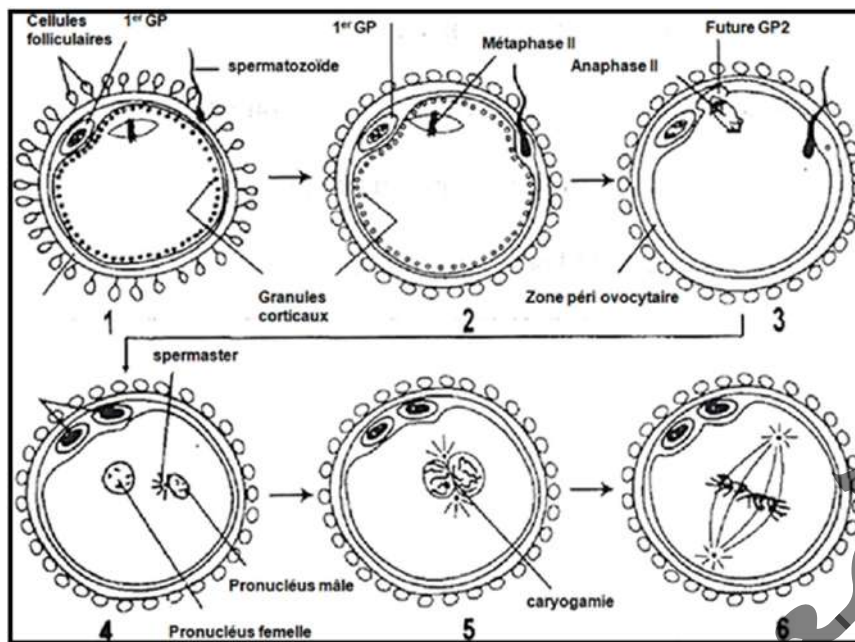
• **Le blocage tardif** de la polyspermie est dû à la libération du contenu des granules corticaux dans l'espace péri-ovocyttaire. Parmi les substances libérées, diverses enzymes protéolytiques modifient les récepteurs protéiques de la zone pellucide et les rendent incapables de fixer des spermatozoïdes.

Même si un seul spermatozoïde pénètre dans l'ovocyte, la présence de quelques centaines d'entre eux est indispensable à la fécondation car leurs sécrétions sont nécessaires pour fragiliser les enveloppes de l'ovocyte.

#### Activité 14 :

##### Décrire et caractériser les étapes de la fécondation.

Chez les mammifères, quelques centaines de spermatozoïdes sur les centaines de millions qui ont été déposés dans le vagin lors d'un rapport sexuel parviennent à proximité immédiate de l'ovocyte dans la partie supérieure d'une trompe. Un seul d'entre eux pénètre finalement dans le gamète femelle. Nul ne sait pourquoi tel spermatozoïde plutôt que tel autre va assurer la fécondation. Tous semblent avoir a priori la même chance d'en être l'acteur ; on dit que la fécondation se fait « au hasard ». Des spermatozoïdes capables (c'est-à-dire ayant un pouvoir fécondant) sont placés in vitro en présence d'un ovocyte mûr. On suit au microscope l'évolution de ces gamètes et on réalise des schémas d'interprétation des transformations conduisant à l'œuf et à la première division de l'œuf.



**En exploitant les données précédentes, résumer les conditions et les étapes de la fécondation.**

La fécondation est la rencontre puis la fusion d'un gamète mâle, le spermatozoïde et d'un gamète femelle, l'ovocyte II bloqué en métaphase II. La fécondation se produit après l'ovulation dans le tiers supérieur de la trompe (l'ampoule), dans un délai de deux jours.

Chronologiquement, la fécondation ne peut avoir lieu qu'au moment de l'ovulation dans le cycle féminin. C'est-à-dire qu'un rapport sexuel ne peut être fécondant que s'il a lieu durant les trois à quatre jours précédant l'ovulation (ce qui correspond à la durée de vie des spermatozoïdes dans les voies génitales féminines) ou dans les 24 heures qui suivent (durée de vie de l'ovocyte). La période de fécondabilité n'est donc que de 5 jours sur un cycle de 28.

La fécondation comprend les événements principaux suivants :

- Les nombreux spermatozoïdes (200 à 300 millions) déposés dans le vagin lors du rapport sexuel, subissent, au cours de leur progression dans les voies génitales femelles :
  - \* la glaire cervicale ne laisse passer que 1 à 2 % d'entre eux (sélection), les débarrasse du liquide séminal qui renferme des substances inhibitrices de la fécondation (lavage) ;
  - \* des cellules phagocytaires détruisent un grand nombre de spermatozoïdes dans la cavité utérine (régulation du nombre) ;
  - \* les spermatozoïdes acquièrent leur pouvoir fécondant par un processus complexe (capacitation, induite par des sécrétions des cellules des trompes).
- un nombre réduit de spermatozoïdes parvient au niveau de l'ovocyte ; la fixation de l'un d'entre eux à la surface de la zone pellucide déclenche la libération des enzymes de l'acrosome. Ces enzymes permettent la pénétration de quelques spermatozoïdes dans la zone pellucide ; l'un se fixe sur la membrane plasmique de l'ovocyte, après une reconnaissance spécifique.

#### **- Conditions de la fécondation :**

La rencontre des gamètes n'est possible que si certaines conditions sont réunies :

- Éjaculation atteignant l'orifice du col et de bonne qualité : viscosité normale du liquide séminal, sperme aseptique, pH normal, nombre et qualité des spermatozoïdes. Les valeurs habituelles observées au cours de l'examen du sperme sont le pH 7 à 8,7, la concentration en spermatozoïdes

(40 à 100 millions/cm<sup>3</sup>), la mobilité ( 80 à 90 % de spermatozoïdes mobiles à l'émission) et l'aspect cytologique (moins de 25 % de formes anormales) ;

- Glaire cervicale de bonne viscosité et à pH alcalin ;
- Perméabilité des trompes (absence d'infection des voies génitales femelles) : Une bonne perméabilité tubulaire. Les trompes ne doivent pas être bouchées. Le sperme doit être déposé dans le vagin moins de 5 jours avant ou après l'ovulation. Le rapport doit avoir lieu dans la période féconde du cycle menstruel.
- Délai entre rapport et ovulation inférieur à 3-4 jours, durée de la survie des spermatozoïdes dans les voies génitales de la femme. Survie de l'ovule 36 à 48 heures après l'ovulation.
- Réalité de l'ovulation : Une ovulation de moins de 36 à 48 heures avant l'acte sexuel.

Toute perturbation de l'un de ces facteurs peut être une cause d'infertilité du couple.

#### - Déroulement de la fécondation :

Vu que le mécanisme de l'union entre l'ovule et le spermatozoïde semble très simple, plusieurs processus et transformations des deux gamètes doivent se produire pour que la fécondation ait lieu:

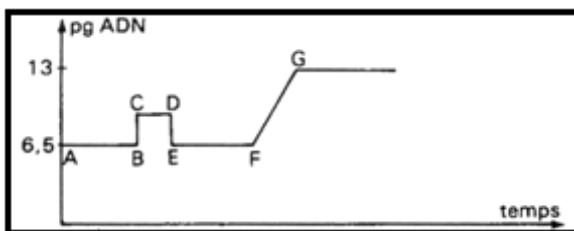
- Rencontre des gamètes (spermatozoïdes et ovocyte II) dans la partie supérieure de la trompe (tiers supérieur).
- Pénétration de la « corona radiata » : Le processus de fécondation commence avec la pénétration des spermatozoïdes dans la couche de cellules folliculaires qui entourent l'ovocyte : la corona radiata. Les spermatozoïdes traversent cet ensemble de cellules grâce à la libération d'enzymes hyaluronidases et aux mouvements de leur flagelle.
- Reconnaissance entre les gamètes : les spermatozoïdes se lient à des récepteurs situés dans la zone pellucide (ZP<sub>3</sub>).
- Réaction acrosomique : Après la libération des enzymes hydrolytiques contenues dans l'acrosome (acrosine) suite à l'entrée de Ca<sup>2+</sup>, les membranes de deux gamètes fusionnent et le noyau du spermatozoïde est injecté dans le cytoplasme de l'ovocyte II. Un réveil physiologique de l'ovocyte se produit.
- Dépolarisation de la membrane qui s'oppose à l'entrée d'un autre spermatozoïde (pour éviter la polyspermie) : Un spermatozoïde ne peut fusionner avec la membrane de l'œuf que lorsqu'elle est à son potentiel de repos. Dès qu'un spermatozoïde pénètre, une protéine de l'acrosome fait ouvrir les canaux ioniques de la membrane de l'œuf et permet l'entrée de Ca<sup>++</sup> et Na<sup>+</sup> dans l'ovocyte et la sortie de K<sup>+</sup> et H<sup>+</sup>. Or, l'entrée de Na<sup>+</sup> dans l'œuf, élève le potentiel. Cette dépolarisation (L'élévation de potentiel membranaire) empêche d'autres spermatozoïdes de fusionner avec la membrane de l'ovocyte pour éviter la polyspermie.
- L'augmentation du taux de Ca<sup>2+</sup> et du pH cytoplasmique qui déclenche l'activation de l'ovocyte.
- Réaction corticale : Le potentiel membranaire de l'œuf retourne au repos alors que plusieurs spermatozoïdes y sont encore accolés. Un mécanisme lent les y enlève : la réaction corticale. Elle ressemble à la réaction acrosomienne : en présence d'ions Ca<sup>++</sup>, la membrane des granules corticaux fusionne avec celle de l'ovocyte, libérant leur contenu enzymatique dans l'espace péri-ovocyttaire contribuant à garantir la monospermie.
- La pénétration d'un spermatozoïde déclenche la reprise de la division équationnelle qui se termine pour donner deux cellules inégales et haploïdes à n chromosomes simples : un ovotide (ovule) et un deuxième globule polaire. C'est l'achèvement de la deuxième division de méiose et expulsion du 2<sup>ème</sup> globule polaire.
- Formation de 2 pronoyaux (pronucléi) ainsi que de l'aster : synthèse d'ADN et duplication des chromosomes dans chacun de 2 noyaux gamétiques qui gonflent.

➤ La caryogamie : Le pronoyau et le centriole mâles subissent une rotation de  $180^\circ$  de sorte que le centriole mâle fait face au pronoyau femelle. Le pronoyau femelle complète sa deuxième division méiotique, avec émission du second globule polaire et expulsion du centriole. Le centriole mâle se dédouble et les deux s'éloignent du centre du cytoplasme ; les microtubules centriolaires forment deux asters. Les deux pronoyaux (chacun à 23 chromosomes) migrent l'un vers l'autre ; à leur rencontre, les membranes nucléaires se brisent, fusionnent et une membrane nucléaire unique se forme : c'est la caryogamie qui conduit à la formation de la cellule œuf ou zygote.

➤ La première division de la cellule (1<sup>ère</sup> mitose du zygote) donne une cellule-œuf au stade 2 cellules (blastomères) : premières étapes embryonnaires.

Au cours de la caryogamie qui conduit à la formation d'un zygote ou cellule-œuf, se produit la synthèse d'ADN et la duplication des chromosomes pour donner un noyau diploïde du zygote à  $2n$  chromosomes dupliqués.

Le graphe suivant donne la variation de la quantité d'ADN au cours de la fécondation :



A : ovocyte II :  $n$  chromosomes dupliqués ;  
 BC : entrée de  $n$  chromosomes simples (spermatozoïde) ;  
 DE : perte de  $n$  chromosomes simples (expulsion du GPII) ;  
 EF :  $2n$  chromosomes simples (zygote) ;  
 FG :  $2n$  chromosomes dupliqués (zygote).

## B- Gestation

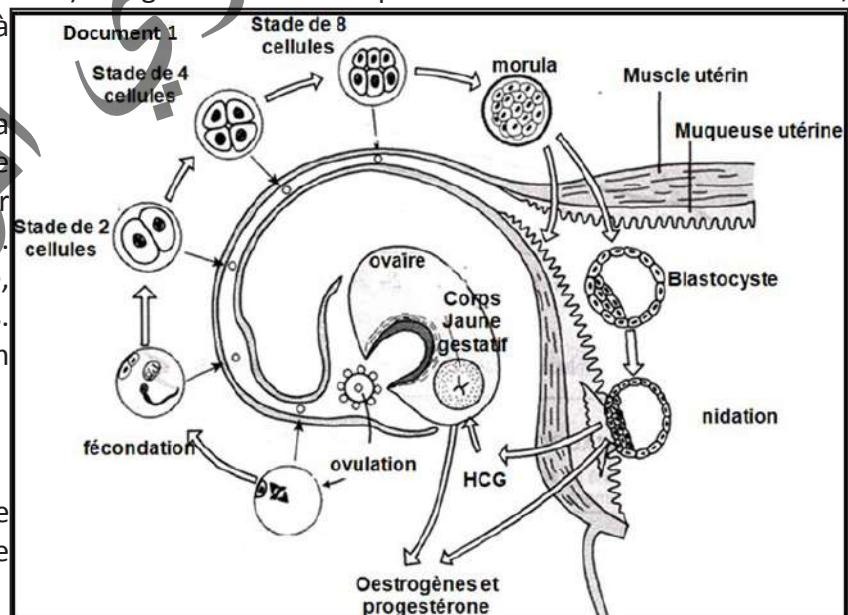
### Activité 15 :

#### Décrire et caractériser le devenir de l'œuf.

La gestation (grossesse chez la femme) désigne l'état dans lequel se trouve une femme enceinte, depuis la nidation de l'œuf jusqu'à la parturition.

Elle se définit aussi comme la période de temps qui s'écoule entre la fécondation de l'ovule par le spermatozoïde et la naissance. Pendant toute cette période, l'embryon est porté dans l'utérus. La durée moyenne de la gestation chez l'homme est de 266 jours (9 mois environ).

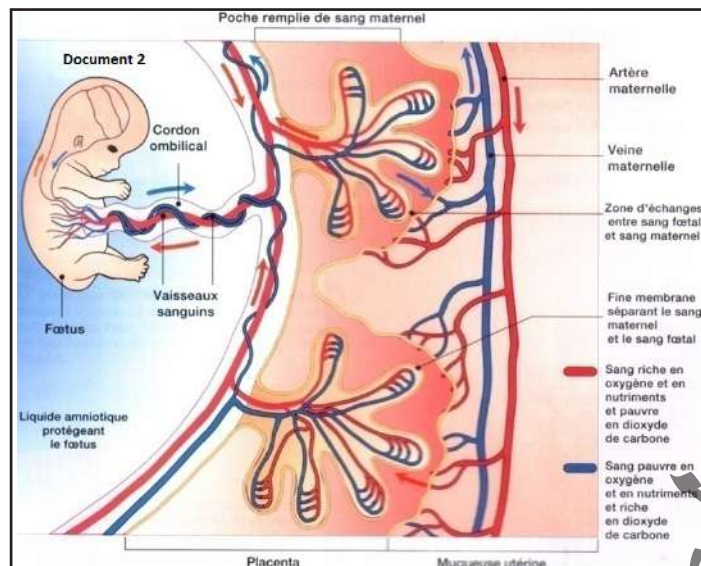
Au cours de la première semaine de la grossesse, l'œuf effectue une descente vers la cavité utérine.



Au cours de cette descente, il subit un ensemble de transformations qui conduisent à l'embryon (Document 1).

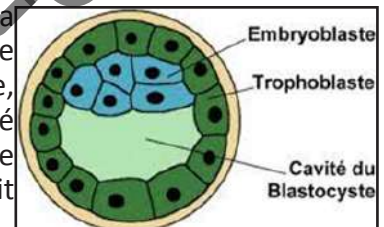
Ensuite, des liens étroits commencent à s'établir entre cet embryon et le corps maternel. Le document 2 ci-dessous représente le réseau sanguin assurant les échanges entre le corps maternel et le corps foetal.





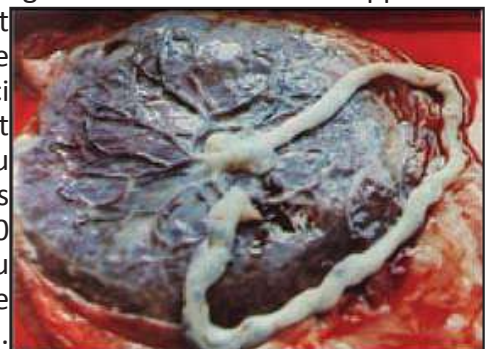
### Exploiter ces documents en vue d'élucider le devenir de la cellule-œuf.

Après la fécondation ( $T=0$ ), le zygote subit une segmentation grâce à des mitoses successives pour donner un embryon à différents stades. Au cours de la segmentation l'embryon progresse dans la trompe pour atteindre l'utérus vers le 4<sup>ème</sup> jour en stade de morula. La morula descend dans la cavité utérine se transforme en blastocyste formé d'une couche périphérique de cellules appelée trophoblaste, d'une masse de cellules appelée bouton embryonnaire et d'une cavité nommée blastocœle. Le blastocyste se rapproche de l'endomètre, se fixe et s'y implante pour former son nid : c'est la nidation qui se produit vers le 7<sup>ème</sup> jour après la fécondation (Document 1).



La nidation consiste pour l'embryon des Mammifères placentaires, à s'implanter dans la muqueuse utérine pour former un placenta, source de nourriture pour son développement.

Six jours après la fécondation, alors que l'œuf est dans la cavité utérine, la membrane pellucide, qui l'entoure encore complètement, se rompt. Le blastocyste en sort et les cellules du trophoblaste qui sont à sa surface vont entrer en contact avec la muqueuse de l'utérus : l'endomètre. Durant quelques jours, ces cellules trophoblastiques se multiplient et s'incrudent en profondeur dans l'endomètre afin de mettre en place, avec l'organisme maternel, les échanges nécessaires au développement de l'embryon. Ainsi, le trophoblaste s'intègre totalement à l'endomètre et se creuse de cavités formant bientôt une chambre placentaire envahie par le sang maternel ; celui-ci est injecté sous pression par les artères utérines partiellement érodées. De multiples replis d'origine embryonnaire (ou villosités choriales) baignent dans cette chambre. Ils contiennent un réseau sanguin capillaire très important (50 km), raccordé à l'appareil circulatoire de l'embryon (puis du fœtus), grâce à deux artères et une veine qui empruntent le cordon ombilical (dont la longueur atteindra 50 cm à terme). Le placenta provient donc en partie de l'embryon, en partie de l'endomètre. En fin de grossesse, il représente une « galette » (en latin, placenta..) de 500 g (20 cm de diamètre et 3 cm d'épaisseur). Il correspond à une surface d'échanges de 10 à 14 m<sup>2</sup> entre les sangs maternel et fœtal séparés par une membrane très fine (Document 2).



Au cours des semaines suivant la nidation, le corps de l'embryon se dégage progressivement de l'ancien trophoblaste auquel il restera relié par un pédoncule, le cordon ombilical. Parallèlement, l'amnios entoure l'embryon et place ce dernier dans une poche remplie de liquide amniotique. Une mince couche de cellules se développe à la surface de l'embryon, signalant le début de la gastrulation. C'est un processus au cours duquel les trois feuillets du fœtus, l'ectoderme (épiblaste),

le mésoderme (ou mésoblaste) et l'endoderme, se développent. La couche de cellules commence par stimuler la croissance de l'endoblaste et du mésoblaste ; l'ectoblaste commence à croître rapidement grâce à des substances chimiques stimulatrices produites par le mésoblaste sus-jacent.

Ces trois couches se développeront pour former toutes les structures du corps de l'embryon. L'endoblaste donnera la bouche, la langue, le tube digestif, les poumons, la vessie et plusieurs glandes. Le mésoblaste donne l'intérieur des poumons, le cœur, la rate, et le système reproducteur et d'excrétion. Il aidera aussi à la production des lignées sanguines. L'épiblaste (devenu neurectoblaste à la 4<sup>e</sup> semaine) deviendra la peau, les ongles, les poils et les cheveux, les yeux, le revêtement interne et externe des oreilles, le nez, les sinus, la bouche, l'anus, les dents, les glandes mammaires, et toutes les parties du système nerveux (cerveau, moelle épinière).

Aux premiers stades de son développement, l'embryon est sexuellement indifférencié : ébauches gonadiques, voies génitales et apparence externe.

**Sexe gonadique :** Chez les mammifères, le chromosome Y contient une région qui détermine le sexe (sex determining region on the Y chromosome ou Sry).

Le gène SRY, ou facteur de détermination testiculaire, code une protéine TDF, qui détermine la différenciation des gonades en testicules (phenosex).

- Sur un porteur de chromosome Y, la fabrication de la protéine TDF par la glande sexuelle indifférenciée provoque une multiplication de la zone médullaire par rapport à la zone corticale et la gonade se transforme en testicule (différenciation en testicule). Sous l'action de la testostérone et de l'AMH, les canaux de Muller sont inhibés alors que les canaux de Wolff sont stimulés et se transforment en voies génitales mâles.

- Sur un individu ne possédant pas de chromosome Y, donc de protéine TDF, c'est l'inverse qui se produit et la gonade devient ovaire (différenciation en ovaire). L'absence des deux hormones permet la transformation des canaux de Muller en voies génitales femelles alors que les canaux de Wolff restent inhibés.

Le placenta joue plusieurs rôles :

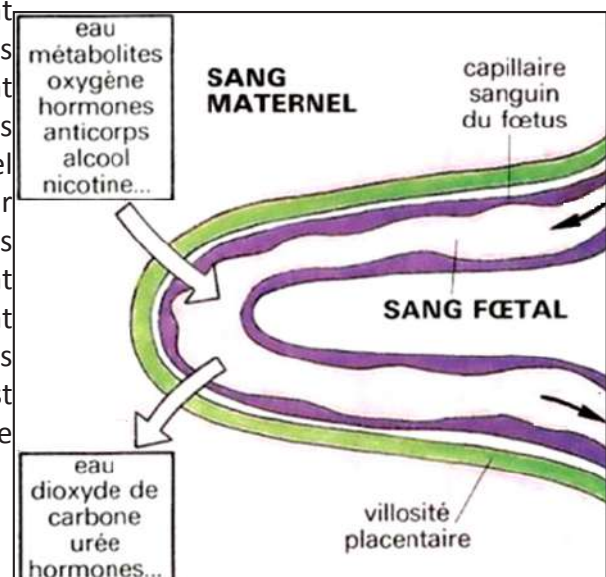
- **Un organe d'échanges sélectif :**

- Tous les matériaux nécessaires à la vie du fœtus proviennent du sang maternel : nutriments (tels que glucides, acides aminés, ions, eau, vitamines,...), oxygène respiratoire...

Les déchets du métabolisme fœtal sont évacués dans le sang maternel : CO<sub>2</sub>, urée,... D'autres petites molécules, malheureusement toxiques, comme la nicotine ou l'alcool, diffusent tout aussi facilement à partir du sang maternel.

- Le placenta constitue en revanche un barrage pour les grosses molécules et les microbes. Cette affirmation mérite toutefois d'être nuancée : Les protéines maternelles ne traversent pas la barrière placentaire, à l'exception des anticorps qui protégeront ainsi le nouveau-né au début de son existence. Les cellules sanguines de la mère et du fœtus restent séparées. Cependant, en fin de grossesse, des cellules fœtales peuvent pénétrer dans le sang maternel et être à l'origine de réactions d'immunisation (par exemple, dans le cas d'incompatibilité Rhésus). Les microbes présents dans l'organisme maternel ne sont malheureusement pas toujours arrêtés et peuvent être à l'origine de maladies et même de malformations congénitales (ce risque de malformations est très important au début de la gestation, lorsque s'ébauchent les différents organes).

Parmi les microbes capables d'infecter l'embryon ou le fœtus, citons le tréponème de la syphilis

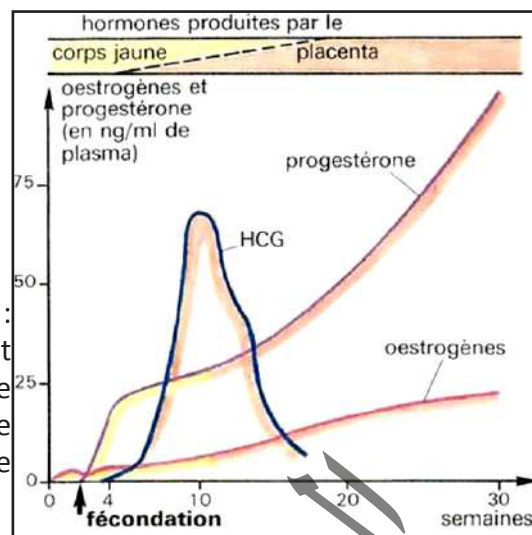


(bactérie), le toxoplasme (protozoaire), le virus de la rubéole, celui du SIDA. Ces différentes remarques justifient la nécessité d'une surveillance diététique et d'une prévention contre les atteintes microbiennes pendant toute la durée de la grossesse.

Des échanges complexes entre la mère et son enfant.

### - Un organe producteur d'hormones

Dès la nidation, le trophoblaste sécrète une hormone : l'hormone gonadotrophique chorionique ou (HCG) dont l'action est comparable à celle de la LH c'est-à-dire qu'elle assure le maintien du fonctionnement du corps jaune. Ce dernier sera relayé à partir de la 11<sup>ème</sup> semaine, par le placenta qui sécrète la progestérone et les œstrogènes.



- Les cycles sexuels sont stoppés suite au freinage de l'activité hypophysaire exercé par ces taux hormonaux ovariens importants (rétrocontrôle négatif).

- A partir du troisième mois de gestation, alors que ces taux hormonaux augmentent encore, l'ovariectomie bilatérale (pour raisons médicales) ne provoque pas l'avortement, les productions hormonales restant suffisantes. Cela signifie que le placenta est devenu capable de produire assez d'hormones de type ovarien pour permettre seul la poursuite de la gestation.

L'hormone HCG peut être détectée dans l'urine par des dosages immunologiques très sensibles : c'est un moyen de diagnostiquer la grossesse quelques jours seulement après le retard des règles.

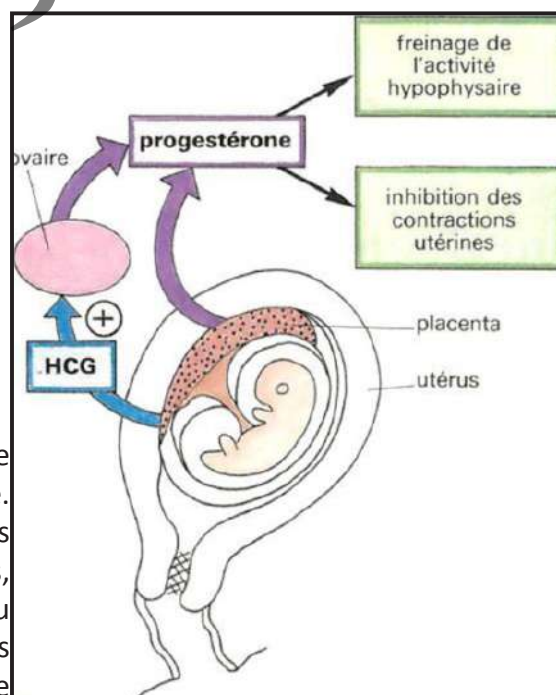
## C- Parturition

### Activité 16 :

**Décrire et caractériser l'accouchement.**

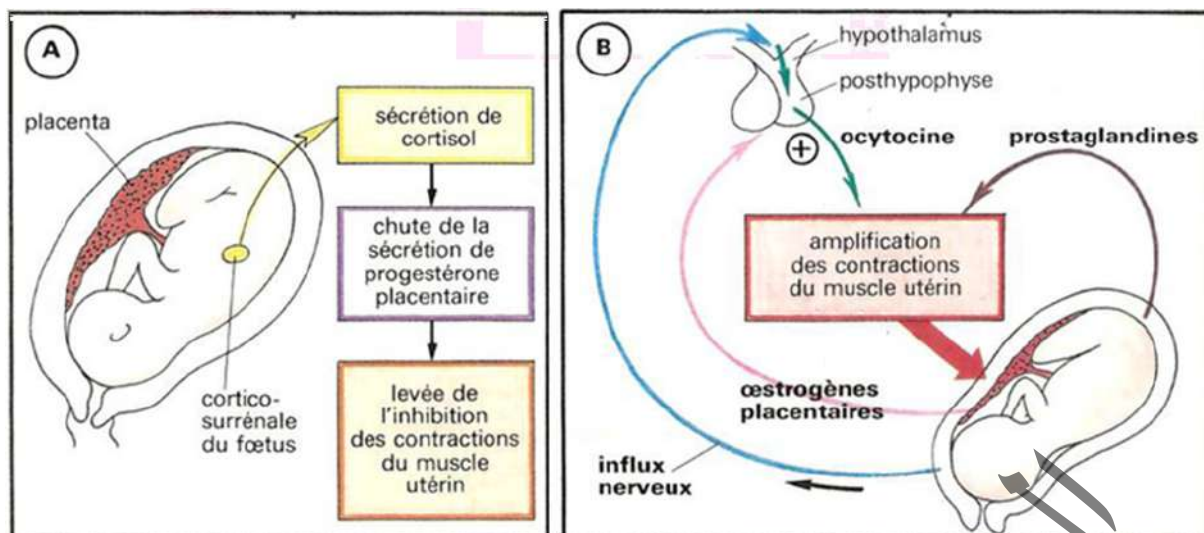
**Document 1 :** L'accouchement est manifestement le résultat des contractions de plus en plus violentes du muscle utérin ; mais quel est le signal (ou les signaux) qui déclenche(nt) la reprise de l'activité de ce muscle resté au repos depuis plusieurs mois. Le détail des mécanismes est discuté et diffère probablement d'une espèce de mammifère à l'autre.

Des expériences révèlent qu'un utérus isolé est capable de se contracter rythmiquement, de façon automatique. Cette activité musculaire peut être modifiée par certaines hormones : la progestérone inhibe ces contractions, l'ocytocine et les prostaglandines les stimulent. Or, au moment de l'accouchement, d'importantes variations des taux de ces hormones assurent d'abord la reprise de l'activité contractile automatique du muscle utérin, puis l'amplification des contractions.



**Document 2 :** La parturition (accouchement chez la femme) est la libération de l'activité automatique du muscle utérin déclenchée par un signal hormonal d'origine fœtale. Des mécanismes nerveux et hormonaux assurent l'amplification des contractions utérines.





### A partir de l'exploitation des documents, montrer le déterminisme hormonal de l'accouchement.

L'accouchement est l'action de mettre un enfant au monde. Marquant l'aboutissement de la grossesse, il consiste en l'expulsion d'un ou plusieurs fœtus de l'utérus de la mère.

#### - Une épreuve physiologique :

- Le premier signe annonçant la naissance est le début des contractions utérines : d'abord de simples crampes très espacées, elles se rapprochent progressivement et deviennent plus intenses. Parallèlement, le col de l'utérus se dilate lentement. Vers la fin de cette période la «poche des eaux» se rompt, libérant le liquide amniotique.

L'expulsion du fœtus est alors imminente. Les contractions utérines intenses, prolongées et très rapprochées, poussent l'enfant à travers le canal vaginal ; la sortie de la tête, dernière épreuve délicate, est suivie de la sortie plus facile du reste du corps. Quelques minutes plus tard, de nouvelles contractions utérines expulsent le placenta : c'est la **délivrance**.

Pendant toute la grossesse, le fœtus est tributaire des échanges placentaires, en particulier en ce qui concerne sa respiration. Ses poumons ne sont pas fonctionnels et la circulation pulmonaire elle-même est court-circuitée (grâce à une communication intracardiaque entre les deux oreillettes).

Lors de l'accouchement, le fœtus risque une souffrance respiratoire consécutive à une compression des vaisseaux ombilicaux.

A la ligature du cordon, l'organisme du nouveau-né doit immédiatement s'adapter : mise en marche de la ventilation pulmonaire (et premier cri du bébé !), entrée en fonction du circuit sanguin pulmonaire grâce à la fermeture de l'orifice entre les oreillettes.

De plus, l'enfant se trouve brutalement placé dans un milieu «froid» ; il faudra rapidement le protéger contre le refroidissement, ses mécanismes thermorégulateurs étant encore très insuffisants.

#### - De nombreux bouleversements hormonaux :

##### \* Une «libération» du muscle utérin :

En fin de grossesse, la chute du taux sanguin de progestérone «libère» le muscle utérin qui, spontanément, recommence à se contracter. On a longtemps considéré ceci comme la première modification hormonale responsable du déclenchement de la parturition. En fait, on admet actuellement que le signal initial vient du fœtus lui-même dont les corticosurrénales augmentent nettement leurs sécrétions. Le cortisol ainsi produit modifie l'activité endocrine du placenta qui sécrète alors moins de progestérone ; ce qui «libère» le muscle utérin - et plus d'œstrogènes.

### \* Un mécanisme d'amplification des contractions :

Une fois déclenchée, l'activité contractile de l'utérus est exagérée par deux mécanismes principaux :

- La post- hypophyse de la mère sécrète en quantités croissantes de l'ocytocine, hormone stimulant les contractions. Cette augmentation de la sécrétion posthypophysaire est facilitée par les œstrogènes placentaires ; par ailleurs, les contractions utérines elles-mêmes sont à l'origine de l'accroissement de la production d'ocytocine (des influx nerveux d'origine utérine stimulent les neurones hypothalamiques sécréteurs d'ocytocine).
- D'autres substances sécrétées par l'endomètre et les annexes embryonnaires, les prostaglandines, stimulent également le myomètre.

En définitive, pour récapituler ces données, le fœtus lorsqu'il a atteint un certain stade de maturité sécrète du cortisol qui est l'hormone clé du déclenchement de la parturition sous l'effet de l'ACTH hypophysaire. Le cortisol modifie l'équilibre œstro-progestatif de la gestation : diminution des taux plasmatiques de progestérone, augmentation des taux d'œstradiol. Il en résulte une augmentation des sécrétions de prostaglandines F2α. Cette modification de l'équilibre hormonal de la gestation est responsable du développement des contractions utérines. Lorsque la cascade d'évènements endocriniens est déclenchée, elle aboutit inexorablement à la parturition. Le système noradrénergique est un système de contrôle instantané qui permet de retarder de seulement quelques heures le moment de la parturition. L'engagement du fœtus dans le canal pelvien, entraîne une décharge d'ocytocine par la post- hypophyse qui n'intervient qu'au cours du stade ultime d'expulsion du fœtus, c'est l'hormone finale de la parturition ou hormone de l'expulsion.

L'accouchement est un processus en trois phases (dilatation, expulsion et délivrance).

- La **phase de dilatation** est généralement la plus longue puisqu'elle implique un assouplissement des parois vaginales, un effacement puis une ouverture du col de l'utérus et une laxité ligamentaire au niveau du bassin pour permettre le passage du bébé. Le processus d'ouverture du col de l'utérus n'est pas le même pour les femmes n'ayant jamais accouché (primipares) et celles ayant déjà donné la vie (multipares). Pour une primipare, la durée moyenne est de 12 heures, contre 6 à 7 heures pour une multipare.
- La **phase d'expulsion** commence avec l'ouverture complète du col de l'utérus et se termine avec la naissance de l'enfant. Elle ne dure généralement pas beaucoup plus d'une heure pour une primipare et, au maximum, 30 minutes pour une multipare.
- La **phase de délivrance** s'étend de la naissance de l'enfant jusqu'à l'expulsion du placenta et dure en moyenne de 20 à 30 minutes.

## D- Allaitement

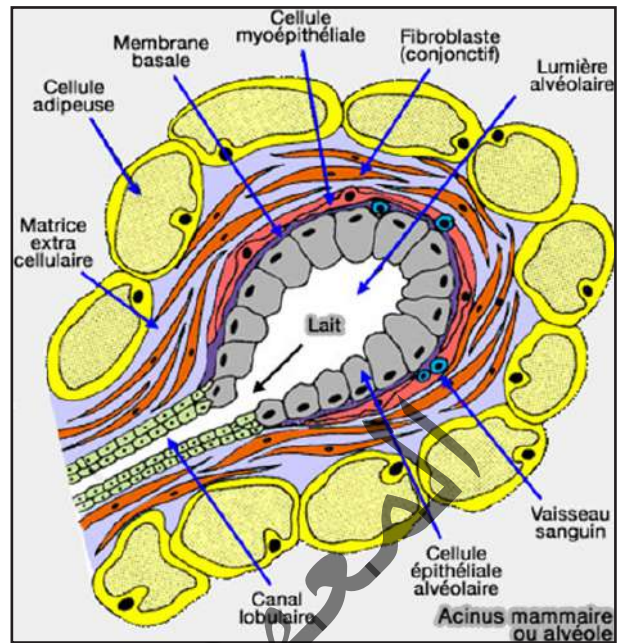
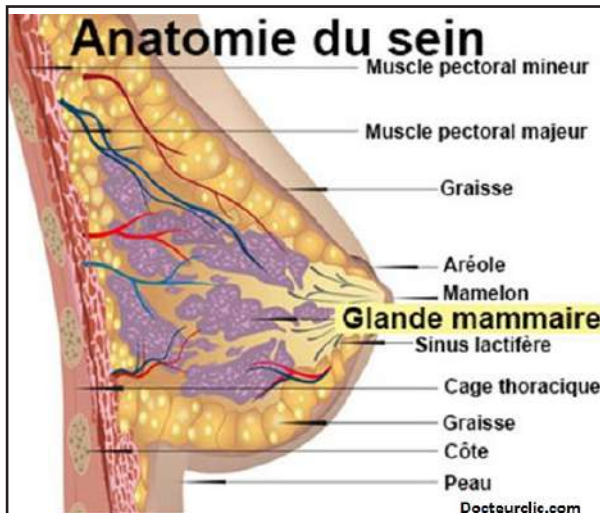
### Activité 17 :

#### Comment et quand commence la production du lait par les mamelles ?

Le nouveau-né des mammifères reçoit normalement au début de sa vie une alimentation lactée, le lait étant une sécrétion des glandes mammaires.

Ces glandes ne sont fonctionnelles que pendant la période post-natale.

## Document 1 : Structure du sein.



## Document 2 : Série d'expériences :

**Expérience 1 :** Une l'hypophysectomie provoque donc une chute de la production de lait.

**Expérience 2 :** Chez la rate allaitante, une section de la tige pituitaire entraîne en général un écoulement surabondant de lait.

**Expérience 3 :** Des fragments d'hypophyse cultivés in vitro synthétisent relativement plus de prolactine que la glande en place dans l'organisme.

**Expérience 4 :** Si l'on ajoute à cette culture un extrait de tissu hypothalamique, la synthèse de prolactine est notablement réduite.

**A partir de l'analyse de ces documents, dégager les mécanismes à l'origine du développement et de l'entrée en fonction de ces glandes exocrines puis montrer comment est contrôlé le mécanisme de la sécrétion lactée.**

La lactation est une fonction physiologique de la femme et des femelles de Mammifères qui se traduit par des sécrétions de lait par les glandes mammaires, après la parturition.

### - La structure est celle d'une glande en grappe :

Sous la peau, la mamelle est constituée de trois tissus :

- le tissu adipeux surtout abondant à la périphérie ;
- le tissu conjonctif qui occupe le reste de la mamelle ;
- le tissu glandulaire (glande mammaire proprement dite) enfoui dans le tissu conjonctif.

La structure de la mamelle est celle d'une glande en grappes : les cellules glandulaires sont regroupées en acini. L'acinus est l'unité de base de production du lait maternel. C'est une sphère creuse aux dimensions microscopiques, connectée à un petit canal galactophore. Elle est tapissée d'une seule couche productrice (cellules sécrétrices).

Le lait, excrété dans la lumière de l'acinus, est évacué par des canaux qui confluent en une quinzaine de canaux galactophores s'ouvrant au sommet du mamelon par autant d'orifices. Des cellules contractiles (cellules myoépithéliales) moulées autour des acini et autour des canaux excréteurs permettront l'expulsion du lait à l'extérieur de la mamelle.



## - Développement de la glande mammaire

Le nouveau-né des mammifères reçoit normalement au début de sa vie une alimentation lactée, le lait étant une sécrétion des glandes mammaires.

Ces glandes ne sont fonctionnelles que pendant la période post-natale.

Dans l'espèce humaine, le développement des seins à la puberté est surtout la conséquence de l'augmentation des sécrétions d'œstrogènes. Cependant, la structure glandulaire proprement dite ne s'édifie qu'au cours de la gestation, sous l'effet des taux très élevés d'œstrogènes et de progestérone produits alors par l'ovaire et le placenta.

Chez la femme enceinte, les œstrogènes induisent un allongement des canaux galactophores, la progestérone, la prolactine et l'hormone lactogène placentaire la multiplication et le développement des acini. La progestérone inhibe la prolactine, empêchant la sécrétion du lait. Mais les hormones produites pendant la grossesse dépendent aussi du placenta.

En fin de grossesse, les rameaux galactophores sont largement garnis d'acini.

## - Le contrôle de la sécrétion lactée :

### • Quelle est l'origine de la montée de lait ?

Au moment de l'accouchement, la glande mammaire est prête à fonctionner. Ce sont précisément les bouleversements hormonaux liés à la parturition qui déclenchent ce fonctionnement : la disparition du placenta provoque une chute des taux hormonaux d'œstrogènes et de progestérone, ce qui supprime le freinage exercé par ces hormones sur le fonctionnement hypophysaire. On assiste alors à un accroissement de la libération de prolactine par l'antéhypophyse. En réponse à l'élévation du taux sanguin de cette hormone, la glande mammaire commence à sécréter du lait.

Après le sevrage, les acini disparaissent et les canaux galactophores s'atrophient.

Durant les premiers jours de lactation, le lait produit est moins riche en lipides et plus riche en protéines que le lait définitif : ce «premier lait» est appelé colostrum.

• **L'entretien de la sécrétion lactée** : Depuis longtemps, on sait que la suppression d'une ou plusieurs tétées est suivie d'une réduction de la production de lait.

Aussi longtemps que la mère allaite, les acini continuent à se développer.

De nombreuses expériences réalisées chez l'animal ont montré que c'est la succion exercée par les petits sur les mamelons qui entretient la sécrétion lactée par un mécanisme neuro-hormonal :

- La succion stimule mécaniquement des récepteurs sensoriels situés dans le mamelon ;
- Les messages nerveux émis par ces récepteurs sont transmis à l'encéphale ;
- Ils inhibent le fonctionnement de certains neurones hypothalamiques dont le rôle est normalement de freiner la production de prolactine ; une inhibition du PIF (facteur hypothalamique inhibiteur de la prolactine) d'une part et stimulation du PRF (facteur hypothalamique de libération de la prolactine) ;
- L'influence inhibitrice de ces neurones étant levée, l'hypophyse antérieure sécrète davantage de prolactine sous l'effet du PRF ; ce qui stimule les cellules acineuses du sein synthétisant le lait.

### • L'éjection du lait :

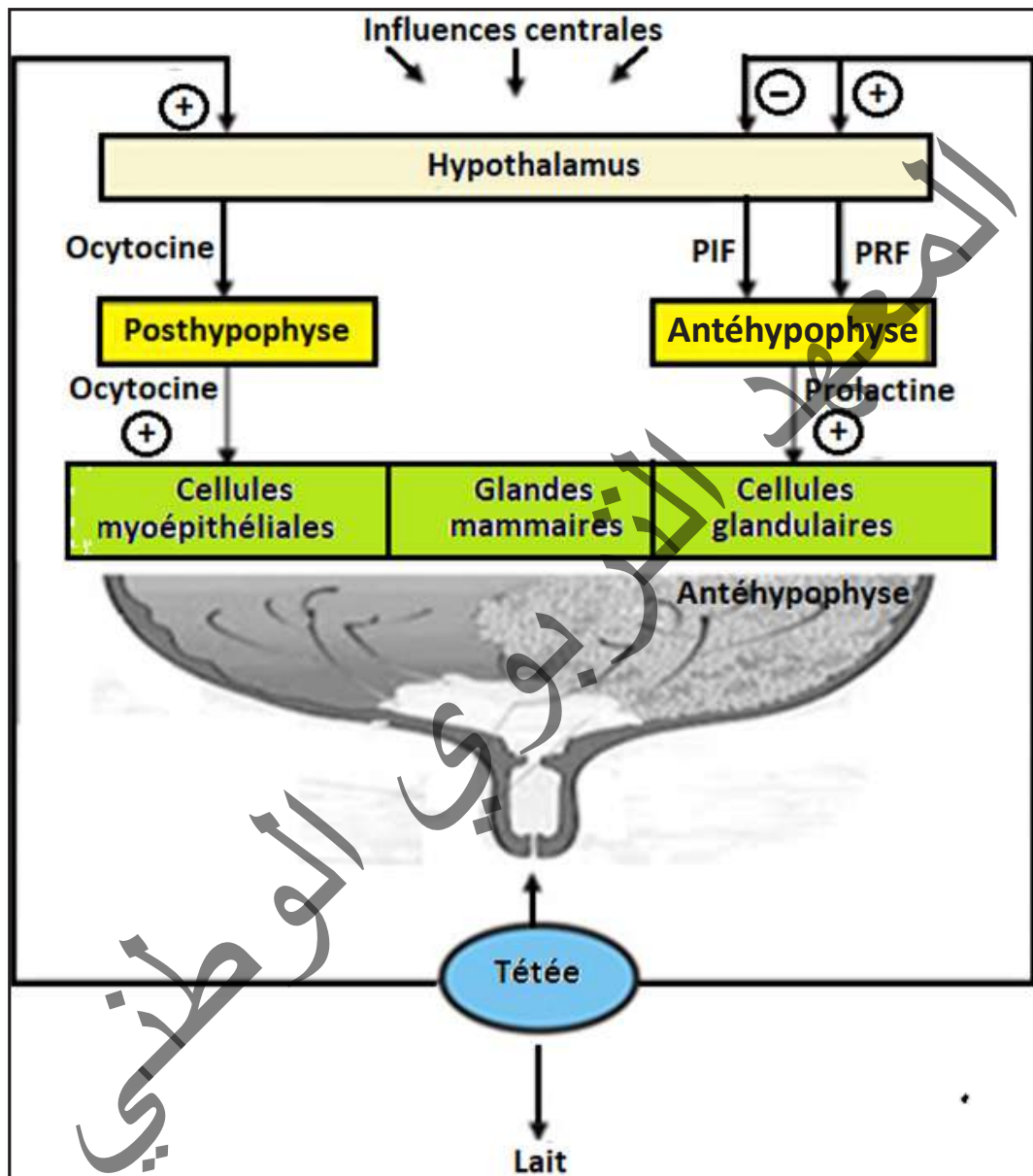
Les stimulations du mamelon ou du trayon provoquent une excitation qui chemine jusqu'à l'hypophyse: c'est la voie ascendante, nerveuse du réflexe.

L'hypophyse antérieure sécrète de la prolactine, l'hypophyse postérieure libère de l'ocytocine. Ces deux hormones cheminent par voie sanguine et en quelques secondes arrivent au niveau de la mamelle.

- la prolactine agit sur les cellules des acini et entretien du lait.
- l'ocytocine agit sur les cellules contractiles et provoque l'éjection du lait.

C'est la voie descendante, hormonale, du réflexe.

Par ailleurs, chez la femme, la sécrétion d'ocytocine est sensible à bien d'autres influences : la seule vue de l'enfant, ou ses cris peuvent stimuler la décharge de lait, l'angoisse au contraire peut la bloquer...



Après un accouchement, l'appareil génital retrouve progressivement ses caractéristiques initiales, la réapparition des règles signalant la reprise du fonctionnement cyclique de l'ovaire. Cet événement, le « retour de couches », qui intervient quelques semaines après l'accouchement, est généralement retardé si la femme allaite et peut même ne survenir qu'à la fin de la période d'allaitement.

## IV- Maîtrise de la procréation

### A- Méthodes contraceptives et méthodes contragestives

#### Activité 18 :

Connaître les méthodes contraceptives et contragestives les plus usuelles.

Les connaissances concernant la biologie de la reproduction humaine ont fait d'énormes progrès au cours des dernières décennies. Elles permettent désormais d'assurer une contraception remarquablement efficace aux couples qui ne désirent pas, ou plus, d'enfants.

Le document ci-contre montre les niveaux d'action de différents types de pilules.

Commenter le document ci-contre et citer quelques méthodes contraceptives et contragestives parmi les plus usuelles puis dégager leur intérêt.

Il existe des méthodes contraceptives (s'opposant à la conception) et des méthodes contragestives (s'opposant à la gestation). Ces méthodes exercent leur action à des niveaux différents de la reproduction (avant ou après la fécondation).

- **Méthodes contraceptives** : La contraception est l'ensemble des moyens qui permettent de ne pas avoir d'enfants ou d'en avoir quand on le souhaite.

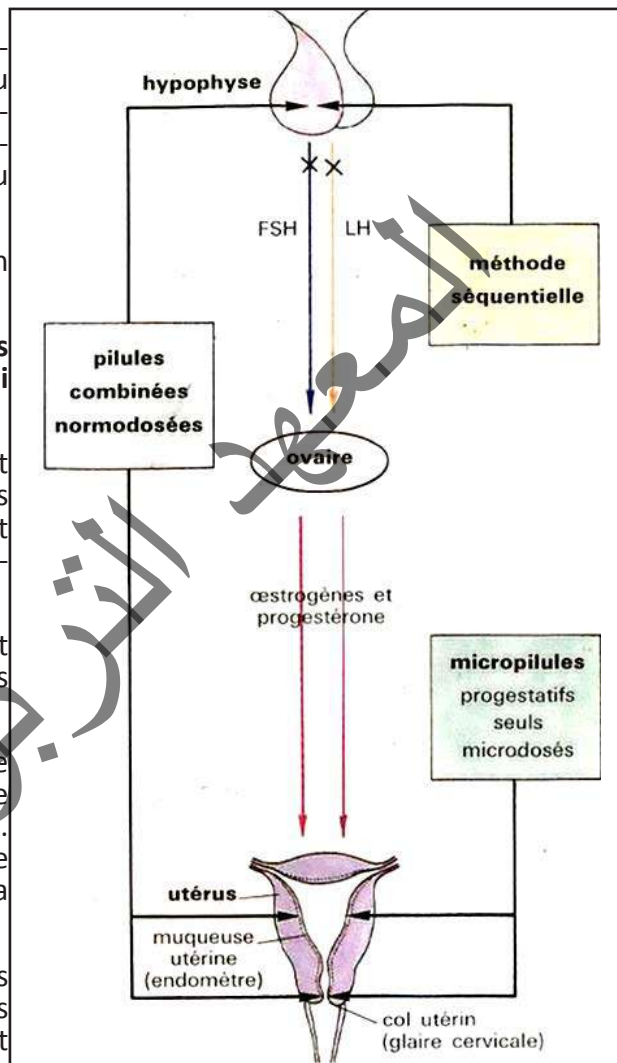
- **Méthodes contraceptives naturelles** : La méthode du retrait est une méthode naturelle qui consiste à retirer le pénis hors du vagin avant l'éjaculation. En dépit de son taux d'échec très élevé (17%), cette pratique a entraîné une baisse considérable de la natalité.

Les méthodes de continence périodique, autres méthodes naturelles, consistent à déterminer les périodes de la fécondité de la femme. Pendant cette période, le couple s'abstient de toute relation sexuelle. La méthode la plus simple est celle de la température. La prise matinale quotidienne de température indique des valeurs inférieures à 37°C du premier jour des règles à l'ovulation et des valeurs supérieures à 37°C de l'ovulation au premier jour des règles suivantes. Elle permet donc de situer l'ovulation. D'une manière générale, celle-ci se produit le 14<sup>ème</sup> jour pour un cycle de 28 jours ; mais il a été prouvé qu'elle peut être précocée (intervention sur l'hypothalamus de facteurs externes tels qu'émotions, changement de climat, rapports sexuels...). La période précédant l'ovulation est donc peu sûre. Par contre, compte tenu de la durée de vie de l'ovocyte limitée à 24 heures, la fécondation n'est plus possible deux jours après l'ovulation, jusqu'aux règles suivantes.

Cette méthode est assez sûre ; elle présente pourtant un risque : celui de croire que l'ovulation s'est produite après une hausse quelconque de température.

- **Méthodes mécaniques** :

Le préservatif masculin ou « capote » est un étui en caoutchouc placé sur la verge en érection. S'il est de bonne qualité et s'il est correctement utilisé, il assure non seulement une contraception efficace mais également une protection contre les infections sexuellement transmissibles, en particulier le SIDA.



Le préservatif féminin ou diaphragme est un disque en caoutchouc qui, employé avec une crème spermicide, arrête la progression des spermatozoïdes à l'entrée de l'utérus. Son efficacité dépend de la façon dont il est mis en place. Chez une femme qui le place correctement, le taux d'échec est de 2 à 4%.

#### • Méthodes hormonales :

Elles sont basées sur l'utilisation de la pilule. Il existe différents types de pilules : la pilule combinée contient un œstrogène et un progestatif. La prise de ces œstroprogestatifs doit être quotidienne durant 21 jours à partir du premier jour des règles. Cette pilule a un effet sur le complexe hypothalamo-hypophysaire : la quantité d'hormones de synthèse que contiennent les comprimés exerce en permanence un rétrocontrôle négatif sur l'axe hypothalamo-hypophysaire, maintenant le taux de LH et FSH constamment bas. Par conséquent, le follicule ovarien en développement ne reçoit plus de FSH et sa croissance est arrêtée : il n'y a donc pas de follicule de De Graaf au moment théorique de l'ovulation. De plus, l'absence de pic de LH empêche toute ovulation. La pilule a également une action sur l'endomètre : elle le rend impropre à la nidation d'un éventuel embryon. Elle modifie l'aspect de la glaire cervicale, la rendant imperméable aux spermatozoïdes. L'arrêt de la prise des pilules combinées à partir du 21<sup>ème</sup> jour du cycle entraîne la diminution des taux des œstrogènes et de la progestérone et provoque une hémorragie de privation (règles de privation).

Les pilules combinées représentent le moyen contraceptif féminin le plus efficace.

La micropilule est à base de progestatifs de synthèse et microdosée. Elle est prise tous les jours (28 comprimés) y compris pendant les règles.

En plus des pilules, on note l'existence de l'implant contraceptif (dispositif qui se met sous la peau du bras) qui libère en continu un progestatif de synthèse qui inhibe l'ovulation et agit également au niveau du mucus cervical. Il peut rester en place 3 ans.

#### - Méthodes contraceptives :

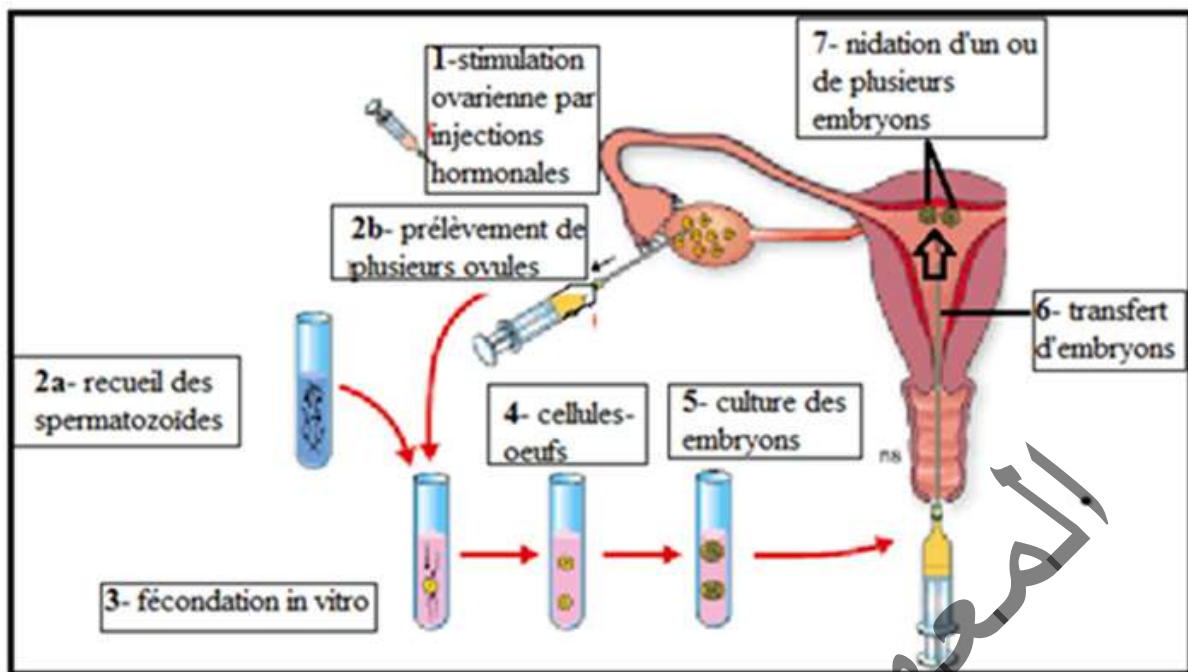
C'est l'ensemble des moyens permettant d'empêcher la gestation. Depuis 1980, on connaît une molécule, la mifépristone, appelée RU486, qui a un effet abortif. Il s'agit d'un stéroïde de synthèse doué d'une forte affinité pour les récepteurs à la progestérone. Il se fixe sur les récepteurs situés dans les cellules cibles, en particulier les cellules de l'endomètre avec une affinité plus grande que la progestérone. A la différence de la progestérone, le RU486 n'entraîne pas de modification de l'activité des cellules cibles. Ainsi, il empêche l'action de cette hormone. La progestérone étant indispensable au maintien de l'endomètre, l'effet anti-progestérone du RU486 se solde par la mort de l'embryon. Cette pilule contraceptive ne s'administre qu'en milieu hospitalier et lorsque la date des dernières règles remonte à moins de 49 jours. Elle est accompagnée d'une injection de prostaglandines, hormones provoquant des contractions de l'utérus afin d'expulser l'embryon mort. Le stérilet ou dispositif intra-utérin est la méthode non hormonale la plus efficace. Elle consiste à faire placer, par un médecin, un objet composé de deux parties : une partie en plastique qui le retiendra dans l'utérus, et un enroulement de fil de cuivre, qui produit une inflammation de la muqueuse utérine. La réaction inflammatoire entraînerait une phagocytose des spermatozoïdes et des embryons éventuels et empêcherait ainsi la fécondation et la nidation.

## B- Procréation médicalement assistée

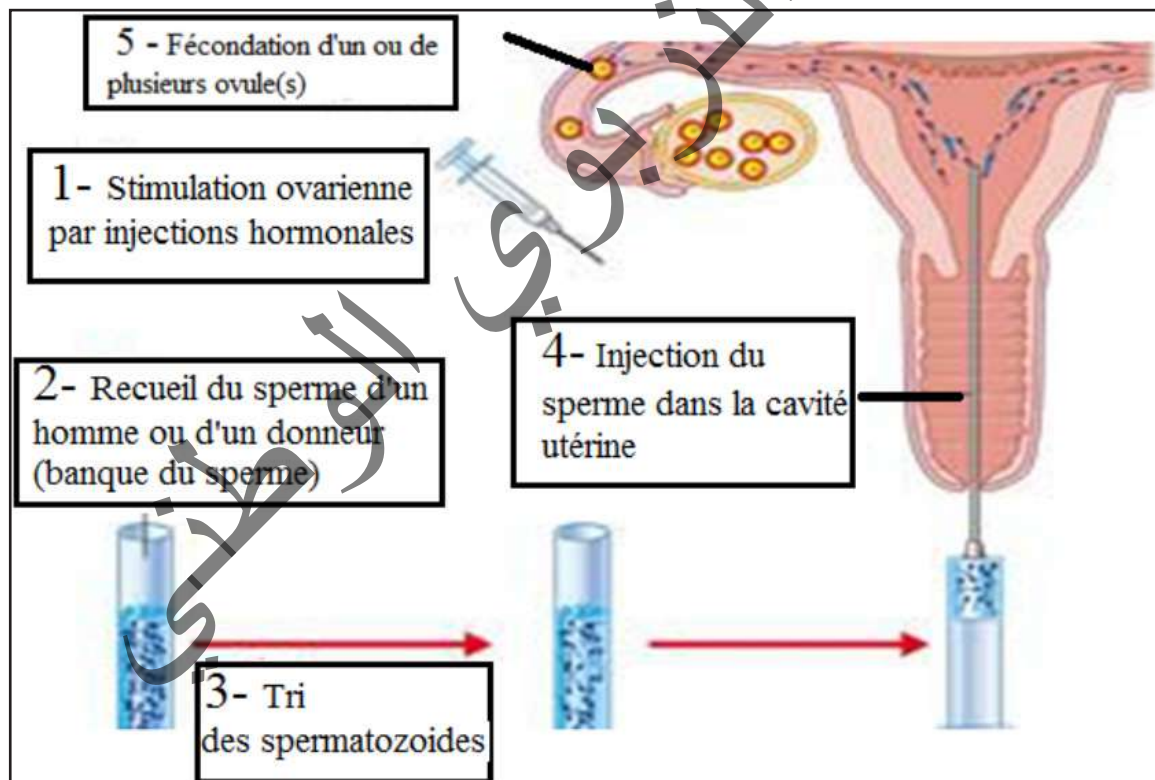
### Activité 19 :

#### S'informer sur des techniques de la PMA.

Certains couples peu fertiles, voire stériles, peuvent espérer avoir des enfants grâce à une procréation médicalement assistée. Le document suivant résume les étapes de la FIVETE.



L'insémination artificielle consiste à introduire le sperme capable dans l'utérus.





Le tableau suivant donne les principales causes de stérilité :

| Les causes de stérilité masculine  | Les causes de stérilité Féminin   |
|--|---|
| <b>■ Sperme anormal :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Azoospermie (Absence des spermatozoïdes) ;</li> <li>• Oligospermie (Faible taux de spermatozoïdes) ;</li> <li>• Tératospermie (taux des spermatozoïdes typiques faible).</li> </ul> | <b>■ Stérilité immunitaire</b> (présence des anticorps contre les spermatozoïdes).                  |
| <b>■ Stérilité hormonale</b> (GnRH, FSH, LH, testostérone).  | <b>■ Stérilité hormonale</b> (GnRH, FSH, LH, Œstrogènes, progestérone).                             |
| <b>■ Stérilité mécanique</b> (traumatisme testiculaire, obturation des canaux déférents).  | <b>■ Stérilité mécanique</b> (traumatisme ovarien, obturation des trompes, absence de l'utérus...). |
| <b>■ Cryptorchidie</b> (non descente des testicules dans les bourses).   | <b>■ Glaire cervicale anormale</b> (non filante et imperméable, absence).                           |
| <b>■ Anomalies chromosomiques</b> (trisomie 21...).  | <b>■ Anomalies chromosomiques</b> (trisomie 21...).   |

A partir de l'étude de ces documents, dégager les principales étapes de la FIVETE et de l'insémination artificielle puis citer les cas de stérilité pour lesquels elles peuvent constituer une solution.

Les étapes de la FIVETE : Fécondation In Vitro Et Transfert d'Embryons :

- **Etape 1 :** Stimulation hormonale de la maturation folliculaire :

- ✓ Injection d'une substance analogue à la GnRH : inhiber le complexe hypothalamo-hypophysaire.
- ✓ injection pendant plusieurs jours de la FSH : assurer la croissance et la maturation de plusieurs follicules.
- ✓ Injection de la LH ou la HCG : reprise de la division réductionnelle.

- **Etape 2 :** Prélèvement des ovocytes par ponction folliculaires;

- **Etape 3 :** Prélèvement, traitement et capacitation des spermatozoïdes;

- **Etape 4 :** Fécondation «in vitro»;

- **Etape 5 :** Culture des embryons jusqu'aux stades 2 à 4 cellules;

- **Etape 6 :** Transfert des embryons dans la cavité utérine de la mère.

## C - Diagnostic prénatal

### Activité 20 :

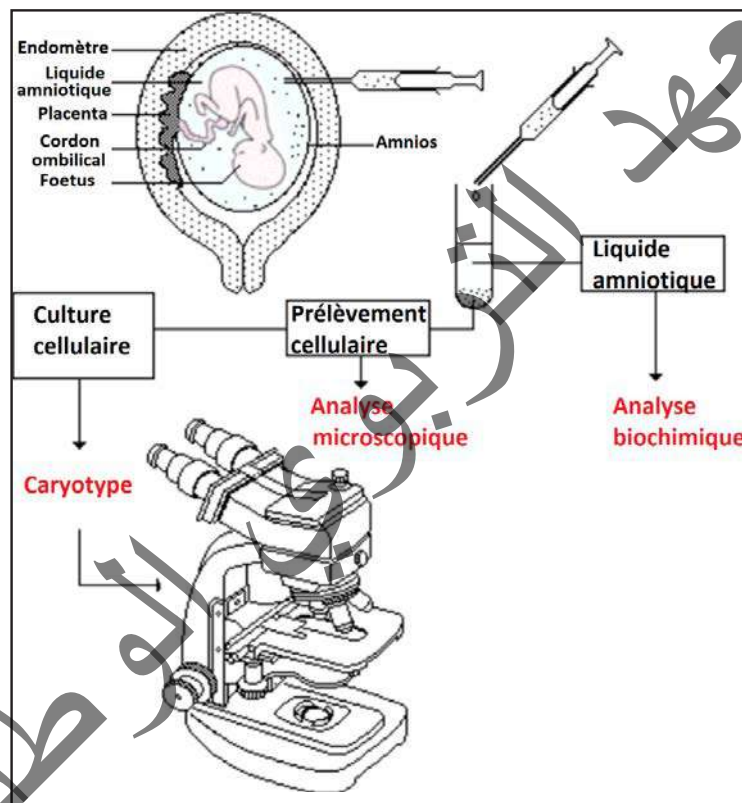
Décrire et caractériser quelques techniques du diagnostic prénatal.

Pendant toute la grossesse, la femme et son fœtus sont médicalement surveillés grâce à différents moyens d'investigation. Citons-en deux : l'échographie et l'amniocentèse.

- Une image d'échographie :



- L'amniocentèse



**Analyser ces documents pour montrer comment on peut assister médicalement la procréation.**

Le diagnostic prénatal désigne l'ensemble des examens mis en œuvre pour le dépistage précoce des maladies ou des malformations du fœtus. Le terme de dépistage prénatal ou anténatal est également employé. Les diagnostics prénataux permettent de détecter des aberrations chromosomiques (trisomie 21, ...), des maladies héréditaires, c'est-à-dire transmises par les parents (hémophilie, mucoviscidose, ...) et des malformations chez l'embryon et le fœtus. Les principales techniques de diagnostic prénatal permettent :

- L'échographie :

Cette technique permet d'obtenir des images de l'enfant dans le ventre de sa mère. Elle a été introduite dans le début des années 70. Une sonde appliquée directement sur la peau émet des ultrasons qui sont réfléchis par les tissus du fœtus. L'échographie est absolument indolore et aucune nocivité n'a jamais pu être prouvée.

Elle permet une surveillance de la croissance normale de l'enfant et le dépistage de certaines malformations (anencéphalie, maladies du cœur, des reins, malformation des membres, ...).

D'autre part, l'échographie sera souvent utilisée conjointement à d'autres méthodes de diagnostics qui demandent d'effectuer des prélèvements de cellules fœtales.

#### - L'amniocentèse :

L'amniocentèse est la plus ancienne des techniques de diagnostic prénatal (elle date de la fin des années 60). Elle a pour but le prélèvement de liquide amniotique au travers de la paroi abdominale. Ce liquide contient un grand nombre de cellules fœtales. La ponction se fait à la dix-septième semaine ; l'échographie qui visualise la manœuvre permet de contrôler avec précision le lieu et la profondeur de la ponction. La sécurité pour le fœtus est assez grande (le risque est évalué à 0,5 à 1%). Les cellules sont séparées du liquide par centrifugation. Des dosages biochimiques sur le liquide lui-même permettent de détecter la présence d'une anomalie.

Deux types de diagnostics sont possibles sur les cellules mises en culture :

- celui de l'aberration chromosomique (par exemple la trisomie 21) grâce à l'établissement du caryotype,
- celui d'une maladie métabolique par dosage biochimique.

L'amniocentèse présente le désavantage d'être tardive : en cas de découverte d'une malformation grave, l'interruption de grossesse ne pourra s'effectuer au mieux, avant la vingtième semaine. La nécessité s'est ainsi faite de trouver d'autres techniques de prélèvement de cellules fœtales à un stade plus précoce de la grossesse.

#### - Biopsie des villosités choriales :

Le prélèvement de sang fœtal peut se faire avec un risque assez peu élevé dans les villosités du placenta. L'examen est effectué entre la neuvième et la onzième semaine. Il est réalisé soit par ponction de la veine ombilicale du fœtus grâce à une aiguille traversant la paroi abdominale de la mère ou grâce à une pince à biopsie dont la progression par les voies naturelles est suivie et contrôlée grâce à l'échographie.

Disposant de plus grandes quantités de cellules embryonnaires, la détermination du caryotype est plus rapide et plus sûre. D'autre part, le dosage de certaines enzymes fabriquées par le fœtus permet de détecter certaines maladies. Finalement, d'autres maladies peuvent encore être détectées par « lecture » de l'ADN présent dans les cellules fœtales.

## JE RETIENS

Le testicule est une glande endocrine qui sécrète de la testostérone.

Elle est responsable du développement :

- des caractères sexuels primaires, qui correspondent à l'ensemble des voies génitales, des glandes et organes annexes qui interviennent dans la reproduction ; ils se mettent en place au cours du développement embryonnaire ;
- des caractères sexuels secondaires, au moment de la puberté et de leur maintien chez l'adulte : les caractères morphologiques, anatomiques et physiologiques visibles et particulier à un sexe : voix devient plus grave, la pousse des poils est stimulée, la masse musculaire augmente...

C'est une hormone stéroïde, dérivée du cholestérol. La testostérone exerce une action permanente et indispensable sur la spermatogénèse. Dès la puberté et jusqu'à la fin de la vie, la production de spermatozoïdes est continue (fonction exocrine). Sa libération est sous la dépendance des sécrétions de GnRH, FSH et LH de l'axe hypothalamo-hypophysaire. Un mécanisme de rétrocontrôle négatif assure une régulation de sa production.

- La LH stimule la sécrétion par les cellules interstitielles de testostérone.
- La FSH stimule indirectement la spermatogénèse dans les testicules. Elle stimule la sécrétion de l'inhibine et de l'ABP par les cellules de Sertoli. L'ABP est indispensable à l'action ultérieure de la testostérone sur la spermatogénèse.
- Le rythme des pulses de FSH et LH étant stable, on peut considérer que le taux sanguin de testostérone est constant.

L'ovaire est une glande mixte :

\*Il assure, à partir d'un stock acquis dès le 6<sup>ème</sup> mois de la vie fœtale, la production, la maturation de follicules libérant les ovocytes ou gamètes femelles (fonction exocrine) ;

\*Il produit deux types d'hormones sexuelles principales, les œstrogènes et la progestérone (fonction endocrine).

Les hormones ovariennes sont des stéroïdes (molécules dérivées du cholestérol) :

\* Les œstrogènes (l'œstradiol étant la principale hormone de ce groupe) sont sécrétés par les cellules de la thèque interne des follicules et du corps jaune et par les cellules de la granulosa.

Elles stimulent la croissance de l'endomètre, les contractions du myomètre et assurent la différenciation et le maintien des caractères sexuels etc. L'œstradiol est responsable de l'apparition de l'œstrus.

\*La progestérone (hormone de la maternité) sécrétée par les cellules lutéiniques du corps jaune. Elle agit sur l'endomètre qui s'épaissit et se vascularise davantage puis se plisse (aspect «dentellisé») ; elle établit aussi le silence utérin nécessaire à la nidation en calmant les contractions du myomètre. Elle n'agit que si l'utérus a été sensibilisé par l'œstradiol.

Le cycle ovarien comprend deux phases séparées par l'ovulation : la phase préovulatoire, ou phase folliculaire, caractérisée par la croissance folliculaire et la phase post-ovulatoire, ou phase lutéale, caractérisée par la formation du corps jaune, son fonctionnement, puis sa disparition s'il n'y a pas eu fécondation.

Un cycle ovarien dure environ 28 jours chez la femme et l'ovulation a lieu vers le 14<sup>e</sup> jour du cycle. De nombreux follicules (une « cohorte ») débutent leur maturation à chaque cycle, mais un seul parviendra à maturité.

Durant la phase folliculaire la quantité d'œstradiol sécrétée augmente régulièrement avec un maximum (pic) avant l'ovulation. Cette évolution, parallèle à la croissance des follicules, fait penser à une origine folliculaire de l'œstradiol.

La courbe de la progestérone suit assez bien l'évolution du corps jaune avec un maximum au moment de son plein fonctionnement. On a pu montrer que ce sont les cellules lutéiniques qui sont responsables de cette sécrétion.

A la fin du cycle, la chute du taux des hormones est due à la régression du corps jaune.

Parallèlement au cycle ovarien se déroule un cycle utérin, caractérisé par une évolution de la muqueuse utérine ou endomètre.

- L'endomètre est un tissu richement vascularisé qui recouvre la paroi interne de l'utérus.

- Dans la 1<sup>ère</sup> partie du cycle, on parle de phase proliférative : la muqueuse s'épaissit.
- Dans la 2<sup>ème</sup> partie du cycle, des glandes en tube sécrétrices de glycogène se développent et une vascularisation importante se met en place, transformant la muqueuse en dentelle utérine. C'est la phase sécrétoire.
- En fin de cycle, s'il n'y pas eu de fécondation, les artères spiralées de la muqueuse se dilatent et leurs parois se rompent, la muqueuse se détache et est éliminée dans un flux sanguin : ce sont les menstruations, ou règles. C'est le 1<sup>er</sup> jour d'un nouveau cycle.

Le col de l'utérus contrôle le passage des spermatozoïdes du vagin, ou ils ont été émis au cours d'un rapport sexuel, à la cavité utérine. Sa muqueuse secrète un mucus constitué d'un liquide qui emprisonne dans les mailles d'un réseau de filaments, la glaire cervicale. Celle-ci présente également une évolution cyclique :

- durant la phase préovulatoire, la sécrétion de glaire cervicale devient de plus en plus abondante et les mailles du réseau sont de plus en plus larges pour atteindre un maximum au moment de l'ovulation. La dimension des mailles est supérieure au diamètre de la tête des spermatozoïdes uniquement pendant la période ovulatoire.
- pendant la phase post-ovulatoire, la sécrétion du mucus diminue. Les mailles du réseau de filaments redeviennent serrées et forment ainsi un obstacle au passage des spermatozoïdes. Ce mucus cervical, aux mailles en général serrées, constitue surtout un obstacle pour les microbes présents dans le vagin. L'élargissement des mailles lors de l'ovulation permet alors le passage des spermatozoïdes.

Le complexe hypothalamo-hypophysaire contrôle l'activité des ovaires, notamment la maturation des follicules et le développement du corps jaune (luteus = jaune en latin).

Les étapes du rétrocontrôle ovarien :

\*Au début du cycle, l'augmentation du taux de FSH stimule la croissance d'un certain nombre de follicules (en réalité cette stimulation a débuté vers la fin du cycle précédent).

Les follicules en croissance libèrent les œstrogènes qui voient leur taux augmenter progressivement.

\*La légère augmentation du taux d'œstrogènes freine, par rétrocontrôle négatif, les pulses hypothalamiques et par conséquent les sécrétions de gonadostimulines d'où diminution surtout du taux de FSH (observée à partir du 7<sup>ème</sup> jour) ce qui entraîne la dégénérescence de la majorité des follicules mis en croissance (phénomène d'atrésie) ; un seul follicule en moyenne, le dominant, poursuivra sa croissance et donnera plus tard un follicule mûr.

\*En fin de la phase folliculaire, le taux excessif d'œstrogènes libéré par le follicule mûr, active par, rétrocontrôle positif l'hypothalamus qui accélère ses pulses de GnRH ce qui déclenche les pics de LH et de FSH (observés vers le 13<sup>ème</sup> jour) responsables de l'ovulation et de la transformation du follicule rompu en corps jaune.

\* En phase lutéale, les taux élevés de progestérone ralentissent, par rétrocontrôle négatif, les pulses de GnRH ; la sécrétion de FSH et de LH diminue alors d'où régression du corps jaune.

\*A la fin du cycle, la diminution du taux des œstrogènes et de progestérone (due à la régression du corps jaune) libère l'hypothalamus et l'hypophyse de l'astreinte du freinage, les pulses de GnRH augmentent de nouveau stimulant surtout la sécrétion de FSH ; de nouveaux follicules sont alors recrutés à la croissance : un nouveau cycle débute.

Les stimuli de l'environnement et les facteurs physiologiques internes peuvent modifier le fonctionnement de l'axe hypothalamo-hypophyso-ovarien ce qui se répercute sur l'activité génitale de la femme (ex : des chocs émotionnels peuvent faire varier la date des règles voire même arrêter les cycles).



La fécondation est la rencontre d'un gamète mâle et d'un gamète femelle qui aboutit à la formation d'un zygote. Les conditions de la fécondation sont :

- un sperme normal ;
- des spermatozoïdes capotés ;
- des voies génitales femelles perméables, non obturées ;
- une ovulation normale ;
- une glaire cervicale normale, filante et perméable aux spermatozoïdes ;
- des sexuels pendant la période de fertilité de la femme (présence simultanée des 2 gamètes dans les voies génitales femelles).

#### Les étapes de la fécondation sont :

- Reconnaissance et contact du spermatozoïde et de l'ovocyte :

À la suite de l'éjaculation, les spermatozoïdes, remontent les voies génitales de la femme : ils traversent d'abord le col de l'utérus qui sépare ce dernier de la cavité vaginale, puis gagnent les trompes. Au cours de leur remontée dans les trompes, les spermatozoïdes acquièrent la capacité à féconder l'ovocyte : c'est la capacitation. Sur les quelques 300 millions de spermatozoïdes émis, quelques centaines seulement parviennent à l'ampoule (1/3 supérieur), partie élargie de la trompe où peut se produire la fécondation si un ovocyte y est présent. Dès que l'un d'entre eux a pénétré, aucun autre ne peut plus le faire car il se forme immédiatement une membrane infranchissable. L'ovocyte bloqué en métaphase II est entouré de plusieurs spermatozoïdes capotés. Un seul spermatozoïde se fixe grâce ses glycoprotéines sur les récepteurs spécifiques  $ZP_3$  localisés à la surface de la zone pellucide.

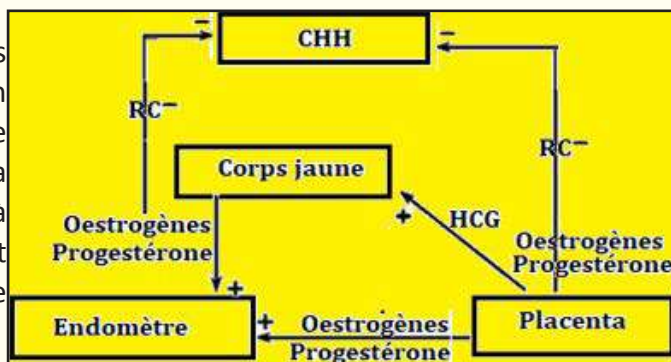
- Réaction acrosomiale : Après la libération des enzymes hydrolytiques contenues dans l'acrosome suite à l'entrée de  $Ca^{2+}$ , les membranes de deux gamètes fusionnent et le noyau du spermatozoïde est injecté dans le cytoplasme de l'ovocyte II. Un réveil physiologique de l'ovocyte se produit.

- Réaction corticale : Immédiatement après la fusion du spermatozoïde et de l'ovocyte, se déroule une réaction corticale, au cours de laquelle des granules corticaux de l'ovocyte déversent leur contenu enzymatique dans l'espace périvitellin. Les enzymes diffusent alors vers la zone pellucide et y modifient les glycoprotéines  $ZP_3$ , probablement en modifiant spécifiquement les O-oligosaccharides, ce qui les rend incapables de fixer de nouveaux spermatozoïdes assurant ainsi la monospermie.

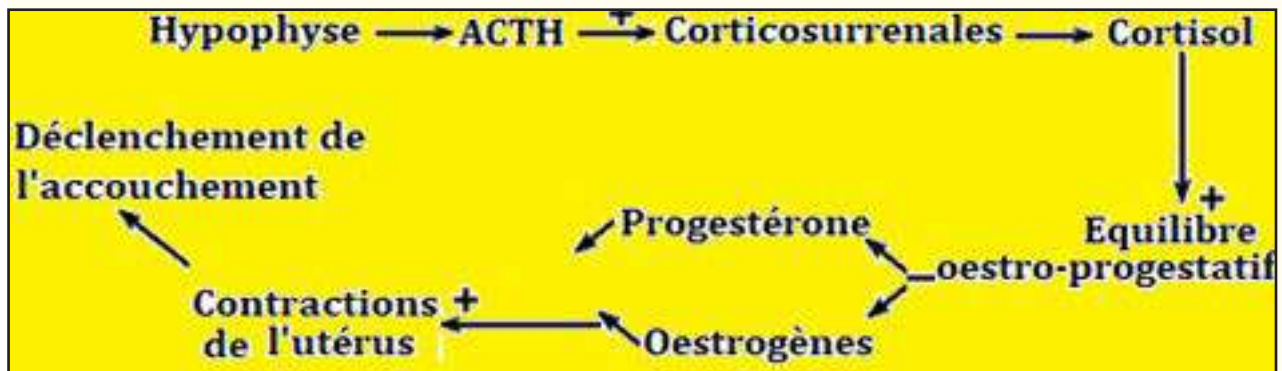
- **Amphimixie** : Les deux pronucléi mâle et femelle se rapprochent l'un de l'autre et finissent par fusionner pour donner un zygote ou cellule-œuf diploïde. Le pronoyau femelle complète sa deuxième division méiotique, avec émission du second globule polaire et expulsion du centriole. Le centriole mâle se dédouble et les deux s'éloignent du centre du cytoplasme ; les microtubules centriolaires forment deux asters. Les deux pronoyaux migrent l'un vers l'autre ; à leur rencontre, les membranes nucléaires se brisent, fusionnent et une membrane nucléaire unique se forme : C'est la caryogamie. Le zygote subit plusieurs mitoses en donnant une masse cellulaire appelée Morula qui se différencie en blastocyste qui se fixe vers le 7<sup>ème</sup> jour après la fécondation sur l'endomètre : c'est la nidation marquant le début de la gestation.

Les cellules du trophoblaste sécrètent, dès les premiers jours de la grossesse la HCG dont l'action est voisine de celle de la LH. Cette hormone passe dans le sang maternel et empêche la régression du corps jaune. Celui-ci continue à produire des doses croissantes d'œstrogènes et de progestérone indispensables au maintien de la dentelle utérine.

Ces hormones exercent un RC- sur le CHH.



Le mécanisme de l'accouchement est résumé par le schéma suivant :



La sécrétion lactée est contrôlée par un mécanisme neuro- hormonal comprenant :

- Une voie ascendante (nerveuse) : A sa naissance, le petit suce le mamelon de sa mère ; d'où la naissance d'un message nerveux, d'une part, inhibant les PIF et stimulant les PRF ; d'où sécrétion de la prolactine et stimulant, d'autre part, la sécrétion de l'ocytocine.

- Une voie descendante (hormonale) : La prolactine stimule la production du lait, l'ocytocine provoque l'éjection du lait d'où la sécrétion lactée qui est donc un phénomène neuro-hormonal.

La contraception est l'ensemble des moyens qui permettent de ne pas avoir d'enfants ou d'en avoir quand on le souhaite. Chaque méthode agit, schématiquement, sur l'un des stades de la conception. La pilule contraceptive a pour action principale d'inhiber la formation de l'ovule par l'ovaire. Le préservatif, le diaphragme et l'abstinence périodique empêchent la fécondation, la rencontre de l'ovule et du spermatozoïde. La présence d'un stérilet empêche l'œuf qui a été fécondé de s'implanter dans la muqueuse de l'utérus.

Par ailleurs, on considère qu'une contraception agit selon un processus général chimique (spermicides), hormonal (pilule), physique (préservatif, abstinence), ou encore complexe, voire imparfaitement connu (stérilet).

La procréation médicalement assistée (PMA) utilise des moyens comme :

- Diagnostic prénatal : Ensemble de techniques qui permettent de déceler les éventuelles anomalies et malformations du fœtus avant sa naissance.

- FIVETE qui se fait par étapes dont les principales sont :

- Bloquer les cycles ;
- Stimuler la folliculogenèse par FSH ;
- Injecter la LH ou la HCG pour achever la DR des ovocytes ;
- Mise en contact des ovocytes II avec les spermatozoïdes capacités ;
- Remise des embryons de 2 à 4 cellules dans l'utérus dentellisé.

- Insémination artificielle : introduction de spermatozoïde dans l'utérus.

## Je m'exerce :

### QCM : Choisir la (ou les) bonne(s) réponse(s).

**1- Au cours d'un cycle sexuel normal, le pic de progestérone est signe**

- a- d'une ovulation.
- b- d'une fécondation.
- c- d'une glaire cervicale filante à maillage lâche.
- d- développé d'un corps jaune.

**2- La prostate**

- a- intervient dans la formation du sperme.
- b- intervient dans la formation des spermatozoïdes.
- c- est une glande exocrine.
- d- est une glande endocrine.

**3- Chez l'homme, la FSH stimule directement**

- a- le développement des cellules de Leydig.
- b- développement des tubes séminifères.
- c- la sécrétion de testostérone.
- d- la spermatogenèse.

**4- Les récepteurs spécifiques à la LH sont localisés au niveau des cellules**

- a- de la glaire cervicale.
- b- du myomètre.
- c- du corps jaune.
- d- hypophysaires.

**5- L'inhibine agit par rétrocontrôle**

- a - positif sur la sécrétion de la FSH.
- b - négatif sur la sécrétion de la LH et de la FSH.
- c - négatif sur la sécrétion de la LH
- d - négatif sur la sécrétion de la FSH.

**6- La HCG est sécrétée par :**

- a- les cellules lutéiniques.
- b - les cellules folliculaires.
- c - les cellules du placenta.
- d - les cellules du trophoblaste.

**7- Chez la femme, la FSH et la LH sont sécrétées par**

- a- le corps jaune.
- b - l'hypothalamus.
- c - le follicule ovarien.
- d - l'hypophyse antérieure.

**8- Chez la femme, la FSH provoque :**

- a - l'ovulation.
- b - la croissance folliculaire.
- c - la croissance du corps jaune.
- d - la stimulation de la sécrétion d'œstradiol.

**9- La destruction sélective des cellules de Sertoli provoque**

- a- la disparition de la sécrétion de l'APB.
- b - l'absence de la sécrétion de la testostérone.
- c - la baisse de la fréquence des prises de GnRH.
- d - la baisse du taux des gonadostimulines hypophysaires.

**10- L'apparition du GPII au cours de l'ovogenèse indique**

- a. l'évolution de l'ovocyte I en ovocyte II.
- b. l'achèvement de la DR et le début de la DE.
- c. une fécondation.
- d. l'achèvement de la division équationnelle.

**11- Les cycles sexuels chez la femme**

- a. Sont synchrones grâce à la sécrétion cyclique des œstrogènes produite par l'ovaire.
- b. Sont tous sous contrôle direct de l'hypophyse.
- c. Sont fonctionnels à partir de la puberté et durant toute la vie de la femme.
- d. Sont synchrones grâce à la sécrétion cyclique des œstrogènes et de la progestérone .produite par l'ovaire.

**12- A prés une castration**

- a. Les taux de gonadostimulines augmentent.
- b. La sécrétion de GnRH est inhibée.
- c. L'homme est stérile.
- d. Il n'y a plus de rétrocontrôle exercé par l'inhibine.

**13- La folliculogenèse est**

- a. la transformation d'une ovogonie en un ovocyte II.

- b. L'évolution d'un follicule primordial en follicule mûr.
- c. la transformation d'un follicule mur en corps jaune.
- d. un processus qui englobe la formation des follicules et l'ovulation.

**14- La greffe d'un fragment de testicule sous la peau d'un mâle castré :**

- a. corrige sa stérilité.
- b. restaure ses caractères sexuels secondaires.
- c. provoque la baisse des sécrétions hypophysaires de FSH et de LH.
- d. provoque les mêmes effets que les injections d'extraits testiculaires.

**15- La FSH :**

- a. est sécrété d'une façon croissante le long de la phase folliculaire.
- b. est sécrétée par le corps jaune gestatif.
- c. est sécrétée par certaines cellules de l'hypophyse antérieure.
- d. est sécrétée par les follicules en évolution.

**16- Le sperme est un liquide blanc visqueux formé d'un mélange de :**

- a- liquide séminal et prostatique.
- b- spermatozoïdes et de liquide séminal.
- c- spermatozoïdes, de liquide séminal et prostatique.
- d- spermatides, de liquide séminal et prostatique.

**17- Après une castration :**

- a- Les taux de gonadostimulines augmentent.
- b- La sécrétion de GnRH est inhibée.
- c- L'homme est stérile.
- d- Il n'y a plus de rétrocontrôle exercé par la LH.

**18- Le taux des gonadostimulines se maintient faible et constant chez :**

- a. une femme ménopausée.
- b. une femme enceinte.
- c. une femme sous pilule.
- d. une femme ovariectomisée.

**19- L'apparition du GPII au cours de l'ovogenèse indique :**

- a- L'évolution de l'ovocyte I en ovocyte II.
- b- L'achèvement de la DR et le début de la DE.
- c- Une fécondation.
- d- L'achèvement de la division équationnelle.



## 20- Chez l'homme adulte :

- a- La testostérone est responsable du maintien des caractères sexuels.
- b- La testostérone est sécrétée par les cellules de Sertoli.
- c- L'inhibine contrôle la sécrétion de la LH.
- d- La FSH stimule la sécrétion de la testostérone.

## EXERCICES

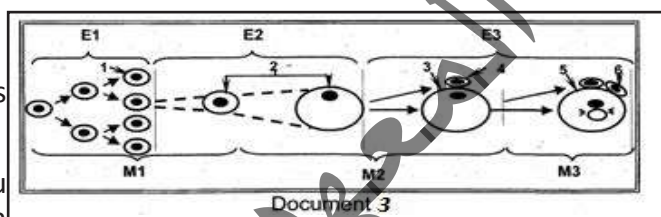
### Exercice 1

1-Le document ci-dessous représente schématiquement les moments (M1, M2 et M3), les étapes (E1, E2 et E3) et les stades cellulaires (de 1 à 6) de l'ovogenèse chez la femme :

a-Identifiez les moments :  $M_1$  ;  $M_2$  ;  $M_3$ .

b-Nommez les étapes :  $E_1$  ;  $E_2$  ;  $E_3$  et les stades cellulaires de l'ovogenèse (1 - 6).

c- Nommez le phénomène qui se produit au cours du moment  $M_3$  et précisez le lieu de son déroulement.



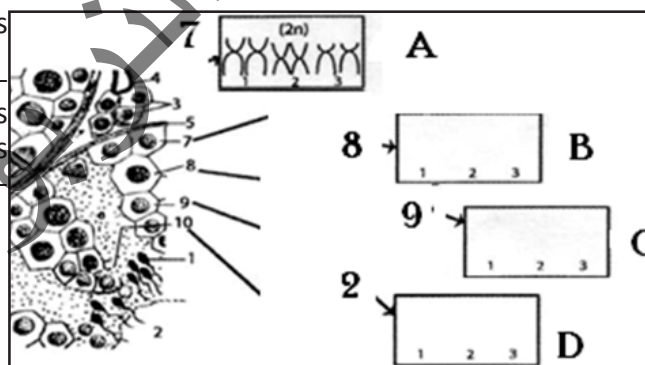
2- Le document ci-dessous présente une coupe partielle d'un testicule normal.

a-Nommez les cellules désignées par les flèches

b- En vous limitant à trois paires de chromosomes et en adoptant le modèle de chromosomes représentés dans la case A, représentez dans les cases B, C et D du même document, les chromosomes correspondant aux cellules 8, 9 et 10.

c-Précisez le(s) rôle(s) de la cellule 3.

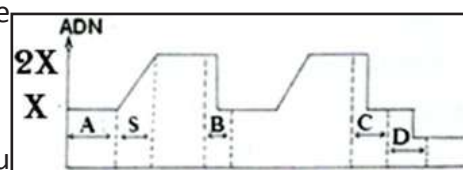
d-Déduisez les fonctions du testicule.



3- Le document ci-joint montre l'évolution de la quantité d'ADN en fonction du temps dans une cellule mère de gamète au cours de la spermatogenèse.

a- Identifiez les étapes A, B, C et D.

b-En vous appuyant sur vos connaissances complétez le tableau suivant



| Etapes                | Fin A | Fin B | Fin C | Fin D |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Quantité d'ADN        |       |       |       |       |
| Formule chromosomique | 2n    |       |       |       |

### Exercice 2

Le graphe du document 1 représente la variation du taux sanguin d'œstrogène dosé chez une femme X à partir du 04 janvier jusqu'au 5 février.

En vous basant sur votre connaissance et en vous limitant à l'intervalle de temps indiqué sur ce graphe :

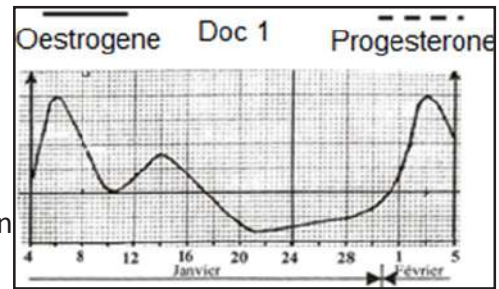
1- Précisez en justifiant à chaque fois votre réponse, la ou les date (s) qui correspondent à :

\* une ovulation.

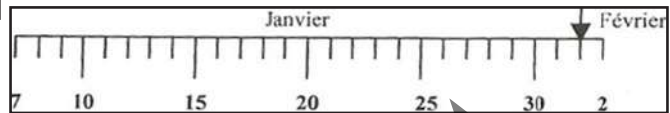
\* un début de menstruation.

\* un maximum de développement du corps jaune.

2- Complétez le graphe ci-dessus en représentant la variation du taux sanguin de progestérone chez cette femme.



3- Reproduisez le document ci-contre sur lequel vous représenterez l'évolution des structures ovariennes durant la période située entre le 07 janvier et le 2 février.



4- Indiquez le ou les intervalle (s) de temps correspondant à un silence utérin en vous limitant à la période indiquée sur le graphe 1.

6- Reproduisez et complétez le tableau suivant en précisant le type de rétrocontrôle exercé par les ovaires de cette femme sur son axe hypothalamo-hypophysaire, aux dates indiquées. Justifiez à chaque fois votre réponse et indiquez la ou les conséquence (s) de ce rétrocontrôle sur l'activité de l'hypophyse.

| Dates      | Type de rétro contrôle | Justification | Conséquences sur l'activité de l'hypophyse |
|------------|------------------------|---------------|--|
| 06 janvier |                        |               |  |
| 12 janvier |                        |               |  |

### Exercice 3

I - Le document 1 représente schématiquement des structures impliquées dans la fonction reproductrice humaine.

1- Nommez les structures désignées par les flèches de 1 à 5.

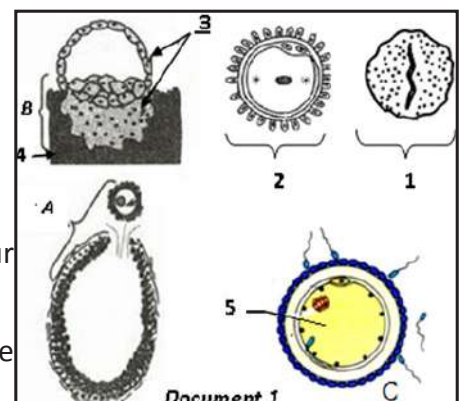
2- Identifiez, les événements désignés par les lettres A, B et C.

La structure n° 2 découle de l'événement C.

3- Rappelez les principales transformations de l'élément 5 pour aboutir à la formation de la structure 2.

4- Expliquez les interactions hormonales entre les structures de ce document qui maintiennent l'événement B.

5- La pilule combinée est un contraceptif chimique qui permet l'arrêt des événements A et B chez la femme. Expliquez son mode d'action.



II- On se propose d'étudier quelques aspects de la reproduction féminine.

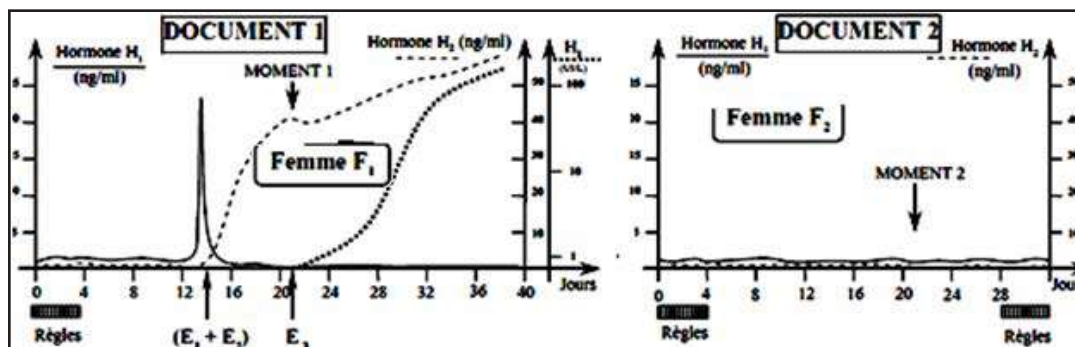
A- Le document 1 montre l'évolution de la sécrétion de 3 hormones  $H_1$ ,  $H_2$  et  $H_3$  chez une femme  $F_1$  et le document 2 l'évolution des mêmes hormones chez une femme  $F_2$ .

1- Identifiez les événements  $E_1$ ,  $E_2$  et  $E_3$  mentionnés par des flèches dans le document 1.

2- En justifiant la réponse, reconnaissez les hormones  $H_1$ ,  $H_2$  et  $H_3$ .

3- Sachant que la femme  $F_2$  ne souffre d'aucun problème de stérilité, quelle hypothèse proposez-vous pour expliquer ses profils de sécrétion de  $H_1$  et  $H_2$  ? Justifiez-vous.

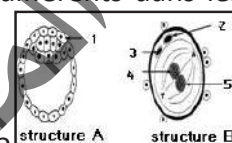
4- A partir de vos connaissances, comparez l'état de l'endomètre chez les deux femmes aux moments mentionnés par des flèches sur les deux documents. Justifiez les différences.



B- Le document ci-contre, montre deux structures observables à deux temps différents dans les voies génitales de la femme  $F_1$ .

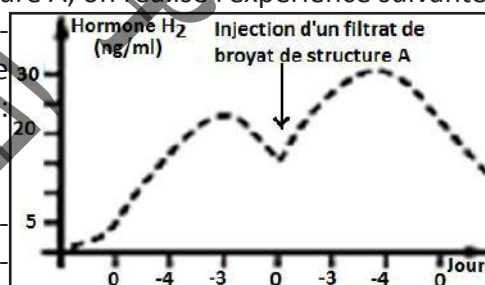
1-Identifiez et légendez ces structures.

2-A quels jours approximatifs du document 1 se situe chacune de ces structures ?



3- Afin de déterminer le rôle de certaines cellules de la structure A, on réalise l'expérience suivante: On injecte à une guenon vers la fin de son cycle, un filtrat purifié du broyat de plusieurs structures A et on dose le taux de l'hormone  $H_2$  chez cette guenon. On obtient le tracé ci-contre :

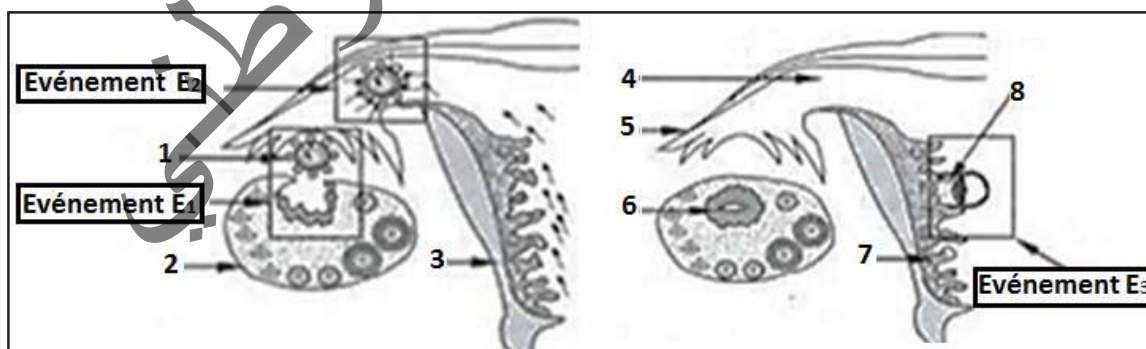
Analysez ce tracé et expliquez le profil de  $H_2$  après l'injection.



4- En intégrant l'ensemble des informations, et en faisant appel à certaines de vos connaissances, faites un schéma fonctionnel montrant les interactions hormonales entre les organes suivants : Complexe hypothalamo – hypophysaire, Structure A, Ovaires, Utérus (endomètre + myomètre) et ce dans les jours qui suivent le moment d'injection.

#### Exercice 4

A- Les schémas des documents ci-dessous illustrent la succession de trois événements ( $E_1$ ,  $E_2$  et  $E_3$ ) pouvant se produire dans l'appareil génital d'une femme.



1- Annotez les documents en reportant sur votre copie les numéros de 1 à 8.

2- Identifiez les événements  $E_1$ ,  $E_2$  et  $E_3$ .

3- Expliquez le déterminisme hormonal de l'événement  $E_1$ .

4- Donnez les conséquences des événements  $E_1$  et  $E_3$  sur l'hypophyse et l'ovaire.

5- Expliquez les interactions qui s'établissent entre les éléments désignés par les flèches 6, 7 et 8.

B- On se propose de préciser certaines conditions de l'évènement  $E_2$  en se basant sur un examen, des cultures et des expériences.

**Examen :** On réalise des spermogrammes chez deux sujets X et Y.

Le tableau ci-dessous présente les résultats obtenus chez les sujets X et Y et ceux obtenu

| Paramètres                     | Su jet X                | Sujet témoin              | Sujet Y                 |
|--------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Volume                         | 3.9 mL                  | >3 mL                     | 4.2 mL                  |
| PH                             | 7.3                     | 7.3                       | 7.3                     |
| Numérotation dans le sperme    | 64.106 mL <sup>-1</sup> | > 60.106 mL <sup>-1</sup> | 67.106 mL <sup>-1</sup> |
| Mobilité totale                | 60%                     | > 52 %                    | 55 %                    |
| Spermatozoïde de forme normale | 10%                     | > 56 %                    | 90 %                    |

chez un sujet témoin.

1- A partir d'analyse des spermogrammes des deux sujets X et Y, déduisez lequel des sujets X et Y est normal ?

**Culture :**

Dans des cultures on met en contact plusieurs ovocytes II et des

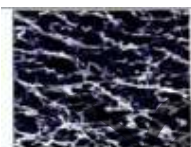

spermatozoïdes prélevés à différents endroits de l'appareil génital d'un homme normal. Puis on détermine le pourcentage d'ovocytes fécondés. Les cultures et leurs résultats sont présentés par le tableau suivant.

| Cultures | Mise en contact des ovocytes II avec des spermatozoïdes prélevés : | % d'ovocytes fécondés |
|----------|--|-----------------------|
| 1        | de la lumière du tube séminifère                                   | 0%                    |
| 2        | de l'épididyme   | 90%                   |
| 3        | de l'urètre  | 0%                    |

2- A partir de l'exploitation des résultats des différentes cultures et de vos connaissances, expliquez les transformations subies par les spermatozoïdes au cours de leur transit dans les

voies génitales mâles.

**Expérience 1 :** Chez une femme normale ayant un cycle sexuel de 28 jours, on prélève la glaire cervicale le 8<sup>ème</sup> et le 14<sup>ème</sup> jour de son cycle. A chaque fois, le prélèvement est

|                           | Observation de l'état de la glaire cervicale  | Milieu   | Migration des spz |
|---------------------------|---|--|-------------------|
| le 8 <sup>ème</sup> jour  |  | Milieu 1 : glaire cervicale prélevée le 8 <sup>ème</sup> jour du cycle + sperme éjaculé  | Absente           |
| le 14 <sup>ème</sup> jour |  | Milieu 2 : glaire cervicale prélevée le 14 <sup>ème</sup> jour du cycle + sperme éjaculé | Normale           |

observé puis placé dans un milieu en présence de sperme éjaculé d'un homme normal. Après une heure on vérifie la migration des spermatozoïdes à travers la glaire cervicale dans chaque milieu, le tableau précédent présente les résultats obtenus.

3- Etablissez la relation entre la structure de la glaire cervicale et la migration des spermatozoïdes

**Expérience 2 :** A partir de l'expérience 1, on prélève des spermatozoïdes de chaque milieu et on les met en contact avec des ovocytes II puis on mesure le pourcentage d'ovocytes fécondés.

Les résultats sont présentés par le tableau ci-dessous.

4- A partir de l'exploitation des résultats obtenus et en faisant appel à vos connaissances, expliquez les transformations subies par les spermatozoïdes.

| Spz prélevés : | % d'ovocytes fécondés |
|----------------|-----------------------|
| du milieu 1    | 0%                    |
| du milieu 1    | 90%                   |

5- A partir des informations précédentes, dégagez les conditions de l'évènement  $E_2$  mise en évidence.

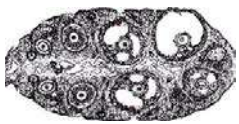
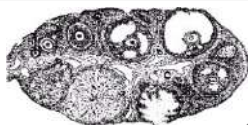
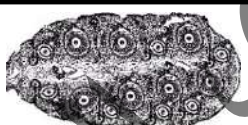
### Exercice 5

On se propose d'étudier la maîtrise de certains aspects de la reproduction humaine grâce au progrès accomplis dans le domaine de la médecine et de la biotechnologie.

Les dames A, B et C souffrent des difficultés de procréation.

Dans le but de préciser les causes possibles, elles consultent un médecin gynécologue qui leur demande la réalisation des examens suivants :

- Examen 1 : Données morphologiques et histologiques des ovaires.

| Madame | Taille des ovaires | La biopsie (photographie) des ovaires de la patiente (madame) à diverses reprises pendant 2 mois successifs | Trompes : Observation durant 2 mois successifs d'examen |
|--------|--------------------|---|---|
| A      | Normale            |                           | Aucun ovocyte II dans le tiers supérieur des trompes.   |
| B      | Normale            |                          |   |
| C      | Normale            |                          |   |

1- Faites une analyse comparative entre les 3 dames A, B et C, en vue de :

a-déduire la cause de stérilité chez les dames A et C.

b-proposer une hypothèse sur la cause possible de la stérilité chez madame B.

c-représenter, l'allure de la variation du taux des hormones ovariennes chez ces 3 dames. Justifiez votre réponse (on considère un cycle sexuel normal de 28 jours).



- Examen 2 : dosages hormonaux durant 28 jours :

| Hormones dosées                  | Madame A  | Madame B   | Madame C | Chez une femme à cycle sexuel normal   |
|----------------------------------|---|--|----------|--|
| LH en UI.l <sup>-1</sup>         | 10  | -P. folliculaire : 10<br>-Pic ovulatoire : 90<br>-Phase lutéale : 10             | 10       | -P. folliculaire : 10<br>-Pic ovulatoire : 90<br>-Phase lutéale : 10             |
| FSH en UI.l <sup>-1</sup>        | -P. folliculaire : 2 à 17<br>-Pic ovulatoire : 26<br>-P. lutéale : 2 à 8      | -P. folliculaire : 2 à 17<br>-Pic ovulatoire : 26<br>-P. lutéale : 2 à 8         | 0,5      | -Phase folliculaire : 2 à 17<br>-Pic ovulatoire : 26<br>-P. lutéale : 2 à 8      |
| Œstradiol en pg.ml <sup>-1</sup> | -P. folliculaire : 30 à 90<br>-Pic pré -ovulatoire : 400<br>-P. lutéale : 0,5 | -P. folliculaire : 30 à 90<br>-Pic pré ovulatoire : 400<br>-P. lutéale : 50 à 20 | 15       | -P. folliculaire : 30 à 90<br>-Pic pré ovulatoire : 400<br>-P. lutéale : 50 à 20 |

2- Exploitez les résultats de l'examen 2 en vue d'expliquer les situations hormonales des deux dames A et C.

Le médecin prescrit à madame A au cours de la phase folliculaire un traitement hormonal qui consiste à des injections régulières et normodosées le 14 octobre d'une substance X.

A partir du 21<sup>ème</sup> jour du cycle sexuel, il détecte la présence de l'hormone HCG dans le sang de madame A.

3- Expliquez l'apparition de l'hormone HCG dans le sang de madame A.

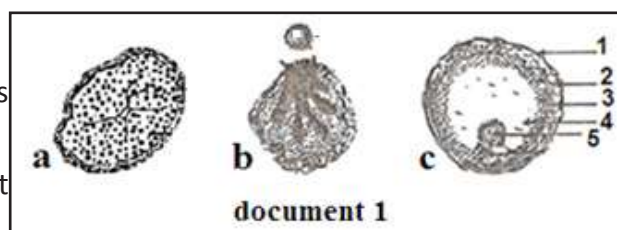
Le médecin conseille madame B par une technique de la FIVETE.

4-Que peut-on déduire concernant la validité de l'hypothèse proposée dans la question 2.

### Exercice 6

A- Le document 1 représente quelques structures observées au cours du cycle ovarien.

1- Donnez un titre à chacune de ces structures et classez ces figures dans l'ordre chronologique.

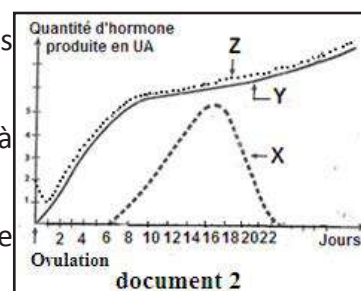


2-Légendez la structure c.

Les structures précitées secrètent des hormones qui agissent à différents niveaux.

3- Citez les hormones sécrétées par les structures a et c (précisez à chaque fois les cellules sécrétrices).

4- Dressez un tableau résumant l'effet de ces hormones sur : l'hypophyse et l'utérus.



B- On cherche à comprendre quelques aspects de la gestation chez une chèvre dont la gestation dure environ 135 jours.

On dose au cours du premier mois la quantité des hormones : X, Y et Z dans le sang de cette femelle (Document 2)

1- Identifiez les hormones X, Y et Z.

2-En justifiant votre réponse, indiquez à quelle date :

a- a lieu la nidation.

b- commence la régression du corps jaune.

3-Rappelez l'origine et le rôle de l'hormone X.

Sur deux lots (A et B) de chèvres en gestation, on réalise les interventions suivantes :

- Lot A : Ablation de l'hypophyse.

- Lot B : Ablation des ovaires.

4- Précisez dans chaque cas les conséquences de l'intervention sur le déroulement de la gestation.

5- La fin de la gestation est marquée par une chute du taux de la progestérone.

5-1-Précisez le mécanisme hormonal à l'origine de cette chute.

5-2-Quelles sont les conséquences de cette chute ?

### Exercice 7

Les figures du document ci-contre représentent les différentes étapes d'un phénomène qui caractérise la reproduction sexuée chez l'espèce humaine. Précisez de quel phénomène il s'agit ?

1-Légendez les figures et mettez un titre pour chacune.

2- Donner la garniture chromosomique des éléments A, B, C, D, E et F.

3-Replacez les figures dans l'ordre chronologique.

Pour un couple Mr et Mme X, l'événement que vous venez d'étudier ne peut se produire.

4- En faisant appel à vos connaissances, citez deux principales causes de stérilité.

5- Indiquez pour chaque cause la solution pouvant être apportée. (Sans expliquer les techniques).

6- Les causes de stérilité du couple X ayant été décelées, un traitement approprié est prescrit à Madame X, un retour à la normale est constaté, les étapes du phénomène sont constatées dans les voies génitales de Madame X.

6-1 - Que va-t-il se passer au niveau de la muqueuse utérine dans les jours qui suivent ce phénomène?

6-2- Préciser comment va être modifiée l'activité sexuelle de Mme ?

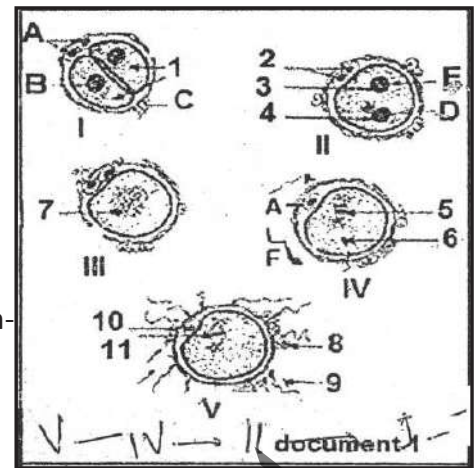
### Exercice 8

Dans le but de comprendre la cause de stérilité chez trois rats A, B et C (pubères), les trois expériences suivantes ont été réalisées :

Expérience 1 : L'analyse du liquide extrait des épидидymes de ces rats montre l'absence totale de spermatozoïdes.

1- Déterminez, d'après cette expérience, la cause de stérilité de ces trois rats.

Expérience 2 : Des injections répétées de GnRH à ces trois rats corrigent la stérilité du rat B, mais ne corrigent pas la stérilité de deux rats A et C.



2- En vous basant sur les résultats de l'expérience 2, expliquez la cause de stérilité du rat B.

Expérience 3 : Des injections répétées de testostérone ou de LH à ces rats corrigent la stérilité du rat A, mais ne corrigent pas la stérilité des deux rats B et C.

3- En vous basant sur les résultats des expériences 2 et 3, expliquez la cause de stérilité du rat A.

Expérience 4 : L'hypophyse du rat C greffée à un rat X pubère et hypophysectomie restaure les caractères sexuels secondaires chez le rat X mais ne corrige pas sa stérilité.

4- En vous basant sur les résultats des expériences 2 et 3 et 4 expliquez la cause de stérilité du rat C.

5- En vous basant sur les résultats des différentes expériences réalisées, reproduisez et complétez le tableau suivant en précisant si les structures indiquées ci-dessous sont normales ou anormales

|                    |                             | A | B | C |
|--------------------|-----------------------------|---|---|---|
| Hypothalamus       |                             |   |   |   |
| Hypophyse          | Cellules sécrétrices de LH  |   |   |   |
|                    | Cellules sécrétrices de FSH |   |   |   |
| Cellules de Leydig |                             |   |   |   |

**N.B.** Mettez dans chaque case (+) si la structure est normale.

### Exercice 9

Sur le document figurent diverses formations visibles dans un ovaire humain.

1-Reconnaissez les formations a, b, c, d et e.

2-Donnez la légende correspondante aux numéros.

3-Quelles sont les structures ovariennes observées :

a-au cours de la vie fœtale

b- pendant l'enfance

c- au cours du cycle ovarien.

4-Quel est le mécanisme hormonal qui explique Le passage : d'un ;

a-follicule cavitaire à un follicule mûr ?

b- follicule mûr à un corps jaune

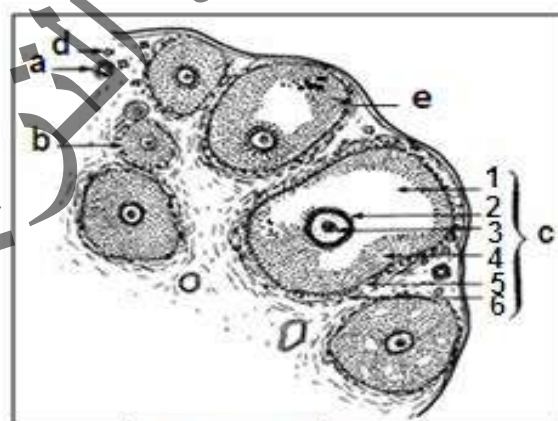
5- Un événement important du cycle ovarien est l'expulsion d'un ovocyte au 14<sup>ème</sup> jour. La photographie représente le caryotype de cette cellule au moment de l'expulsion.

a-Préciser la formule chromosomique de cette cellule

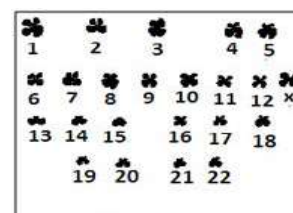
b- Quel est le type de division dont résulte cette cellule ?

c- Cette cellule est fécondée par un spermatozoïde normal

d-Représenter l'évolution de la quantité d'ADN au cours de ce phénomène.



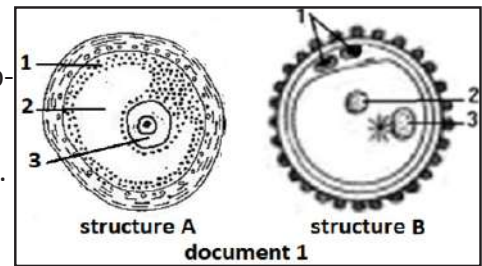
Document 1



Document 2

### Exercice 10

Le document ci-contre représente deux structures (A et B) observables chez une femme pubère.



1- Donnez un titre et une légende à chacune de ces structures.

2- Précisez le lieu d'observation de ces structures.

3- Pour des raisons médicales, Madame A a subi une ovariectomie bilatérale. En justifiant votre réponse, donner une des conséquences de cette opération :

a- au niveau de son utérus.

b- au niveau de son hypophyse.

4- Madame B présente un retard des règles de 3 semaines. Le test de grossesse positif qu'elle a effectué révèle la présence d'une hormone X dans l'urine.

a- Identifier l'hormone X.

b- Donner son origine et son rôle.

5- Au cours de la gestation les règles ne réapparaissent pas et le placenta sécrète des hormones qui provoquent le développement des glandes mammaires.

5-1- Quelles sont ces hormones ?

5-2- Quelle est l'hormone qui manque et qui intervient normalement au cours de la formation du lait ?

5-3- Expliquez la non réapparition des règles pendant la grossesse.

Les femmes paysannes ne suivent pas généralement le « planning familial », pourtant l'écart d'âge de leurs enfants est important. Par contre, les femmes des villes ont souvent recours à des méthodes modernes pour espacer l'âge de leurs enfants.

6- A l'aide de vos connaissances, expliquer ces constats ?

7- Parmi les méthodes principales utilisées par les femmes des villes on peut citer : pilules combinées et RU-486. Donner les effets de chacune de ces méthodes.

### Exercice 11

A- Les dosages des quantités d'ADN contenues dans trois catégories de cellules germinales de testicules de deux sujets adultes A et B, ont donné les résultats suivants :

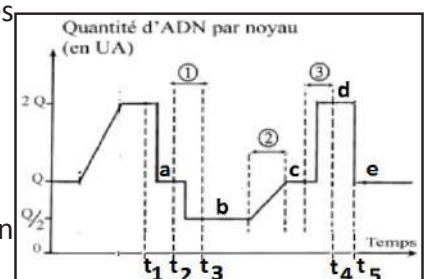
|         |                          | Cellules X | Cellules Y | Cellules Z |
|---------|--------------------------|------------|------------|------------|
| Sujet A | Nombre de cellules en UA | 8          | 4          | 2          |
|         | Quantité d'ADN           | X          | 2X         | 4X         |
| Sujet B | Nombre de cellules en UA | 2          | 10         | 2          |
|         | Quantité d'ADN           | X          | 2X         | 4X         |

1- Comparez le nombre de cellules puis la quantité d'ADN des cellules X, Y, Z du sujet A.

2- Expliquez les résultats constatés chez A.

3- Identifiez les cellules X, Y et Z.

4- Analysez les résultats obtenus chez le sujet B. Que peut-on déduire ?



5- Proposez une explication à l'anomalie constatée chez le sujet B.

6- Quel traitement hormonal pourrait corriger ce dysfonctionnement ?

B- Le document ci-contre représente l'évolution de la quantité d'ADN par noyau depuis la maturation de l'ovocyte jusqu'à l'obtention d'un embryon de deux cellules chez un mammifère.

1- Déterminez les phénomènes qui se sont déroulés :

- Entre  $t_1$  et  $t_2$ .

- Entre  $t_2$  et  $t_3$ .

- Entre  $t_4$  et  $t_5$ .

2- Nommez les phases de la fécondation qui correspondent aux segments : 1, 2 et 3.

3- Précisez le nombre de chromosomes et le nombre de chromatides par chromosome pour les noyaux : b, c, d e.

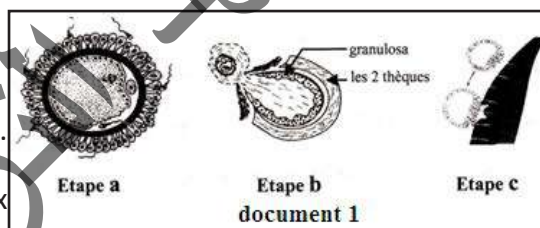
### Exercice 12

La conception d'un être humain nécessite de nombreuses étapes, parmi elles, celles indiquées sur le document ci-contre.

1- Identifiez les étapes a, b et c.

2- Classez les étapes a, b et c selon l'ordre chronologique.

3- Précisez le(s) déterminisme(s) hormonal ou hormonaux des étapes b et c ?



Pour remédier à certaines formes de stérilité, on a recours à la FIVETE.

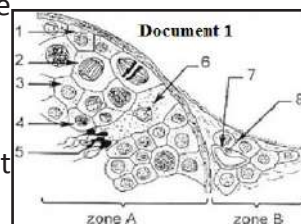
4- Indiquez les cas de stérilité conduisant un couple à envisager cette méthode de conception.

### Exercice 13

1- Le document 1 présente une portion de tubes séminifères d'un testicule humain vue au microscope au fort grossissement.

a- Que représente les zones A et B indiquées sur le document 1.

b- Annoter les éléments de 1 à 8 en reportant sur votre copie les numéros et les noms correspondants.



2- Afin de comprendre le rôle des testicules dans la fonction reproductrice, on a réalisé des expériences sur deux lots de rats : lot 1 et lot 2. Les expériences sont résumées dans le document 2.

| Doc. 2 | Expériences   | Résultats  |
|--------|---|--|
| Lot 1  | 1- Destruction par les rayons X des cellules de la zone A (voir document 1) | -stérilité<br>- maintien des caractères sexuels secondaires    |
| Lot 2  | 2- Destruction par les rayons X des cellules de la zone B (voir document 1) | - stérilité<br>- régression des caractères sexuels secondaires |

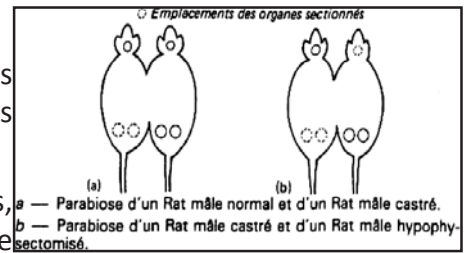
A partir de l'analyse des résultats de ces deux expériences et de vos connaissances, expliquer le rôle de la zone A et de la zone B.



### Exercice 14

1. Pour comprendre les mécanismes qui règlent les fonctions des organes reproducteurs mâles chez le rat, on réalise les expériences suivantes :

1- La castration d'un rat mâle provoque, entre autres effets, la régression des vésicules séminales. La mise en parabiose (document 1a) de deux rats mâles, l'un castré, l'autre intact, ne provoque aucune diminution du poids des vésicules séminales. (La parabiose consiste à réunir deux rats par une suture latérale de la peau et des muscles abdominaux ; des vaisseaux apparaissent alors et les sangs des deux animaux se mélangent.



Comment est contrôlé le développement des vésicules séminales ?

2- L'ablation de l'hypophyse (hypophysectomie) chez un rat mâle normal provoque les symptômes suivants : dégénérescence des testicules, arrêt de la spermatogenèse, régression des vésicules séminales. On réalise la parabiose d'un rat hypophysectomisé et d'un rat castré (document 1b).

Les vésicules séminales des deux rats ont alors un poids comparable à celui des vésicules séminales d'un rat témoin. Les testicules du rat hypophysectomisé sont normaux ; la spermatogenèse aussi. Quel rôle joue l'hypophyse sur le fonctionnement des organes sexuels mâles ?

3- On constate que la castration d'un rat mâle est suivie d'augmentation de l'activité de l'hypophyse, en particulier le taux de deux hormones, FSH et LH, sécrétées par cette glande augmente. La sécrétion est, en revanche, ralentie par injection intraveineuse d'une substance isolée du testicule, la testostérone.

La lésion de certaines zones de l'hypothalamus provoque les mêmes effets sur les organes reproducteurs mâles que l'hypophysectomie.

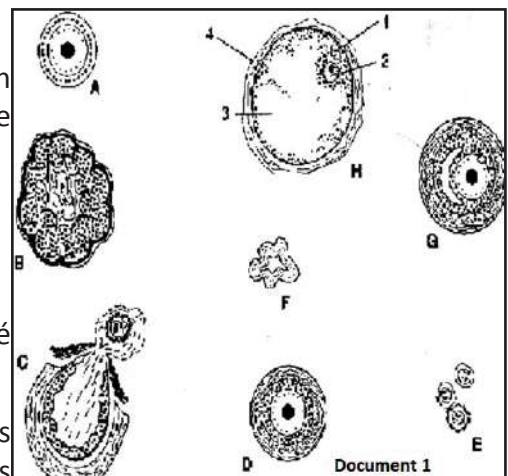
Par quel mécanisme est réglé le fonctionnement des organes reproducteurs mâles chez le rat ?

La régulation du fonctionnement des organes reproducteurs mâles suit les mêmes voies chez tous les mammifères. Résumez-en les grandes lignes par un schéma.

### Exercice 15

Le document suivant représente des structures que l'on peut observer au microscope optique dans un ovaire de mammifère lors d'un cycle ovarien :

- 1) Nommez les structures A, B, C, D, E, F, G et H.
- 2) Annotez la structure H suivant les chiffres indiqués.
- 3) Précisez, en justifiant votre réponse, si l'organe considéré est prélevé avant ou après la puberté.
- 4) Donnez l'ordre chronologique de l'évolution des structures représentées, en expliquant sommairement les transformations qui affectent ces structures.



5) Chez la femme et dans certains cas, l'ovaire ne présente que les formations E, F et A, même après la puberté. Qu'en résulte-t-il pour la procréation chez la femme ainsi affectée ? Justifiez votre réponse.

6) Définir brièvement les termes folliculogenèse et ovogenèse. Quel est le lien général entre ces deux phénomènes ?

## J'approfondis mes connaissances :

### Document : Tableau comparatif de divers moyens contraceptifs

| Méthode contraceptive                   | % d'échec    | Avantages  | Inconvénients  |
|---|--------------|--|--|
| Ogino – knaus                           | 40 à 75%     | Méthode naturelle                                    | Difficultés liées à l'irrégularité des cycles ; variations possibles de la date d'ovulation                              |
| Dite des températures                   | 3 à 12 %     | Méthode naturelle                                    | Difficultés liées à l'irrégularité des cycles ; Astreignante par la prise régulière de la température                    |
| Retrait                                 | 20 à 40 %    | Ne nécessite pas de calcul                           | Emission de spermatozoïdes non ressentie avant l'éjaculation   |
| Douche vaginale                         | 50 %         | Ne nécessite pas de calcul                           | Peu efficace ; Adhérence du sperme à la paroi du vagin   |
| Préservatifs masculins                  | 7 à 11 %     | Bonne tolérance<br>Vente libre                       | Déchirure possible mais rare ; risques de fuite au retrait ; Contraignant  |
| Diaphragme, Cape cervicale +spermicides | 4 à 12 %     | Bonne tolérance en général<br>Vente libre            | Risque de mauvaise mise en place ;<br>Emploi parfois impossible pour des raisons anatomiques ; Contraignant              |
| Sterilet                                | 1 à 12 %     | Placé pour deux ans                                  | Pose par le médecin ; contrôle régulier de sa présence ; tendance au rejet ; Légers saignements parfois entre les règles |
| Spermicides                             | 10 à 30 %    | Inoffensifs ; bonne tolérance ; Vente libre          | Contraignants  |
| Pilule                                  | Moins de 1 % | Pas de manipulation d'objets avant le rapport sexuel | Contraignante : prise régulière nécessaire<br>Dosage adapté à chaque femme   |

### Projet de classe :

A la fin du chapitre 1, les élèves en sous-groupes préparent un compte rendu au sujet de la reproduction chez les mammifères. Faire une recherche documentaire auprès de personnes ressources ; préparer le compte rendu et le présenter aux élèves de la classe ; s'informer auprès du professeur de Français (pour le langage scientifique adapté), de SVT, d'EPS, de Mathématiques (Tracer et analyser des courbes), de Chimie (Cycle de Krebs, hydrolyse et régénération de l'ATP, réaction de glycolyse...), d'un biologiste et d'un médecin.

- Groupe 1 : Interprétation de graphes, de données statistiques en rapport avec la reproduction chez les mammifères (Consulter le professeur des Mathématiques).
- Groupe 2 : Protocole pour la nutrition pour une femme enceinte (Consulter le professeur des SVT, le médecin et documents).
- Groupe 3 : Compte rendu sur l'apport de la Chimie (Nature des hormones et leurs dérivés, pilules contraceptives, implants etc.).
- Groupe 4 : Dépliant ou affiche sur le suivi des grossesses, planning familial, mariage précoce. (Consulter le professeur de l'Instruction religieuse et civique).

- Groupe 5 : Exposé sur le comportement respectant les valeurs de la société sur la reproduction chez les mammifères (Consulter le professeur de l'Instruction religieuse : Allaitement naturel, contraception, Contragection,...).
- Groupe 6 : Préparer une fiche métier d'un gynécologue et d'une sage-femme (Activités, compétences, formation, carrière).

المجلة التدريبية الوطنية

## CHAPITRE II : LA GÉNÉTIQUE

# المحطة التدريبية الوطنية



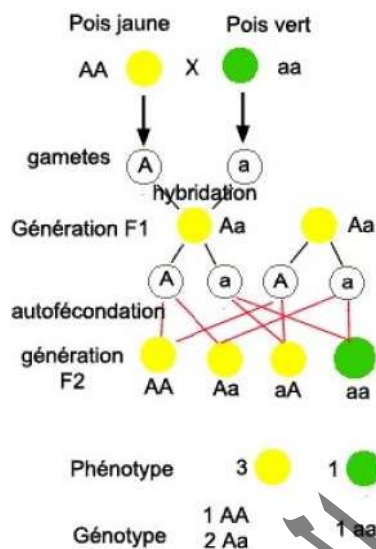
## Je découvre :

## I- Notions de base

## Activité 1 :

Maîtriser la définition des quelques mots et expressions en génétique.

## Document 1 : Croisement mendélien.



## Document 2 : Texte.

Pendant longtemps, l'**hérédité** fut considérée par la plupart des gens comme une force mystérieuse et contrôlée empiriquement par les éleveurs et les horticulteurs. Les expériences d'**hybridation** de Johann Mendel (1822-1884) sur le pois lui permirent d'établir des lois précises de transmission des caractères héréditaires. Mendel ne connaissait ni **chromosomes** ni **gènes** et pourtant ses travaux marquèrent la naissance de la **génétique** ou science de l'**hérédité**.

A partir des deux documents, dégager la définition des principales expressions citées.

- **Génétique** : Science qui étudie l'hérédité et les gènes. La génétique doit intégrer deux forces opposées : le côté hérédité (transmission fidèle) et le côté variation observée (polymorphisme).
- **Hérédité** : C'est la transmission des caractéristiques d'une génération à la suivante.
- **Chromosome** : Structure constituée d'ADN, d'ARN et de protéines (histones) et qui provient de la condensation d'un filament de chromatine lors d'une mitose ou d'une méiose.
- **Caryotype** : Examen permettant d'étudier l'ensemble des chromosomes d'une cellule, en les classant par paires de chromosomes homologues, en fonction de leur taille, de la position de leur centromère et de la position des bandes claires et sombres après coloration. C'est aussi, l'ensemble des chromosomes d'une cellule, caractéristique d'une espèce donnée.
- **Gène** : Élément physique et fonctionnel de l'hérédité qui transmet une information d'une génération à la suivante. Physiquement, c'est une séquence nucléotidique d'ADN nécessaire à la synthèse d'un polypeptide ou d'un ARN fonctionnel.
- **Allèle et locus** : Un **allèle** est l'une des séquences de nucléotides possibles de l'ADN d'un gène. Chaque allèle occupe un emplacement précis, appelé un **locus**, sur la chromatide.

- **Autosomique** : Transmission d'un caractère lié à un gène situé sur un autosome.
- **Gonosomique** : Transmission d'un caractère lié à un gène situé sur le segment non homologue d'un chromosome sexuel (le X ou le Y).
- **Dominance** : Se dit d'un allèle qui s'exprime dans le phénotype à l'état homozygote ou hétérozygote.
- **Récessivité** : Se dit d'un allèle qui ne s'exprime dans le phénotype qu'à l'état homozygote.
- **Codominance** : Se dit de deux allèles différents du même gène, qui s'expriment simultanément dans le phénotype.
- **Génotypes** : C'est l'ensemble des combinaisons de 2 allèles pour l'ensemble des gènes d'un individu. C'est aussi, la combinaison des 2 allèles d'un individu pour un gène donné.
- **Phénotypes** : C'est l'ensemble des caractères d'un individu, détectables à l'œil nu, au microscope ou par des analyses biochimiques.
- **Homozygote** : Se dit d'un sujet, d'une cellule ou d'un génotype, dont les deux allèles sont identiques.
- **Hétérozygote** : Se dit d'un sujet, d'une cellule ou d'un génotype, dont les deux gènes allèles sont différents.
- **Hémizygote** : Se dit du génotype d'un individu, concernant un gène porté par le chromosome sexuel X (ou par le chromosome Y), et donc présent en un seul exemplaire.
- **Hybridation** : Croisement entre deux individus de même espèce ayant des génotypes ou des phénotypes différents concernant le même caractère héréditaire.
- **Lignée ou race pure** : Se dit pour les homozygotes où le patrimoine génétique est identique (même allèle).

## II- Génétique formelle

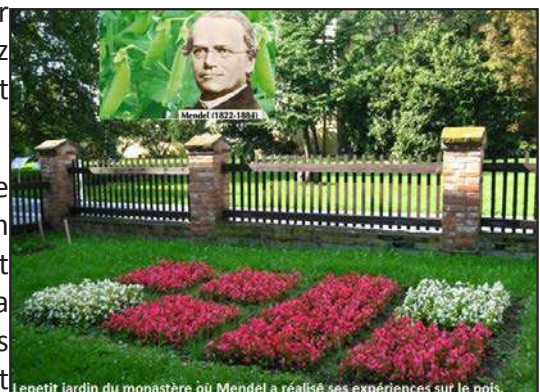
### A- Notions d'autofécondation et de fécondation croisée

#### Activité 2 :

##### Comment travaillait Mendel ?

J. G. MENDEL, né en 1822 en Silésie autrichienne, est le fondateur de la génétique ou science de l'hérédité. Ses travaux ont essentiellement porté sur l'étude de la transmission des caractères héréditaires chez des variétés de petit pois. Les études statistiques lui ont permis d'établir des règles appelées lois de Mendel.

Mendel a choisi une plante à fleurs qui peut se reproduire par autofécondation : les petits pois comestibles (*Pisum sativum* L.). Les petits pois se reproduisent naturellement par autofécondation (plante autogame). Néanmoins, la taille de la fleur permet une castration en coupant les étamines. Mendel put alors apporter le pollen provenant d'une autre fleur afin de réaliser une fécondation croisée.



Petit jardin du monastère où Mendel a réalisé ses expériences sur le pois.

L'originalité de sa démarche est qu'il a attendu d'avoir des plantes aux caractéristiques stables sur

plusieurs générations avant de commencer ses essais de croisements. Ces souches sont dites pures par rapport à la caractéristique considérée.

Mendel en a étudié et noté les phénotypes suivants :

La forme de la graine : lisse ou ridé ;

- ✓ La couleur du cotylédon de la graine : jaune ou vert ;
- ✓ La couleur de la fleur : blanc ou violet ;
- ✓ La forme de la cosse : plein ou étroit ;
- ✓ La couleur de la cosse : jaune ou vert.

**Analyser le document afin de définir les notions d'autofécondation et de fécondation croisée.**

L'autofécondation appelée aussi autogamie est un type de fécondation obtenu par l'union des gamètes **mâles et femelles d'une même plante**. C'est la fécondation du pistil d'une fleur par les étamines de la même fleur. C'est donc un mode de reproduction sexuée dans lequel les deux gamètes sont issus du même individu.

La fécondation croisée (allogamie) est une inter-fécondation, opposée à l'autofécondation chez les plantes à fleurs où il y a transfert de pollen de la fleur d'une plante à la fleur d'une plante ayant une constitution génétique différente. Ainsi, chez les plantes à fleurs, la fécondation croisée intervient lorsqu'il existe des fleurs unisexuées sur deux catégories d'individus, les uns mâles, les autres femelles, mais une seule catégorie d'individus est alors fertile.

## B- Monohybridisme

### Activité 3 :

**Comment expliquer la descendance de parents différant par un seul caractère héréditaire : cas du gène autosomique avec dominance.**

**Expérience 1 :** Etude de la transmission du couple d'allèles responsable de la forme des graines de Pois.

Mendel a effectué le croisement de deux plantes de petits pois, l'une à graines lisses et l'autre à graines ridées. La première descendance, appelée  $F_1$ , est formée uniquement de plantes de petits pois à graines lisses. L'autofécondation entre les individus de  $F_1$  donne une deuxième descendance  $F_2$  composée de  $3/4$  de plantes à graines lisses et  $1/4$  de plantes à graines ridées.

**Expérience 2 :** Etude de la transmission du couple d'allèles responsable de la couleur du pelage chez la souris.

L'hybridation implique le croisement entre des individus de lignée pure qui diffèrent par un ou plusieurs caractères. Dans le croisement présenté ici, les deux parents appartiennent à deux lignées pures présentant une seule différence héréditaire, la couleur du poil. Les descendants directs des deux parents constituent la première génération ( $F_1$ ) formée uniquement de souris grises. Croisés entre eux ; les individus de  $F_1$  donnent une deuxième génération ( $F_2$ ) constituée de 270 souris dont 198 grises et 72 blanches.

**Interpréter ces expériences en pratiquant une démarche de raisonnement hypothético-déductif avec utilisation de symboles et du vocabulaire du généticien.**

## Expérience 1 :




- L'étude concerne seulement un seul caractère, c'est la forme de la graine de pois : il s'agit d'un cas de monohybridisme.
- La descendance  $F_1$  est composée uniquement de plantes de pois à graines lisses, d'où la **première loi de Mendel : « Uniformité des hybrides de  $F_1$  ».**
- L'uniformité des individus de la  $F_1$  montre que les deux parents sont de races pures.
- La population de  $F_1$  ressemble à l'un des parents d'où la notion de dominance : l'allèle lisse (L) domine l'allèle ridée (r) :  $L > r$ .
- L'autofécondation des individus de  $F_1$  donne des statistiques de 3/4 de lisses et 1/4 de ridés : statistiques de monohybridisme avec dominance.
- Le sexe des descendants n'est pas spécifié : la transmission est autosomale.

**Phénotypes :** Plante de pois à graines lisses X Plante de pois à graines ridées

**Génotypes :** L//L X r//r

**Gamètes :** 100% L 100% r









**Echiquier de croisement de Punnet**

| Gamètes |   |
|---------|---|
| [L]     | 100% [L]       |
| [r]     | L//r 100% [L]  |
|         | 100% [r]         |

Mendel inventa les termes dominant et récessif.

**Génotypes :** ♂ de  $F_1$  : L//r X L//r ♀ de  $F_1$

**Gamètes :** 1/2 L et 1/2 r 1/2 L et 1/2 r

| Gamètes de $F_1$ |  |   |   |
|------------------|--|---|---|
| ♂                |  | $1/2$ <u>L</u>           | $1/2$ <u>r</u>           |
|                  |  |   |   |
| ♀                | $1/2$ <u>L</u>  | $1/4$ $\frac{L}{L}$ [L]  | $1/4$ $\frac{L}{r}$ [L]  |
|                  | $1/2$ <u>r</u>  | $1/4$ $\frac{r}{L}$ [L]  | $1/4$ $\frac{r}{r}$ [r]  |

La  $F_2$  est composée de : 3/4 [L] et 1/4 [r].

**La deuxième loi de Mendel :** Lors de la formation des gamètes des individus de  $F_1$ , les allèles L et r se sont séparés : « loi de la ségrégation ou de la disjonction indépendante des allèles ».

**Expérience 2 :** Les hybrides  $F_1$ , gris, portent aussi le facteur blanc puisqu'il apparaît dans la  $F_2$  mais il était masqué par le gris dans la  $F_1$  : **on dit que le gris est dominant (G), alors que le blanc est récessif (b). Le facteur qui détermine la couleur du pelage existe sous 2 formes différentes (ou allèles) : G et b. Au moment de la formation des gamètes de  $F_1$ , les facteurs se disjoignent de façon que chaque gamète ne reçoive que le gris ou le blanc.** Ainsi ; la moitié des ovules porte le gris et l'autre moitié porte le blanc. Et il en est de même pour les gamètes mâles. Les résultats sont indépendants du sexe des parents, c'est-à-dire que le résultat est le même quel que soit le sens du croisement : c'est une hérédité autosomale.

|  |   |           |   |   |          |          |   |          |          |   |          |          |
|--|---|-----------|---|---|----------|----------|---|----------|----------|---|----------|----------|
| <b>Parents (P) :</b> G//G x b//b<br><b>Gamètes (γ) :</b> G b<br><b><math>F_1</math> :</b> G//b [G] 100 % | <b>• <math>F_1 \times F_1</math> <math>F_2</math> : L'échiquier du croisement est le suivant :</b>  |           |   |   |          |          |   |          |          |   |          |          |
|  | <table border="1"> <tr> <td rowspan="2">Y ♀ \ Y ♂</td><td>G</td><td>b</td></tr> <tr> <td>G//G [G]</td><td>G//b [G]</td></tr> <tr> <td>G</td><td>G//G [G]</td><td>G//b [G]</td></tr> <tr> <td>b</td><td>G//b [G]</td><td>b//b [b]</td></tr> </table> | Y ♀ \ Y ♂ | G | b | G//G [G] | G//b [G] | G | G//G [G] | G//b [G] | b | G//b [G] | b//b [b] |
| Y ♀ \ Y ♂  | G   |           | b |   |          |          |   |          |          |   |          |          |
|  | G//G [G]  | G//b [G]  |   |   |          |          |   |          |          |   |          |          |
| G  | G//G [G]  | G//b [G]  |   |   |          |          |   |          |          |   |          |          |
| b  | G//b [G]  | b//b [b]  |   |   |          |          |   |          |          |   |          |          |

Ce tableau donne les génotypes (ensemble des gènes d'un individu qui gouvernent le(s) caractère(s) étudié(s)) des œufs de  $F_2$ . Les individus dont le génotype est G//G ou b//b sont dits homozygotes ou de races pures. Ceux de génotype G//b sont dits hétérozygotes ou hybrides. Les souris de génotypes G//G et G//b sont de même phénotype gris.

#### Activité 4 :

##### Test-cross ou croisement-test :

Comme exemples, on a réalisé les croisements suivants :

|  |  |
|--|--|
| <b>Parents (P) :</b> G//b x b//b<br><b>Gamètes (γ) :</b> G b<br><b><math>F_1</math> :</b> G//b [G] 50 %<br>b//b [b] 50 % | <b>Parents (P) :</b> G//G x b//b<br><b>Gamètes (γ) :</b> G b<br><b><math>F_1</math> :</b> G//b [G] 100 % |
|--|--|

##### Comment et pourquoi réaliser un test-cross ?

Le test-cross également appelé croisement de contrôle ou croisement test est un test génétique mis au point par Gregor Mendel, a pour but de révéler le génotype d'un organisme qui présente un phénotype dominant. Cet individu peut être homozygote ou hétérozygote pour l'allèle dominant.

Pour connaître, grâce à un seul croisement, le génotype de cet individu, on croise l'individu inconnu (à tester) avec un individu testeur homozygote récessif. Le parent homozygote fournit une seule catégorie de gamète et comme ces gamètes portent des allèles récessifs, le phénotype des descendants sera uniquement déterminé par l'allèle fourni par l'individu à tester. Le test-cross consiste donc à croiser le parent testé avec un parent testeur qui est toujours un homozygote récessif. Dans le cas où l'individu testeur est le propre parent, on parle de back-cross (croisement retour). Il s'agit du croisement d'un hybride  $F_1$ , issu d'un croisement entre deux lignées pures avec l'un des parents de lignée pure.



## Activité 5 :

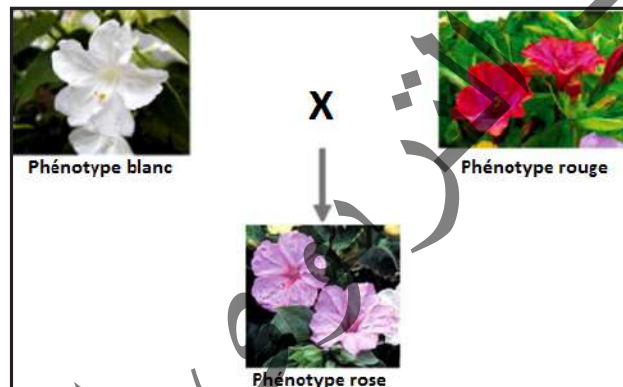
**Comment expliquer la descendance de parents différant par un seul caractère héréditaire : cas du gène autosomique avec codominance.**

**Expérience 1 :** Etude de la transmission du couple d'allèles responsable de la couleur de la fleur chez les mufliers.

La dominance n'est pas un phénomène universel. Car si on croise des mufliers à fleurs rouges avec des mufliers à fleurs blanches, les produits sont des mufliers à fleurs roses. C'est un caractère intermédiaire avec absence de dominance de l'un sur l'autre.

On commence par croiser des mufliers à **fleurs rouges** avec des mufliers à **fleurs blanches**. Pour ce faire, on castre les fleurs. Puis on dépose le pollen des fleurs blanches sur le stigmate des fleurs rouges et le pollen des fleurs rouges sur le stigmate des fleurs blanches. Toutes les graines issues de ce croisement sont semées. Les plantes de la première génération (habituellement appelée  $F_1$ ) ont toutes des fleurs roses. Puis, il laisse les plantes de  $F_1$  se reproduire par autofécondation, les individus de la 2<sup>ème</sup> **génération** (habituellement appelée  $F_2$ ) ne sont plus uniforme. Il y a 25% de plantes à fleurs rouges, 50% de plantes à fleurs roses et 25% de plantes à fleurs blanches.

**1<sup>er</sup> croisement :**  $P_1$  : Muflier à fleurs rouges x Muflier à fleurs blanches :



$F_1$  : 100% fleurs roses.

**2<sup>ème</sup> croisement :**  $P_2$  :  $F_1$  à fleurs roses X  $F_1$  à fleurs roses

$F_2$  : 88 plantes à fleurs rouges, 182 plantes à fleurs roses et 90 plantes à fleurs blanches.

**Expérience 2 :** Etude de la transmission du couple d'allèles responsable de la longueur de la queue chez le chien.

Un couple de chiens à queue courte donne 3 chiots sans queue, 2 chiots à queue longue et 6 à queue courte.

**Interpréter ces expériences en pratiquant une démarche de raisonnement hypothético-déductif avec utilisation de symboles et du vocabulaire du généticien.**

## Interprétation des résultats :

### Expérience 1 :

- Un seul caractère est étudié (la couleur des fleurs de mufler) : **cas de monohybridisme**.
- La  $F_1$  est homogène, elle vérifie la 1<sup>ère</sup> loi de Mendel : « **Uniformité des hybrides de  $F_1$**  ».
- Les individus  $F_1$  ne ressemblent à aucun des parents, ils ont une couleur intermédiaire : il s'agit d'un cas de monohybridisme sans dominance de l'un sur l'autre : **cas de codominance**.

Le phénotype de l'hétérozygote est intermédiaire entre ceux des parents.

- Le gène responsable de la couleur des fleurs chez le mufler existe sous 2 formes alléliques : **R** détermine la couleur rouge et **R'** la couleur blanche.

- Les croisements inverses donnent le même résultat : Gène autosomique.

$P_1$  : Mufler à fleurs rouges X Mufler à fleurs blanches.

Génotypes : R//R X R'//R'

Gamètes : R R'

$F_1$  : R//R' 100% fleurs roses.

$P_2$  :  $F_1$  à fleurs roses X  $F_1$  à fleurs roses

Génotypes : R//R' X R//R'

Gamètes : 1/2 R, 1/2 R' 1/2 R, 1/2 R'

$F_2$  : Echiquier :

| Y♀ \ Y♂ | R 1/2            | R' 1/2           |
|---------|------------------|------------------|
| R 1/2   | R//R [R]= 1/4    | R//R' [RR']= 1/4 |
| R' 1/2  | R//R' [RR']= 1/4 | R'//R' [R']= 1/4 |

$$[R] = 1/4 \approx 88/360; [RR'] = 1/2 \approx 182/360; [R'] = 1/4 \approx 90/360.$$

### Expérience 2 :

C'est un cas de monohybridisme sans dominance car il ya la présence d'un phénotype intermédiaire entre queue longue et sans queue. Les deux parents sont donc hybrides.

Les allèles s'écrivent alors : Queue longue : **L** et sans queue : **S**.

Le croisement est le suivant :

Phénotypes des parents : [SL] X [SL]

Génotypes :  $\frac{S}{L}$   $\frac{S}{L}$

Gamètes :  $\frac{1}{2} \underline{\text{S}}$  et  $\frac{1}{2} \underline{\text{L}}$        $\frac{1}{2} \underline{\text{S}}$  et  $\frac{1}{2} \underline{\text{L}}$

Echiquier de croisement :

| Gamètes                              | $\underline{\text{S}}$ $\frac{1}{2}$                    | $\underline{\text{L}}$ $\frac{1}{2}$                    |
|--------------------------------------|---|---|
| $\underline{\text{S}}$ $\frac{1}{2}$ | $\frac{\text{S}}{\text{S}} = [\text{S}]$ $\frac{1}{4}$  | $\frac{\text{S}}{\text{L}} = [\text{SL}]$ $\frac{1}{4}$ |
| $\underline{\text{L}}$ $\frac{1}{2}$ | $\frac{\text{L}}{\text{S}} = [\text{SL}]$ $\frac{1}{4}$ | $\frac{\text{L}}{\text{L}} = [\text{L}]$ $\frac{1}{4}$  |

$F_2$  :  $\frac{1}{4} [\text{S}]$  soit  $\frac{3}{11}$  ;  $\frac{1}{2} [\text{SL}]$  soit  $\frac{6}{11}$  et  $\frac{1}{4} [\text{L}]$  soit  $\frac{2}{11}$ .

### Activité 6 :

Comment expliquer la descendance de parents différant par un seul caractère héréditaire : cas du gène gonosomique avec dominance.

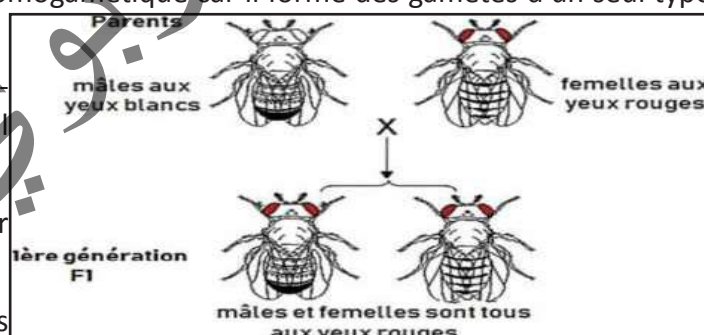
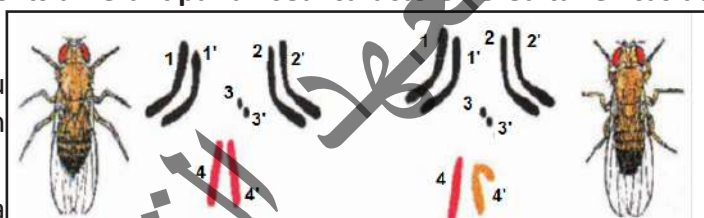
**Expérience 1 :** Etude de la transmission du couple d'allèles responsable de la coloration des yeux chez la drosophile.

Alors que les autosomes sont communs à tous les individus d'une même espèce, les gonosomes caractérisent les sexes. Chez les Mammifères et chez certains insectes (mouches), le sexe femelle a pour formule XX : il est dit homogamétique car il forme des gamètes d'un seul type (X).

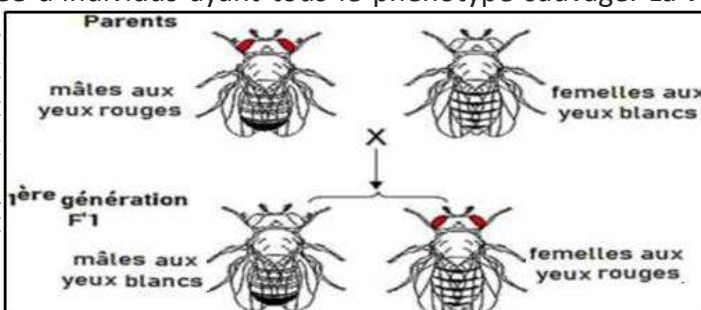
Le sexe mâle a pour formule XY : il est dit hétérogamétique car il forme en nombre égal des gamètes X et des gamètes Y.

De nombreux caractères sont déterminés par des gènes situés sur le chromosome X.

Les gènes portés par Y sont beaucoup plus rares.



Morgan croise 2 drosophiles de race pure : un mâle aux yeux blancs (mutant) et une femelle aux yeux rouges (type sauvage). La  $F_1$  est formée d'individus ayant tous le phénotype sauvage. La  $F_2$  comprend des femelles aux yeux rouges et des mâles qui ont pour moitié les yeux rouges et pour moitié les yeux blancs. Il fait ensuite le croisement réciproque : mâle aux yeux rouges, femelle aux yeux blancs. La  $F_1$  comprend des femelles aux yeux rouges et des mâles aux yeux blancs. La  $F_2$  comprend en nombres égaux des mâles et des femelles aux yeux rouges et aux yeux blancs.



Thomas Morgan propose une explication grâce à des travaux sur la drosophile.

Le caractère « couleur des yeux » se présente dans une population de drosophiles sous deux phénotypes : des yeux rouges (phénotype sauvage) et des yeux blancs (phénotype muté).

**Expérience 2 :** Etude de la transmission du couple d'allèles responsable de la couleur du plumage chez le pigeon.

Chez certains animaux comme les oiseaux et les papillons, le sexe femelle est hétérogamétique (ZW) et le sexe mâle est homogamétique (ZZ).

Un éleveur effectue plusieurs types de croisements entre deux variétés pures de pigeons :

- Premier croisement : mâle bleu x femelle brune. Il obtient : 100% d'individus bleus (femelles et mâles).
- Deuxième croisement : mâle brun x femelle bleue. Tous les mâles sont bleus et toutes les femelles sont brunes.
- Troisième croisement : mâle bleu issu du premier croisement x femelle brune de race pure. Il obtient les résultats suivants : mâles : 50 % bruns, 50 % bleus et les femelles : 50 % brunes, 50 % bleues.
- Quatrième croisement : mâle bleu du deuxième croisement x femelle bleue de race pure. Il obtient les résultats suivants : 75 % sont bleus (dont 2/3 de mâles et 1/3 de femelles) et 25 % sont des femelles brunes.

**Exploiter ces résultats afin d'expliquer la transmission des gènes étudiés.**

**Exploitation des résultats :**

**Expérience 1 :**

- Un seul caractère est étudié (la coloration des yeux des drosophiles) : Il s'agit d'un cas de monohybridisme.
- Les résultats des deux croisements inverses sont différents : c'est une hérédité liée au sexe.
- Les descendants mâles du premier croisement ressemblent à leur mère alors que les femelles ressemblent à leur père : le gène est porté par le chromosome X.

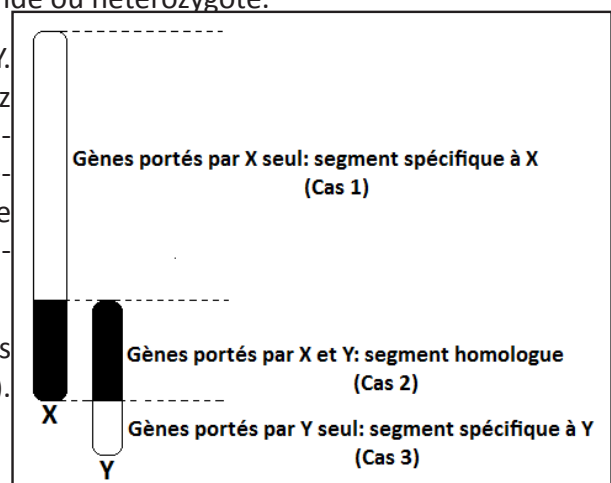
Le gène étant présent chez les deux sexes, il est lié à X. La paire XX se comporte comme toutes les autres paires : on peut trouver le même allèle sur les 2 chromosomes, on peut trouver 2 allèles différents d'un même gène.

La paire XY se comporte différemment. Quand X et Y portent tous les deux des gènes, on distingue trois régions sur ces chromosomes, correspondant aux trois cas suivants :

- **Cas 1 :** Les gènes sont localisés sur le chromosome X seulement. Mâles et femelles peuvent présenter le caractère, mais seule la femelle peut être hybride ou hétérozygote.

- **Cas 2 :** Les gènes sont localisés à la fois sur X et sur Y. On peut trouver des hybrides chez les mâles et chez les femelles comme pour les gènes situés sur les autosomes, mais leur comportement n'est pas exactement le même que pour ces derniers. En effet, l'allèle porté par Y n'est transmis uniquement qu'aux individus mâles de la descendance.

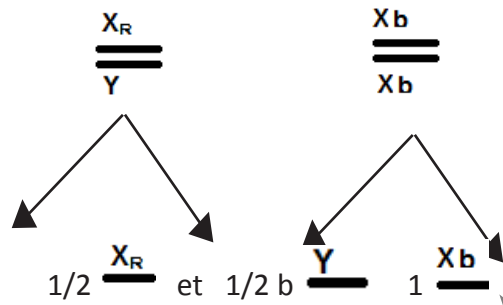
- **Cas 3 :** Les gènes sont portés par Y seulement. Les femelles ne possèdent jamais ce caractère (Cas rare).



- Les descendants du croisement inverse sont homogènes et ont des yeux rouges : l'allèle rouge (**R**) domine l'allèle blanc (**b**).

**Le 1<sup>er</sup> croisement : Parents de races pures :** ♂ [R] X ♀ [b]

**Génotypes :**



**Gamètes :**

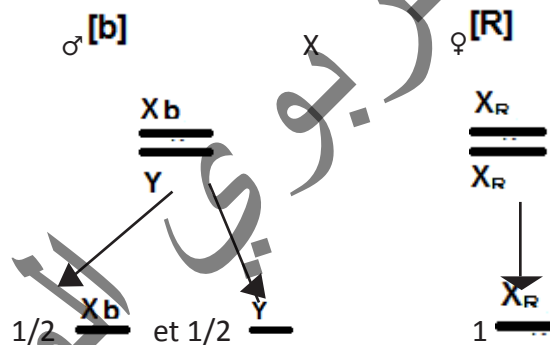
**Echiquier de croisement :**

| Gamètes |     | ♂ [R] | 1/2                 | 1/2               |
|---------|-----|-------|---------------------|-------------------|
| ♀ [b]   | X_R |       |                     |                   |
|         | X_b |       |                     |                   |
|         |     |       | X_R / X_b [R] = 1/2 | X_b / Y [b] = 1/2 |

**Le croisement inverse :**

**Parents de races pures :** ♂ [b] X ♀ [R]

**Génotypes :**



**Gamètes :**

**Echiquier de croisement :**

| ♀ [R] |     | ♂ [b] | 1/2                 | 1/2               |
|-------|-----|-------|---------------------|-------------------|
| X_R   | X_b |       |                     |                   |
|       | Y   |       |                     |                   |
|       |     |       | X_R / X_b [R] = 1/2 | X_R / Y [R] = 1/2 |

**Expérience 2 :**

- Les deux premiers croisements sont réciproques et donnent des résultats différents : l'allèle responsable de la couleur du plumage est porté par les chromosomes sexuels (le chromosome Z).
- Le premier croisement montre qu'il s'agit d'un cas de dominance : l'allèle bleu **B** est dominant et l'allèle brun **b** est récessif.
- Ces résultats vérifient bien l'hypothèse selon laquelle le gène responsable de la couleur du plumage chez ce pigeon est porté par les chromosomes sexuels.



Les deux premiers croisements qui sont réciproques donnent des résultats différents : l'hérédité serait liée au sexe. Les deux sexes affichent les caractères, elle serait liée à X.

- **Croisement 1** : Le résultat indique une dominance :  $B > b$

( $B$  : bleu ;  $b$  : brun). Le croisement sera donc :

| $\sigma : Z^B/Z^B$                  |               | x | $\text{♀} : Z^b/W$           |
|-------------------------------------|---------------|---|------------------------------|
| - gamètes du mâle : $Z^B$           |               |   | de la femelle : $Z^b$ et $Y$ |
| $\gamma^\sigma$ \ $\gamma^\text{♀}$ | $Z^b$         |   | $W$                          |
| $Z^B$                               | $Z^B/Z^b [B]$ |   | $Z^B/W [B]$                  |

Les proportions phénotypiques sont les suivantes :

$\text{♀} : [B] - 100\%$  ;  $\sigma : [B] - 100\%$ .

- **Croisement 2** :

| $\sigma : Z^b/Z^b$                  |               | x | $\text{♀} : Z^B/W$ |
|-------------------------------------|---------------|---|--------------------|
| $\gamma^\sigma$ \ $\gamma^\text{♀}$ | $Z^B$         |   | $W$                |
| $Z^b$                               | $Z^B/Z^b [B]$ |   | $Z^b/W [b]$        |

Les proportions phénotypiques sont les suivantes :

$\text{♀} : [b] : 50\%$  ;  $\sigma : [B] : 50\%$ .

- **Croisement 3** :

| $\sigma : Z^B/Z^b$                  |               | x | $\text{♀} : Z^{br}/W$ |
|-------------------------------------|---------------|---|-----------------------|
| $\gamma^\sigma$ \ $\gamma^\text{♀}$ | $Z$           |   | $W$                   |
| $Z^B$                               | $Z^B/Z^b [B]$ |   | $X^B/W [B]$           |
| $Z^b$                               | $Z^b/Z^b [b]$ |   | $Z^b/W [b]$           |

Les proportions phénotypiques sont les suivantes :

$\text{♀} : [B] : 50\%$  ;  $\text{♀} : [b] : 50\%$  ;  $\sigma : [B] : 50\%$  ;  $\sigma : [b] : 50\%$ .

#### Croisement 4 :

| $\sigma : Z^B//Z^b$ |                | x              |              | $\varnothing : Z^B//W$ |
|---------------------|----------------|----------------|--------------|------------------------|
| $Y\sigma$           | $Y\varnothing$ | $Z^B$          | $W$          |                        |
|                     | $Z^B$          | $Z^B//Z^B [B]$ | $Z^B//W [B]$ |                        |
|                     | $Z^b$          | $Z^B//Z^b [B]$ | $Z^b//W [b]$ |                        |

Les proportions phénotypiques sont les suivantes :

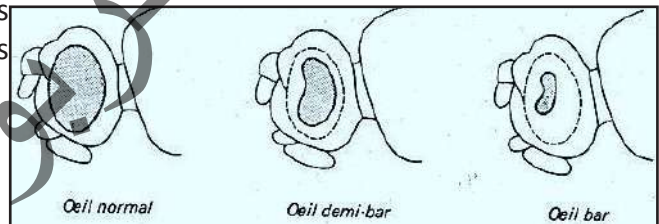
- 75 % de [B] dont 2/3 de  $\sigma$  et 1/3 de  $\varnothing$  ;
- 25 % de [b] :  $\varnothing$ .

#### Activité 7 :

**Montrer comment se transmet un gène lié au chromosome sexuel : cas de codominance.**

Dans les élevages de Drosophiles, il apparaît souvent une mutation appelée bar. Les animaux qui en sont affectés présentent un œil réniforme dont le nombre de facettes est inférieur à celui de l'œil normal (voir figure). Leurs yeux sont donc plus petits que ceux des Drosophiles normales dites sauvages. On rencontre dans les élevages :

- ✓ des Drosophiles mâles bar,
- ✓ des Drosophiles femelle bar,
- ✓ des Drosophiles femelles demi-bar dont le phénotype est intermédiaire entre le phénotype sauvage et le phénotype bar.



Expérimentalement on réalise les croisements suivants :

**Croisement a :** Drosophile femelle sauvage x Drosophile mâle bar.

En première génération, les drosophiles femelles présentent le phénotype demi-bar et les drosophiles mâles ont le phénotype sauvage.

Le croisement de deux de ces Drosophiles de première génération fournit en deuxième génération les résultats suivants : Drosophiles femelles : 24 sauvages, 26 demi-bar et

Drosophiles mâles : 25 sauvages, 28 bar.

**Croisement b :** Drosophile femelle bar x Drosophile mâle sauvage.

En première génération, les drosophiles femelles présentent le phénotype demi-bar alors que les drosophiles mâles ont le phénotype bar.

Le croisement de deux de ces Drosophiles de première génération fournit en deuxième génération les résultats suivants : Drosophiles femelles : 22 bars, 21 demi-bar et

Drosophiles mâles : 20 sauvages, 21 bar.

Exploiter ces résultats afin d'expliquer la transmission du gène responsable de la mutation bar et donner les génotypes des individus des croisements a et b, ainsi que ceux de leur descendance.

### Exploitation des résultats :

- Un seul caractère étudié : cas de **monohybridisme**.
- Les parents utilisés, dans les deux croisements, sont de **racés purs**.
- Les descendants femelles ont toujours une forme des yeux intermédiaires entre bar et sauvage : **codominance**.
- Symboles : Allèle sauvage : **s** et Allèle bar : **b**
- Les deux croisements sont inverses et donnent toujours des descendants mâles qui ressemblent à leur mère : gène gonosomal lié à X.

### Croisement a :

|                               |                                      |                               |                              |
|-------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Parents de races pures:       | Drosophile femelle aux yeux sauvages | ×                             | Drosophile mâle aux yeux bar |
| Génotypes:                    | $X_s // X_s$                         |                               | $X_b // Y$                   |
| Gamètes                       | $\underline{X_s}$                    | $\frac{1}{2} \underline{X_b}$ | $\frac{1}{2} \underline{Y}$  |
| Echiquier de croisement de F1 |                                      |                               |                              |
| Gamètes                       | $\frac{1}{2} \underline{X_b}$        | $\frac{1}{2} \underline{Y}$   |                              |
| $\underline{X_s}$             | $X_s // X_b$<br>Femelle demi-bar     | $X_s // Y$<br>mâle sauvage    |                              |

|                               |   |                               |                             |
|-------------------------------|---|-------------------------------|-----------------------------|
| Parents hybrides de F1        | Femelle demi-bar  | ×                             | Mâle sauvage                |
| Génotypes                     | $X_s // X_b$  |                               | $X_s // Y$                  |
| Gamètes                       | $\frac{1}{2} \underline{X_s}$ $\frac{1}{2} \underline{X_b}$ | $\frac{1}{2} \underline{X_s}$ | $\frac{1}{2} \underline{Y}$ |
| Echiquier de F2               |   |                               |                             |
| Gamètes de F1                 | $\frac{1}{2} \underline{X_s}$                               | $\frac{1}{2} \underline{X_b}$ |                             |
| $\frac{1}{2} \underline{X_s}$ | $X_s // X_s$<br>$\frac{1}{4}$                               | $X_s // X_b$<br>$\frac{1}{4}$ |                             |
| $\frac{1}{2} \underline{Y}$   | $X_s // Y$<br>$\frac{1}{4}$                                 | $X_b // Y$<br>$\frac{1}{4}$   |                             |

### Croisement b :

|                               |                                  |                               |                                   |
|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Parents de races pures:       | Drosophile femelle aux yeux bar  | ×                             | Drosophile mâle aux yeux sauvages |
| Génotypes:                    | $X_b // X_b$                     |                               | $X_s // Y$                        |
| Gamètes                       | $\underline{X_b}$                | $\frac{1}{2} \underline{X_s}$ | $\frac{1}{2} \underline{Y}$       |
| Echiquier de croisement de F1 |                                  |                               |                                   |
| Gamètes                       | $\frac{1}{2} \underline{X_s}$    | $\frac{1}{2} \underline{Y}$   |                                   |
| $\underline{X_b}$             | $X_s // X_b$<br>Femelle demi-bar | $X_b // Y$<br>mâle bar        |                                   |

|                               |   |                               |                             |
|-------------------------------|---|-------------------------------|-----------------------------|
| Parents hybrides de F1        | Femelle demi-bar  | ×                             | Mâle sauvage                |
| Génotypes                     | $X_s // X_b$  |                               | $X_b // Y$                  |
| Gamètes                       | $\frac{1}{2} \underline{X_s}$ $\frac{1}{2} \underline{X_b}$ | $\frac{1}{2} \underline{X_s}$ | $\frac{1}{2} \underline{Y}$ |
| Echiquier de F2               |   |                               |                             |
| Gamètes de F1                 | $\frac{1}{2} \underline{X_s}$                               | $\frac{1}{2} \underline{X_b}$ |                             |
| $\frac{1}{2} \underline{X_b}$ | $X_s // X_b$<br>$\frac{1}{4}$                               | $X_b // X_b$<br>$\frac{1}{4}$ |                             |
| $\frac{1}{2} \underline{Y}$   | $X_s // Y$<br>$\frac{1}{4}$                                 | $X_b // Y$<br>$\frac{1}{4}$   |                             |

## Activité 8 :

Etude de quelques cas particuliers.

### Expérience 1 : Gène léthal.

**Exemple 1 :** Etude de la transmission du couple d'allèles responsable de la couleur du pelage chez la souris.

Une souris noire, croisée avec une souris noire, donne uniquement des souris noires. Une souris jaune, croisée avec une souris jaune, donne une descendance comprenant  $\frac{2}{3}$  de souris jaunes et  $\frac{1}{3}$  de souris noires. Une souris jaune, croisée avec une souris noire, donne en nombre égal des souris jaunes et des souris noires.

**Exemple 2 :** Etude de la transmission du couple d'allèles responsable de l'hérédité de la chlorophylle chez le maïs :

On croise deux plantes vertes de maïs entre elles. On obtient 3 plantes vertes viables et 1 plante blanche non viable. Quand on sème des graines de maïs résultant d'une autofécondation de plantes vertes, on constate que certaines plantules sont blanches à cause de l'absence de la chlorophylle. Elles meurent après une brève période de croissance.

### Expérience 2 : Polyallélie :

**Exemple :** Etude de la transmission des allèles responsables des colorations de la robe chez le lapin.

Chez une espèce de Lapin, on observe différentes colorations de la robe :

- Des lapins à poils chinchilla ;
- Des lapins à poils himalayan ;
- Des lapins à poils blancs (albinos).

**Premier croisement :** Un lapin de race pure, à poils chinchilla, est croisé avec une lapine de race pure à poils chinchilla. La descendance est composée, uniquement de lapereaux à poils chinchilla.

**Deuxième croisement :** Un lapin de robe himalayan est croisé avec une lapine de robe albinos donne 50% de lapereaux à poils himalayan et 50% de lapereaux à poils albinos.

**Troisième croisement :** Un éleveur de lapins place dans une cage deux lapins, l'un albinos et l'autre chinchilla, et une lapine chinchilla. Au bout de quelques semaines, il obtient une descendance composée de 4 lapereaux chinchilla, 2 lapereaux himalayan et 2 albinos.

### Expérience 3 : Gène influencé par le sexe :

**Exemple :** Etude de la transmission du couple d'allèles responsable de la formation des cornes chez les ovins :

Chez les ovins, il existe un gène P qui dirige la formation des cornes. Il est dominant chez le mâle et récessif chez la femelle.

Si on croise un Bélier de la race Dorset, où les deux sexes portent des cornes, avec une Brebis de race Suffolk, où les cornes sont absentes dans les deux sexes, tous les mâles de  $F_1$  portent des cornes alors que toutes les femelles en sont dépourvues. Le même résultat s'observe si on croise un bélier Suffolk avec une brebis Dorset. Croisés entre eux, les individus de  $F_1$  donnent en  $F_2$  :

- des mâles :  $\frac{3}{4}$  avec cornes,  $\frac{1}{4}$  sans cornes ;
- des femelles :  $\frac{3}{4}$  sans cornes,  $\frac{1}{4}$  avec cornes.

#### Expérience 4 : Hérité des abeilles.

Chez les abeilles, la société est composée de trois types d'individus :

- La reine, seule femelle fertile.
- Les ouvrières, femelles stériles
- Les faux-bourçons, qui sont des mâles fertiles.

La particularité des abeilles et que les ovules, sans fécondation, peuvent évoluer et devenir des individus haploïdes : ce sont les mâles. Ce phénomène est appelé la **parthénogénèse**.

Si les ovules sont fécondés, les individus diploïdes deviennent des femelles.

**Exemple :** Etude de la transmission du couple d'allèles responsable de la couleur du corps.

On possède des races différentes des abeilles. On effectue divers croisements expérimentaux par insémination artificielle. En croisant une reine dorée de race pure avec un mâle noir, on obtient en  $F_1$  : des femelles de couleurs intermédiaires et des mâles dorés.

En croisant une reine issue de  $F_1$  avec un mâle noir, on obtient : 50 % de femelles noires et 50 % de femelles de couleur intermédiaire ; 50 % de mâles dorés et 50 % de mâles noirs.

**Exploiter ces résultats afin d'expliquer la transmission des gènes étudiés.**

**Exploitation des résultats :**

**Expérience 1 :** Gène létal.

**Exemple 1 :** Un allèle qui provoque la mort d'un individu est dit létal. On ne peut pas voir naître les individus portant ces gènes puisqu'ils meurent in utero.

Les allèles létaux récessifs sont éliminés s'ils se trouvent à l'état homozygote. Mais des individus hétérozygotes seront porteurs du gène (mais celui-ci ne s'exprime pas car il est récessif). On reconnaît facilement le cas d'allèles létaux par des statistiques biaisées.

Pour un cas de dominance/récessivité, au lieu d'obtenir une répartition 1/4, 2/4 et 1/4 (soit 3/4 du dominant et 1/4 du récessif), on aura souvent une répartition 1/3, 1/3 et 1/3 (soit 2/3 du dominant et 1/3 du récessif).

- Le premier croisement montre que les souris noires sont homozygotes.
- Le deuxième croisement montre que les souris jaunes n'appartiennent pas à une lignée pure et que l'allèle **J** responsable de la coloration jaune est dominant sur l'allèle **n** responsable de la couleur noire.
- Le rapport **2/3 - 1/3** évoque un gène létal : les individus **J//J** ne sont pas viables et les souris jaunes sont donc des hétérozygotes de génotypes **J//n**.

Le croisement est donc le suivant :

| $\gamma^\sigma$                   | $\frac{1}{2}$                        | $\frac{1}{2}$       |
|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| $\gamma^\sigma$ \ $\gamma^\sigma$ | J                                    | n                   |
| J                                 | $\frac{1}{2}$<br><b>J//J [J]=1/4</b> | <b>J//n [J]=1/4</b> |
| n                                 | $\frac{1}{2}$<br><b>J//n [J]=1/4</b> | <b>n//n [n]=1/4</b> |

Les proportions phénotypiques sont les suivantes :

- [J] : 2/3 ;
- [n] : 1/3. Car les souris de génotype **J//J** ne sont pas viables.



Quant au troisième croisement, c'est un back-cross typique :

$$J//J \times n//n \longrightarrow 1/2 J//n - 1/2 n//n.$$

**Exemple 2 :** Ces résultats indiquent que la plante sur laquelle l'expérience a été faite était hybride quant aux allèles de la chlorophylle. Ceci est dû à une mutation subie par l'allèle responsable de la synthèse de la chlorophylle qui l'a rendue incapable de la fabriquer.

Si on note l'allèle responsable de la synthèse de la chlorophylle par **C** et l'allèle incapable de la synthétiser par **c**, on obtient :

| Parents :   |       | Plante de maïs verte |               | x | plante de maïs verte |               |
|-------------|-------|----------------------|---------------|---|----------------------|---------------|
|             |       | C//c                 |               |   | C//c                 |               |
| Gamètes (γ) |       | 1/2C                 | 1/2 c         |   | 1/2C                 | 1/2c          |
| Y♂          | Y♀    | c 1/2                | C//C[c] = 1/4 |   | c 1/2                | C//c[c] = 1/4 |
|             | c 1/2 | C//c[c] = 1/4        |               |   | c 1/2                | c//c[c] = 1/4 |

[C] = 3 plantes vertes viables ; [c]=1 plante blanche non viable ;

Soit 2/3 de [C] et 1/3 de[c.].

• **Conclusion :** On constate que l'allèle létal dans le second exemple est **récessif** alors qu'il est **dominant** dans le premier exemple. Il ne tue donc que quand l'individu est homozygote.

**Expérience 2 :** Polyallélie.

En général, un gène est formé d'un couple d'allèles, mais parfois, on constate qu'un gène est formé de plusieurs allèles. On parle ainsi de **Polyallélie**.

**Premier croisement :** C'est un cas de monohybridisme ; la composition est homogène et montre que l'allèle chinchilla est dominant par rapport à l'allèle himalayan.

**Symboles :** chinchilla : **C<sup>ch</sup>** et himalayan : **C<sup>h</sup>**

**Deuxième croisement :** L'apparition dans la descendance de lapereaux albinos montre que le lapin himalayan a donné un gamète de phénotype albinos. Donc, l'allèle himalayan domine l'allèle albinos (C). Dans les deux croisements, le sexe n'est pas spécifié dans les descendance : le gène est autosomal.

**Détermination du père des lapereaux :**

L'apparition, dans la descendance, de lapereaux chinchilla montre que le lapin albinos ne peut pas être le père des lapereaux : le père est chinchilla. Les lapereaux albinos indiquent que les deux parents sont hybrides.

**Croisement :**

Parents de races pures : ♂ [C<sup>ch</sup>] X ♀ [C<sup>h</sup>]

Génotypes :

$\frac{C^{ch}}{C}$        $\frac{C^h}{C}$

Gamètes : 1/2  $\underline{C^{ch}}$  et 1/2  $\underline{C}$       1/2  $\underline{C^h}$  et 1/2  $\underline{C}$

### Echiquier de croisement :

| gamètes                        | $\frac{C^{ch}}{C} \frac{1}{2}$         | $\frac{C}{C} \frac{1}{2}$         |
|--------------------------------|--|-----------------------------------|
| $\frac{C^{ch}}{C} \frac{1}{2}$ | $\frac{C^{ch}}{C^{ch}} [C^{ch}] = 1/4$ | $\frac{C^{ch}}{C} [C^{ch}] = 1/4$ |
| $\frac{C}{C} \frac{1}{2}$      | $\frac{C}{C^{ch}} [C^{ch}] = 1/4$      | $\frac{C}{C} [C] = 1/4$           |

### Expérience 3 : Gène influencé par le sexe.

Il y a inversion de la dominance quand on passe d'un sexe à l'autre : il s'agit d'un cas d'hérédité influencée par le sexe. Le gène responsable présente 2 allèles : **P** = présence de cornes ; **A** = absence de cornes. **P** est dominant chez le mâle, **A** est dominant chez la femelle.

|  |   |  |   |  |  |  |   |
|--|---|--|---|--|--|--|---|
| <b>Premier croisement :</b>  | <b>Deuxième croisement :</b>  |  |   |  |  |  |   |
| $\sigma : P//P \times \text{♀} : A//A$   | $F_1 \times F_1 = F_2 ; \sigma : P//A \times \text{♀} : A//P$   |  |   |  |  |  |   |
| <div><div>P</div><div>A</div><div>P//A ou A//P</div></div>   | <table><tr><td><div><div><div><math>\gamma^\sigma</math></div><div><math>\gamma^\text{♀}</math></div></div></div><div><div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>P</div></div><div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>A</div></div></div></td><td><div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>P//P1/4</div></div><div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>P//A ou A//P1/4</div></div></td><td><div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>P//A ou A//P1/4</div></div><div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>A//A</div></div></td></tr><tr><td><div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>A</div></div></td><td><div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>P//A ou A//P1/4</div></div><div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>A//A</div></div></td><td><div><div><math>\frac{1}{4}</math></div><div>A//A</div></div></td></tr></table> | <div><div><div><math>\gamma^\sigma</math></div><div><math>\gamma^\text{♀}</math></div></div></div> <div><div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>P</div></div><div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>A</div></div></div> | <div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>P//P1/4</div></div> <div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>P//A ou A//P1/4</div></div> | <div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>P//A ou A//P1/4</div></div> <div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>A//A</div></div> | <div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>A</div></div> | <div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>P//A ou A//P1/4</div></div> <div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>A//A</div></div> | <div><div><math>\frac{1}{4}</math></div><div>A//A</div></div> |
| <div><div><div><math>\gamma^\sigma</math></div><div><math>\gamma^\text{♀}</math></div></div></div> <div><div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>P</div></div><div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>A</div></div></div> | <div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>P//P1/4</div></div> <div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>P//A ou A//P1/4</div></div>   | <div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>P//A ou A//P1/4</div></div> <div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>A//A</div></div>   |   |  |  |  |   |
| <div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>A</div></div>   | <div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>P//A ou A//P1/4</div></div> <div><div><math>\frac{1}{2}</math></div><div>A//A</div></div>  | <div><div><math>\frac{1}{4}</math></div><div>A//A</div></div>  |   |  |  |  |   |
| $\sigma : [P] : (\text{à cornes})$<br>$\text{♀} : [A] : (\text{sans cornes})$  | $\sigma : [P] : 3/4 ; \text{♀} : [A] : 3/4 ;$<br>$\sigma : [A] : 1/4. \text{♀} : [P] : 1/4.$  |  |   |  |  |  |   |

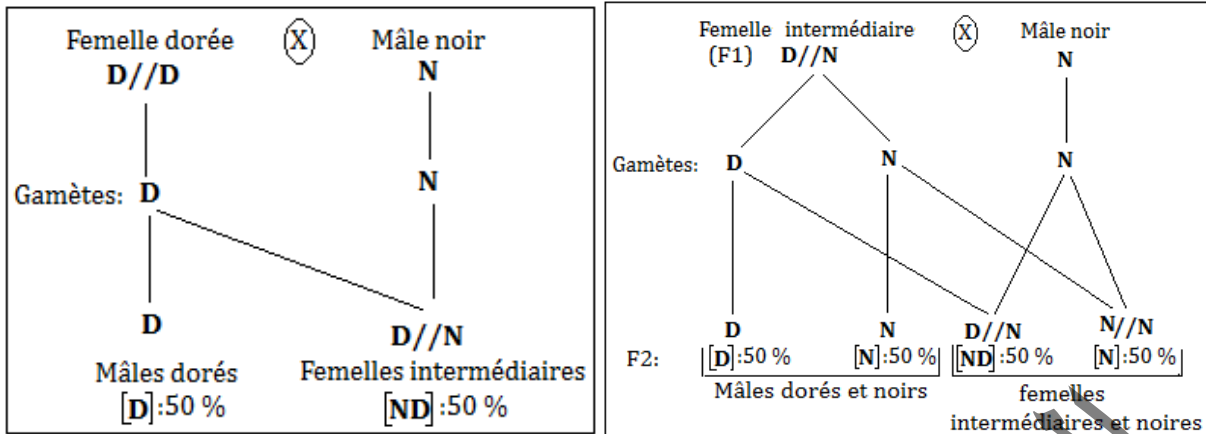
### Expérience 4 : Hérité des abeilles.

- Cas d'un Monohybridisme ; la couleur intermédiaire indique une codominance entre allèles doré et noir : **D = N**.

Chez l'abeille, la femelle est diploïde alors que le mâle est haploïde. Le déterminisme du sexe se fait par parthénogenèse : les mâles sont obtenus à partir d'un ovule non fécondé.

- En  $F_1$ , seules les femelles présentent une couleur intermédiaire : le gène étant autosomal,

## Le 1<sup>er</sup> croisement : Le deuxième croisement :



## C- Dihybridisme

### Activité 9 :

**Comment interpréter la descendance de parents différant par 2 caractères héréditaires : cas de gènes autosomiques indépendants avec double dominance.**

**Expérience 1 :** Etude de la transmission des couples d'allèles responsables de l'aspect et de la couleur de la graine du pois.

Mendel isole des individus de races pures de Pois, les uns à graines lisses et jaunes et les autres à graines ridées et vertes. Il croise les individus à graines lisses et jaunes avec les individus à graines ridées et vertes. En  $F_1$ , il obtient, uniquement, des plantes à pois jaunes et lisses. Puis, Mendel croise les individus de  $F_1$  entre eux et obtient la  $F_2$  composée de :

- ✓ 9/16 de plantes de Pois à graines lisses et jaunes.
- ✓ 3/16 de plantes à graines lisses et vertes.
- ✓ 3/16 de plantes à graines ridées et jaunes.
- ✓ 1/16 de plantes à graines ridées et vertes.

**Expérience 2 :** Etude de la transmission des couples d'allèles responsables de l'aspect et de la couleur du pelage de la souris.

On dispose d'un lot de souris à pelage uniforme et gris et d'un autre à pelage noir, panaché de blanc. On les croise. La première génération fournit des souris à pelage uniforme et gris. On croise ces hybrides entre eux. On obtient les résultats suivants :

- 559 souris à pelage gris et uniforme ;
- 187 souris à pelage gris et panaché de blanc ;
- 188 souris à pelage noir et uniforme ;
- 63 souris à pelage noir et panaché de blanc.

On croise une souris de  $F_1$  avec une autre à pelage noir panaché de blanc. On obtient :

- 142 souris à pelage uniforme et gris ;
- 144 souris à pelage gris panaché de blanc ;
- 143 souris à pelage uniforme et noir ;
- 139 souris à pelage noir panaché de blanc.

**Interpréter ces résultats.**

## Interprétation des résultats.

### Expérience 1 :

- Deux caractères étudiés (la forme et la couleur des graines de pois) : cas de dihybridisme.
- La  $F_1$  est homogène et vérifie la 1<sup>ère</sup> loi de Mendel : « uniformité des hybrides de  $F_1$  ».
- La  $F_1$  montre que les allèles **r+** et **v+** dominent respectivement les allèles **r** et **v**.
- L'autofécondation entre individus de  $F_1$  donne à la descendance  $F_2$  quatre (4) phénotypes avec des proportions de 9 – 3 – 3 – 1, indiquant que chaque individu de  $F_1$  a produit quatre types de gamètes équiprobables : **les gènes sont donc indépendants**.
- Les gènes sont autosomiques.

**Parents de races pures :** pois [r+v+] X pois [rv]

**Génotypes :**



**Gamètes :**

100% 100%

**$F_1$  :**



### Troisième loi de Mendel : « Loi de la ségrégation (disjonction) indépendante des gènes ».

Une démonstration mathématique permet de prouver que les 2 caractères se transmettent indépendamment l'un de l'autre. Non seulement les 2 allèles d'une même paire se séparent, mais en outre les allèles de chaque caractère se transmettent indépendamment l'un de l'autre. En effet, «vert» se transmet aussi bien avec «lisse» qu'avec «ridé».





Ceci s'explique par le fait que les 2 allèles (l'un codant pour l'aspect et l'autre pour la couleur) sont situés sur des chromosomes différents.

Lorsque l'on considère la transmission à la descendance de 2 couples d'allèles, leur ségrégation s'opère de manière totalement indépendante.

En  $F_2$ , on obtient :

Il apparaît 2 phénotypes nouveaux qui recombinent les caractères des 2 parents : ridés et jaunes, lisses et verts.

On constate également qu'on obtient :

- \* 9 lisses et jaunes  avec une proportion de 9/16 ;
- \* 3 lisses et verts  avec une proportion de 3/16 ;
- \* 3 ridés et jaunes  avec une proportion de 3/16 ;
- \* 1 ridé et vert  avec une proportion de 1/16.
- Parmi les ridés, il y a : 3 jaunes avec une proportion de 3/4 et 1 vert avec une proportion de 1/4.
- Parmi les lisses, il y a : 9 jaunes avec une proportion de 3/4 et 3 verts avec une proportion de 1/4.

On retrouve donc les mêmes proportions que dans le cas du monohybridisme.

### Expérience 2 :

- Les hybrides de première génération étant tous semblables, les parents appartiennent l'un et l'autre à des races pures (première loi de Mendel). Les caractères gris et uniforme sont dominants par rapport aux caractères noir et panaché de blanc :

**G > n et U > p.**

- Les nombres 559, 187, 188 et 63 évoquant une répartition du type 9 – 3 – 3 – 1, on peut penser qu'il s'agit d'un cas de dihybridisme avec ségrégation indépendante.

- Les deux couples d'allèles étant portés par des chromosomes différents, chaque hétérozygote **F<sub>1</sub>** produit en nombre égal 4 types de gamètes portant les allèles : GU, Gp, nU, np.

- En **F<sub>2</sub>**, on obtient les 16 combinaisons de l'échiquier ci-après ;

- **Premier croisement :**

Parents: (P):  $\frac{G}{G} \frac{U}{U} \times \frac{n}{n} \frac{p}{p}$

- **Deuxième croisement :**

Gamètes: GU nU  
F<sub>1</sub>:  $\frac{G}{n} \frac{U}{p} [GU] 100\%$

F<sub>1</sub> x F<sub>1</sub>: F<sub>2</sub>  $\frac{G}{n} \frac{U}{p} \times \frac{G}{n} \frac{U}{p}$

| $\begin{smallmatrix} \gamma \\ \delta \end{smallmatrix}$ | $\begin{smallmatrix} \gamma \\ \delta \end{smallmatrix}$ | GU                             | Gp                             | nU                             | np                             |
|--|--|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| GU   | $\frac{G}{G} \frac{U}{U} [GU]$                           | $\frac{G}{G} \frac{U}{U} [GU]$ | $\frac{G}{G} \frac{p}{U} [Gp]$ | $\frac{G}{n} \frac{U}{U} [GU]$ | $\frac{G}{n} \frac{p}{U} [Gp]$ |
| Gp   | $\frac{G}{G} \frac{p}{U} [Gp]$                           | $\frac{G}{G} \frac{p}{U} [Gp]$ | $\frac{G}{G} \frac{p}{p} [Gp]$ | $\frac{G}{n} \frac{p}{U} [Gp]$ | $\frac{G}{n} \frac{p}{p} [Gp]$ |
| nU   | $\frac{G}{n} \frac{U}{U} [GU]$                           | $\frac{G}{n} \frac{U}{U} [GU]$ | $\frac{G}{n} \frac{p}{U} [Gp]$ | $\frac{n}{n} \frac{U}{U} [nU]$ | $\frac{n}{n} \frac{p}{U} [np]$ |
| np   | $\frac{G}{n} \frac{p}{U} [Gp]$                           | $\frac{G}{n} \frac{p}{U} [Gp]$ | $\frac{G}{n} \frac{p}{p} [Gp]$ | $\frac{n}{n} \frac{p}{U} [np]$ | $\frac{n}{n} \frac{p}{p} [np]$ |



Les proportions phénotypiques sont les suivantes :

[GU] : 9/16 – [Gp] : 3/16 – [nU] : 3/16 – [np] : 1/16 ; ces proportions issues de l'échiquier sont considérées comme théoriques.

► Vérification pratique à partir des données expérimentales :

- Totalité des souris : 559 + 187 + 188 + 63 = 997

- [GU]: 559/997  $\approx$  9/16

- [Gp] : 187/997  $\approx$  3/16

- [nU] : 188/997  $\approx$  3/16

- [np] : 63/997  $\approx$  1/16

Ces proportions théoriques sont conformes aux proportions expérimentales.

- **Troisième croisement :**

Il s'agit d'un back-cross (ou test-cross) ;  $F_1$  x avec un double récessif ( $P_2$ ) :

| $\begin{matrix} \text{P}_1 \\ \text{P}_2 \end{matrix}$ | GU                                   | Gp                                   | nU                                   | np                                   |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| np   | $\frac{G}{n} \frac{U}{p} \quad [GU]$ | $\frac{G}{n} \frac{p}{p} \quad [Gp]$ | $\frac{n}{n} \frac{U}{p} \quad [nU]$ | $\frac{n}{n} \frac{p}{p} \quad [np]$ |

Les proportions phénotypiques sont : [GU] : 1/4 ; [Gp] : 1/4 ; [nU] : 1/4 ; [np] : 1/4.

Exploitation des données expérimentales :

Totalité des souris : 142 + 144 + 143 + 139 = 568.

- [GU] : 142/568  $\approx$  1/4;

- [Gp] : 144/568  $\approx$  1/4 ;

- [nU] : 143/568  $\approx$  1/4;

- [np] : 139/568  $\approx$  1/4.

Ces proportions théoriques sont conformes aux proportions pratiques.

### Activité 10 :

**Comment interpréter la descendance de parents différant par 2 caractères héréditaires : cas de gènes autosomiques indépendants avec dominance pour l'un et codominance pour l'autre.**

**Expérience :** Etude de la transmission des couples d'allèles responsables de la couleur et de l'aspect du pelage du lapin.

Le croisement d'un lapin gris à poils longs avec une lapine blanche à poils courts donne à la première génération  $F_1$  des lapereaux tachetés à poils longs.

On croise ensuite les individus de la première génération entre eux, et on obtient une deuxième génération  $F_2$ . Quels individus de  $F_2$  doit-on croiser si on veut obtenir :

- 25% de petits gris à poils longs.
- 25% de petits tachetés à poils longs.
- 25% de petits tachetés à poils courts.
- 25% de petits gris à poils courts.

**Etablir l'échiquier de ces croisements et en tirer les phénotypes avec leurs proportions respectives.**

### Interprétation des résultats :

- En  $F_1$  apparition :
- \* d'individus tachetés : Les allèles gris **G** et blanc **B** sont **codominants** ;
- \* d'individus tous à poils longs : L'allèle long **L** est dominant et l'allèle court **c** est récessif.
- Oui, « Uniformité des individus de la première génération  $F_1$  » : parents de races pures.

### Croisement n°1 :

|      |                           |   |                           |
|------|---------------------------|---|---------------------------|
| P :  | $\frac{G}{G} \frac{L}{L}$ | X | $\frac{B}{B} \frac{c}{c}$ |
| Y :  | GL                        |   | Bc                        |
| F1 : | $\frac{G}{B} \frac{L}{c}$ |   | 100% [GB, L]              |

### Croisement n°2 : $F_1 \times F_1$

Les 4 Gamètes de  $F_1$  sont : GL (25 %), Gc (25%), BL (25%), Bc (25%).

Echiquier de croisement :

| Gamètes mâles→<br>Femelles ↓ | GL                         | BL                         | Gc                         | Bc                         |
|------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| GL                           | GL<br>== [G L]<br>GL       | BL<br>== [tacheté L]<br>GL | Gc<br>== [G L]<br>GL       | Bc<br>== [tacheté L]<br>GL |
| BL                           | GL<br>== [tacheté L]<br>BL | BL<br>== [B L]<br>BL       | Gc<br>== [tacheté L]<br>BL | Bc<br>== [B L]<br>BL       |
| Gc                           | GL<br>== [G L]<br>Gc       | BL<br>== [tacheté L]<br>Gc | Gc<br>== [G c]<br>Gc       | Bc<br>== [tacheté c]<br>Gc |
| Bc                           | GL<br>== [tacheté L]<br>Bc | BL<br>== [B L]<br>Bc       | Gc<br>== [tacheté c]<br>Bc | Bc<br>== [B c]<br>Bc       |

Proportion phénotypique de  $F_2$  : il y a 6 phénotypes différents :

- Tacheté long : 6/16 ;
- Gris long : 3/16 ;
- Blanc long : 3/16 ;
- Tacheté court : 2/ 16 ;
- Gris court : 1/16 ;
- Blanc court : 1/16.

On doit croiser Tacheté, long de génotype  $\begin{matrix} GL \\ == \\ Bc \end{matrix}$  avec gris, court de génotype  $\begin{matrix} Gc \\ == \\ Gc \end{matrix}$

Vérification :

|                 |   |   |  |  |
|-----------------|---|---|--|--|
| $\gamma \delta$ | $GL$  | $Gc$  | $BL$   | $Bc$   |
| $\gamma \delta$ | $\begin{matrix} GL \\ == \\ Gc \end{matrix}$ [GL] | $\begin{matrix} Gc \\ == \\ Gc \end{matrix}$ [Gc] | $\begin{matrix} BL \\ == \\ Gc \end{matrix}$ [tacheté L] | $\begin{matrix} Bc \\ == \\ Gc \end{matrix}$ [tacheté c] |

## Activité 11 :

**Comment interpréter un cas de dihybridisme avec hérédité autosomale et hérédité liée au sexe.**

**Expérience 1 :** Etude de la transmission des couples d'allèles responsables de la couleur du corps et des yeux chez la drosophile.

On croise un mâle de Drosophile au corps gris et aux yeux rouges et une femelle au corps noir et aux yeux blancs. Ces deux parents sont de race pure. On obtient une  $F_1$  dont tous les individus ont le corps gris mais dont les mâles ont les yeux blancs et les femelles, les yeux rouges. On croise une femelle de Drosophile au corps gris et aux yeux rouges avec un mâle au corps noir et aux yeux blancs. Ces deux parents sont de race pure. On obtient une  $F_1$  dont tous les individus sont gris et aux yeux rouges.

**Expérience 2 :** Etude de la transmission des couples d'allèles responsables de la couleur du plumage et des yeux chez le pigeon.

Un colombiculture utilise pour chaque élevage de pigeons deux variétés pures de la race dite Romaine. La première variété a un plumage bleu et l'œil de vesce (iris de couleur noire).

La seconde variété a un plumage brun et l'œil orange. Il effectue plusieurs croisements :

**Croisement 1 :** Mâles de la première variété avec femelle de la deuxième variété.

**Croisement 2 :** Mâles de la deuxième variété avec femelle de la première variété.

**Résultats :**

- **Croisement 1 :** 100% des produits sont bleus à œil de vesce.
- **Croisement 2 :** 100% des produits sont à l'œil de vesce mais les mâles sont bleus (environ 50% des yeux) et les femelles brunes (environ 50% des yeux.)

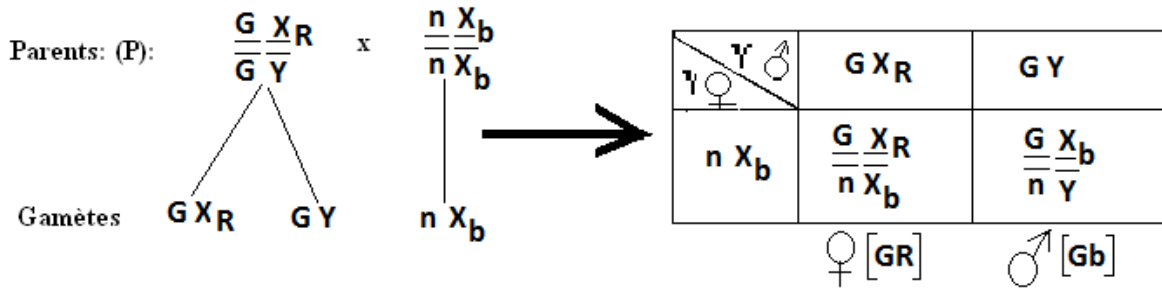
**Donner une interprétation chromosomique et en déduire la répartition statistique de la descendance de chacun des croisements.**

**Interprétation des croisements :**

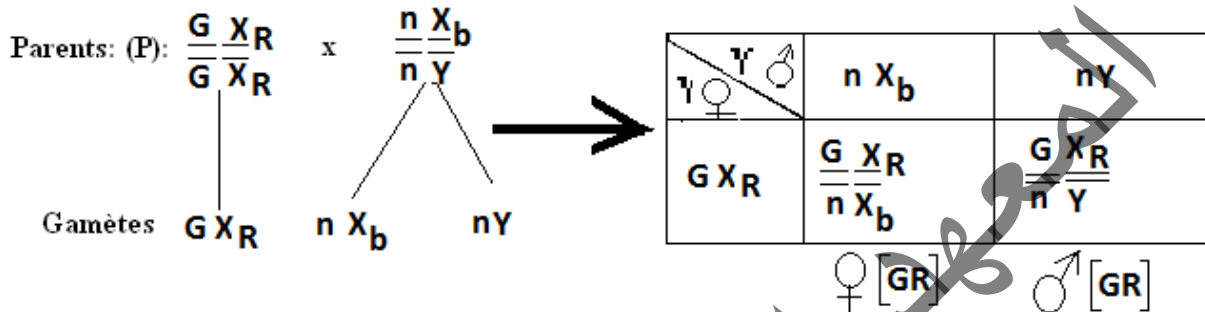
**Expérience 1 :**

- C'est un cas de dihybridisme ;
- Le deuxième croisement vérifie la première loi de Mendel et son corollaire (loi de dominance) : il y a double dominance :  $G > n$  et  $R > b$ .
- Pour la couleur du corps, les 2 croisements affichent le même résultat alors qu'il diffère pour la couleur des yeux ; suivant le sens du croisement :
- la couleur du corps est autosomale ;
- la couleur des yeux est gonosomale.

### Le premier croisement :



### Le deuxième croisement :



### Expérience 2 :

#### Croisement 1 :

- Il s'agit d'un cas de dihybridisme, car les parents (P) croisés diffèrent par deux caractères.
- Tous les individus de  $F_1$  sont uniformes et sont à plumage bleu et à œil de vesce : Les parents P croisés sont donc de race pure, donc la première loi de Mendel est vérifiée.
- La  $F_1$  montre que : bleu (B) domine brun (b) et vesce (V) domine orange (o).

#### Croisement 2 :

- On remarque que les croisements 1 et 2 sont réciproques, mais la  $F_1$  du croisement 1 diffère de la  $F_1$  du croisement 2 : Il existe donc un gène lié au sexe.
- On constate que pour la couleur des yeux, les descendants sont à œil de vesce, mais pour le croisement 2 la couleur du plumage est polymorphe. :
- 50%, des mâles bleus ;
- 50%, des femelles brunes.

C'est la couleur des yeux qui est autosomale, car pour les croisements 1 et 2 tous les croisements sont à œil de vesce, donc c'est le gène de la couleur du plumage qui est lié au sexe.

- Nous avons 4 chromosomes donc une paire d'autosomes et une de chromosomes sexuels :

- mâle ZZ
- femelle ZW.

#### Croisement 1 : Génotypes, phénotypes et échiquier de croisement :

Parents : ♂ à plumage bleu X ♀ à plumage brun  
et à œil vesce et à œil orange

Génotypes :  $\frac{Z_B}{Z_b} \frac{V}{V}$  x  $\frac{Z_b}{W} \frac{o}{o}$

Gamètes :  $Z_B V$   $Z_b o$   $W o$   
 $\frac{1}{2}$   $\frac{1}{2}$

Echiquier de croisement :

| $\sigma \backslash \varphi$ | $Z_b o$<br>$\frac{1}{2}$                       | $W o$<br>$\frac{1}{2}$                        |
|-----------------------------|--|---|
| $Z_B V$                     | $\frac{Z_B}{Z_b} \frac{V}{o}$<br>$\sigma [BV]$ | $\frac{Z_B}{W} \frac{V}{o}$<br>$\varphi [BV]$ |

### Croisement 2 : Génotypes, phénotypes et échiquier de croisement

P :  $\sigma [bO]$  x  $\varphi [BV]$

Génotypes :  $\frac{Z_b}{Z_b} \frac{o}{o}$  x  $\frac{Z_B}{W} \frac{V}{V}$

Gamètes :  $Z_b o$   $Z_B V$   $W V$   
 $\frac{1}{2}$   $\frac{1}{2}$

Echiquier de croisement :

| $\sigma \backslash \varphi$ | $Z_B V$<br>$\frac{1}{2}$                       | $W V$<br>$\frac{1}{2}$                        |
|-----------------------------|--|---|
| $Z_b o$                     | $\frac{Z_B}{Z_b} \frac{V}{o}$<br>$\sigma [BV]$ | $\frac{Z_b}{W} \frac{V}{o}$<br>$\varphi [bv]$ |

$\sigma$  : bleus, œil de vesce

$\varphi$  : brunes, œil de vesce.

### Activité 12 :

Comment interpréter la transmission de deux gènes liés (liaison absolue et liaison partielle).

#### Expérience 1 : Gènes autosomiques (Liaison absolue ou linkage strict)

► **Exemple 1** : Etude de la transmission des couples d'allèles responsables de la taille des ailes et de la couleur du corps chez la drosophile (cas de liaison absolue).

Le croisement d'une Drosophile à ailes longues et corps gris (type sauvage **++**) avec une Drosophile à ailes vestigiales (**v**) et corps noir (mutation « black » notée **b**) donne en **F<sub>1</sub>** une population à phénotype sauvage (**++**). Deux hybrides **F<sub>1</sub>** croisés entre eux donnent une génération **F<sub>2</sub>** dans laquelle ne se trouvent que les types parentaux, c'est-à-dire des mouches **++** et des mouches **[vb]** dans les proportions de 3 **++** pour 1 **[vb]**.

Le croisement d'un mâle hybride **++** avec une femelle récessive **[vb]** donne une descendance constituée de 50 % d'individus **++** et 50 % d'individus **[vb]**.

► **Exemple 2** : Etude de la transmission des couples d'allèles responsables de la taille des ailes et de la couleur du corps chez la drosophile (cas de liaison partielle).

Reprenons l'exemple précédent mais en réalisant, cette fois, un test-cross entre une femelle hybride et un mâle récessif ; ce croisement ne donne pas les mêmes résultats que le test-cross précédent : la descendance est constituée de :

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



On croise deux individus de  $F_1$  entre eux, on obtient en  $F_2$  :

- 70,75 % de mouches à corps gris et ailes longues ;
- 20,75 % de mouches à corps noir et ailes vestigiales ;
- 4,25 % de mouches à corps gris et ailes vestigiales ;
- 4,25 % de mouches à corps noir et ailes longues.

► **Exemple 3** : Etude de la transmission des couples d'allèles responsables de la forme des grains et de la couleur de ceux-ci (cas de liaison absolue).

Le Maïs présente une transmission héréditaire de la forme des grains (pleins ou déprimés) et de la couleur de ceux-ci (noirs ou clairs).

On croise des individus de race pure, provenant de la germination de grains pleins et clairs, avec d'autres (également de race pure) issus de grains déprimés et noirs.

La récolte ainsi obtenue est constituée entièrement de grains pleins et noirs.

Les pieds de Maïs issus de la germination de ceux-ci donnent après autopolinisation une descendance  $F_2$  composée de : 160 grains noirs et déprimés, 150 grains clairs et pleins et 317 grains noirs et pleins.

► **Exemple 4** : Etude de la transmission des couples d'allèles responsables de la couleur du corps et l'aspect des soies chez la drosophile (Pourcentage de recombinaisons et carte factorielle).

Deux lignées pures de drosophiles, l'une à corps gris et soies normales, l'autre à corps ébène et soies épaisses, sont croisées entre elles. En  $F_1$ , toutes les drosophiles sont à corps gris et présentent des soies normales.

On effectue alors un croisement-test entre des mâles hybrides de première génération et des femelles de souche pure à corps ébène et soies épaisses qui aboutit aux résultats suivants :

- ✓ 50% des insectes possèdent un corps gris et des soies normales,
- ✓ 50% des insectes possèdent un corps ébène et des soies épaisses.

Pour s'assurer des résultats, on recommence exactement la même expérience mais cette fois, on croise des femelles de  $F_1$  avec des mâles dihybrides, la population d'insectes obtenue se décompose comme suit : 42,5% ont un corps gris et des soies normales, 7,5% ont un corps gris et des soies épaisses, 7,5% ont un corps ébène et des soies normales et 42,5% possèdent un corps ébène et des soies épaisses.

## **Expérience 2 : Gènes gonosomiques.**

A. On a réalisé deux croisements de Drosophiles :

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

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

**Deuxième croisement** : On a croisé des Drosophiles mâles au corps gris et aux ailes normalement nervurées avec des Drosophiles femelles au corps jaune et aux ailes dépourvues de nervures transversales. Les Drosophiles mâles et femelles croisées sont de race pure. En  $F_1'$ , toutes les Drosophiles femelles ont le corps gris et les ailes normalement nervurées et tous les mâles ont le corps jaune et les ailes dépourvues de nervures transversales.

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

| Phénotype                                      | Sexe    |      |
|--|---------|------|
|  | Femelle | Mâle |
| Corps gris, ailes normalement nervurées        | 3743    | 1621 |
| Corps gris, ailes sans nervures transversales  | 0       | 254  |
| Corps jaune, ailes sans nervures transversales | 0       | 1625 |
| Corps jaune, ailes normalement nervurées.      | 0       | 250  |

Donner une interprétation chromosomique et en déduire la répartition statistique de la descendance de chacun des croisements puis dégager la notion de carte factorielle.

Interprétation des croisements :

Expérience 1 :

Exemple 1 :

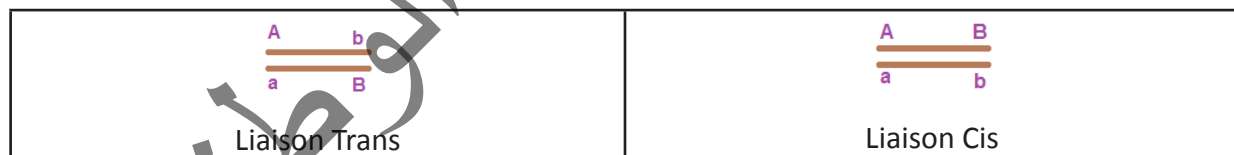
- On constate que les mutations **v** et **b** sont restées associées au cours de tous les croisements ; La troisième loi de Mendel (ségrégation indépendante des caractères) se trouve ici en défaut : il n'y a pas eu disjonction indépendante entre gènes « couleur du corps » et « longueur des ailes » mais liaison génétique ou linkage. Une telle liaison entre gènes s'explique parfaitement si l'on admet que ces gènes sont portés par un même chromosome.

- Les gènes sont dits liés, s'ils sont portés par une seule paire de chromosomes homologues.

Une liaison est dite **CIS**, si les allèles dominants des gènes étudiés sont situés sur le même chromosome et les allèles récessifs sur un autre chromosome.

Si, par contre des allèles dominants et des allèles récessifs sont portés par un seul chromosome, la liaison est dite **TRANS**.

Exemple : Soient les couples d'allèles (A,a) et (B,b),



- L'hybride ne fournit que 2 catégories de gamètes (au lieu de 4 catégories prévisibles) : il y a donc liaison absolue. Les uns portent les gènes normaux, les autres, les gènes mutés.

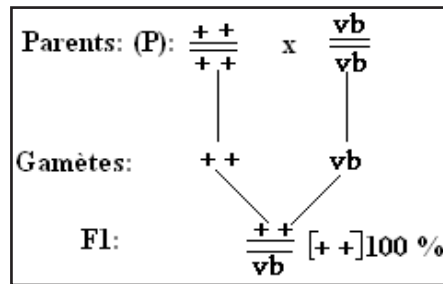
- Liaison **Cis**.

- **Premier croisement :**

La  $F_1$  montre une homogénéité avec vérification de la loi de dominance :

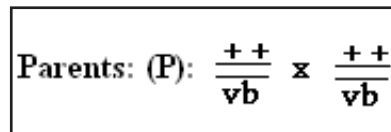
+ > **v** : (+ : long domine vestigial: v)

+> **b** : (+ : gris domine black b).



### - Deuxième croisement :

Il s'agit de  $F_1 \times F_1$   $F_2$  :



Chaque individu libère 2 types de gamètes  $++$  et  $vb$  ; l'échiquier de croisement sera :

| $\begin{smallmatrix} \uparrow \\ F1 \end{smallmatrix}$ | $++$                 | $vb$                 |
|--|----------------------|----------------------|
| $++$   | $\frac{++}{++} [++]$ | $\frac{++}{vb} [++]$ |
| $vb$   | $\frac{++}{vb} [++]$ | $\frac{vb}{vb} [vb]$ |

Les proportions phénotypiques seront de :

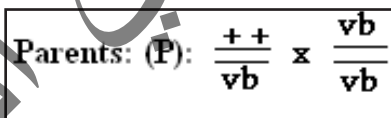
$[++] : 3/4$  ;

$[vb] : 1/4$  .

Ces proportions sont identiques à celles de la  $F_2$  d'un Monohybridisme avec dominance : il y a liaison absolue.

### - Troisième croisement :

C'est un cas de test-cross (back-cross) ;  $F_1 \times P_2$  ( $P_2$  étant une femelle double récessive).



$F_1$  libère 2 types de gamètes alors que  $P_2$  libère un seul type de gamète.

Le croisement sera donc :

| $\begin{smallmatrix} \uparrow \\ P2 \end{smallmatrix}$ | $++$                 | $vb$                 |
|--|----------------------|----------------------|
| $vb$   | $\frac{++}{vb} [++]$ | $\frac{vb}{vb} [vb]$ |

Les proportions phénotypiques sont de :  $[++] : 1/2$ ;  $[vb] : 1/2$ .

Ces proportions sont identiques à celles d'un back-cross d'un Monohybridisme avec dominance : il y a liaison absolue.

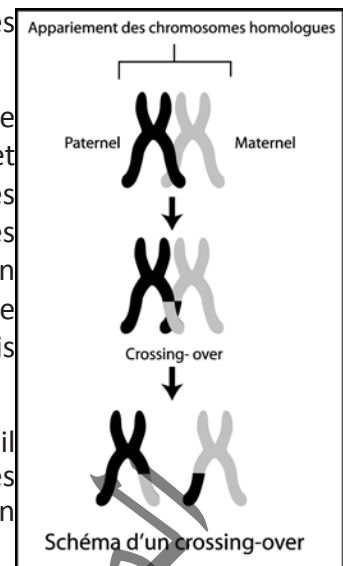
### Exemple 2 :

- Chez 83 % des individus de types parentaux (types sauvages et types présentant les 2 mutations) se retrouvent, mais les 17 % restants présentent une des 2 mutations, soit **v**, soit **b** : leur phénotype est recombiné.

- Au cours de ce croisement, la liaison « couleur du corps - longueur des ailes » n'a pas été absolue : on dit qu'il y a linkage partiel.

- L'individu homozygote récessif ( $\sigma$ ) ne fournissant obligatoirement qu'une seule catégorie de gamète, le test-cross permet d'obtenir autant de types et de descendants que de types de gamètes fournis par l'hybride, et dans les mêmes proportions. C'est donc dans le comportement des chromosomes de la femelle hybride, au cours de la méiose, que se trouve l'explication de cette recombinaison : dans les ovocytes I, au cours de la prophase réductionnelle, les deux chromosomes d'une même paire s'accrochent tandis que chacun d'eux se clive en deux chromatides-sœurs.

- Souvent deux chromatides se croisent, formant un chiasma : à ce niveau, il se produit un échange (crossing-over) de segment entre les chromosomes d'une même paire à la suite de cassure des chromatides suivies d'un recollement des extrémités après échange : il y a liaison partielle.



### - Premier croisement

$$\text{Parents: (P): } \frac{++}{vb} \text{ } \sigma \times \frac{vb}{vb} \text{ } \sigma$$

Le mâle libère un seul type de gamète **vb** alors que la femelle libère 4 types de gamètes : **++** ; **v+** ; **+b** ; **vb**. Le pourcentage des cas non conformes au linkage absolu représente 17 %. On le note (**P**) et (**1- P**) celui des types parentaux.

| $\frac{++}{vb} \text{ } \sigma$ | $++ \left( \frac{1-P}{2} \right)$ | $v+ \left( \frac{P}{2} \right)$ | $+b \left( \frac{P}{2} \right)$ | $vb \left( \frac{1-P}{2} \right)$ |
|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| $\frac{vb}{vb} \text{ } \sigma$ | $\frac{++}{vb} \text{ } [+ +]$    | $\frac{v+}{vb} \text{ } [v +]$  | $\frac{+b}{vb} \text{ } [+ b]$  | $\frac{vb}{vb} \text{ } [vb]$     |
| Types recombinés : 17 %         |                                   |                                 |                                 |                                   |
| Types parentaux : 83 %          |                                   |                                 |                                 |                                   |

Les proportions phénotypiques sont les suivantes :

- **[++]** : = **41,5 %**

### Types parentaux

- **[vb]** : **41,5 %**

- **[+b]** : = **8**

### Types recombinés

- **[v+]** : = **8,5 %**

**NB** : On note que chez le mâle de la Drosophile, il n'y a jamais de crossing-over.

- Deuxième croisement :

$F_1 \times F_1 \longrightarrow F_2 :$

Parents: (P):  $\frac{++}{vb} \text{ } \times \text{ } \frac{++}{vb}$

Gamète de la  $\frac{++}{vb}$  :  $++ - +b - v+ - vb$

Gamètes du  $\frac{++}{vb}$  :  $++ - vb$

| $\frac{++}{vb}$ | $++ \left(\frac{1-P}{2}\right)$ | $+b \left(\frac{P}{2}\right)$ | $v+ \left(\frac{P}{2}\right)$ | $vb \left(\frac{1-P}{2}\right)$ |
|-----------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| $++ \ 1/2$      | $\frac{++}{++} [+ +]$           | $\frac{++}{+b} [+ +]$         | $\frac{++}{v+} [+ +]$         | $\frac{++}{vb} [+ +]$           |
| $vb \ 1/2$      | $\frac{++}{vb} [+ +]$           | $\frac{+b}{vb} [+ b]$         | $\frac{v+}{vb} [v +]$         | $\frac{vb}{vb} [vb]$            |

$$[+ +] = \frac{1-P}{4} + \frac{P}{4} + \frac{P}{4} + \frac{1-P}{4} + \frac{1-P}{4} = \frac{3(1-P)}{4} + \frac{2(P)}{4} = \frac{3-3P+2P}{4} = \frac{3-P}{4} = 70,75 \%$$

$$[v b] = \frac{1-P}{4} = 20,75 \%$$

$$[v +] = \frac{P}{4} = 4,25 \%$$

$$[+ b] = \frac{P}{4} = 4,25 \%$$

Exemple 3 :

- Les caractères étudiés sont la forme et la couleur des grains de maïs : c'est un cas de dihybridisme.
- La  $F_1$  est homogène d'où la première loi de Mendel : « uniformité des hybrides de  $F_1$  ».
- La  $F_1$  montre aussi que : plein (P) domine déprimé (d) et noir (N) domine clair (c).

L'autofécondation entre individus dihybrides de  $F_1$  entre eux donne la  $F_2$  avec des proportions de 2 – 1 – 1, comme dans le cas du monohybridisme sans dominance.

On en conclut que les gènes sont liés et la liaison est totale.

En effet, les allèles P et c sont situés sur un chromosome et les allèles d et N positionnés sur un autre chromosome : la liaison est **Trans**.

Parents de races pures : [Pc] X [dN]

Génotypes :



Gamètes :

100%  $\frac{P}{c}$

100%  $\frac{d}{N}$

Descendance  $F_1$  :

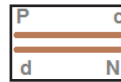
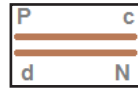
100% [PN].





Parents dihybrides de  $F_1$  : [PN] X [PN]

Génotypes :



Gamètes de  $F_1$  : Chaque individu de  $F_1$  produit deux types de gamètes :

1/2 de 

|   |   |
|---|---|
| P | c |
|---|---|

 et 1/2 de 

|   |   |
|---|---|
| d | N |
|---|---|

Echiquier de croisement de  $F_2$  :

|                           |                             |                             |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Gamètes de F <sub>1</sub> |                             |                             |
|                           | ♂                           | ♀                           |
|                           | <div>Pc</div>               | <div>dN</div>               |
| <div>Pc</div>             | <div>Pc</div> <div>Pc</div> | <div>Pc</div> <div>dN</div> |
| <div>dN</div>             | <div>Pc</div> <div>dN</div> | <div>dN</div> <div>dN</div> |

Descendance  $F_2$  : [Pc] = 1/4 soit 150/627 ; [PN] = 1/2 soit 317/627 et [dN] = 1/4 soit 160/627.

Exemple 4 :

- L'étude concerne deux caractères, la coloration du corps et la forme des soies : il s'agit d'un cas de dihybridisme.

- La  $F_1$  est homogène et montre une double dominance :

\* l'allèle normal ( $e^+$ ) domine l'allèle épais ( $e$ ).

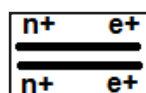
\* l'allèle gris ( $n^+$ ) domine l'allèle noir ( $n$ ).

- Le test-cross entre un mâle de  $F_1$  dihybride et une femelle double récessif [e-n] a donné une descendance formée de deux phénotypes à pourcentages égaux deux à deux. Ceci indique que le mâle dihybride de  $F_1$  a produit deux types de gamètes au lieu de quatre comme dans le cas d'une indépendance. La femelle [e-n] ne fournit qu'un seul type de gamètes.

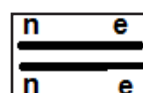
**Conclusion** : Les deux gènes sont donc liés.

Parents de races pures : Drosophile à corps gris et à soies normales X Drosophile à corps noir et à soies épaisses

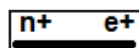
Génotypes :



X



Gamètes :



### Echiquier de croisement de $F_1$ :

|         |   |   |  |
|---------|---|---|--|
| Gamètes | $\begin{array}{c} \nearrow \\ \searrow \end{array}$ | $\begin{array}{cc} n+ & e+ \\ \hline \end{array}$       |  |
|         |   | $\begin{array}{cc} n+ & e+ \\ \hline n & e \end{array}$ |  |

Le test-cross entre une femelle de  $F_1$  dihybride et un mâle double récessif [en] donne une descendance formée de quatre phénotypes avec des pourcentages égaux deux à deux. La femelle dihybride de  $F_1$  a donc produit quatre types de gamètes avec des proportions égales deux à deux.

**Conclusion :** La liaison est partielle et elle est suivie de crossing-over.

### Test-cross :

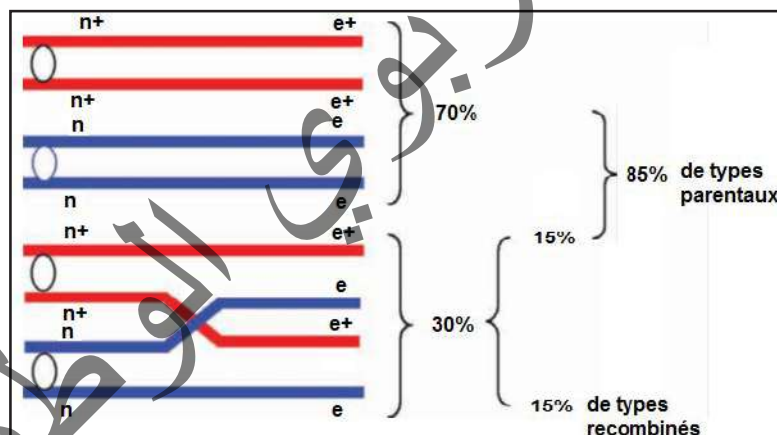
Parents :  $\text{♀ de } F_1 \quad \times \quad \text{♂ [n-e]}$

Génotypes :

|   |   |
|---|---|
| $\begin{array}{cc} n+ & e+ \\ \hline n & e \end{array}$ | $\begin{array}{cc} n & e \\ \hline n & e \end{array}$ |
|---|---|

**Gamètes :** La femelle de  $F_1$  dihybride fournit quatre types de gamètes.

Deux gamètes avec :  $1 - P/2$  et deux gamètes avec  $P/2$ .



### Echiquier de croisement :

|   |   |  |  |   |
|---|---|--|--|---|
| gamètes   | $\frac{1-P}{2} \begin{array}{cc} n+ & e+ \\ \hline \end{array}$ | $\frac{P}{2} \begin{array}{cc} n+ & e \\ \hline \end{array}$ | $\frac{P}{2} \begin{array}{cc} n & e+ \\ \hline \end{array}$ | $\frac{1-P}{2} \begin{array}{cc} n & e \\ \hline \end{array}$ |
| $\text{♀ } F_1$                                   |   |  |  |   |
| $\text{♂}$  |   |  |  |   |
| $1 \begin{array}{cc} n & e \\ \hline \end{array}$ | $\begin{array}{cc} n+ & e+ \\ \hline n & e \end{array}$         | $\begin{array}{cc} n & e \\ \hline n+ & e \end{array}$       | $\begin{array}{cc} n & e+ \\ \hline n & e \end{array}$       | $\begin{array}{cc} n & e \\ \hline n & e \end{array}$         |

$[n+e+] = 1 - P/2$  soit 42,5% ;  $[n+e] = P/2$  soit 7,5% ;  $[ne+] = P/2$  soit 7,5% et  $[ne] = 1 - P/2$  soit 42,5%.

Selon la théorie chromosomique de l'hérédité, chaque gène occupe une position précise sur le chromosome. La carte génétique ou carte factorielle est la représentation de la distance entre les gènes situés sur le même chromosome. Cette distance est obtenue en fonction du pourcentage de recombinaison.

Calcul du pourcentage de recombinaison (P) :

$$P = \frac{\text{Somme des effectifs des recombinés}}{\text{Somme des effectifs totaux}} \times 100$$

La distance est exprimée en centi-Morgan (cM).

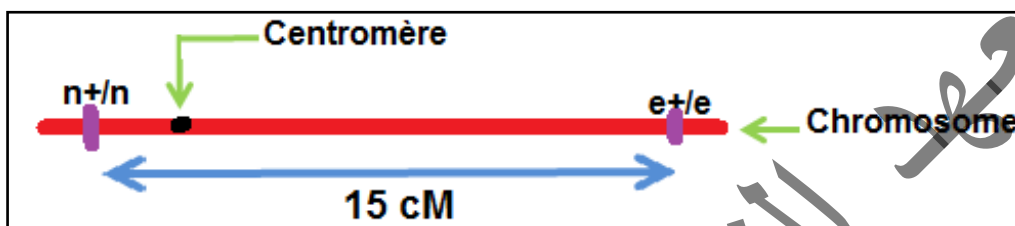
Par convention :

1% de recombinaison  $\longrightarrow$  1 cM

Selon, les résultats de cet exemple, le pourcentage de recombinaison est 15%.

Donc, la distance entre les allèles ( $n^+/n$ ) et ( $e^+/e$ ) est de **15 cM**.

La carte factorielle est donc :



**Expérience 2 :**

**A- Premier croisement :**

- Deux caractères sont étudiés, la couleur du corps et la forme des ailes des drosophiles : il s'agit d'un cas de dihybridisme.
- La descendance  $F_1$  est homogène, elle vérifie la première loi de Mendel : « Uniformité des hybrides de  $F_1$  ».
- La  $F_1$  ressemble à l'un des parents, il y'a donc une double dominance :
  - + L'allèle gris ( $j^+$ ) domine l'allèle jaune ( $j$ )
  - + L'allèle nervuré ( $n^+$ ) domine l'allèle dépourvu de nervures ( $n$ ).

**Deuxième croisement :**

- C'est un croisement réciproque au premier, la  $F_1'$  est formée de femelles identiques à leur père et les mâles ressemblent à leur mère : les gènes sont situés sur le chromosome X.

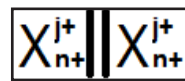
Donc, les gènes sont liés.

**Premier croisement :**

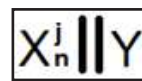
**Parents de races pures :**

Drosophile ♀ au corps gris et      X      Drosophile ♂ au corps jaune et  
aux ailes nervurées                      aux ailes dépourvues de nervures

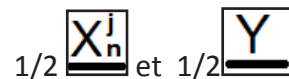
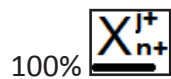
Génotypes :



X



Gamètes :



Echiquier de croisement :

| Gamètes                        | $\underline{X_n^j}$                 | $\underline{Y}$                 |
|--------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| ♀<br>$\underline{X_{n+}^{j+}}$ | $X_{n+}^{j+}    X_n^j$ ♀ [j+n+] 50% | $X_{n+}^{j+}    Y$ ♂ [j+n+] 50% |

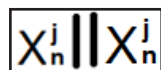
La F<sub>1</sub> = 100% de drosophiles [j+n+].

Deuxième croisement :

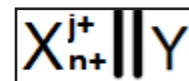
Parents de races pures :

Drosophile ♀ au corps jaune et aux ailes dépourvues de nervures X Drosophile ♂ au corps gris et aux ailes nervurées.

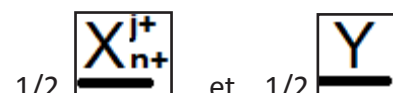
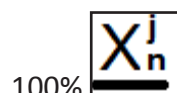
Génotypes :



X



Gamètes :



Echiquier de croisement :

| Gamètes                  | $\underline{X_{n+}^{j+}}$           | $\underline{Y}$          |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| ♀<br>$\underline{X_n^j}$ | $X_{n+}^{j+}    X_n^j$ ♀ [j+n+] 50% | $X_n^j    Y$ ♂ [j n] 50% |

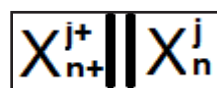
B-Parents F<sub>1</sub> dihybrides :

♀

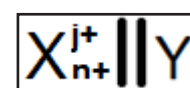
X

♂

Génotypes :



X



Gamètes : La femelle dihybride de F<sub>1</sub> fournit 4 types de gamètes alors que le mâle n'en fournit que 2.

## Echiquier de croisement de $F_2$ :

| $\begin{array}{c} \text{♂} \\ \diagdown \\ \text{♀} \end{array}$ | $\frac{1}{2} \underline{X_{n+}^{j+}}$                                 | $\frac{1}{2} \underline{Y}$                                       |
|--|---|---|
| $\frac{1-P}{2} \underline{X_{n+}^{j+}}$                          | $\text{♀}$<br>$\frac{1-P}{4} X_{n+}^{j+}    X_{n+}^{j+} [j+n^+]$      | $\text{♂}$<br>$\frac{1-P}{4} X_{n+}^{j+}    Y [j+n^+] \quad 1621$ |
| $\frac{P}{2} \underline{X_n^{j+}}$                               | $\text{♀}$<br>$\frac{P}{4} X_{n+}^{j+}    X_n^{j+} [j+n^+]$           | $\text{♂}$<br>$\frac{P}{4} X_n^{j+}    Y [j+n^+] \quad 254$       |
| $\frac{P}{2} \underline{X_{n+}^j}$                               | $\text{♀}$<br>$\frac{P}{4} X_{n+}^{j+}    X_{n+}^j [j+n^+]$           | $\text{♂}$<br>$\frac{P}{4} X_n^{j+}    Y [j+n^+] \quad 250$       |
| $\frac{1-P}{2} \underline{X_n^j}$                                | $\text{♀}$<br>$\frac{1-P}{4} X_{n+}^{j+}    X_n^j [j+n^+] \quad 3743$ | $\text{♂}$<br>$\frac{1-P}{4} X_n^{j+}    Y [j+n^+] \quad 1625$    |

## III- Génétique humaine

### A- Outils et techniques

#### Activité 13 :

**Quelles sont les difficultés d'étude de l'hérédité humaine ? Quels sont les moyens utilisés ?**

Tous les Hommes ont en commun des caractères qui les différencient des autres espèces : ce sont des caractères spécifiques de l'espèce. (ex. bipédie exclusive, place des oreilles, cerveau développé...). Chaque individu présente donc les caractères spécifiques de son espèce mais nous ne sommes pas tous strictement identiques. Nous possédons des variations qui nous sont propres (ex : forme des oreilles, groupes sanguins, couleur des yeux ou des cheveux, ...).

Ces variations individuelles font que chaque être vivant est unique ; chaque être vivant est différent de tous les autres.

Les progrès des techniques scientifiques, permettant d'isoler un gène et de déterminer la structure de ses divers allèles, ont de profondes répercussions en hérédité humaine. Elles permettent de comprendre comment des variations dans l'organisation des gènes entraînent des changements dans le phénotype de l'organisme.

**Document 1** : La méthode d'étude du pedigree : Pedigree et symboles.

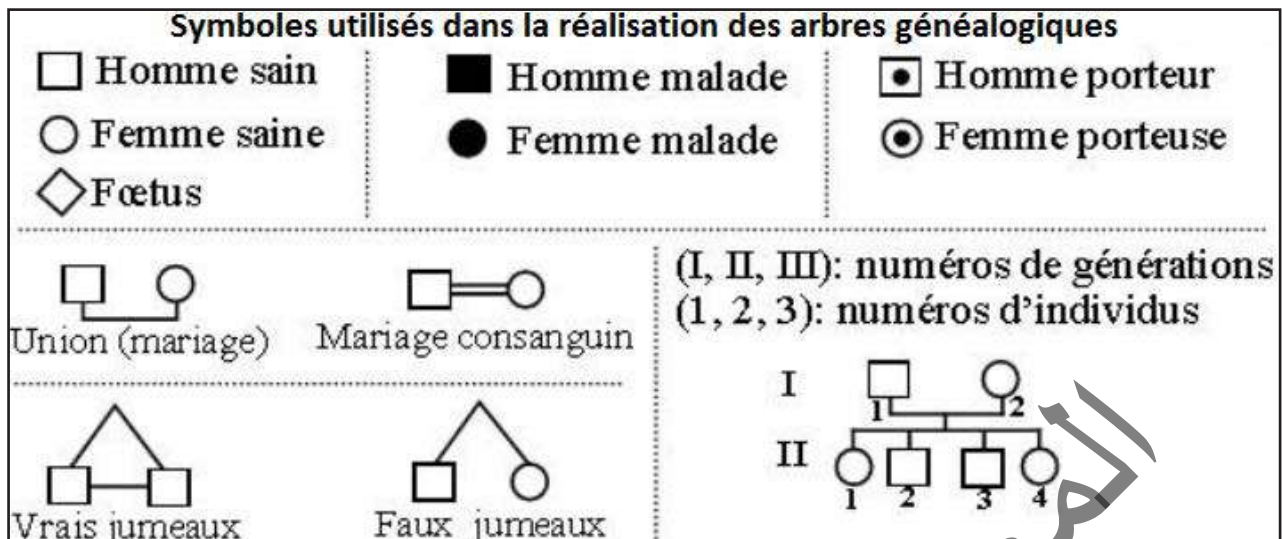
**Je comprends comment établir une généalogie d'une famille :**

L'arbre généalogique, appelée pedigree, est l'outil du généticien pour faire ses analyses.

Le pedigree est une représentation schématique simplifiée des liens de parenté existant au sein d'une famille. Il permet de suivre la transmission d'un caractère, ou d'une maladie héréditaire, au cours des générations au sein d'une même famille.



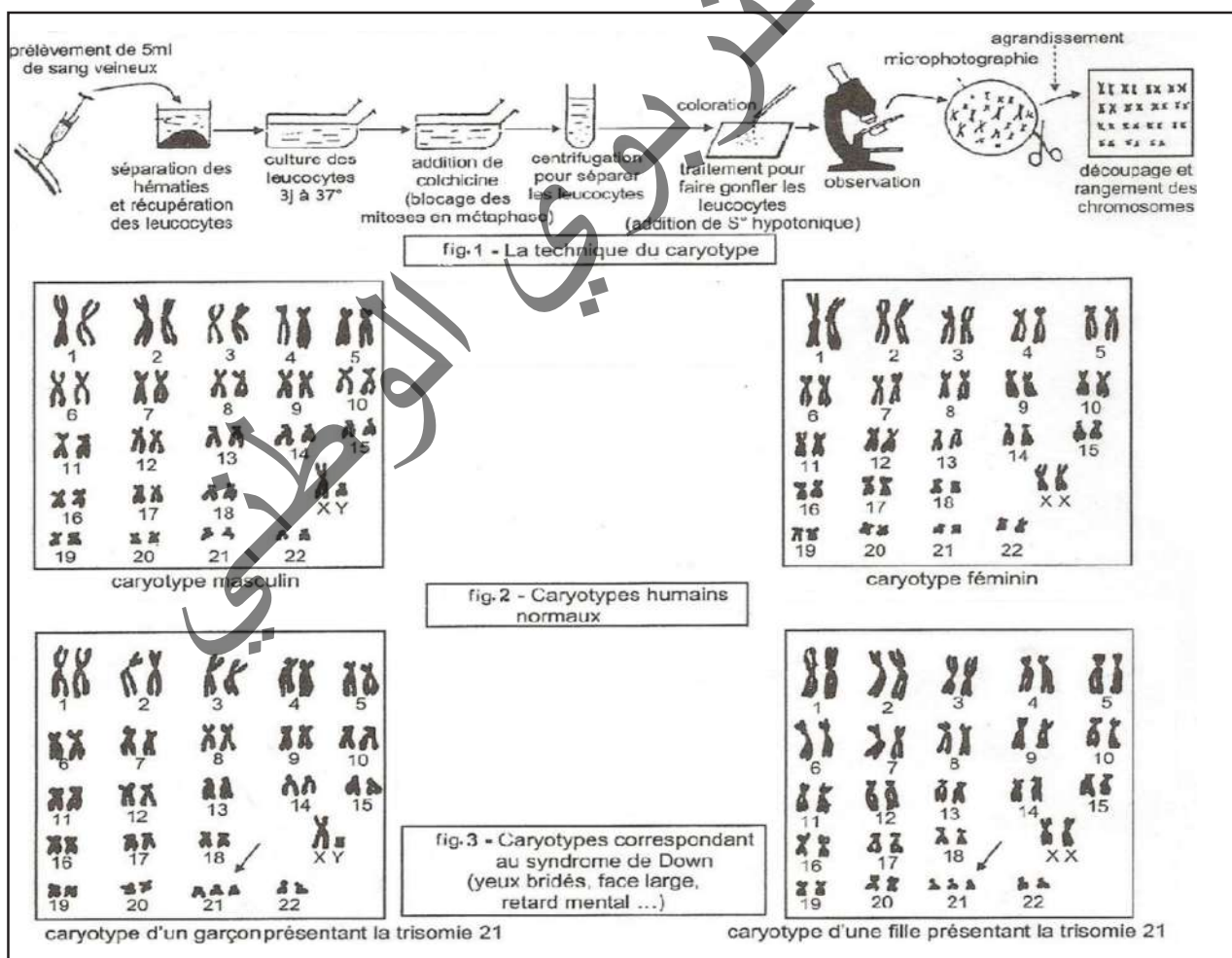
Le document suivant montre les symboles utilisés dans la réalisation des arbres généalogiques :



**Document 2 : Le caryotype.**

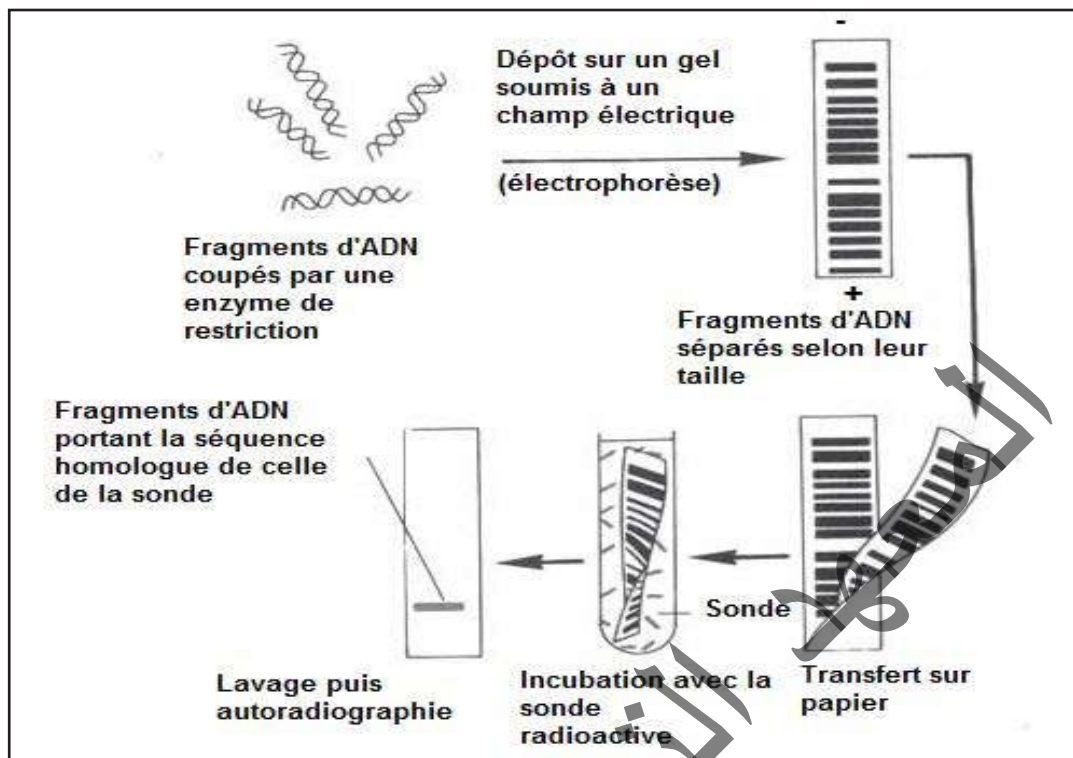
**Comment expliquer un caryotype ?**

Dans une cellule diploïde un gène est présent en 2 exemplaires, l'un d'origine paternel l'autre d'origine maternel. Donc 2 allèles peuvent être identiques ou différents (voir document ci-dessous).



### Document 3 : Electrophorèses.

#### Je comprends les résultats d'une électrophorèse.



### Document 3 : Les obstacles.

#### Quels sont les difficultés que rencontre le généticien ?

Les différentes lois de Mendel s'appliquent également à l'espèce humaine. L'homme n'est pas un « matériel » favorable et l'étude de la génétique humaine est alors difficile pour différentes raisons :

- Le nombre de chromosomes est assez grand :  $2n = 46$  ;
- On ne peut pas imposer un accouplement pour étudier la transmission d'un caractère (back-cross impossible...) ;
- La durée d'une génération est longue, le nombre de descendants d'une même famille est faible (Sa fécondité est très faible). Il faut alors réaliser un arbre généalogique et suivre le caractère envisagé sur plusieurs générations ;
- Les études statistiques portent sur plusieurs familles regroupées, de mêmes caractéristiques ;
- Les gènes sont très nombreux.

#### A partir de l'étude des différents documents proposés, dégager les principaux moyens utilisés et les principales difficultés d'étude de l'hérédité humaine.

La **génétique humaine**, branche de la génétique, étudie la transmission des caractères héréditaires chez l'Homme au cours des générations. L'étude de la transmission des caractères héréditaires et surtout des maladies et des anomalies héréditaires chez l'espèce humaine est basée sur l'analyse des **arbres généalogiques (pedigrees)**, sur l'analyse des **caryotypes** et sur les nouvelles techniques de la biologie moléculaire : **analyse d'ADN, activité enzymatique, cartographie génétique, caryotype spectral**.... Devant les difficultés qui entravent cette étude, les chercheurs se sont penchés, surtout, sur l'étude des modalités de la transmission des maladies et malformations héréditaires, pour accumuler des connaissances sur les gènes qui en sont responsables. Le pedigree est l'enregistrement

des caractéristiques de tous les individus d'une même famille. Cette étude se base sur la réalisation du caryotype d'un individu malade, puis comparaison de son caryotype avec celui d'un individu sain afin de déterminer des anomalies de nombre ou de structure des chromosomes. Après coupure par des enzymes de restrictions, les fragments d'ADN sont séparés par électrophorèse puis repérés par leur capacité à s'hybrider avec des fragments d'ADN complémentaire rendus radioactifs (sonde). Le couple gène-sonde est révélé sur un film photographique. L'état homozygote ou hétérozygote de l'individu est ainsi révélé sur le gel électrophorétique. L'**électrophorèse** est une méthode de séparation et de caractérisation de molécules (protéines et acides nucléiques) à l'aide d'un champ électrique. Les molécules migrent vers l'électrode de signe opposée à leur charge. Cette technique permet de déterminer :

- le génotype des individus (2 bandes : individu hétérozygote, 1 bande : individu homozygote) ;
- la dominance ou récessivité des allèles (ex : individu sain hétérozygote : allèle normal dominant).

Grâce à la technique de l'électrophorèse, il est possible de repérer les allèles normaux et les allèles mutés chez un sujet et de préciser son génotype et son phénotype.

La transmission des caractères héréditaires chez l'Homme est semblable à celle chez les autres êtres vivants. Les lois de l'hérédité, définies précédemment, restent valables. Cependant, il existe un ensemble de difficultés qui empêchent l'expérimentation et la vérification de ces lois, dont les principales sont les suivantes :

- ✓ Les croisements orientés sont impossibles.
- ✓ Faible fécondité, la longue durée de la grossesse et de celle qui sépare deux générations.
- ✓ Le nombre élevé de chromosomes.

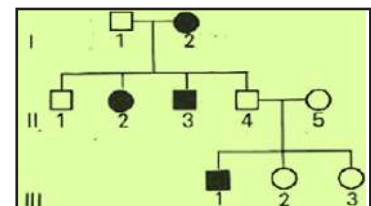
## B- Etude de quelques cas

### Activité 14 :

**Comment expliquer la transmission d'un allèle récessif autosomique ?**

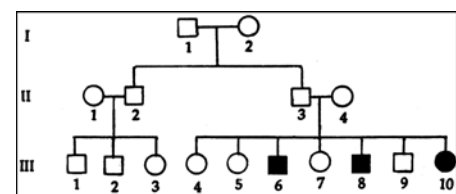
#### Exemple 1 : L'albinisme.

L'albinisme est une mutation due à l'absence d'un pigment sombre, la mélanine, dans les cellules épidermiques et notamment dans celles des racines des poils. Le document ci-contre représente l'arbre généalogique d'une famille dont certains membres sont albinos.



#### Exemple 2 : La mucoviscidose.

C'est une affection héréditaire où les glandes exocrines non hormonales, sécrètent un mucus anormalement épais, qui conduit à l'obstruction chronique des canaux du pancréas et des bronches.



Le pedigree ci-contre montre la transmission de cette maladie dans une famille.

**Par un raisonnement logique et rigoureux, interpréter les modes de transmission de ces deux maladies héréditaires.**

**Interprétations des résultats :**

La démarche à suivre :

- ✓ Etablir le mode de transmission du gène à partir des données fournies par l'arbre généalogique ;
- ✓ Déterminer le rapport entre les allèles : dominant, récessif, codominant ... ;
- ✓ Déterminer la localisation du gène ;
- ✓ Retrouver les génotypes des individus en cas de besoins.

### Exemple 1 : L'albinisme

- Les parents  $II_4$  et  $II_5$  sont phénotypiquement normaux mais ils ont eu un fils  $III_1$  albinos : donc, l'allèle responsable de l'albinisme est récessif.

Symboles : Allèle normal : **A** et allèle muté albinos : **a**.

- Le gène ne peut pas être porté par le chromosome Y, car les femmes  $I_2$  et  $II_2$  sont albinos.

- Le gène ne peut pas être porté par le chromosome X, car la femme  $I_2$  albinos a eu les fils  $II_1$  et  $II_4$  non albinos. En plus, le père  $I_1$  normal a une fille  $II_2$  albinos.

Donc, l'allèle muté responsable de l'albinisme est **autosomal**.

Génotypes certains :  $II_4$  et  $II_5$  : (A/a) et  $III_1$  : (a/a) ;

Génotypes probables :  $III_2$  et  $III_3$  : (A/A) ou (A/a).

### Exemple 2 : La mucoviscidose.

- La transmission est récessive car le couple ( $II_3 - II_4$ ) est phénotypiquement sain alors que leurs enfants  $III_6 - III_8 - III_{10}$  sont atteints ( la maladie saute de génération).

Symboles : Allèle normal : **N** et allèle muté albinos : **m**.

- La fille  $III_{10}$  étant malade, le gène n'est pas porté par Y.

- La fille  $III_{10}$  étant atteinte, le gène n'est pas lié à X car le père devrait être malade : Elle est à transmission **autosomale récessive** (Le gène responsable est localisé sur le chromosome 7).

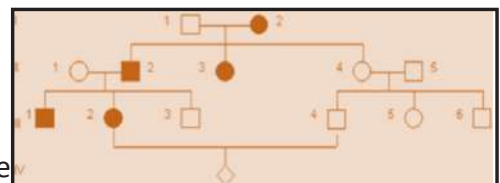
Autres exemples ayant le même type de **transmission** : phénylcétonurie, drépanocytose...

### Activité 15 :

Comment expliquer la transmission d'un allèle dominant autosomique ?

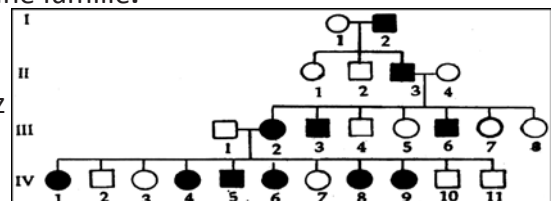
#### Exemple 1 : L'héméralopie congénitale

L'héméralopie congénitale est une maladie héréditaire rare caractérisée par un affaiblissement ou une perte de la vision en lumière peu intense ; on parle également de cécité nocturne congénitale stationnaire. Le pedigree ci-contre présente la transmission de ce caractère dans une famille.



#### Exemple 2 : La chorée Huntington

Cette maladie ne se développe, le plus souvent, que chez les personnes âgées de plus de 40 ans et se traduit par une dégénérescence de certains neurones intervenant dans la motricité. Il en résulte des gestes incohérents et anormaux quand le sujet est éveillé, indépendants de sa volonté. De plus, un déficit mental progressif s'installe. C'est une des rares maladies génétiques qui est due à un allèle dominant.



**Par un raisonnement logique et rigoureux, interpréter les modes de transmission de ces deux maladies héréditaires.**



## Interprétations des résultats :

### Exemple 1 : L'héméralopie congénitale

- Chaque parent malade a, au moins, la moitié de ses enfants malades et l'un de ses parents malades (la maladie ne saute pas de génération) : donc, l'allèle responsable de l'héméralopie est dominant (plus probable). Symboles : Allèle normal : **h** et l'allèle de l'héméralopie : **H**.

- Les femmes  $I_2$ ,  $II_3$  et  $III_2$  sont atteintes et en plus, le père  $I_1$  est normal mais son fils  $III_3$  est atteint : le gène n'est pas lié au chromosome Y.

- La mère  $II_1$  normale a un fils  $III_1$  atteint : le gène n'est pas lié au chromosome X.

Donc, le gène est **autosomal**.

| Individus   | Génotypes |
|---|-----------|
| $I_1 - II_1 - II_4 - II_5 - III_3 - III_4 - III_5$ et $III_6$ | $h//h$    |
| $I_2 - II_2 - II_3 - III_1 - III_2$                           | $H//h$    |

### Exemple 2 : La chorée Huntington.

-Le gène est dominant : il n'y a pas de saut de génération et tout sujet malade a au moins un parent malade.

-Les deux sexes sont touchés : le gène n'est pas lié à Y.

-On voit des garçons atteints alors que leurs mères sont saines : le gène est **autosomique**.

**Autres exemples** : polydactylie – maladie de Parkinson ...

## Activité 16 :

**Comment expliquer la transmission d'un couple d'allèles en cas de Polyallélie ?**

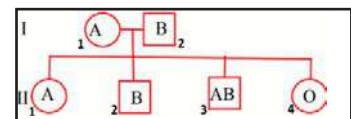
**Exemple : Un cas de polyallélie avec codominance** : Le système ABO.

Tous les sangs humains ne sont pas identiques ; il existe plusieurs systèmes de groupes sanguins, indispensables à connaître pour éviter des accidents lors d'une transfusion sanguine ; il s'agit principalement du système ABO et du système rhésus ; chacun de ces systèmes correspond à l'existence de substances (antigènes) situées à la surface des globules rouges. Ces systèmes sont génétiquement indépendants les uns des autres.

Les **groupes sanguins du système ABO** sont découverts par Karl Landsteiner en 1901.

Le système ABO permet de distinguer quatre grands groupes sanguins : A, B, AB et O.

Le pedigree ci-contre montre la transmission de ce gène dans une famille.



**Par un raisonnement logique et rigoureux, interpréter le mode de transmission de ce gène.**

## Interprétation des résultats :

- L'apparition du phénotype [o] chez le descendant  $II_4$  montre que l'allèle **o** est **récessif** par rapport aux allèles **A** et **B** :  $A > o$  et  $B > o$ .

- L'apparition du phénotype [AB] chez le descendant  $II_3$  montre que les allèles **A** et **B** sont **codominants** :  $A=B$ .

- L'apparition du phénotype [AB] chez le garçon  $II_3$  montre que le gène est **autosomique**.

Au point de vue génétique, le système ABO est formé par un groupe de 3 allèles A, B et O : c'est

un cas de **polyallélie**. A et B sont équivalents et dominants par rapport à O. Une seule paire de chromosomes (chromosome 9) étant impliquée dans la transmission de ce système, chaque individu ne possède évidemment que deux allèles, l'un situé sur le chromosome d'origine paternelle, l'autre sur le chromosome homologue d'origine maternelle. D'où l'interprétation génétique suivante :

- Une personne du groupe [A] peut-être homozygote A//A ou hétérozygote A//o ;
- Une personne du groupe [B] peut être homozygote B//B ou hétérozygote B//o ;
- Une personne [AB] possède les deux gènes codominants : elle est hétérozygote A//B
- Une personne [O] est homozygote récessive o//o.

Ce système comprend 2 antigènes (agglutinogènes) A et B situés sur la membrane des globules rouges ; quatre possibilités sont rencontrées :

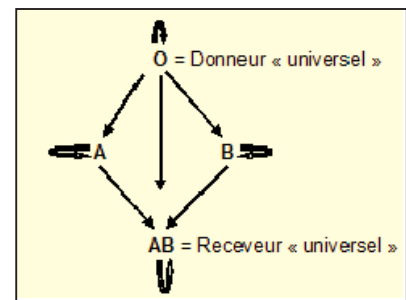
- les globules rouges portent l'antigène A isolé : groupe A ;
- les globules rouges portent l'antigène B isolé : groupe B ;
- les antigènes A et B sont tous deux présents : groupe AB ;
- les antigènes A et B sont tous deux absents : groupe O.

Dans un sérum, un anticorps (agglutinine), est susceptible d'agglutiner l'antigène correspondant : l'agglutinine anti-A agglutine les globules rouges A ; l'agglutinine anti-B agglutine les globules rouges B.

Le sujet possède, naturellement, dès sa naissance, l'agglutinine dirigée contre l'antigène que ne contiennent pas ses globules rouges. Ainsi,

- ✓ Le sérum du sang A contient l'agglutinine anti-B ;
- ✓ Le sérum du sang B contient l'agglutinine anti-A ;
- ✓ Le sérum du sang O contient les agglutinines anti-A et anti-B ;
- ✓ Le sérum du sang AB ne contient pas d'agglutinines.

L'application essentielle de la connaissance des groupes sanguins est la définition des règles de compatibilité au cours de transfusions sanguines : en effet, pour qu'une transfusion soit possible, il ne faut pas que les globules rouges du donneur soient agglutinés par le plasma du receveur ; la transfusion peut être réalisée dans le sens indiqué par les flèches de la figure ci-contre.



Dans la pratique, il est de règle d'effectuer des transfusions isogroupes, c'est-à-dire de choisir un donneur ayant des globules identiques à ceux du receveur.

La connaissance des groupes sanguins est également utilisée en médecine légale :

- elle permet parfois de prouver de façon formelle que tel enfant ne peut être le fils de tel homme (preuve par exclusion).
- elle peut permettre aussi l'identification d'enfants à la suite d'échanges dans une maternité.

**NB : Le facteur rhésus.**

C'est un élément appelé agglutinogène que l'on trouve dans les hématies et qui est responsable de la synthèse d'une protéine particulière. Si ce facteur est présent, on dit que l'individu est de rhésus positif (Rh<sup>+</sup>). S'il est absent, l'individu est dit rhésus négatif (Rh<sup>-</sup>).



$Rh^+$  et  $Rh^-$  sont deux allèles :  $Rh^+$  domine  $Rh^-$ .

Génotypes possibles :

$[Rh^+] : (Rh^+//Rh^+) \text{ ou } (Rh^+//Rh^-)$

$[Rh^-] : (Rh^-//Rh^-)$ .

Le facteur rhésus est lié aux groupes sanguins du système ABO et on distingue ainsi huit (8) groupes sanguins :  $[O^+]$  ;  $[O^-]$  ;  $[A^+]$  ;  $[A^-]$  ;  $[B^+]$  ;  $[B^-]$  ;  $[AB^+]$  et  $[AB^-]$ .

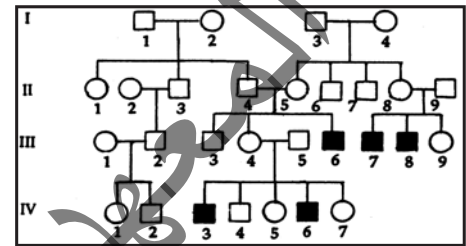
### Activité 17 :

Comment expliquer la transmission d'un allèle récessif porté par X ?

Exemple : Myopathie Duchenne.

Myopathie est un terme général qui recouvre un ensemble d'une quarantaine de maladies héréditaires caractérisées par un affaiblissement des muscles volontaires. La myopathie de Duchenne est la mieux connue aujourd'hui.

La maladie frappe, dès l'âge de deux ans, un garçon sur 3500. Elle provoque une dégradation des muscles, lesquels ne peuvent plus assurer la motricité puis la respiration de l'individu. Les cellules musculaires atteintes présentent des fibres hypertrophiées traduisant une dégénérescence myopathique. Considérons l'arbre généalogique d'une famille atteinte de cette maladie (pedigree ci-contre).



Par un raisonnement logique et rigoureux, interpréter le mode de transmission de ce gène.

Interprétation des résultats :

- La transmission est récessive car le couple ( $II_4$ ,  $II_5$ ) est phénotypiquement sain et a donné naissance à un enfant atteint ;
- On observe des garçons atteints alors que leurs pères sont sains : donc ce n'est pas lié à Y ;
- Le pedigree montre que seuls les garçons sont atteints : la maladie est donc liée à X.

L'étude de l'arbre généalogique de cette famille comprenant des membres atteints par la maladie montre qu'il s'agit encore ici d'une hérédité de type récessif liée au chromosome X.

Le gène responsable a été localisé dans la région médiane du bras court du chromosome X. Les chercheurs ont isolé la protéine déficiente dans la maladie. Cette protéine, appelée dystrophine, contribue à construire la membrane des fibres musculaires.

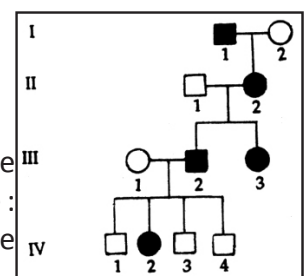
Autres exemples : hémophilie – daltonisme...

### Activité 18 :

Comment expliquer la transmission d'un allèle dominant porté par X ?

Exemple : Le rachitisme vitamino-résistant.

Le rachitisme est une maladie du squelette due, le plus souvent à une carence en vitamine D. Dans certains cas, le traitement par la vitamine D est inefficace : ces rachitismes sont dits vitamino-résistants. L'un d'eux est héréditaire. Cette maladie est très peu répandue dans la population.



Par un raisonnement logique et rigoureux, interpréter le mode de transmission de ce gène.

### Interprétation des résultats :

- Il n'y a pas de saut de génération et tout sujet atteint a au moins un parent atteint : il y a **dominance**.
- Tout père atteint ne donne que des filles atteintes et toute mère saine ne donne que des garçons sains : le gène est porté par le **chromosome X** (hypothèse plus probable).

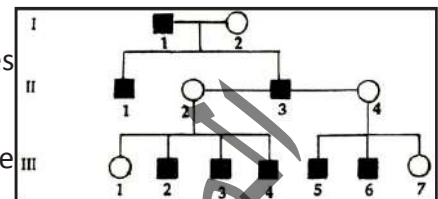
### Activité 19 :

#### Comment expliquer la transmission d'un allèle porté par Y ?

##### Exemple : L'hypertrichose des oreilles

Elle se manifeste par une pilosité très importante à la surface des oreilles.

Observez cet arbre généalogique qui traduit la transmission d'une anomalie héréditaire nommée hypertrichose des oreilles.



Par un raisonnement logique et rigoureux, interpréter le mode de transmission de ce gène.

### Interprétations des résultats :

- L'hypertrichose des oreilles ne touche que les hommes.
- Le père transmet le gène à tous ses fils alors que ses filles sont toutes saines : l'hypertrichose des oreilles est liée au chromosome Y.
- Allèle muté,  $h^+$  et allèle normal,  $h$ .
- Génotypes :

| Individus | Homme atteint  | Homme normal | Femme    |
|-----------|----------------|--------------|----------|
| Génotypes | $X // Y_{h^+}$ | $X // Y_h$   | $X // X$ |

**NB.** Gène influencé par le sexe.

Les gènes influencés par le sexe sont autosomiques et se transmettent selon les lois de Mendel, mais leur expression (phénotypes) est modifiée par l'environnement hormonal (mâle ou femelle). La calvitie héréditaire est un bon exemple, Elle est contrôlée par un gène unique biallélique, soit l'allèle B, soit l'allèle b. Les individus homozygotes BB montrent un profil de calvitie prématurée, ce qui n'est pas le cas pour les individus homozygotes bb. Le phénotype Bb s'exprime différemment chez les mâles et chez les femelles : chez les mâles, l'allèle B est dominant et les hétérozygotes sont chauves; mais chez les femelles, il est récessif et il n'y a pas de perte de cheveux.

## IV- Anomalies chromosomiques

### A- Anomalies du nombre

### Activité 20 :

Identifier et expliquer une anomalie du nombre de chromosomes chez un individu.

**Document 1 : Variation du nombre de chromosomes autosomes.**

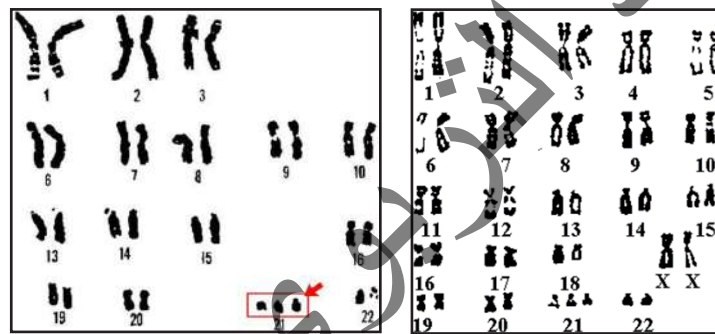
Le syndrome de Down, aussi appelé trisomie 21, est une maladie chromosomique congénitale provoquée par la présence d'un chromosome surnuméraire pour la 21<sup>e</sup> paire. Le diagnostic n'est pas toujours évident chez le nouveau-né. Il repose sur un ensemble de caractères jamais présents en totalité, mais qui donnent à tous ces nourrissons et ces enfants un « air de famille » :

- ✓ Un retard mental de degré variable ;
- ✓ Un retard psychomoteur : tenue assise vers 1 an, marche vers 2 ans etc... ;

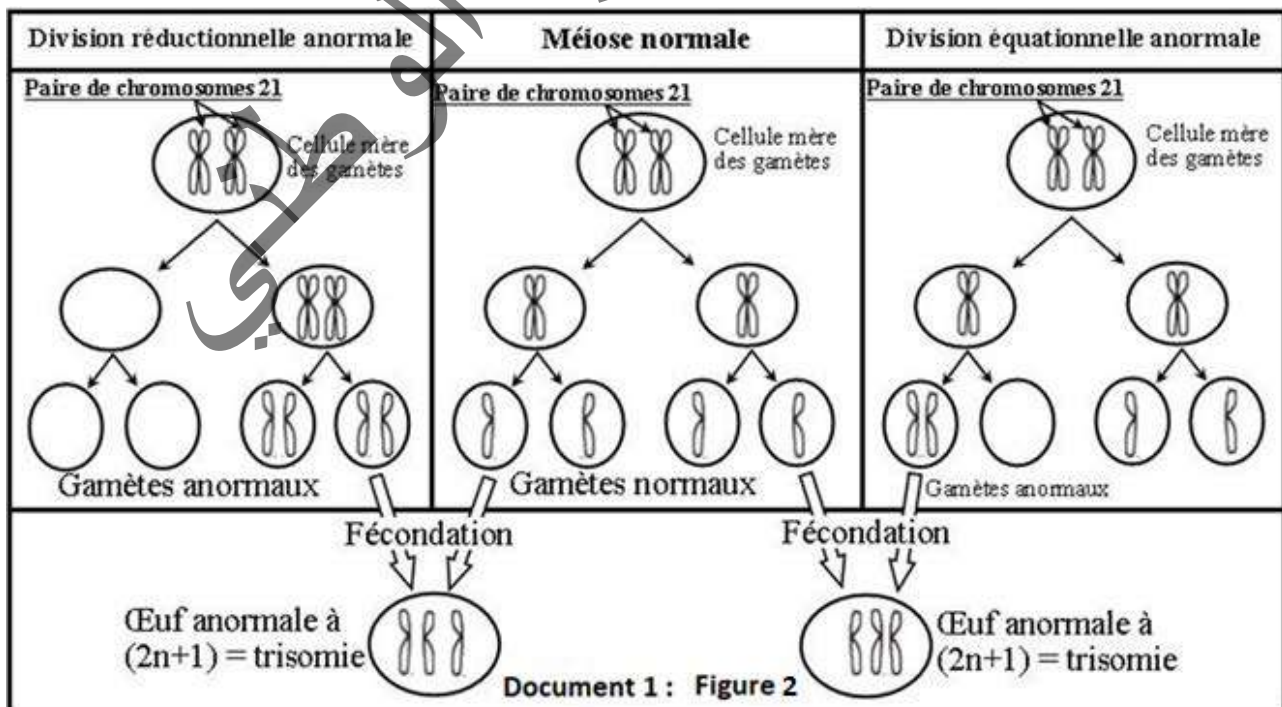
- ✓ Un caractère doux et affectueux ;
- ✓ Une petite taille ;
- ✓ Une nuque plate ;
- ✓ Un visage plat, rond avec un nez large ;
- ✓ Des fentes palpébrales obliques ;
- ✓ De petites oreilles peu ourlées ;
- ✓ Une petite bouche avec une langue qui a tendance à sortir ;
- ✓ De petites dents d'apparition retardée ;
- ✓ Un cou court avec un excès de peau sur la nuque ;
- ✓ Un gros ventre avec hernie ombilicale ;
- ✓ Une hypotonie musculaire ;
- ✓ Un pli palmaire unique ;



La figure 1 représente le caryotype d'enfants trisomiques.



La figure 2 représente un schéma expliquant l'origine de la trisomie 21 :



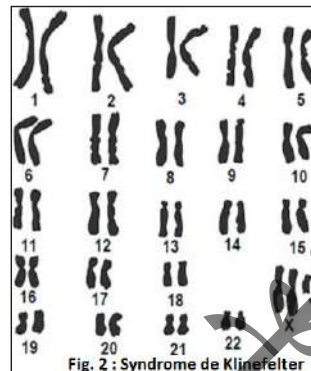
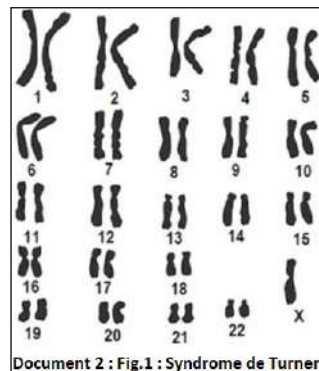
## Document 2 : Variation du nombre de chromosomes sexuels.

- **Le syndrome de Turner (monosomie X)** affecte des sujets féminins ; ces femmes restent de petite taille, sont stériles et leurs caractères sexuels secondaires ne se développent pas.

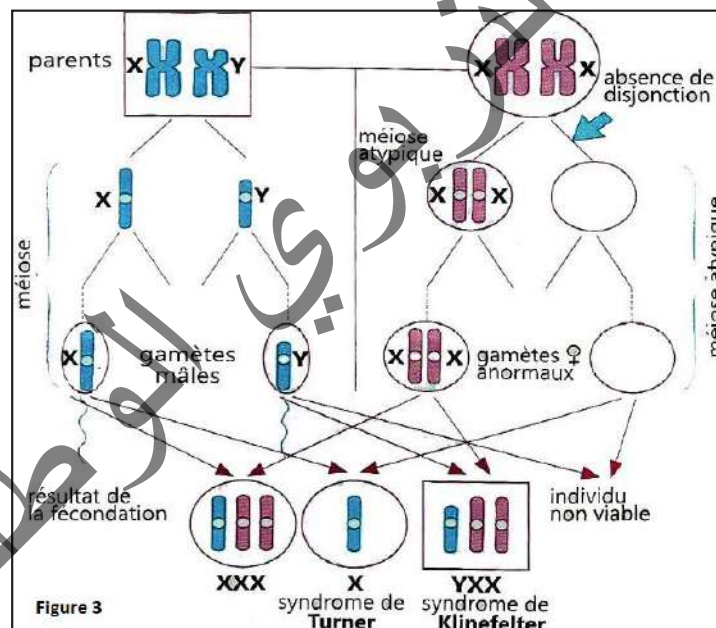
La figure 1 ci-dessous présente le caryotype d'une femme atteinte de cette anomalie.

- **Le syndrome de Klinefelter (trisomie XXY)** affecte les hommes, qui restent stériles et présentent parfois un développement anormal des seins. En plus chez ces sujets, on observe souvent un retard mental.

La figure 2 ci-dessous présente le caryotype d'un individu atteint de cette anomalie



La figure 3 représente un schéma expliquant l'origine de ces anomalies chromosomiques :



A partir de l'étude des documents précédents, identifier l'anomalie que montre chaque caryotype et proposer une explication pour l'origine de ces anomalies en considérant seulement la paire de chromosomes impliqués.

**Document 1 :** Le caryotype du malade révèle la présence du chromosome 21 en trois exemplaires (fig.1).

- La formule chromosomique de l'enfant malade :  $2n+1 = 45\text{autosomes} + XY$ .

- La formule chromosomique des gamètes :

- 1<sup>er</sup> cas : gamète ♂ :  $n+1 = 23\text{ autosomes} + Y$  et gamète ♀ :  $n = 22\text{ autosomes} + X$ .
- 2<sup>ème</sup> cas : gamète ♂ :  $n = 22\text{ autosomes} + Y$  et gamète ♀ :  $n+1 = 23\text{ autosomes} + X$ .

La trisomie 21 résulte de la non disjonction des chromosomes 21 au cours de la méiose chez l'un des parents : les 2 chromosomes de la même paire ne se séparent pas et passent ensemble dans la même cellule fille. Cela peut se produire lors de la division réductionnelle en anaphase I ou bien lors de la division équationnelle en anaphase II (fig.2). Ainsi se forment des gamètes possédant 2 chromosomes 21. La fécondation d'un gamète anormal par un gamète normal entraîne la formation d'un zygote ayant 3 chromosomes 21.

Dans la trisomie 21 libre, la formule chromosomique de la personne atteinte est donc de 47 (45 autosomes + XY ou XX). L'origine de cette maladie génétique se situe lors de la gamétogenèse, et plus précisément à la mauvaise répartition des chromosomes homologues au cours de la première métaphase de la méiose. Un des gamètes ainsi formé comportera deux chromosomes de la 21<sup>e</sup> paire, au lieu d'un seul, ce qui, après fécondation de ce gamète par un autre « normal » formera une cellule-œuf dont la 21<sup>e</sup> paire possède 3 chromosomes.

Dans le cas de la trisomie 21 par translocation, il y a fusion de deux chromosomes 21 par le mécanisme dit de translocation. Il s'agit donc d'un chromosome apparent ayant le contenu génétique de deux chromosomes. La formule chromosomique de la personne atteinte de cette forme de trisomie 21 est donc 45 autosomes + XY ou 45 autosomes + XX.

La plupart des trisomies ne sont pas viables et conduisent à des avortements précoces spontanés. Quelques-unes cependant sont tolérées jusqu'au terme de la grossesse.

- Certaines, comme les trisomies 13 et 18, entraînent rapidement la mort de l'enfant au bout de quelques semaines ou de quelques mois.
- D'autres, comme la trisomie 8, n'entraînant que des handicaps plus légers, sont compatibles avec la vie.

**Document 2 :** La formule chromosomique du sujet atteint du syndrome de Turner est :

$2n-1 = 44 \text{ autosomes} + X$ . Celle d'un individu atteint du syndrome de Klinefelter est :

$2n+1 = 44 \text{ autosomes} + XXY$ .

Le syndrome de Turner affecte des sujets féminins : ces derniers restent de petite taille, sont stériles et les caractères sexuels secondaires ne se développent pas ou peu. Le caryotype de ces sujets se caractérise par la présence d'un seul chromosome X au lieu de deux. Le syndrome de Klinefelter affecte des sujets masculins qui présentent à la fois des caractères sexuels secondaires de type masculin (grande taille, épaules larges....) et de type féminin (hanches larges...). Ils sont stériles en raison d'un développement testiculaire très faible. Leur caryotype montre systématiquement la présence d'un chromosome surnuméraire, soit la formule chromosomique :  $44 \text{ autosomes} + XXY$ .

| NB. Autres anomalies du nombre : monosomie, trisomie... |         |   |
|---|---------|---|
| Génotype  | Sexe    | Phénotype   |
| Y0  | Mâle    | Il se forme un embryon mâle et avorte avant l'achèvement de son développement. C'est un cas de monosomie.                                 |
| XXX (Triplo-X)  | Femelle | Maladie caractérisée par 3 chromosomes X, femme stérile. Cette anomalie a lieu au cours de la méiose (Anaphase I ou II). Cas de trisomie. |
| XXY   | Mâle    | Normal. C'est un homme géant agressif qui tend à commettre des crimes. C'est un cas de trisomie.  |

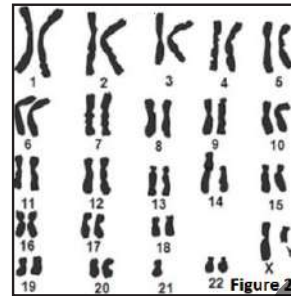
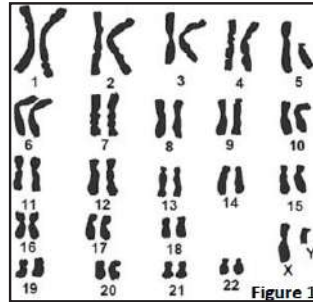


## B- Anomalies de structures

### Activité 21 :

Identifier et expliquer une anomalie de structure de chromosomes chez un sujet.

Le stock chromosomique de tous les organismes eucaryotes est composé de chromosomes différents par la taille, la forme, la position du centromère et des bandes transversale colorables. Au sein de chaque espèce, le caryotype peut présenter des variations de structures. Les figures ci-dessous présentent des anomalies de structure chez deux individus.



**A partir de l'étude des figures précédentes, décrire l'anomalie que montre chaque caryotype.**

Le caryotype de l'individu A (fig.1) présente une délétion d'un fragment du chromosome 5.

Le caryotype de l'individu B (fig.2) présente une translocation du chromosome 21 sur le chromosome 14.

- Pour l'individu A, la perte d'un fragment du chromosome est accompagnée de perte d'un certain nombre de gènes et l'individu aura un phénotype anormal.

- Pour l'individu B, il n'y a pas d'anomalie clinique chez le sujet porteur car il n'y a ni perte ni gain de matériel génétique. On dit que la translocation est équilibrée.

• **Cas de délétion** : On connaît aussi des maladies chromosomiques provoquées par l'absence d'un fragment de chromosome. Cette déficience ou délétion se traduit de façon différente selon le chromosome qui en est affecté. La délétion du bras court du chromosome n° 18 entraîne des anomalies oculaires, des malformations du visage et un retard mental. La délétion du bras court du chromosome n° 5 entraîne une débilité mentale importante et diverses malformations dont celle du larynx (il s'agit de la maladie du « cri de chat »).

A la naissance, l'enfant émet des sortes de miaulements (d'où le nom de « maladie du cri du chat »).

• **Cas de 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 :

- La translocation robertsonienne : le caryotype d'une femme comprend, dans ce cas, 46 chromosomes. L'étude montre qu'il existe un seul chromosome 21 libre, au lieu de 2.

Le second chromosome 21 est porté par le chromosome 14. Cette femme est normale, car son caryotype est complet, mais il comporte un chromosome hybride 14-21 et deux chromosomes libres 14 et 21. Dans ce cas la translocation est équilibrée.

- La translocation réciproque : la cassure des chromosomes entraîne l'échange mutuel de segments chromosomiques entre deux chromosomes non homologues. Dans ce cas, le remaniement des structures ne modifie pas le matériel génétique. Le remaniement est équilibré et ne provoque pas de troubles chez l'individu.

- Les sujets portant des translocations équilibrées ont un phénotype normal ; mais, lors de la gamétogenèse, au moment de la méiose, des gamètes anormaux vont se former par mauvaise ségrégation des chromosomes homologues. Les enfants risquent alors d'être anormaux. Ainsi, une translocation équilibrée du chromosome 21 chez le père ou la mère, transmise à l'enfant, donnera une trisomie 21.



## Les lois de Mendel

### Monohybridisme

1

**Loi de l'uniformité de la  $F_1$**  : Deux parents différents et de race pure donnent une descendance  $F_1$  homogène (cette loi est toujours vérifiée par un gène autosomal mais peut ne pas être vérifiée par un gène lié au sexe).

2

**Loi de la pureté de gamètes** : Il y'a séparation obligatoire des allèles du gène au moment de la formation des gamètes.

Cas de monohybridisme : Croisement de deux parents de races pures

| Dominance absolue   | Codominance  |
|---|--|
| <p>1- En <math>F_1</math>, on a 100% d'individus semblables, à caractères dominants <math>\rightarrow F_1</math> homogène</p> <p>2- En <math>F_2</math>, issue d'une autofécondation (<math>F_1 \times F_1</math>), on a :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>75% à caractère dominant ;</li> <li>25% à caractère récessif.</li> </ul> <p>3- Test cross :</p> <p>Hybride à caractère dominant X Homozygote à caractère récessif :</p> <p>En <math>F_1</math> on a 50% à caractère dominant et 50% à caractère récessif.</p> | <p>1- En <math>F_1</math>, on a 100% d'individus semblables, à caractère intermédiaire.</p> <p>2- En <math>F_2</math>, issue d'une autofécondation (<math>F_1 \times F_1</math>), on a 25% à caractère rappelant l'un des parents ; 50% à caractère intermédiaire ; 25% à caractère rappelant l'autre parent</p> <p>3- Test cross : Hybride à caractère intermédiaire X homozygote à caractère parental : En <math>F_1</math>, on a 50% à caractère parental et 50% à caractère intermédiaire.</p> |

### Dihybridisme

3

#### **Loi de ségrégation indépendante des gènes :**

Chaque couple se disjoint de manière indépendante de l'autre couple (cette loi n'est pas vérifiée par les gènes liés).

| Gène autosomal  | Gène gonosomal (lié au sexe)   |
|---|--|
| Il vérifie la 1 <sup>re</sup> loi de Mendel.  | Il peut ne pas vérifier la 1 <sup>re</sup> loi de Mendel.  |
| Il ne peut jamais donner une différence phénotypique entre mâles et femelles de la descendance. | Il peut donner une différence phénotypique entre mâles et femelles de la descendance.  |
| Le résultat est le même quel que soit le sens du croisement.                                    | Les croisements direct et réciproque, avec des parents de race pure, ne donnent pas les mêmes résultats en $F_1$ et en $F_2$ . |

**Deux gènes autosomaux liés :** C'est le phénomène de linkage, les gènes sont portés par la même paire de chromosomes homologues.

| <u>Linkage absolu</u>  | <u>Linkage partiel</u>  |
|--|---|
| <p>*En <math>F_1</math>, on a 100% d'individus semblables rappelant le parent à caractère dominant.</p> <p>*En <math>F_2</math> issue d'une autofécondation, on peut avoir : 75% à caractère dominant et 25% à caractère récessif.</p> <p>*On peut avoir aussi dans le cas de codominance : 50% à caractère intermédiaire, 25% à caractère parental et 25% à caractère parental.</p> <p>*En <math>F_2</math> issue d'un test-cross, on a : 50% à caractère récessif.</p> | <p>*il y a crossing-over qui engendre des recombinaisons.</p> <p>*En <math>F_2</math> issue d'un test-cross avec crossing-over chez l'hybride croisé, on obtient :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- des individus de type parental avec une fréquence <math>1-p</math></li> <li>- des individus de type recombiné avec une fréquence <math>p</math></li> </ul> <p>*les types parentaux sont toujours plus nombreux que les types recombinés.</p> <p>*Le pourcentage de recombinaison permet une estimation de la distance séparant les deux gènes liés (<i>exprimé en centimorgan</i>)</p> <p>On peut alors établir la carte factorielle.</p> |

| L'allèle de la maladie est Récessif   | L'allèle de la maladie est Dominant   | Le gène est lié à Y   | Le gène est récessif lié à X  | Le gène est dominant lié à X  | Le gène est récessif autosomal  | Le gène est dominant autosomal  |
|---|---|---|---|---|---|---|
| <p>→ La présence d'un enfant malade issu d'un couple sain</p> <p>→ La présence d'un sujet sain qui est hétérozygote</p> | <p>→ La présence d'un enfant sain issu d'un couple malade</p> <p>→ La présence d'un sujet malade qui est hétérozygote</p> | <p>→ Toutes les filles sont saines puisqu'elles ne possèdent pas le chromosome Y</p> <p>→ Tous les garçons issus d'un père atteint sont atteints</p> <p>→ Tous les garçons issus d'un père sain sont sains</p> <p>→ Les garçons ont un seul allèle normal ou muté et les filles ne possèdent ni l'allèle normal ni l'allèle muté.</p> | <p>→ Tous les garçons issus d'une mère malade sont malades</p> <p>→ Toutes les filles issues d'un père sain sont saines</p> <p>→ Toute fille malade est issue d'un père malade</p> <p>→ Tous garçons sains est issu d'une mère saine</p> <p>→ Les enfants d'un couple malade sont tous malades</p> <p>→ Les filles malades sont homozygotes</p> <p>→ Les mères saines qui ont un enfant malade sont hétérozygotes</p> | <p>→ Tous les garçons issus d'une mère saine sont sains</p> <p>→ Toutes les filles issues d'un père malade sont malades</p> <p>→ Toute fille saine est issue d'un père sain</p> <p>→ Tout garçon malade est issu d'une mère malade</p> <p>→ Les enfants d'un couple sain sont tous sains</p> <p>→ Les filles saines sont homozygotes</p> <p>→ Les mères malades qui ont un enfant sain sont hétérozygotes</p> | <p>→ Les sujets malades sont homozygotes</p> <p>→ tous sujet sain issu d'un parent malade doit être hétérozygote</p> <p>→ Tout sujet sain qui a un enfant malade doit être hétérozygote</p> | <p>→ Les sujets sains sont homozygotes</p> <p>→ Tout sujet malade issu d'un parent sain doit être hétérozygote</p> <p>→ Tout sujet malade qui a un enfant sain doit être hétérozygote</p> |
| <p>Les filles possèdent deux (2) allèles et les garçons possèdent un seul (1) allèle</p>                                |   |   |   | <p>Les filles et les garçons possèdent chacun deux (2) allèles</p>  |   |   |

Une anomalie chromosomique ou aberration chromosomique est une altération :

- d'un chromosome, sur lequel un gène est absent ou au contraire surnuméraire : anomalie de structure,
- du caryotype, avec un chromosome entier absent (monosomie) ou présent (trisomie) : anomalie de nombre.

Les anomalies chromosomiques peuvent toucher n'importe quel chromosome, y compris les chromosomes sexuels.

## Je m'exerce :

### GENETIQUE FORMELLE

**QCM : Choisir la (ou les) bonne(s) réponse(s)**

**1- Parmi les propositions suivantes, laquelle est exacte ?**

- a) un individu hétérozygote pour un caractère est obligatoirement de race pure.
- b) un individu homozygote possède des allèles obligatoirement dominants.
- c) un individu homozygote pour un caractère n'est pas viable.
- d) une forme récessive d'un gène s'exprime s'il est présent 2 fois.

**2- Le test cross :**

- a) consiste à croiser deux individus de génotypes inconnus.
- b) donne toujours une descendance qui a les mêmes proportions phénotypiques.
- c) son résultat précise le génotype de l'individu qui a le phénotype dominant.
- d) son résultat nous renseigne sur l'indépendance ou la dépendance des gènes.

**3- Les allèles d'un même gène :**

- a) sont au maximum présents en deux exemplaires chez un seul individu.
- b) diffèrent toujours par un grand nombre de nucléotides.
- c) occupent toujours le même locus chez un individu donné.
- d) peuvent se trouver sur des chromosomes non homologues.

**4- On considère 2 couples d'allèles ( $vg^+ ; vg$ ) et ( $pu^+ ; pu$ ). Les allèles  $vg^+$  et  $pu^+$  sont dominants. Le résultat du croisement entre 2 drosophiles : femelle [ $vg^+ ; pu^+$ ] et mâle [ $vg ; pu$ ] a donné : 50% [ $vg^+ ; pu$ ] et 50% [ $vg ; pu^+$ ]. On peut déduire que :**

- a) la femelle a produit avec une équiprobabilité 2 gamètes différents.
- b) les deux couples d'allèles sont indépendants.
- c) les deux couples d'allèles sont liés.
- d) il y a eu un brassage intrachromosomique chez la femelle lors de la formation des gamètes.

**5- Dans le cas d'une dominance pour deux couples d'allèles, le croisement entre deux variétés ( $F_1$ ) hybrides d'une plante issue de deux variétés parentales pures a donné les proportions phénotypiques suivantes en  $F_2$  :  $3/4$  ;  $1/4$ . On déduit que :**

- a) les deux couples d'allèles présentent une dépendance absolue et qu'en  $F_0$  chacun des deux parents possède un caractère dominant et un caractère récessif.
- b) les deux couples d'allèles présentent une dépendance partielle.
- c) la dominance est vérifiée.
- d) les deux couples d'allèles présentent une dépendance absolue et qu'en  $F_0$  les caractères dominants se trouvent chez un parent et les caractères récessifs chez l'autre.

**6- Pour savoir si 2 couples d'allèles sont indépendants ou dépendants :**

- a) On analyse l'ADN.
- b) On réalise un croisement entre 2 individus de races pures.
- c) On réalise un croisement entre 2 hybrides pour les 2 couples d'allèles.
- d) On réalise un test cross.

**7- Mendel avait réalisé les croisements des petits pois 'fleur pourpre' x 'fleur blanche'. Il avait obtenu dans la génération F1 100% de pourpre. En F2, les proportions sont :**

- a)  $1/3$  ;  $2/3$ .
- b)  $1/4$  ;  $2/4$  ;  $1/4$ .
- c)  $3/4$  ;  $1/4$ .
- d)  $9/16$  ;  $3/16$  ;  $3/16$  ;  $1/16$ .

**8- Lors de la transmission de deux gènes indépendants :**

- a) 50% de F2 ressemblent au phénotype d'un parent et 50% ressemblent au phénotype de l'autre parent.
- b) 50% de F1 ressemblent au phénotype d'un parent et 50% ressemblent au phénotype de l'autre parent.
- c) En F2, on aura des individus avec un nouveau phénotype.
- d) 100% de F2 présentent un nouveau phénotype.

**9- Dans le cas du dihybridisme avec gènes liés sans crossing-over, le résultat du croisement d'un individu de F1 avec un double homozygote récessif sera :**

- a) 4 phénotypes différents avec 25 % chacun.
- b) 4 phénotypes avec une répartition différente de  $4 \times 25$  %.
- c) deux phénotypes avec 50 % chacun.
- d) un seul phénotype à 100 %.

**10- Le test cross est un croisement :**

- a) obligatoirement entre 2 homozygotes.
- b) entre un homozygote récessif obligatoire et un individu quelconque.
- c) qui permet de déterminer le génotype de l'individu testé.
- d) entre un individu et l'un de ses parents.

**11- Les caractères létaux :**

- a) toujours récessifs.
- b) souvent récessifs.
- c) toujours dominants.
- d) souvent dominants.

**12- A quelle proposition correspond la définition d'un allèle :**

- a) Gène anormal.
- b) Position d'un gène sur un chromosome.
- c) Equipement génétique complet d'une cellule.
- d) Variante d'un gène donnée.

**13- Les lois de Mendel stipulent :**

- a) Une pureté des gamètes.
- b) Une uniformité des hybrides de la première génération.
- c) Une uniformité des hybrides de la deuxième génération.
- d) Une ségrégation indépendante des caractères héréditaires.

**14- La diversité des gamètes résulte d'un brassage interchromosomique :**

- a) Avant la méiose.
- b) Lors de la première division de méiose.
- c) Avant le brassage intrachromosomique.
- d) Uniquement lors de la deuxième division de méiose.

## **EXERCICES**

### **Exercice 1**

Le croisement de deux drosophiles à ailes sauvages donne la descendance suivante :

- 36 drosophiles à ailes sauvages
- 12 drosophiles à ailes vestigiales.

Interpréter ces résultats.

### **Exercice 2**

Il existe chez la drosophile une mutation « Notch ».

On croise un mâle sauvage (ailes normales) avec une femelle hétérozygote mutée.

Précisez l'allèle dominant. Justifiez votre réponse.

1- Ecrivez le(s) génotype(s) des parents.

Les résultats de ce croisement sont :

1/3 femelles mutées, 1/3 femelles sauvages, 1/3 mâles sauvages.

2- Quels sont les génotypes confirmés ?

3- Expliquez ces résultats.

4- Expliquez l'absence des femelles mutées homozygotes.



### Exercice 3

On procède aux croisements suivants chez des chats.

- 1<sup>er</sup> croisement : mâle noir de race pure X femelle jaune de race pure.

Comment vérifiez la pureté de ces races ?

On obtient en F<sub>1</sub> : 5 mâles jaunes et 4 femelles tachetées de jaunes et de noir. Expliquez.

- 2<sup>ème</sup> croisement : mâle de F<sub>1</sub> X femelle de F<sub>1</sub> on obtient : 1/4 de mâles jaunes ; 1/4 de mâles noirs; 1/4 de femelles jaunes et 1/4 de femelles tachetées. Expliquez ces résultats.

### Exercice 4

Quand on croise un Chat noir de race pure avec une Chatte orange de race pure, on obtient en F<sub>1</sub> des chats orange et des chattes bigarrées (noir et orange). En revanche, le croisement d'un chat orange de race pure et d'une chatte noire de race pure donne en F<sub>1</sub> des chats noirs et des chattes bigarrées (noir et orange).

1- Comment peut-on expliquer ces résultats ? Établir les génotypes des parents et ceux de la F<sub>1</sub> en fonction du sexe dans chacun des deux cas.

2- Que donnera le croisement d'une chatte bigarrée et d'un chat noir en ce qui concerne la couleur du pelage ? Quelles sont les proportions de chaque type en fonction du sexe ?

3- Expliquer comment, n'ayant à notre disposition que la descendance obtenue en 2), nous nous y prendrions pour obtenir par la suite une race de chats et de chattes orange.

### Exercice 5

Un éleveur effectue plusieurs types de croisement entre deux variétés pures de Pigeon de la race « Romain ».

- croisement 1 : mâle bleu x femelle brune.

- croisement 2 : mâle brun x femelle bleue.

Les résultats obtenus sont les suivants :

- croisement 1 : 100 % des produits sont bleus, mâles ou femelles.

- croisement 2 : tous les mâles sont bleus ; toutes les femelles sont brunes.

1- Quelles hypothèses pouvez-vous formuler après les résultats de ces deux croisements ?

2- Expliquez les croisements suivants :

- croisement 3 : mâle bleu issu du croisement 1 x femelle brune de race pure.

Résultat : mâles 50 % bruns, 50 % bleus ; femelles 50 % brunes, 50 % bleues.

- croisement 4 : mâle bleu issu du croisement 2 x femelles bleues de race pure.

Résultat : 75 % sont bleus (dont 2/3 de mâles et 1/3 de femelles), 25 % de femelles brunes.

### Exercice 6

Le pelage des Lapins domestiques présente quatre aspects liés à la variation d'un même gène :

- type sauvage ( + ) : pelage uniformément gris-brun,



- chinchilla (Ccb) : pelage uniforme, mais argenté,
- himalayan (Ch) : pelage blanc, sauf aux extrémités.
- albinos (C) : pelage uniformément blanc.

1- Le croisement chinchilla x himalayan donne en  $F_1$ , des chinchilla et en  $F_2$  : 3/4 de chinchilla et 1/4 d'himalayan.

- Le croisement chinchilla x albinos donne en  $F_1$  des chinchilla et en  $F_2$  : 3/4 de chinchilla et 1/4 d'albinos.

- Le croisement himalayan x albinos donne en  $F_1$  des himalayan et en  $F_2$  : 3/4 d'himalayan et 1/4 d'albinos. Interprétez ces résultats, tous obtenus à partir de races pures.

2- Une cage renferme une femelle himalayan et deux mâles : un albinos et un chinchilla.

La femelle a 8 descendants : 2 himalayan, 4 chinchilla et 2 albinos.

Quel est le père et quels sont les génotypes de la mère, du père et des descendants ?

### Exercice 7

On croise deux Drosophiles de phénotype sauvage pour les yeux. La génération  $F_1$  donne 187 mâles à œil framboise (Fr), 190 mâles sauvages et 400 femelles de type sauvages.

1- Pourquoi peut-on formuler l'hypothèse d'un gène situé sur les chromosomes sexuels ?

2- Quel est l'allèle dominant ?

3- Quels étaient les génotypes des parents ?

4- Expliquer ces résultats.

### Exercice 8

Si l'on croise un Bélier de la race Dorset, où les deux sexes portent des cornes, avec une Brebis de race Suffolk, où les cornes sont absentes dans les deux sexes, tous les mâles de  $F_1$ , portent des cornes alors que toutes les femelles en sont dépourvues. Le même résultat s'observe si on croise un Bélier Suffolk avec une Brebis Dorset.

1-Expliquez ces résultats.

Croisés entre eux, les individus de  $F_1$ , donnent en  $F_2$  :

- des mâles : 3/4 avec cornes, 1/4 sans cornes,
- des femelles : 3/4 sans cornes, 1/4 avec cornes. Interprétez ces résultats.

### Exercice 9

On croise deux lignées pures de drosophiles :

\* Un male a corps gris et ailes normales.

\* Une femelle a corps noir et ailes anormales.

En  $F_1$  tous les males sont à corps noir et ailes anormales, alors que toutes les femelles sont à corps gris et ailes normales.

1-Que pouvez-vous en déduire ?

2-Ecrivez les génotypes des parents et ceux de la  $F_1$ .

Le croisement inverse donne en 1ère génération ( $F_1$ ) des drosophiles à corps gris et ailes normales, quel que soit le sexe, mais en 2ème génération ( $F_2$ ) : toutes les femelles sont à corps gris et ailes normales, mais les mâles sont repartis en 4 phénotypes tels que :

199 drosophiles à corps gris et ailes normales ; 28 drosophiles à corps noir et ailes normales ; 32 drosophiles à corps gris et ailes anormales ; 201 à corps noir et ailes anormales.

3- Expliquez ces résultats.

4- Peut-on déterminer le sexe de l'individu de  $F_1$ , à partir de son phénotype ?

5- Donnez la disposition relative des gènes.

NB : Utilisez les symboles : la couleur du corps (G/g) et la forme des ailes (N/n)

### Exercice 10

On croise des drosophiles qui diffèrent entre elles par deux caractères:

- L'aspect du corps : poilu ou sans poils ( $p^+$  ou  $p$ ) ;
- Couleur du corps : rouge ou blanc ( $r^+$  ou  $r$ ).

On obtient en  $F_1$  des drosophiles au corps rouge et poilu.

1- a- Quelle conclusion tirez – vous de ce résultat ?

b- Quels sont les phénotypes possibles des races initiales (parentales) ?

2- Le croisement d'une femelle X de  $F_1$  avec un male Y au corps blanc et sans poils, donne les résultats suivants : 470 individus à corps rouge et sans poils ; 470 individus à corps blanc et poilu ; 30 individus à corps rouge et poilu et 30 individus à corps blanc et sans poils.

a - Précisez les génotypes de la génération parentale ainsi que ceux des individus X et Y.

b- Expliquez les résultats du croisement X x Y.

3- Sachant que suite à un autre croisement, le pourcentage de recombinaison entre le gène responsable de la couleur du corps et le gène responsable de la forme des ailes ( $f^+/f$ ) est de 11%,

a-Discutez l'emplacement relatif des trois gènes.

b -Précisez un croisement qui permet d'établir avec précision cet emplacement ? Justifiez.

### Exercice 11

Le croisement de deux drosophiles de phénotype  $[b^+n^+]$ , prélevées à partir d'une  $F_1$  issue d'un croisement entre parents de race pure ( $P_1$  et  $P_2$ ) donne :

|            |          |          |        |
|------------|----------|----------|--------|
| 68%        | 7%       | 7%       | 18%    |
| $[b^+n^+]$ | $[b^+n]$ | $[bn^+]$ | $[bn]$ |

1-Indiquez le (s) génotype(s) de  $F_1$  et ceux des parents  $P_1$  et  $P_2$ .

2- Quels sont les gamètes produits par les individus de  $F_1$  et dans quelles proportions ?

3- Réalisez les croisements qui vérifient ces résultats.

4- Déduisez l'emplacement relatif des gènes.

5- Il existe un autre allèle  $r^+$  du couple  $r^+//r$  distant de  $b^+$  de 4 centimorgan. Représentez la carte génétique en considérant cet allèle.

### Exercice 12

Les drosophiles de type sauvage sont notamment  $[b^+,vg^+,r^+]$

A- On croise une drosophile femelle de type- sauvage  $[b^+,vg^+]$  avec un mâle  $[b, vg]$ . Toutes les drosophiles de la  $F_1$ .

1 -Quelles conclusions peut-on-tire de ce croisement ?

On Croise ensuite des drosophiles femelles obtenues en  $F_1$  avec des males  $[b, vg]$ . On obtient les résultats suivants :

\*51 drosophiles  $[b^+,vg^+]$       \*48 drosophiles  $[b,vg]$

\*52 drosophiles  $[b, Vg^+]$       \*49 drosophiles  $[b^+, vg]$ .

2-Comment appelle-t-on ce type de croisement ? Quel renseignement apporte-t-il ?

3- Précisez les génotypes des parents et celui de la  $F_1$ .

Vérifiez par des croisements les résultats obtenus.

B- On croise une drosophile femelle  $[b^+, r]$ avec un male  $[b, r^+]$ , les deux drosophiles étant de race pure, on obtient une première génération ( $F_1$ ) où toutes les drosophiles sont  $[b^+]$  mais tous les males sont  $[r]$  et toutes les femelles sont  $[r^+]$

1- Interprétez ces résultats et écrivez les génotypes des individus croisés et ceux de la ( $F_1$ ).

2-Réalisez le croisement entre les individus de ( $F_1$ ) puis donnez le bilan phénotypique.

### Exercice 13

Le croisement de deux plantes de phénotypes différents, donne une première génération  $F_1$  entièrement homogène.

1- Que pouvez-vous en déduire ?

Le croisement des plantes de  $F_1$ , donne une descendance  $F_2$  composée de :

80 plantes à grains lisses et blancs ; 160 plantes à grains lisses et gris ; 80 plantes à grains ridés et gris.

2- En exploitant les résultats du deuxième croisement :

a- précisez si les deux gènes sont indépendants ou liés ?

b- déduisez les allèles dominants pour chaque caractère ?

3- indiquez les génotypes des parents, de la génération  $F_1$  et ceux de la  $F_2$ .

4- Dans d'autres cas on peut constater en  $F_2$  les résultats suivants : 02 plantes à grains ridés et blancs; 79 plantes à grains lisses et blancs ; 161 plantes à grains lisses et gris et 78 plantes à grains ridés et gris.

a- Expliquez l'apparition des plantes à grains ridés et blancs. Justifiez.

b- Sachant qu'il existe un autre gène ( $t^+//t$ ) qui détermine la taille des grains, distant du gène ( $c^+ //c$ ) de 6 centimorgan. Déduisez la disposition relative des 3 gènes étudiés.

NB : Utilisez les symboles : couleur des grains ( $c^+//c$ ), forme des grains ( $f^+//f$ ).

### Exercice 14

On s'intéresse chez la drosophile, au comportement de deux gènes  $G_1$  et  $G_2$  contrôlant deux caractères héréditaires.

- $G_1$  dont les allèles ( $vg^+, vg$ ).
- $G_2$  dont les allèles ( $b^+, b$ )

Une drosophile femelle de phénotype [ $vg^+ b^+$ ], produit un ovocyte II représenté par le document (seul le chromosome qui porte les gènes étudiés est considéré)

- 1 - Précisez la quantité d'ADN et la garniture chromosomique de cet ovocyte.
- 2- Quels sont les différents types des gamètes produits par cette femelle et dans quelles proportions?
- 3- On réalise le croisement de cette femelle avec un mâle de même génotype. La descendance issue de ce croisement montre entre autres 4.5% d'individus de phénotype [ $vg b^+$ ].
  - a- Déduisez le génotype du mâle.
  - b- Quels sont les différents types des gamètes produits par ce mâle et dans quelles proportions ?
- 4- Expliquez les résultats en dressant l'échiquier de croisement.
- 5- Quels sont les effectifs des différents phénotypes sur 200 drosophiles issues de ce croisement ?
- 6- Précisez la localisation relative des deux gènes.

### Exercice 15

On croise deux lignées de maïs, l'une à graines colorées et ridées et l'autre à graines incolores et basses. Les individus de la  $F_1$  obtenus à partir de ce croisement sont croisés avec une race pure à graines incolores et ridées, on obtient une 2ème génération comportant :

- 45 % de plantes à graines colorées et ridées ;
- 5% de plantes à graines colorées et lisses ;
- 5% de plantes à graines incolores et ridées ;
- 45% de plantes à graines incolores et lisses.

1-Analysez les résultats des deux croisements en vue de préciser :

- a- la relation de dominance entre les allèles des chaque couple.
- b- la localisation chromosomique de deux gènes.

2- Ecrivez les génotypes des parents croisés et des individus de la  $F_1$ .

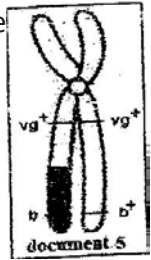
3- Représentez le comportement des chromosomes qui explique l'obtention des gamètes qui sont à l'origine des plantes à graines colorées et lisses d'une part, et les plantes à graines incolores et ridées d'autre part.

4- Le croisement de deux plantes de maïs de la deuxième génération a engendré une descendance qui comporte : 25 % de plantes à graines colorées et ridées ; 25 % de plantes à graines colorées et lisses ; 25 % de plantes à graines incolores et lisses et 25 % de plantes à graines incolores et ridées. Expliquez le résultat de ce croisement.

On note : Couleur des graines (R ou r) Forme des graines (L ou l)

### Exercice 16

On réalise les 3 croisements suivants, sachant que les parents :  $P_1$ ,  $P_3$  et  $P_5$  sont de phénotype  $[n_2b_2]$  et les parents :  $P_2$ ,  $P_4$  et  $P_6$  sont de phénotype  $[n_2b_2]$ .



1 - A partir de l'analyse des croisements 1 et 2 et en justifiant votre réponse

- a- précisez le type de dominance,
- b- écrivez les génotypes possibles des parents :  $P_1$  et  $P_3$ .

2- Exploitez ces croisements afin de préciser :

- a- les génotypes des parents :  $P_5$  et  $P_6$ .
- b- la position relative des gènes sur les chromosomes.

3- Expliquez schéma à l'appui, l'obtention des phénotypes  $[n_1b_2]$  et  $[n_2b_2]$  du troisième croisement. (Se limiter à la prophase 1, anaphase I et anaphase II).

4- On considère un troisième couple ( $e_1$ ,  $e_2$ ). Sachant que  $e_1$  domine  $e_2$  et que la distance entre ( $n_1$ ,  $n_2$ ) et ( $e_1$ ,  $e_2$ ) est de 8 centimorgan,

- a- discutez la position relative des trois gènes.
- b- proposez une expérience pour préciser cette position, en donnant les proportions phénotypiques.

### Exercice 17

On croise deux races pures de drosophiles, l'une au corps noir et aux antennes courtes, l'autre au corps blanc et aux antennes longues. Le croisement des hybrides de  $F_1$  donne une génération  $F_2$  composée de 4 phénotypes X, Y, Z et W.

Ces 4 phénotypes sont repartis comme suit :

X = 25

Y = 224

Z = W = 3X

On précise que les drosophiles X sont au corps noir et aux antennes courtes.

A partir de ces informations et de vos connaissances, répondez aux questions suivantes.

- 1 - Calculez les proportions relatives des phénotypes X et Y.
- 2 - Trouvez l'effectif de chacun des drosophiles Z et W.
- 3 - Quelles informations tirez-vous des résultats de ces croisements ?
- 4 - On croise les individus de phénotype X avec les hybrides de  $F_1$ .
  - a- Comment appelle-t-on ce type de croisement ?
  - b- Retrouvez les résultats obtenus à partir d'un échiquier de croisement.

## GENETIQUE HUMAINE

### QCM : Choisir la (ou les) bonne(s) réponse(s)

1- La trisomie 21 est :

- a- surtout d'origine paternelle.
- b- due essentiellement à une division équationnelle anormale.
- c- due essentiellement à une division réductionnelle anormale.
- d- surtout d'origine maternelle.

2- Une maladie autosomique dominante :

- a- ne s'exprime que chez les sujets portant l'allèle responsable à l'état homozygote.
- b- se manifeste chez le père ou la mère d'un sujet atteint.
- c- affecte l'enfant d'un parent malade marié à une personne saine dans la proportion 75%.
- d- n'est jamais liée au sexe.

3- Un homme hémophile se marie avec une femme non conductrice. Ce couple peut donner un enfant hémophile dans la proportion ?

- a- 1.
- b- 1/8.
- c- 1/4.
- d- 0.

4 -Les anomalies chromosomiques sont :

- a- généralement causées par des méioses anormales ;
- b- toujours des trisomies ;
- c- toujours à l'origine de graves maladies ;
- d- toujours transmises à la descendance.

5- Parmi les formules chromosomiques ci-dessous laquelle (ou lesquelles) correspond (ent) à un fœtus diploïde ?

- a- 46 autosomes + XY.
- b- 47 autosomes + XX.
- c- 44 autosomes + XX.
- d- 44 autosomes + XXY.

6- Dans le cas d'une maladie déterminée par un allèle récessif porté par X :

- a - tout garçon issu d'une mère atteinte est sain.
- b - tout garçon atteint est issu d'une mère atteinte.
- c - toute fille malade provient obligatoirement d'un père sain.
- d - toute fille malade provient obligatoirement d'un père atteint.

7- A propos des maladies congénitales, quelle(s) est (sont) la (les) proposition(s) inexacte(s) ?



- a- Une maladie congénitale est toujours présente à la naissance.
- b- Une maladie congénitale peut se déclarer tardivement.
- c- La cause est exclusivement génétique.
- d- Une maladie congénitale peut être létale avant la naissance.
- 8- Un couple de phénotype normal à deux enfants (un garçon et une fille) atteints de phénylcétonurie. Ce couple a aussi 2 filles et deux garçons normaux. L'allèle morbide est :
- a- dominant.
- b- présent chez l'un des parents.
- c- porté par le chromosome X.
- d- récessif et porté par un autosome.
- 9- Une femme normale porteuse d'une translocation équilibrée (un chromosome 21 soudé au chromosome 13) se marie avec un homme normal. Les enfants de ce couple :
- a- seront systématiquement porteurs de la translocation 21/13.
- b- sont porteurs à 50% d'un chromosome 21/13.
- c- sont porteurs à 75% d'un chromosome 21/13.
- d- peuvent posséder un caryotype normal.
- 10- Parmi les formules chromosomiques ci-dessous, laquelle correspond à un syndrome de Klinefelter:
- a- 47 autosomes + XXY.
- b- 46autosomes + XXY.
- c- 45 autosomes + XXY.
- d- 44autosomes + XXY.
- 11- Lorsque le père est de groupe sanguin A, et la mère de groupe sanguin B,
- a- ils peuvent avoir un enfant de groupe sanguin O.
- b- les enfants seront forcément hétérozygotes.
- c- les enfants peuvent être homozygotes.
- d- si un enfant est du groupe A, son père est homozygote pour le système ABO.
- 12- Lorsque le père est de groupe sanguin Rh+ et la mère de groupe Rh-,
- a- ils peuvent avoir un enfant de groupe sanguin Rh-.
- b- les enfants seront forcément hétérozygotes pour le facteur rhésus.
- c- les enfants peuvent être homozygotes
- d- si un enfant est du groupe Rh-, son père est homozygote pour le système Rh-.
- 13- Hémophilie (cas classique).
- a- Le gène responsable de l'hémophilie est porté par le chromosome Y.
- b- L'hémophilie est un cas d'hérédité lié au sexe.
- c- Un père hémophile aura forcément des fils hémophiles, même si la mère est non porteuse de l'allèle de l'hémophilie.

d- Si le père est hémophile, toutes ses filles seront forcément porteuses saines si la mère est non porteuse.

14- Une maladie autosomique récessive :

a- ne s'observe dans la descendance de parents sains que s'ils sont hétérozygotes l'un ou l'autre ;

b- affecte systématiquement un enfant sur quatre dans une famille ;

c- est beaucoup plus fréquente chez les garçons ;

d- peut être dans certains cas, détecté avant la naissance.

## EXERCICES

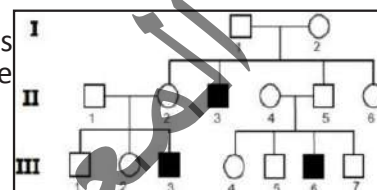
### Exercice 1

I) L'arbre généalogique suivant est celui d'une famille dont certains individus sont atteints d'une maladie génétique. A partir d'une analyse rigoureuse de ce pedigree, discutez, si l'allèle de la maladie est :

1-dominant ou récessif par rapport à l'allèle normal.

2-autosomal ou lié au sexe (X ou Y) ?

II-On donne les électrophorèses d'ADN suivantes E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> et E<sub>3</sub>.



| Type d'ADN | Electrophorèse E <sub>1</sub> |                |                 | Electrophorèse E <sub>2</sub> |                |                 | Electrophorèse E <sub>3</sub> |                |                 |
|------------|-------------------------------|----------------|-----------------|-------------------------------|----------------|-----------------|-------------------------------|----------------|-----------------|
|            | I <sub>1</sub>                | I <sub>2</sub> | II <sub>3</sub> | I <sub>1</sub>                | I <sub>2</sub> | II <sub>3</sub> | I <sub>1</sub>                | I <sub>2</sub> | II <sub>3</sub> |
| ADN 1      |                               |                |                 |                               |                |                 |                               |                |                 |
| ADN 2      |                               |                |                 |                               |                |                 |                               |                |                 |

1- Identifiez, parmi les deux types d'ADN, celui qui correspond à l'allèle normal et celui qui correspond à l'allèle de la maladie.

2-Quelle(s) est (sont) le(s) électrophorèse(s) qui correspond (ent) à l'arbre généalogique ?

3-Si réellement la maladie est létale (mortelle) à l'état homozygote, choisissez la localisation certaine du gène déterminant la maladie en justifiant la réponse.

4- En tenant compte de l'hypothèse retenue, complétez l'électrophorèse suivante.

| ADN   | I <sub>1</sub> | I <sub>2</sub> | II <sub>3</sub> | II <sub>4</sub> | II <sub>6</sub> |
|-------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| ADN 1 |                |                |                 |                 |                 |
| ADN 2 |                |                |                 |                 |                 |

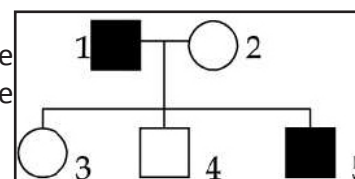
5- On impose à la jeune fille III<sub>4</sub>, ayant épousé son cousin III<sub>3</sub>, un diagnostic prénatal à la première grossesse.

a- Pourquoi impose-t-on ce test pour ce mariage ?

b- Quels sont alors les génotypes possibles de leur futur enfant ?

### Exercice 2

Le document ci-contre représente une partie d'un arbre généalogique d'une famille dont certains de ses membres sont atteints d'une maladie héréditaire.



1-Préciser le déterminisme génétique de cette maladie (localisation chromosomique et dominance).

Envisager et discuter toutes les hypothèses.

2-Par une technique récente de diagnostic génétique, on a pu déterminer le nombre d'allèles mutés

et normaux chez les différents individus de l'arbre généalogique ci-dessus, désignés arbitrairement par les lettres A, B, C, D et E. Les résultats obtenus sont portés par le tableau ci-contre :

|                 | Individus | A | B | C | D | E |
|-----------------|-----------|---|---|---|---|---|
|                 | mutés     | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Nombre d'allèle | Normaux   | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |

a- En analysant ces résultats, laquelle des hypothèses proposées, est confirmée ?

b- Reproduisez puis compléter le tableau ci-contre :

| Individus        | A | B | C | D | E |
|------------------|---|---|---|---|---|
| Génotype         |   |   |   |   |   |
| N° de l'individu |   |   |   |   |   |

### Exercice 3

Le document ci-contre montre le pédigrée d'une famille A. Les individus 2 et 4 sont atteints par une maladie héréditaire.

1- Dans le but de rechercher le mode de transmission de cette anomalie, discutez chacune des hypothèses suivantes :

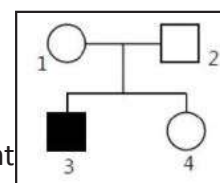
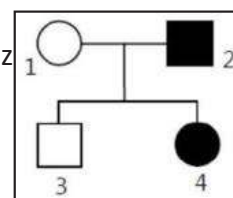
a- Hypothèse 1 : l'allèle de la maladie est récessif porté par X.

b- Hypothèse 2 : l'allèle de la maladie est dominant porté par X.

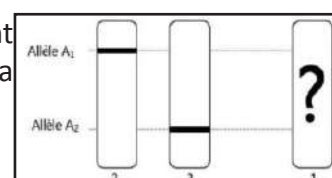
c- Hypothèse 3 : l'allèle de la maladie est dominant porté par un autosome.

d- Hypothèse 4 : l'allèle de la maladie est récessif porté par un autosome.

2- La même maladie a été observée chez l'individu 3 de la famille B du document ci-contre. Quelles hypothèses restent encore valables ?



3- Suite à une demande médicale, les individus 1, 2 et 3 de la famille B ont réalisé l'analyse de leurs ADN. Le résultat de la femme 1 a été perdu. On a récupéré les résultats des individus 2 et 3.



a- Identifiez les deux allèles A<sub>1</sub> et A<sub>2</sub>. Justifiez.

b- A partir des résultats d'analyse d'ADN, précisez le mode de transmission de cette maladie.

c- Ecrivez les génotypes des individus de la famille A.

d- Schématisez le résultat de l'analyse de l'ADN de la femme 1 de la famille B et justifiez-le.

### Exercice 4

Une femme, Marième atteinte d'une Maladie héréditaire, décrit les membres de sa famille :

«... Mon père est normal, mais ma mère et mes deux frères, comme moi, souffrent de la même maladie. Ma sœur, Khadija, était saine contrairement à sa jumelle Aicha, qui est malade. Mon mari est normal alors que mon fils et ma fille sont comme moi. Ma mère a deux frères jumeaux malades. Fatou, la femme de mon premier frère Sidi, est normale, et le couple a une fille, Lalla malade ; je n'oublie pas de vous dire que Fatou est enceinte. Mon deuxième frère Ali, a deux filles saines...»

1- Etablir l'arbre généalogique de la famille de Marième.

2- Discuter le mode de transmission de cette maladie; est-elle gouvernée par :

a- un allèle dominant autosomal ?

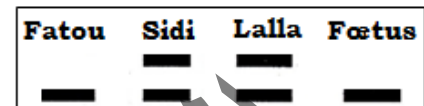
- b- un allèle dominant lié au chromosome X ?
- c- un allèle récessif lié au chromosome X ?
- d- un allèle récessif autosomal ?

3- Marième ajoute dans son texte concernant sa famille : « Comme je vous l'ai dit plus haut, Fatou, la femme de mon premier frère est enceinte et le couple craignant d'avoir un enfant malade, a eu recours au diagnostic prénatal. J'étais allée moi-même chercher les résultats de cette étude médicale ».

3-1- Définir le diagnostic prénatal.

3-2- Citer les techniques utilisées dans le diagnostic prénatal.

4- Le document ci-contre rend compte des résultats de ce diagnostic.



4-1- Etudier le document pour préciser le mode de transmission de cette maladie.

4-2- Que dire du phénotype et du génotype de la femme d'Ali ?

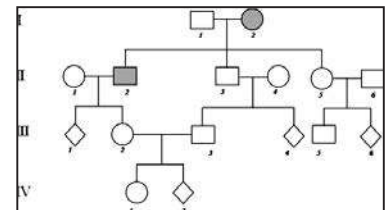
4-3- Comment expliquer que Khadija n'était pas malade comme sa sœur jumelle Aïcha.

### Exercice 5

La généalogie suivante est celle d'une famille où sévit une maladie héréditaire

1-Exploitez les données du document 1 pour discuter chacune des hypothèses suivantes : L'allèle de la maladie est :

- H1 récessif porté par un autosome.
- H2-dominant porté par un autosome.
- H3-récessif porté par X.
- H4-dominant porté par X.



2- L'analyse de l'ADN précise que les individus II4 et III5 sont homozygotes,

Pour plus de précision, On a remarqué que certains fragments d'ADN, de séquences proches du gène en question, peuvent s'associer avec la sonde moléculaire et par conséquent peuvent être repérés par autoradiographie. Le tableau ci-contre donne les résultats obtenus.

|                | I <sub>2</sub> | III <sub>5</sub> |
|----------------|----------------|------------------|
| A <sub>1</sub> | +              | +                |
| A <sub>2</sub> | -              | +                |
| A <sub>3</sub> | +              | +                |
| A <sub>4</sub> | +              | +                |
| A <sub>5</sub> | +              | -                |

a - Que pouvez-vous en déduire ?

b- Repérez, parmi les fragments, ceux qui correspondent à l'allèle normal et à l'allèle muté.

c- Qu'apporte ce document ?

d- Ecrire les génotypes des individus I<sub>1</sub>-II<sub>1</sub>-II<sub>2</sub>.

### Exercice 6

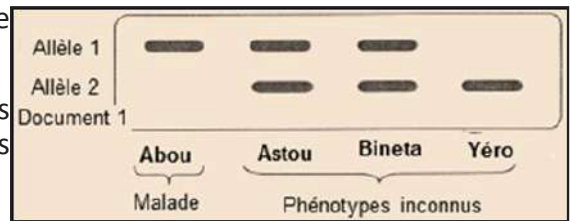
Un homme (a) souffrant d'une maladie, se marie avec une femme normale. Toutes les filles sont malades, les garçons sont normaux, les fils de l'homme (a) se marient à des femmes normales, alors tous leurs enfants sont normaux. Les filles de l'homme (a) se marient à des hommes normaux alors 50% de leurs enfants sont malades. Expliquez ces faits.

### Exercice 7

Pour comprendre le déterminisme génétique d'une maladie héréditaire affectant un membre d'une famille et due à une enzyme anormale, on peut se référer à plusieurs informations issues de diverses techniques d'observation. Le couple Abdou et Astou ont deux enfants, Bineta et Yéro. Le document 1 représente le résultat d'électrophorèse de l'ADN d'un gène aux allèles (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>) contrôlant la synthèse de cette enzyme.

L'électrophorèse a été réalisée sur quatre membres de la même famille.

1) En prenant en compte les informations présentées par le document 1, discutez chacune des hypothèses suivantes :



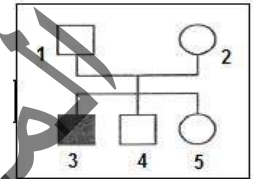
Hypothèse 1 : l'allèle responsable de la maladie est récessif et autosomal.

Hypothèse 2 : l'allèle responsable de la maladie est récessif et porté par X.

Hypothèse 3 : l'allèle responsable de la maladie est dominant et autosomal.

Hypothèse 4 : l'allèle responsable de la maladie est dominant et porté par X.

2) Le document 2 représente le pedigree d'une autre famille dont un garçon est atteint par la même maladie que celle du père figurant dans le document 1.



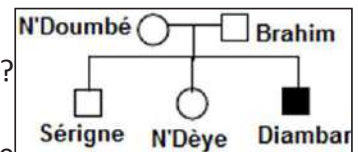
a) Exploitez les données tirées du document 1 et les informations présentées par le document 2 pour préciser les hypothèses à retenir parmi les quatre précédentes,

b) Ecrivez les génotypes des individus du pedigree du document 2.

### Exercice 8

L'arbre généalogique suivant représente une partie de la généalogie d'une famille FALL dont certains membres sont atteints d'une maladie héréditaire rare : L'hémophilie B.

1) L'allèle responsable de cette maladie est-il dominant ou récessif ? Justifiez la réponse.



2) Cette maladie est-elle portée par un autosome ou un chromosome sexuel ?

3) Une technique récente permet de repérer dans l'ADN d'un individu de longues séquences appartenant à un gène donné.

C'est ainsi que l'on a cherché, chez les individus de cette famille, les séquences correspondantes à l'allèle normal du gène et à son allèle muté responsable de l'hémophilie B. Les résultats sont rassemblés dans le tableau suivant :

| Individus   | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| Nombre de séquences d'ADN correspondant à l'allèle normal | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| Nombre de séquences d'ADN correspondant à l'allèle muté   | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |

a) Ce tableau vous permet-il de préciser la réponse à la question n°2 ?

b) Faites correspondre les individus A, B, C, D et E aux individus de la généalogie.

c) Ecrivez les génotypes de tous les individus de cette généalogie.

## J'approfondis mes connaissances :

### Document : Méthodologie d'analyse dans la génétique Humaine

#### 1<sup>er</sup> cas :

Si les questions de la dominance et de la localisation sont dissociées :

- 1- L'allèle de la maladie est-il dominant ou récessif ?
- 2- Le gène qui contrôle la maladie est-il autosomal ou lié au sexe ?

#### Réponses :

- 1- Indiquez en justifiant la réponse, si l'allèle de la maladie est dominant ou récessif. Indiquer l'allèle normal et l'allèle muté.
- 2- Discutez la localisation du gène qui contrôle cette maladie en émettant trois hypothèses :

**Hypothèse n°1 :** Le gène est lié à Y ;

**Hypothèse n°2 :** Le gène est lié à X ;

**Hypothèse n°3 :** Le gène est autosomal.

#### Exemple :

1- L'allèle de la maladie est récessif puisque le sujet II<sub>2</sub> est atteint issu d'un couple sain I<sub>1</sub> et I<sub>2</sub>. L'allèle muté existe chez les parents mais à l'état caché. Soit le gène (M, m) qui contrôle cette maladie tel que : **M** : Allèle dominant normal,

**m** : Allèle récessif muté avec **M > m**.

2- Hypothèse n°1 : Le gène est lié à Y :

Si le gène est lié à Y, toutes les filles doivent être saines puisqu'elles ne possèdent pas le chromosome Y or la fille II<sub>2</sub> est atteinte donc cette hypothèse est infirmée.

Hypothèse n°2 : Le gène est lié à X :

Si le gène est lié à X, toutes les filles issues d'un père sain doivent être saines puisqu'elles héritent l'allèle dominant normal de leur père or la fille II<sub>2</sub> est atteinte issue d'un père sain donc cette hypothèse est infirmée.

**Conclusion :** Le gène qui contrôle cette maladie ne peut pas être lié au sexe (ni à X ni à Y) ; donc il s'agit d'un gène **autosomal** : Il s'agit d'un gène **récessif autosomal**.

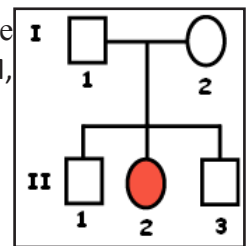
#### 2<sup>ème</sup> Cas :

Si les questions de la dominance et de la localisation sont associées,

1- Discutez la dominance et la localisation du gène qui contrôle cette maladie.

**Réponses :** Discuter en même temps la dominance et la localisation du gène en émettant 5 hypothèses :

- Hypothèse n°1 : Le gène est lié à Y ;
- Hypothèse n°2 : Le gène est récessif lié à X ;
- Hypothèse n°3 : Le gène est dominant lié à X ;





-- Hypothèse n°4 : Le Gène est récessif autosomal ;

-- Hypothèse n°5 : Le gène est dominant autosomal.

### Exemple :

Hypothèse n°1 : Le gène est lié à Y :

Si le gène est lié à Y, tous les garçons issus d'un père atteint doivent être atteints ; or II<sub>1</sub> est un garçon sain issu d'un père atteint. Donc cette hypothèse est infirmée.

Hypothèse n°2 : Le gène est récessif lié à X :

Si le gène est récessif lié à X, La fille atteinte II<sub>2</sub> doit être homozygote et elle doit hériter un allèle récessif muté de son père malade I<sub>1</sub> et un allèle récessif muté de sa mère saine I<sub>2</sub> qui doit être hétérozygote ce qui est possible, Donc cette hypothèse est retenue.

Hypothèse n°3 : Le gène est dominant lié à X :

Si le gène est dominant lié à X, tous les garçons issus d'une mère saine doivent être sains ce qui est vérifié. La fille atteinte II<sub>2</sub> doit être hétérozygote puisqu'elle doit hériter un allèle muté dominant de son père atteint I<sub>1</sub> et un allèle récessif normal de sa mère saine et homozygote I<sub>2</sub> ce qui est possible ; donc cette hypothèse est retenue.

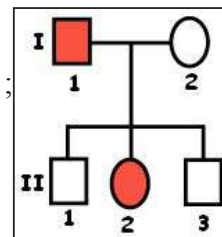
Hypothèse n°4 : Le gène est récessif autosomal :

Si le gène est récessif autosomal, les sujet atteints I<sub>1</sub> et II<sub>2</sub> doivent être des homozygotes, I<sub>2</sub> saine doit être hétérozygote pour transmettre l'allèle muté récessif à sa fille malade. II<sub>1</sub> et II<sub>3</sub> sains doivent hériter l'allèle récessif muté de leur père atteint et l'allèle dominant normal de leur mère ce qui est possible ; donc cette hypothèse est retenue.

Hypothèse n°5 : Le gène est dominant autosomal :

Si le gène est dominant autosomal, I<sub>1</sub>, II<sub>2</sub> et II<sub>3</sub> doivent être des homozygotes. II<sub>2</sub> atteinte doit hériter l'allèle dominant muté de son père malade hétérozygote et un allèle récessif normal de sa mère I<sub>2</sub> ce qui est possible. Donc cette hypothèse est retenue.

Pour lever l'ambiguïté, on fait recours à d'autres techniques comme l'électrophorèse, les orientations



### J'utilise mes connaissances:

### Projet de classe:

A la fin du chapitre 3, les élèves en sous-groupes fabriquent un prototype de ce qui suit :

Groupe 1 : Chromosomes - Groupe 2 : L'ADN - Groupe 3 : L'ARN.

- Observer le milieu et se documenter ;
- Dessiner la maquette ou le schéma et fabriquer le prototype ;
- Ecrire un texte pour expliquer la réalisation et le présenter aux autres élèves.

Le groupe 4 élabore une fiche métier sur le métier du généticien.

Le groupe 5 élabore une fiche métier sur le métier de la police scientifique.

Le groupe 6 démontre l'interdisciplinarité du sujet en relation avec la Chimie (Composition chimique des acides nucléiques, acides aminés, des chromosomes etc.) et les Mathématiques (Suite, somme des cellules obtenues après une série de division etc.).

# CHAPITRE III : LA PHYSIOLOGIE NERVEUSE

# المحطة التدريبية الوطنية

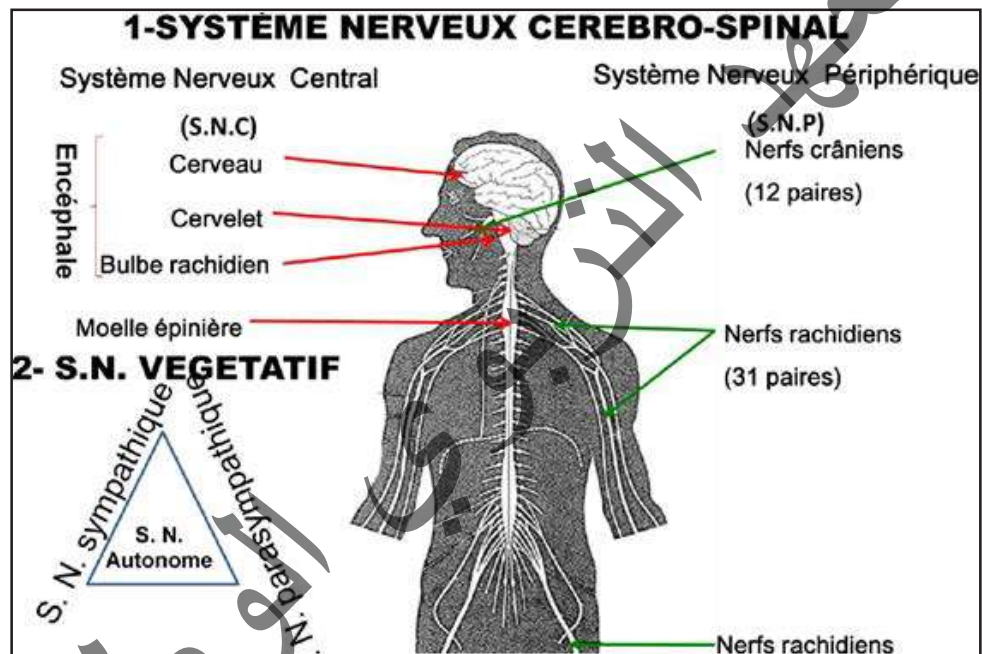
## Je découvre :

## I- Organisation du système nerveux

## Activité 1 :

Quelle est l'organisation de notre système nerveux ?

Le document ci-dessous résume le plan général d'organisation de notre système nerveux.



Observer la figure et décrire l'organisation générale du système nerveux.

Sur le plan physiologique, on distingue :

- pour les relations avec le monde extérieur grâce à des organes sensoriels comme les yeux : on parle alors de **système somatique**, ou **cérébro-spinal** : contrôle la vie de relation.
- pour le contrôle du milieu interne, involontairement : on parle alors de **système autonome**, ou **végétatif**. Il est lui-même souvent découpé en 2 sous systèmes contrôlant la vie de nutrition : **orthosympathique** d'une part, qui va accélère la fréquence cardiaque, dilate la pupille etc.... et **parasympathique** d'autre part, qui va ralentir la fréquence cardiaque, rétrécir la pupille etc.).

Le système nerveux périphérique a pour mission :

- d'apporter les informations au système nerveux central, via des cellules sensorielles ou «voie afférente» sensible à la pression, à la température, à la douleur ou à l'étirement (pour les muscles) ;
- de transmettre les ordres donnés par le système central aux organes chargés de les exécuter, via des cellules effectrices, où «voie efférente».

Ainsi constitué, le névraxe bénéficie d'une triple protection.

Une première protection, mécanique, est assurée par les os du crâne pour l'encéphale et par ceux du rachis (vertèbres) pour la moelle épinière.

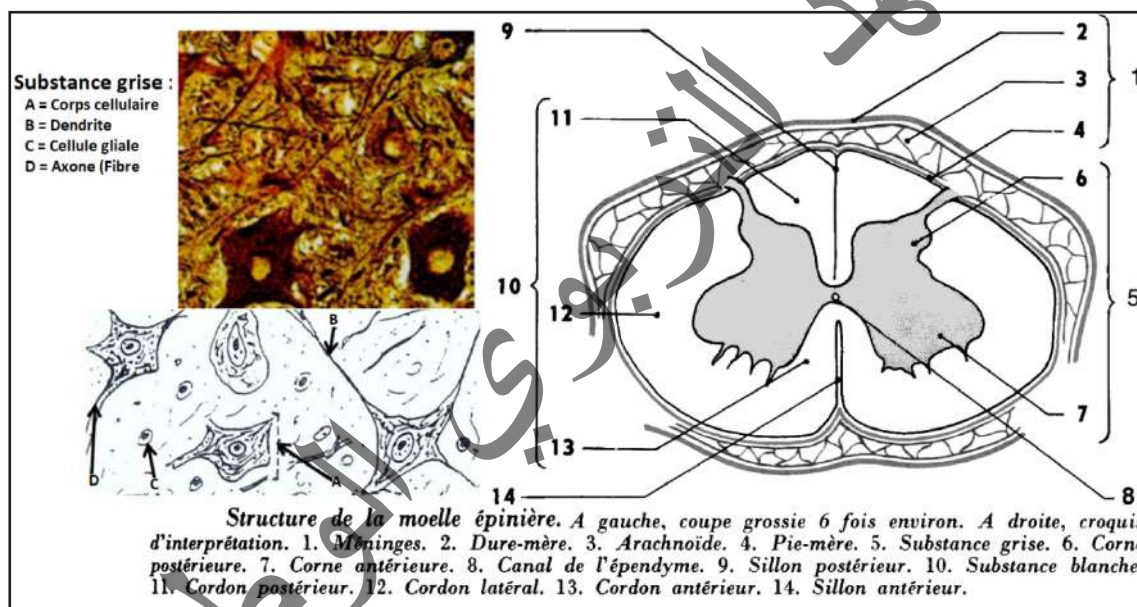
Une seconde protection est représentée par les méninges qui forment trois enveloppes conjonctives entre l'os et le tissu nerveux :

- la dure-mère, épaisse et résistante, qui tapisse l'ensemble des cavités osseuses ;
- la pie-mère, mince et nourricière, qui emballe le tissu nerveux en s'invaginant à chaque repli ;
- l'arachnoïde, située entre les deux précédentes, et qui forme l'espace sous-arachnoïdien où circule le liquide céphalo-rachidien (LCR).

Enfin, une dernière protection est assurée par le liquide céphalo-rachidien lui-même, qui circule entre la pie-mère et l'arachnoïde et qui joue le rôle de coussinet hydraulique permettant d'amortir les chocs éventuels.

## Activité 2 :

Etude d'un centre nerveux.



Observer le document et dégager la structure de la moelle épinière.

Chez l'Homme, c'est une tige cylindrique de 45 cm de long et 1 cm de large, en moyenne ; elle présente un renflement cervical (au niveau du cou) et un renflement lombaire (au niveau des reins) dans les régions qui donnent naissance aux nerfs destinés aux membres supérieurs et inférieurs. La face antérieure est parcourue par une fissure médiane : le sillon antérieur. La face postérieure présente un sillon postérieur profond. De chaque côté émergent 31 nerfs rachidiens. Des coupes transversales permettent de retrouver la structure tubulaire observée dans l'encéphale.

- Le canal de l'épendyme traverse la moelle épinière et contient du liquide céphalo-rachidien.
- Il est entouré par une substance grise qui dessine 4 cornes : 2 cornes antérieures larges et 2 cornes postérieures effilées.
- La substance blanche recouvre la substance grise ; elle est divisée par les sillons et les cornes de la substance grise en 3 paires de cordons (antérieurs, latéraux et postérieurs).

La **moelle épinière** fait suite au tronc cérébral et se présente comme un long cordon blanc qui se

termine en pointe au niveau de la deuxième vertèbre lombaire.

L'ensemble présente ainsi une dualité de structure qu'il est possible de différencier par la couleur. La substance grise regroupe l'ensemble des territoires (cortex, noyaux gris, cornes grises) où sont localisés les corps cellulaires des cellules nerveuses. Elle comprend donc des somas neuroniques, leurs prolongements (axones et dendrites) et de nombreuses synapses.

La substance blanche, en revanche, ne renferme aucun corps cellulaire de cellule nerveuse. Elle assure la liaison entre les différentes structures grises et ne présente donc que des fibres nerveuses (principalement des axones) dont une grande partie est recouverte de myéline; ce qui lui donne une couleur blanc nacré. Substance grise et substance blanche renferment par ailleurs de nombreuses cellules gliales et sont irriguées par un réseau de capillaires sanguins. Il faut toutefois noter qu'à l'exception de quelques rares structures qui participent aux régulations neuroendocriniennes (notamment le complexe hypothalamo-hypophysaire), le sang n'entre jamais en contact direct avec les cellules nerveuses et qu'il existe une barrière dite hémato-encéphalique qui sépare les deux milieux. Le tissu nerveux est en revanche baigné d'un liquide extracellulaire en échange permanent avec le liquide céphalo-rachidien (LCR), un liquide nourricier qui résulte en partie de la filtration du plasma et qui circule à l'intérieur et tout autour du névraxe.

### Activité 3 :

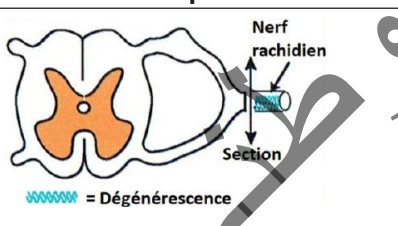
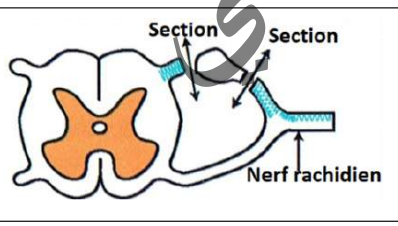
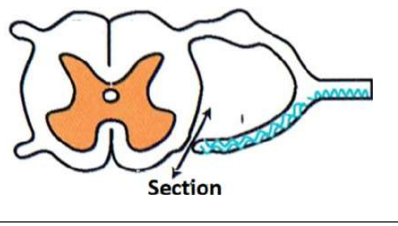
#### Etude de la structure d'une cellule nerveuse.

#### Expérience de Waller : Dégénérescence sur la moelle épinière.

Waller en 1852, réalise sur les racines d'un nerf rachidien de chien les expériences suivantes :

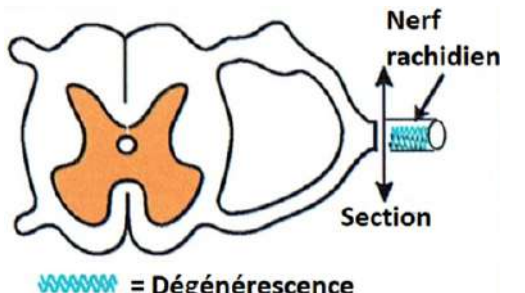
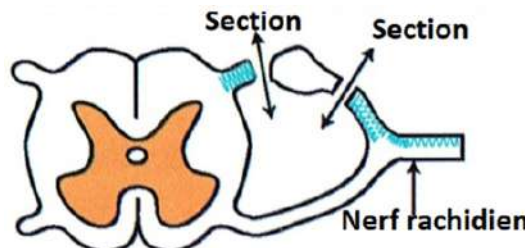
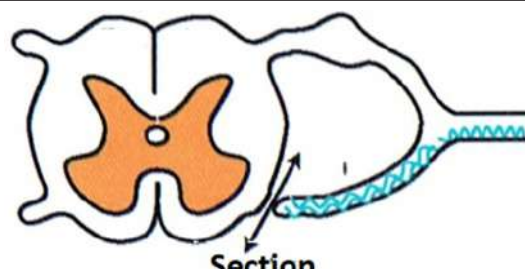
Il pratiquait des sections à différents niveaux sur les deux racines du nerf. Dans chaque cas il observait au bout de quelques jours, la dégénérescence de certains groupes de fibres (les fibres dégénérées perdent leur couleur blanche, ce qui facilite l'observation).

Sur la figure ci-dessous, la couleur bleue indique les zones qui dégénèrent après les différentes sections.

| Expériences  | Résultats  | Conclusions    |
|--|--|----------------|
|  <p>Nerf rachidien<br/>Section<br/>~~~~~ = Dégénérescence</p> | Les fibres nerveuses de la portion du nerf rachidien séparée du centre nerveux dégénèrent.   | .....<br>..... |
|  <p>Section Section<br/>Nerf rachidien</p>                    | Les fibres nerveuses situées de part et d'autre du ganglion spinal ainsi que celles situées dans la partie dorsale du nerf rachidien dégénèrent. | .....<br>..... |
|  <p>Section</p>   | Les fibres nerveuses situées dans la racine antérieure du nerf rachidien ainsi que dans sa partie ventrale dégénèrent.                           | .....<br>..... |

Compléter le tableau afin de dégager la structure d'un neurone.

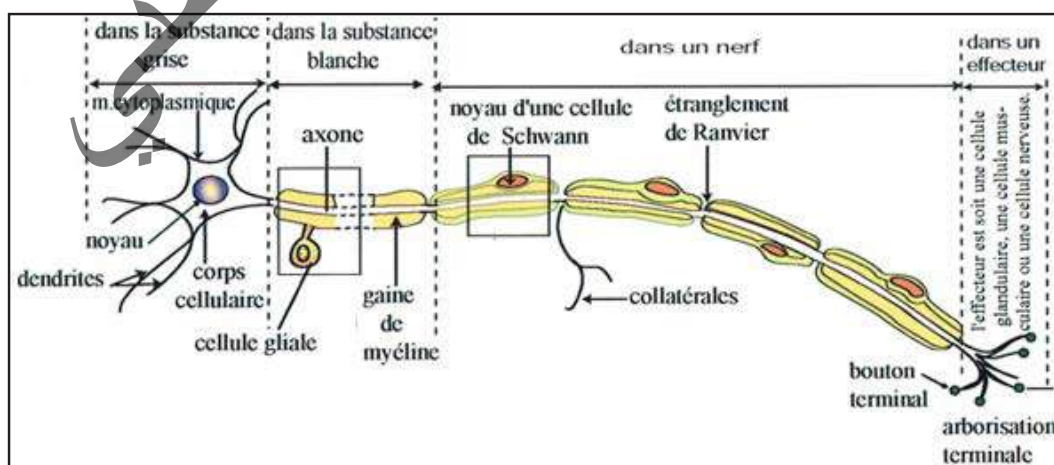


| Expériences  | Résultats   | Conclusions   |
|--|---|---|
|   | Les fibres nerveuses de la portion du nerf rachidien séparée du centre nerveux dégénèrent.                      | - Les fibres nerveuses dégénérées appartiennent à des neurones dont les corps cellulaires sont du côté de la moelle (côté central).                     |
|   | Les fibres nerveuses situées de part et d'autre du ganglion situées dans la partie dorsale du nerf dégénèrent.  | - Les fibres dégénérées appartiennent à des neurones dont les corps cellulaires sont dans le ganglion spinal. Ce sont des supports du message afférent. |
|  | Les fibres nerveuses situées dans la racine antérieure du nerf rachidien et dans sa partie ventrale dégénèrent. | - Les fibres dégénérées appartiennent à des neurones dont les corps cellulaires sont dans la substance grise. Ce sont des supports du message efférent. |

Après quelques temps, le bout périphérique de chaque axone se fragmente, la myéline qui l'entourait forme des amas : la fibre **dégénère**. Depuis, on appelle ce phénomène la **dégénérescence wallérienne**. De l'autre côté de la section, le bout central reste intact et même a tendance à repousser.

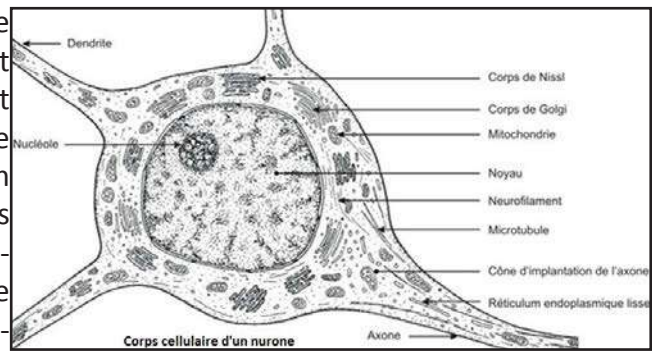
On peut voir là une ressemblance avec l'expérience de mérotomie. Le côté qui ne dégénère pas est celui qui possède le noyau.

D'après cette expérience, on peut penser que les fibres cytoplasmiques sont de longs prolongements issus de corps cellulaires situés dans la substance grise. Le tissu nerveux est constitué de cellules appelées **neurones**. On peut schématiser un neurone de la manière suivante (on ne tiendra pas compte des cellules de Schwann) :



La cellule nerveuse ou neurone est constituée de l'ensemble : corps cellulaire (ou soma ou péricaryon), axone (ou cylindraxe) et arborisation terminale.

Le corps cellulaire est caractérisé par une forme très variable et une structure relativement constante. On y reconnaît un noyau faiblement colorable à nucléole bien visible, et un cytoplasme où, suivant le mode de coloration employé, on peut mettre en évidence des mitochondries, des corps de Nissl, un réseau de Golgi ou des neurofibrilles. Le microscope électronique montre que les corps de Nissl sont formés de sacs ergastoplasmiques entassés.

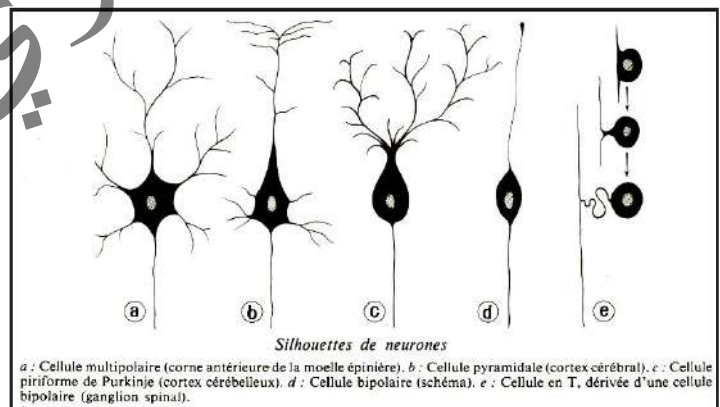


Les prolongements sont de deux sortes : l'un d'eux, appelé axone ou cylindraxe, est régulier et homogène ; les autres, appelés dendrites, renferment des corps de Nissl plus ou moins étirés. Ces prolongements, ou fibres, sont bien visibles sur une préparation de tissu dilacéré.

En dehors des corps de neurones, on reconnaît, dans la substance grise, des fibres nues, des noyaux appartenant aux cellules de la névroglie (cellules à rôle mécanique et nourricier) et des capillaires sanguins. Dans la substance blanche voisine, chaque fibre est entourée d'une gaine de myéline. La fibre est nue dans la substance grise. Elle est entourée d'une suite de manchons de myéline dans la substance blanche. Dans les nerfs cérébro-spinaux, la gaine de Schwann entoure le tout. Dans les nerfs sympathiques, la myéline fait défaut (teinte grisâtre) et la gaine de Schwann recouvre directement la fibre. Le microscope électronique montre que chaque manchon de myéline est formé par une cellule dont la membrane s'est enroulée sur elle-même suivant une spirale à tours jointifs. Il permet de comprendre la structure de la gaine de Schwann au niveau des étranglements de Ranvier : la gaine y est mince et grillagée, délimitant de petites aires où la fibre, entièrement nue, laisse parfois échapper de fines ramifications, ou collatérales.

Les neurones peuvent avoir des aspects variés. Citons simplement :

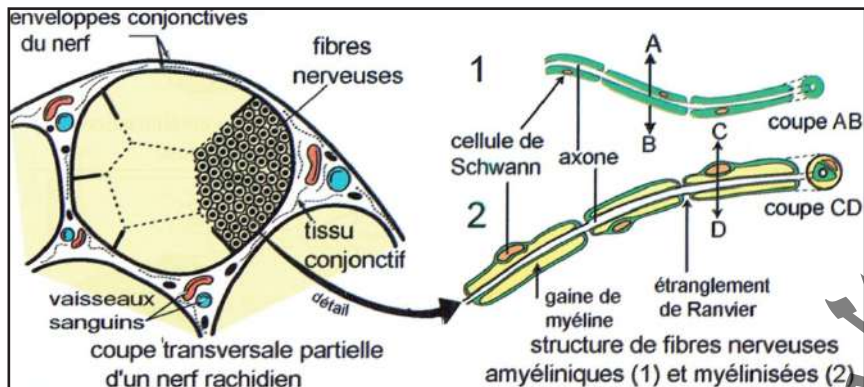
- les **neurones multipolaires** de la corne antérieure de la substance grise;
- les **neurones pyramidaux** du cortex cérébral ;
- les **neurones bipolaires**, ne possèdent qu'une seule dendrite, ramifiée à son extrémité (rétine) ;
- les **neurones unipolaires**, appelés encore neurones en T. On les rencontre dans les ganglions rachidiens situés à l'intérieur du canal rachidien. L'axone et la dendrite unique sont réunis au départ du corps cellulaire sur une courte distance et se séparent ensuite.



## Activité 4 :

### Etude de la structure d'un nerf.

Les figures ci-dessous représentent des coupes dans un nerf.



### A partir du schéma, dégager la structure du nerf.

Une coupe transversale montre que les nerfs présentent la même structure. A l'intérieur, les fibres nerveuses, avec ou sans myéline, entourées de leurs cellules de Schwann, y sont groupées en faisceaux entourés d'une gaine conjonctive (le périnèvre) et cloisonnés par un tissu conjonctif riche en collagène, l'endonèvre. L'ensemble est entouré par du tissu conjonctif lâche richement vascularisé qui s'épaissit vers l'extérieur et forme l'épinèvre.

Selon leur composition en fibres, on distingue :

- les nerfs sensitifs qui ne renferment que des afférences ;
- les nerfs moteurs qui ne renferment que des efférences ;
- les nerfs mixtes qui contiennent les deux types de fibres en même temps.

## II- Propriétés du tissu nerveux

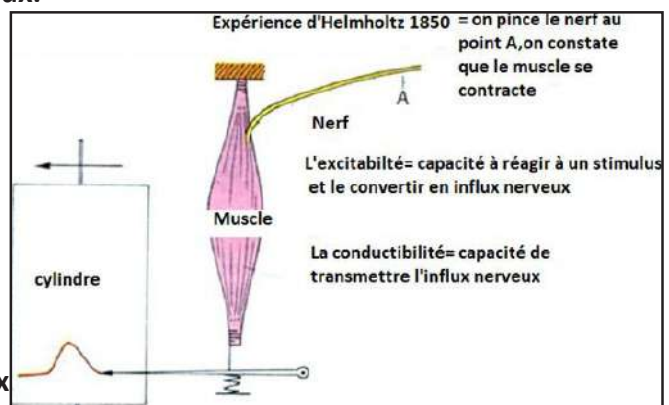
### A- Mise en évidence

## Activité 5 :

### Mise en évidence des propriétés du tissu nerveux.

Pour étudier les propriétés du nerf, il est indispensable de le soustraire à l'action des centres nerveux. Sur une patte postérieure de Grenouille, on isole le muscle du mollet (muscle gastrocnémien) en conservant le nerf sciatique qui y arrive. C'est ce qu'on appelle une préparation nerf-muscle. Si on pince légèrement le nerf, le muscle se contracte.

### Analyser cette expérience pour dégager les deux propriétés du tissu nerveux.



- Le pincement (excitation mécanique) a engendré une réaction du nerf appelée influx nerveux : Le nerf est **excitable**.
- L'influx nerveux s'est propagé tout le long du nerf jusqu'au muscle qui se contracte : Le nerf est **conducteur**.

Cette simple observation nous montre les deux propriétés essentielles du nerf, donc de la fibre nerveuse : **excitabilité** et **conductibilité**. Le muscle a reçu un message sous forme d'un influx nerveux.

## B- Excitabilité

### Activité 6 :

**Dans quelles conditions obtient-on un potentiel d'action ?**

Pour exciter un nerf ou une fibre, on applique une certaine tension, celle-ci s'exprime en mV.

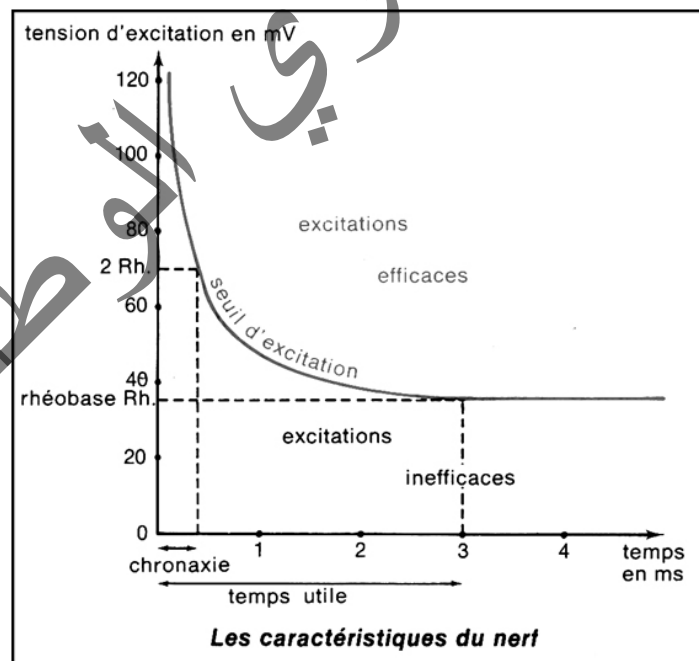
Plus couramment, on utilise le terme d'intensité (ce terme sous-entend une intensité de stimulation et non une intensité électrique qui serait mesurée en mA).

■ Si l'intensité d'excitation est suffisante, on obtient une réponse du nerf qui se traduit par une courbe sur l'écran : le potentiel d'action. Celui-ci est précédé d'une déviation du spot due au stimulus électrique lui-même et synchrone de ce stimulus : c'est l'artefact de stimulation. Le potentiel d'action est considéré comme la traduction électrique de l'état d'excitation du nerf donc comme un aspect de l'influx nerveux

■ Le temps de stimulation étant fixe et assez long, on fait varier la tension. En partant de 0, on n'a aucune réponse au début ; on augmente très progressivement la tension, pour une certaine valeur de celle-ci, on a enfin une réponse.

■ L'intensité étant fixe mais supérieure à la rhéobase, on fait varier la durée (temps de stimulation) en commençant par le temps le plus court. Au début, bien que la rhéobase soit dépassée, on n'a pas de réaction. La valeur limite pour laquelle on obtient un potentiel d'action est soigneusement notée.

■ On recommence la même expérience en prenant à chaque fois une intensité un peu plus grande et on note tous les résultats. La courbe ci-contre représente une limite : **c'est le seuil d'excitation**.



**Analyser ces résultats afin de dégager les conditions nécessaires à une stimulation efficace.**

L'excitation d'un nerf peut être obtenue par un procédé mécanique (piqûre, pincement), thermique (contact d'un corps chaud ou froid), chimique (action d'un acide) ou électrique (courant continu, courant induit, décharge d'un condensateur). L'excitant électrique est l'excitant expérimental de choix car :



- Il peut être dosé avec précision, tant du point de vue intensité que du point de vue durée ;
- Appliqué rationnellement, il n'altère pas les tissus, permettant ainsi des expériences prolongées ;
- Son action diffère peu de celle de l'excitant physiologique normal (= influx nerveux), lequel, nous le verrons, est de nature électrique.

\* **Conditions dépendant de l'excitant** : Pour qu'une stimulation soit efficace, il faut que l'excitant utilisé présente certaines caractéristiques :

\*Une intensité minimale : on l'appelle encore intensité liminaire, ou intensité seuil, ou rhéobase. Une intensité inférieure à cette valeur est qualifiée d'infraliminaire, une intensité supérieure est dite supraliminaire. Selon la nature des excitants, cette intensité est donnée dans des unités différentes.

\*Une durée d'action minimale : c'est le «temps utile» pour une intensité donnée. Si l'excitant, d'intensité liminaire ou supraliminaire, est envoyé sur la cellule pendant une durée inférieure à cette valeur, la stimulation n'est plus efficace. Cette durée est très souvent de l'ordre de la milliseconde.

\*Une variation brutale d'intensité : pour un grand nombre de cellules, un excitant ayant l'intensité et la durée d'action nécessaires ne provoquera une stimulation efficace que s'il intervient brusquement. C'est cette variation brutale du milieu extérieur qui excite la cellule ; si l'intensité minimale est installée progressivement, par exemple, il n'y aura pas de stimulation efficace.

\*Une valeur du couple de facteurs intensité-temps : un excitant d'intensité  $I = Rh$  (rhéobase), agissant pendant une durée inférieure au temps utile rhéobasique, ne provoque pas une stimulation efficace ; cependant, en conservant cette durée d'action, on peut provoquer à nouveau une stimulation efficace en augmentant la valeur de l'intensité. On peut ainsi, expérimentalement, rechercher tous les couples ( $I$  et  $T$ ) donnant une stimulation efficace et tracer une courbe limitant deux zones : la zone des stimulations efficaces et celle des stimulations inefficaces. On privilégie parfois un de ces couples. C'est celui où  $I = 2 Rh$  et le temps utile correspondant qu'on appelle chronaxie (voir courbe de Lapicque).

Tous les points situés dans la concavité de la courbe (zone des excitations efficaces) définis par leurs coordonnées correspondent à des excitations efficaces ; toutes au-dessus du seuil (donc supraliminaires).

Les points situés à l'extérieur de la courbe (zone des excitations inefficaces) correspondent à des stimuli inefficaces ; ils sont au-dessous du seuil (donc infraliminaires).

\* **Conditions dépendant de la cellule** : Certains éléments rendent la cellule plus ou moins excitable. Citons par exemple :

\*La température : son influence est plus ou moins grande selon les espèces, mais si la température optimale est d'environ  $30^{\circ}\text{C}$ , une température basse ou élevée diminue l'excitabilité de la cellule ;

\*Certaines substances chimiques : les anesthésiques diminuent l'excitabilité alors que les «excitants» l'augmentent ;

\*Le moment de la stimulation par rapport à la stimulation précédente ; après une stimulation efficace, la cellule présente une période d'inexcitabilité totale, ou période réfractaire absolue, suivie d'une période réfractaire relative pendant laquelle la cellule est moins excitable et où il faut augmenter l'intensité ou la durée du couple efficace pour provoquer une nouvelle stimulation efficace.

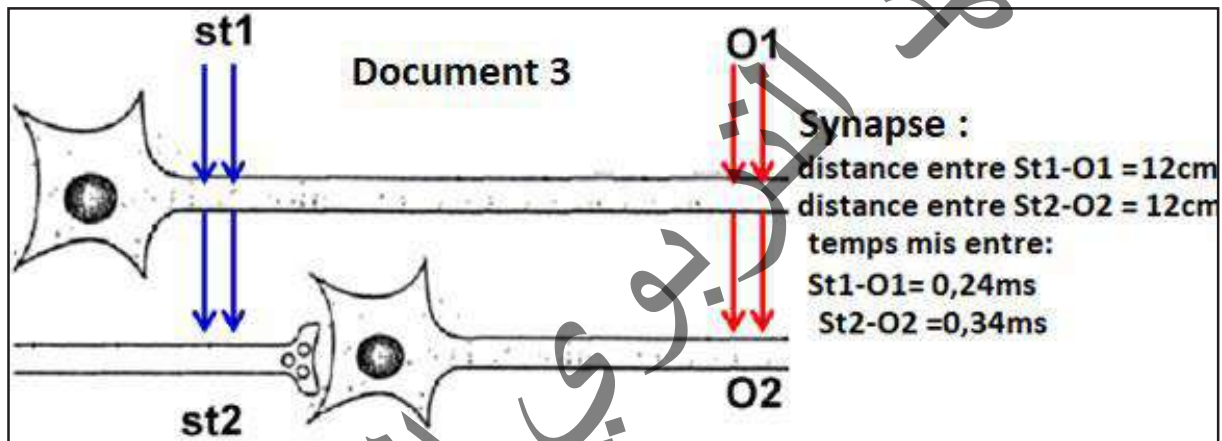
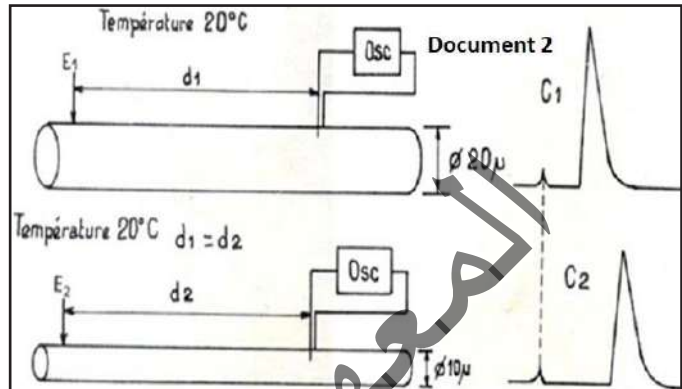
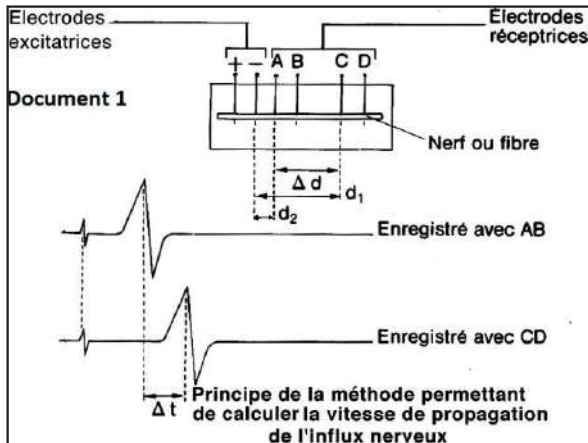
Un stimulus en dessous du seuil est dit infraliminaire et ne provoque pas un potentiel d'action. Un stimulus au-dessus du seuil est dit supraliminaire et provoque un potentiel d'action. Un stimulus égal au seuil est dit liminaire et provoque un potentiel d'action.

## C- Conductibilité

### Activité 7 :

Calcul de la vitesse de l'influx nerveux et étude des facteurs qui agissent sur cette vitesse.

Soient les documents ci-dessous :



Analyser les documents puis déduire.

- Vitesse de l'influx nerveux :

On utilise le dispositif de la figure ci-dessus, on fait deux enregistrements. Dans le premier cas, la distance entre la cathode et la première électrode réceptrice est  $d_1$  ; dans le deuxième cas, l'électrode réceptrice, rapprochée, n'est plus qu'à une distance  $d_2$ . Si l'on superpose les deux tracés des potentiels d'action en faisant coïncider l'artéfact, on constate un décalage dans les potentiels d'action.

Soit  $\Delta t$  le temps qui les sépare ; il est dû au temps mis par l'influx nerveux pour parcourir

$\Delta d = d_1 - d_2$ . La vitesse est alors obtenue :  $V = \Delta d / \Delta t$  (Document 1).

- Facteurs qui agissent sur la vitesse de l'influx nerveux :

\*La température : la vitesse de l'influx nerveux varie suivant la température ambiante : par exemple, dans le nerf sciatique de Grenouille à 18°C, la vitesse est de 30 m/s alors qu'elle est de 80 m/s à 30°C. La vitesse de conduction dans le nerf sciatique de l'Homme (donc à 37°C) est de 30 m/s alors qu'elle est de 80 m/s à 30°C. La vitesse de conduction dans le nerf sciatique de l'Homme (donc à 37°C) est de 90 m/s.

\*Le diamètre : La vitesse est d'autant plus grande que le diamètre de la fibre est plus grand (Document 2).





### III- Influx (message) nerveux

#### A- Dispositif d'enregistrement : Oscilloscope cathodique

##### Activité 9 :

Quel(s) appareil(s) utilise-t-on pour enregistrer l'influx nerveux ?

Le galvanomètre révèle l'existence du potentiel d'action mais il est insuffisant pour l'analyse d'un phénomène aussi bref (0,5 à 1 milliseconde) et d'aussi faible amplitude. Les laboratoires de neurophysiologie utilisent l'oscillographe cathodique qui permet d'amplifier les variations de potentiels et de les enregistrer (voir le dispositif ci-contre).

Observer le dispositif et expliquer son principe de fonctionnement.

Pour étudier les tensions qui varient rapidement au cours du temps, on peut utiliser un oscilloscope cathodique.

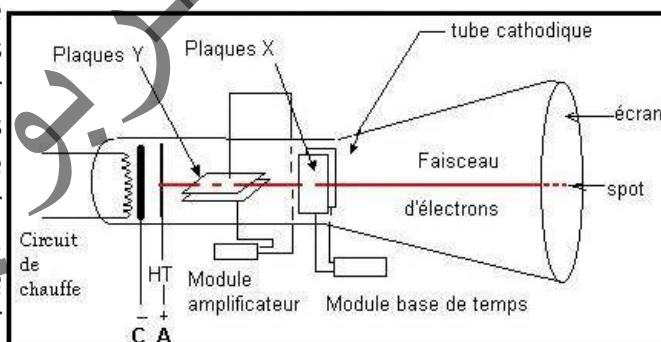
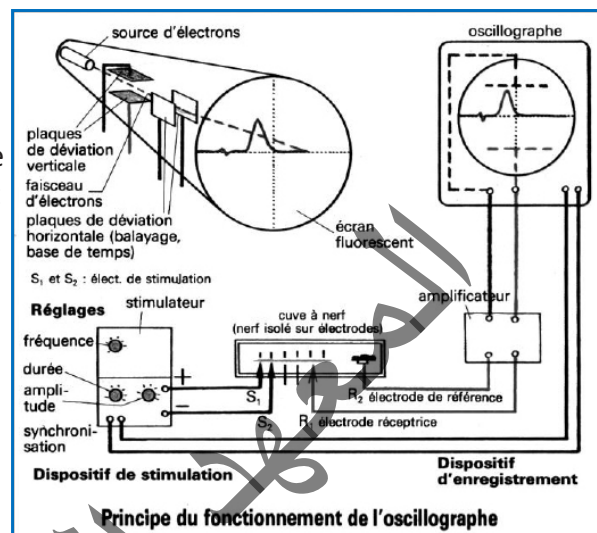
Le tube cathodique d'un oscilloscope (figure ci-contre) est une grosse ampoule de verre, vide d'air, contenant un canon à électrons.

Le canon à électrons est constitué d'une cathode métallique chauffée d'où sont extraits des électrons par l'attraction électrique exercée par une anode. Les électrons émis sont concentrés en un fin faisceau qui sort du canon, traverse le tube à très grande vitesse et vient percuter la partie opposée du tube qui constitue l'écran. Une peinture fluorescente déposée sur le verre émet de la lumière lorsqu'elle est frappée par les électrons. Pour attirer les électrons, la partie interne conductrice de l'écran (couche de graphite...) est reliée à une forte tension positive (plus de 10 000V). Le faisceau de particules provenant de la cathode (électrode négative), le tube a été appelé tube «cathodique», de même, le faisceau d'électrons était appelé autrefois «rayons cathodiques». A l'intérieur du tube de l'oscilloscope, deux plaques métalliques (Y'Y) parallèles et horizontales peuvent être reliées à un générateur externe. La plaque positive attire le faisceau qui est ainsi dévié vers le haut ou le bas. De même, deux plaques parallèles et verticales peuvent dévier le faisceau vers la gauche ou la droite.

Pour étudier les variations d'une tension, on déclenche le balayage. Les plaques de déviation horizontale sont reliées à une base de temps qui provoque le déplacement à vitesse constante du spot de gauche à droite. La durée de balayage est réglable. Elle est indiquée sur le commutateur de réglage (en ms/cm par exemple). La tension à étudier est appliquée à l'entrée Y (plaques de déviation verticale) par l'intermédiaire d'un amplificateur. On peut régler le gain de cet amplificateur en tournant le commutateur de sensibilité verticale (V/cm). Le signal est appliqué à l'entrée verticale Y (entre les plaques Y et Y'). A l'instant du branchement, le spot qui était au centre de l'écran se déplace verticalement vers le haut si la tension est positive, vers le bas si elle est négative.

Sans balayage (bouton XY enfoncé), on observe l'immobilité du spot.

Avec balayage, le spot se déplace sur une droite horizontale tension continue positive.

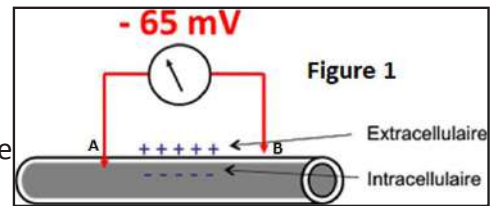


## B- Le potentiel de repos

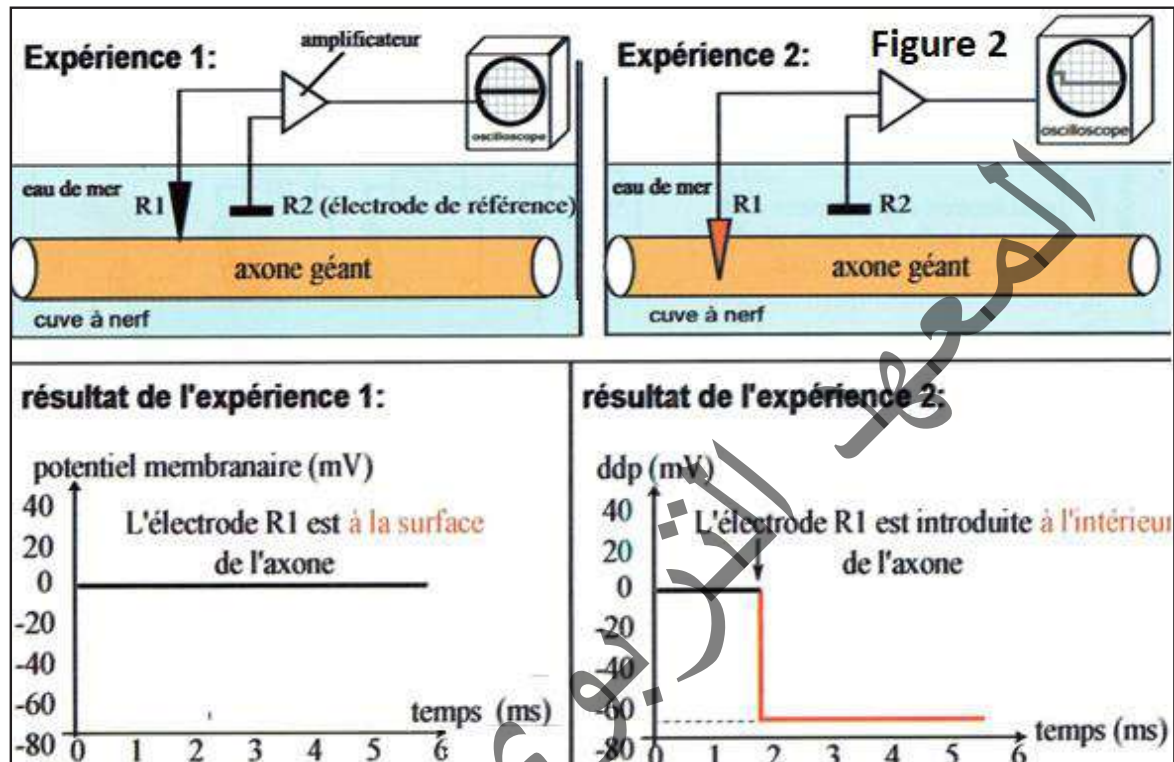
### Activité 10 :

Comment mettre en évidence le potentiel de repos ?

La figure 1 montre l'enregistrement grâce à un galvanomètre du potentiel de repos.



La figure 2 représente l'enregistrement du potentiel de repos à l'aide d'un oscilloscope.



A l'aide des figures ci-dessus, dégager la définition du potentiel de repos et ses conditions d'enregistrement.

On place l'électrode A à l'intérieur et B à l'extérieur et on constate que l'aiguille du galvanomètre dévie vers la gauche indiquant que B est à potentiel positif et A à potentiel négatif (Figure 1) : La fibre nerveuse au repos est polarisée (la face externe de la membrane est plus électropositive que sa face interne).

On enregistre, par convention, les variations de potentiel électrique de l'électrode interne A, par rapport à l'électrode B qui sert de référence (Figure 2).

L'enregistrement de ce potentiel sur un écran d'un oscilloscope montre qu'il existe une différence de potentiel constante et égale à  $-70$  mV environ, ce qui signifie que l'intérieur de l'axone est négatif et l'extérieur positif. Cette différence de potentiel transmembranaire est appelée potentiel de repos de la fibre ou potentiel de membrane (Figure 3). Son maintien nécessite, de la part de la cellule, une dépense d'énergie ; elle disparaît quand la cellule meurt.

Le potentiel membranaire est la différence de potentiel ou de tension mesurée entre la face externe et la face interne de la membrane d'un neurone (ou de toute cellule vivante). Cette différence de potentiel est égale à environ  $-70$  mV.

Le potentiel de repos est le terme utilisé pour désigner le potentiel de membrane de la membrane plasmique d'une cellule excitable lorsqu'elle est au repos : C'est un des états possibles du potentiel de la membrane.

On aurait aussi bien pu inversement enregistrer le potentiel électrique de la surface externe de la fibre par rapport à l'intérieur.

### Activité 11 :

**Comment expliquer l'origine chimique du potentiel de membrane ?**

**Des données expérimentales :**

- Des études pratiquées sur des fibres nerveuses « géantes » de Calmar montrent une répartition ionique très inégale de part et d'autre de la membrane de l'axone comme le montre le tableau ci-contre :

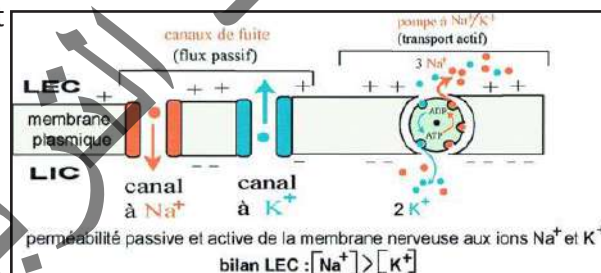
|                               | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Cl <sup>-</sup> |
|-------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Concentration intracellulaire | 49              | 410            | 40              |
| Concentration extracellulaire | 440             | 22             | 560             |

- L'utilisation d'isotopes radioactifs a montré que la membrane de la fibre nerveuse au repos est beaucoup plus perméable aux ions K<sup>+</sup> qu'aux ions Na<sup>+</sup>.

Tous ces résultats ont été confirmés pour les fibres nerveuses d'autres espèces, celles des vertébrés en particulier.

- Le potentiel de repos disparaîtrait progressivement si le canal de fuite agissait seul : on aboutirait, à la longue, à une égalisation des concentrations en Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> de part et d'autre de la membrane.

La «pompe à Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>» assure le maintien de la dissymétrie ionique entre le milieu intra- et extracellulaire (voir figure ci-contre).



**A l'aide des données expérimentales précédentes, donner une interprétation ionique du potentiel de repos.**

Le tableau précédent montre une répartition ionique très inégale de part et d'autre de la membrane: Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> sont très concentrés dans le milieu extracellulaire alors que K<sup>+</sup> est plus concentré dans le milieu intracellulaire (vingt fois plus concentré). Cette différence de potentiel maintenue par un transport actif est à l'origine du potentiel de repos. Les ions K<sup>+</sup> ont tendance à sortir de la cellule, les ions Na<sup>+</sup> ont tendance à pénétrer dans la cellule. Deux catégories de protéines membranaires prennent en charge le passage des ions à travers la bicouche lipidique : ce sont des «canaux» et des «pompes» à ions. Les «canaux de fuite», ouverts en permanence, permettent une diffusion passive des ions K<sup>+</sup> et Na<sup>+</sup> dans le sens décroissant de leur gradient de concentration. Ils sont beaucoup plus perméables aux ions K<sup>+</sup> qu'aux ions Na<sup>+</sup>, ce qui rend l'intérieur de la fibre électronégatif par rapport à l'extérieur. La «pompe à Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>» assure le maintien de la dissymétrie ionique entre le milieu intra- et extracellulaire. En effet, cette pompe est une enzyme protéique (ATPase) capable à la fois d'hydrolyser l'ATP et d'utiliser l'énergie ainsi libérée pour assurer le transfert d'ions Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> contre leur gradient de concentration. Une pompe à Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> expulse plus de Na<sup>+</sup> qu'elle ne fait entrer de K<sup>+</sup> (3 ions Na<sup>+</sup> contre 2 ions K<sup>+</sup>). Ce canal étant beaucoup plus perméable aux ions K<sup>+</sup> qu'aux ions Na<sup>+</sup>, il laisse donc « fuir » vers l'extérieur de la fibre beaucoup plus de K<sup>+</sup> qu'il laisse entrer de Na<sup>+</sup>, ce qui rend l'intérieur de la fibre électronégatif par rapport à l'extérieur.



## C- Potentiel d'action

### Activité 12 :

#### Comment obtenir un potentiel d'action diphasique et comment l'analyser ?

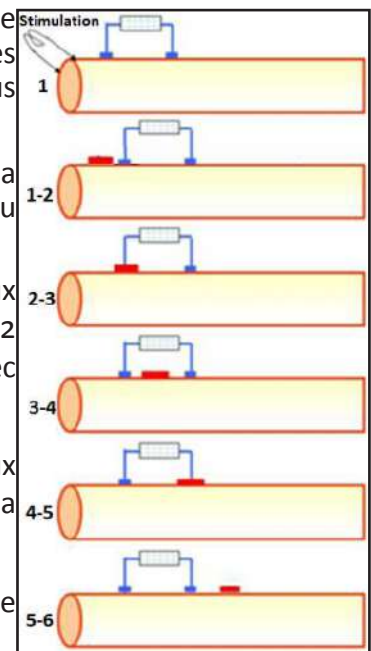
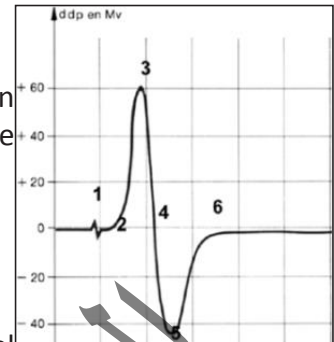
L'étude peut être faite sur une fibre géante de Seiche.

Les électrodes R1 et R2 sont placées à la surface de la fibre : l'excitation électrique est suivie de l'apparition sur l'écran de l'oscillographe d'une onde diphasique :

#### Analyser cet enregistrement.

On peut en étudier les différentes étapes :

- en (1) = l'artéfact de stimulation : c'est l'accident précédant le potentiel d'action qui est dû au choc provoqué par l'excitation ; il marque l'instant précis de l'excitation mais n'a aucune signification physiologique.
- entre (1) et (2) = le temps de latence : le spot est au O, il n'y a aucune différence de potentiel entre les deux électrodes réceptrices (sont au même niveau de potentiel).
- entre (2) et (3) = la phase de dépolarisation sous R1 : Lorsque le potentiel d'action atteint le point où se trouve l'électrode R1, cette portion de fibre devient de plus en plus négative par rapport au point en contact avec R2, puis la négativité décroît et s'annule. La plaque horizontale P1, reliée à R1, donc portée au même potentiel repousse les électrons avec d'autant plus de force que la négativité sous R1 est plus grande.
- entre (3) et (4) = la phase de repolarisation sous R1 : le spot lumineux a dépassé R1 mais n'a pas encore atteint R2. Le balayage se fait à nouveau au O comme au début : la perturbation est terminée.
- entre (4) et (5) = la phase de dépolarisation sous R2 : l'influx nerveux continue à se propager et atteint le point de la fibre en contact avec R2 qui devient alors négative par rapport à R1 ; la plaque P2 en relation avec R2 repousse à son tour les électrons.
- entre (5) et (6) = la phase de repolarisation sous R2 : le spot lumineux a dépassé R2. Le balayage se fait à nouveau, au O comme au début : la perturbation est terminée.
- (6) : retour au potentiel de repos : les deux électrodes retrouvent le même potentiel (trait horizontal).



Cette perturbation obtenue après excitation, est appelée potentiel d'action.

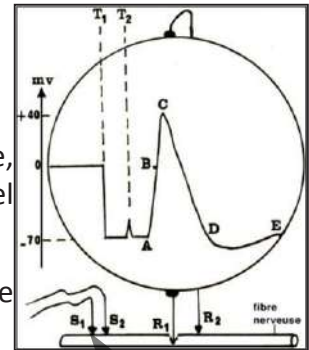
La stimulation en un point de la membrane d'un élément excitable, entraînant une dépolarisation membranaire suffisante (valeur seuil), provoque l'apparition d'un potentiel d'action (PA). Ce PA est une inversion brutale et transitoire du potentiel de membrane, qui se propage sans atténuation, de manière autonome, tout au long de la membrane de l'élément excité. Certaines cellules comme les cellules nerveuses, les cellules musculaires sont dites excitables car elles possèdent la propriété de modifier l'entrée et la sortie des ions précédemment cités, à travers leur membrane, sous l'influence d'une stimulation (influx nerveux). Ceci a pour but de créer un potentiel d'action qui inverse les polarisations. La polarisation est l'accumulation d'ions d'un côté ou de l'autre de la membrane de la cellule. Lorsque le neurone est excité, il se dépolarise créant un potentiel d'action. Ce potentiel d'action se propage de cellule en cellule, le long de l'axone jusqu'aux synapses (jonction de deux neurones). Le potentiel d'action est donc une variation brève et rapide de la charge électrique des neurones. Il sert à véhiculer une information de neurone en neurone.

### Activité 13 :

#### Comment obtenir un potentiel d'action monophasique et comment l'analyser?

Pour obtenir un potentiel d'action monophasique, on procède ainsi :

- Placer 2 électrodes stimulatrices sur une extrémité du neurone.
- Au temps T<sub>1</sub>, enfoncer légèrement l'électrode réceptrice R<sub>1</sub> dans le neurone, l'électrode R<sub>2</sub> est dans le milieu. Il en résulte, sur l'oscilloscope, un potentiel constant et négatif de - 70 mV (PR).
- Au temps T<sub>2</sub>, porter une stimulation efficace sur le neurone, une onde de dépolarisation monophasique apparaît (figure ci-contre).



#### Analyser cet enregistrement.

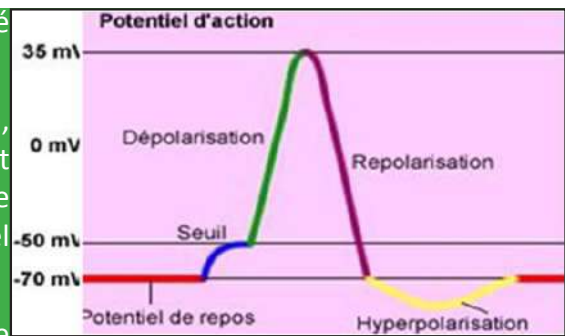
La microélectrode R<sub>1</sub> est introduite au temps T<sub>1</sub> dans l'axone. Le spot dévie vers le bas indiquant une différence de potentiel entre R<sub>1</sub> et R<sub>2</sub> qui n'est autre que le potentiel de repos de la fibre: (potentiel R<sub>1</sub> < potentiel R<sub>2</sub>). Une excitation au temps T<sub>2</sub> est suivie de l'apparition, sur l'écran, d'une courbe monophasique traduisant le passage du potentiel d'action sous les électrodes : Les polarités de la membrane et du cytoplasme qui étaient respectivement positive et négative s'inversent. Sur l'oscilloscope, un artéfact apparaît qui permet de déterminer avec précision l'instant de la stimulation. Le potentiel enregistré est toujours de - 70 mV tant que l'onde de dépolarisation n'atteint pas l'électrode réceptrice. Les différentes phases du PA sont :

- Après un temps de latence qui dépend de la distance entre les électrodes stimulatrices et les électrodes réceptrices, la d.d.p. entre R<sub>1</sub> et R<sub>2</sub> diminue (portion AB de la courbe), s'annule (point B où le potentiel de R<sub>1</sub> est égal au potentiel de R<sub>2</sub>) puis s'inverse (portion BC de la courbe où le potentiel de R<sub>1</sub> est supérieur à celui de R<sub>2</sub>) indiquant alors que l'intérieur de la fibre devient positif par rapport à l'extérieur, avec une d.d.p. d'environ 40 mV : C'est la phase de dépolarisation. Le voltage global du potentiel d'action (110 mV) étant supérieur à celui du potentiel de repos, il ne s'agit donc pas d'une simple annulation de ce potentiel.
- Puis la fibre se repolarise (portion CD) à une vitesse légèrement inférieure à celle de la dépolarisation: C'est la phase de repolarisation.
- Enfin, la d.d.p. devient inférieure de quelques millivolts au potentiels de repos (portion DE) : c'est la phase d'hyperpolarisation.
- Puis retour au potentiel de repos (au point E).



Le potentiel d'action monophasique peut être précédé d'un potentiel local et suivi par une hyperpolarisation.

Si le potentiel local atteint le seuil critique (-50mV), on observe une intensité qui augmente brusquement (Dépolarisation), pour ensuite redescendre (Repolarisation) jusqu'à une valeur inférieure au potentiel de repos (Hyperpolarisation), puis se restabilise : le PA.



Potentiel récepteur : Le stimulus agit sur une structure spécialisée, le site transducteur où il est traduit en message nerveux : c'est la transduction. Il s'y crée une variation de potentiel membranaire (dépolarisation) dont le décours et l'amplitude sont fonction de l'intensité du stimulus. Ce potentiel de récepteur (PR) au niveau du site transducteur produit une dépolarisation secondaire en un site membranaire plus ou moins éloigné du site transducteur (1er nœud de Ranvier) : le site générateur (G).

Cette dépolarisation secondaire ou potentiel générateur (PG) peut cette fois générer des potentiels d'action (canaux  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -dépendants) dès lors qu'elle atteint un seuil critique.

Les potentiels de récepteur (PR) et générateur (PG) sont des variations lentes du potentiel de membrane, locales, graduables (en fonction de l'intensité du stimulus) et sommables (en réponse à deux stimulus successifs). Ils présentent en général, une décroissance à partir d'une amplitude maximale de départ : ce décours rend compte de l'adaptation du récepteur.

Au niveau du récepteur, toutefois, la perception du stimulus ne se traduit pas de manière immédiate par la génération de ce train de PA : La première réponse d'un récepteur est la génération d'un potentiel de récepteur (PR). A ce niveau, une différence fondamentale est le fait que ce potentiel de récepteur peut présenter une amplitude plus ou moins importante, fonction de l'intensité du stimulus.

Le message, au niveau du PR, est donc codé en intensité. Il y a donc traduction du potentiel de récepteur en un train de potentiels d'action, transmis ensuite jusqu'au système nerveux central. La fréquence de PA émis correspond (en général de manière linéaire) à l'intensité du PR généré par le stimulus.

Plus l'intensité de la stimulation est importante, plus la fréquence des potentiels d'actions est élevée. Dans une fibre nerveuse, le message nerveux est codé en modulation de fréquence de potentiels d'action.

En d'autres termes, plus le stimulus est intense, plus le potentiel récepteur est grand et plus le nombre de récepteurs stimulés augmente. Plus le potentiel récepteur augmente, plus la fréquence des PA augmente. L'organisme peut ainsi faire la différence entre un coup et un contact délicat par exemple.

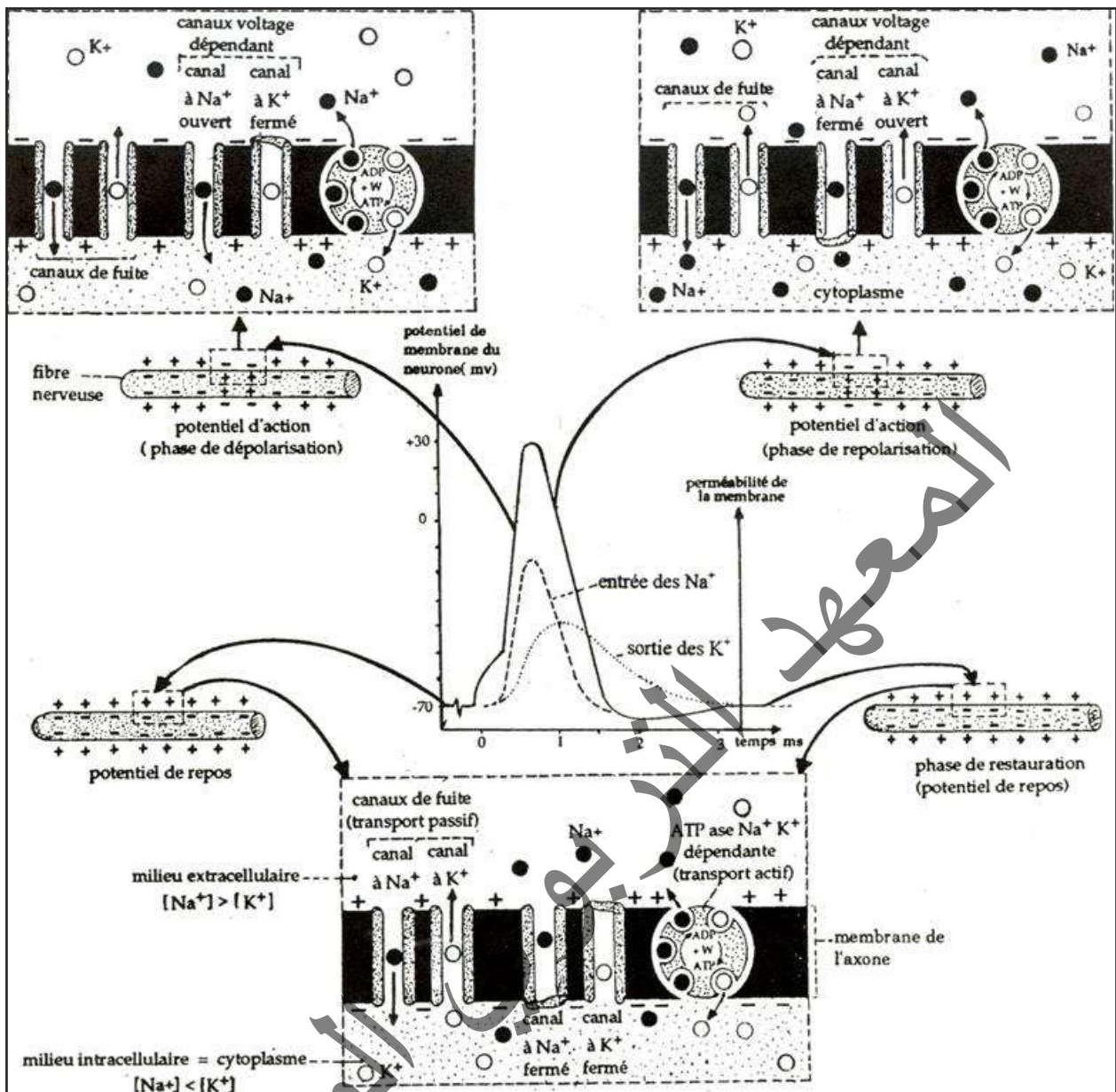
L'amplitude du PR décroît avec la distance : il est à décrément spatial.

## Activité 14 :

### Comment expliquer l'origine chimique du potentiel d'action ?

La figure ci-dessous met en évidence la relation existant entre le potentiel d'action et les modifications locales de la perméabilité membranaire aux ions  $\text{Na}^+$ .

Ces mouvements d'ions font intervenir deux nouvelles catégories de « protéines-canaux » qui sont les « canaux spécifiques à  $\text{Na}^+$  ou à  $\text{K}^+$  ».



**Analyser cette figure puis conclure.**

Contrairement aux canaux de fuite du K<sup>+</sup> et du Na<sup>+</sup> qui sont ouverts en permanence, les canaux responsables du potentiel d'action sont fermés au repos. Leur ouverture (ou leur fermeture) dépend de la polarisation membranaire : on dit que ces canaux sont voltage-dépendants.

L'ouverture ou la fermeture de ces canaux est très rapide (moins d'une milliseconde) et c'est un système « tout ou rien », ce qui signifie qu'un canal ne peut pas être « moyennement ouvert » : il est ouvert ou fermé. On comprend ainsi que la diffusion d'un ion sera d'autant plus importante que le nombre de canaux spécifiques ouverts sera lui-même plus important.

Le potentiel d'action est dû à une modification passagère de la perméabilité de la membrane expliquée comme suit :

- La phase ascendante du potentiel d'action (phase de dépolarisation) est due à l'ouverture de canaux Na<sup>+</sup> voltage - dépendants, ce qui entraîne une entrée brutale de Na<sup>+</sup> dans la cellule.
- La phase descendante du PA (phase de repolarisation) est due à l'inactivation des canaux à Na<sup>+</sup> qui se referment bien que la membrane reste dépolarisée (ils s'inactivent) ce qui induit, avec un certain délai, l'ouverture de canaux K<sup>+</sup> voltage- dépendants suivie d'une sortie massive de K<sup>+</sup>.

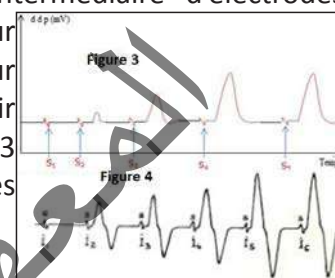
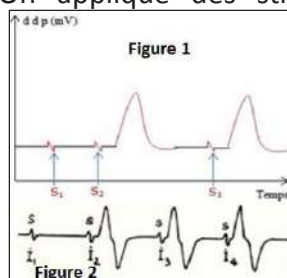
- Dans la plupart des cellules nerveuses, le PA est suivi d'une phase d'hyperpolarisation transitoire ou post-hyperpolarisation. Cette hyperpolarisation apparaît car, contrairement aux canaux  $\text{Na}^+$ , les canaux  $\text{K}^+$  ne s'inactivent pas (du moins dans cette échelle de temps) et ce courant sortant potassique hyperpolarise légèrement la membrane.

Le nombre de canaux  $\text{K}^+$  ouverts diminue progressivement et le potentiel de membrane revient à son niveau initial.

## Activité 15 :

### Connaitre les caractéristiques du potentiel.

On applique des stimuli successifs d'intensités croissantes par l'intermédiaire d'électrodes excitatrices sur une fibre nerveuse isolée puis sur un nerf. Les électrodes réceptrices renvoient sur l'écran de l'oscilloscope la réponse de la fibre (voir figures 1 et 2 ci-dessous) et du nerf (voir figures 3 et 4 ci-dessous). On groupe sur un tracé unique les différentes réponses afin de les comparer.

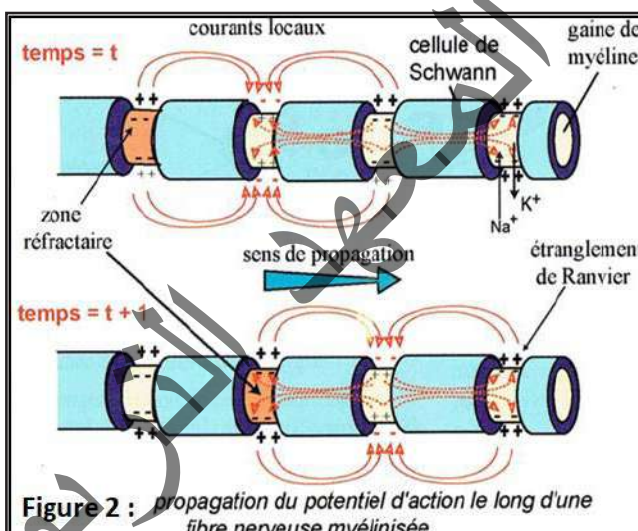
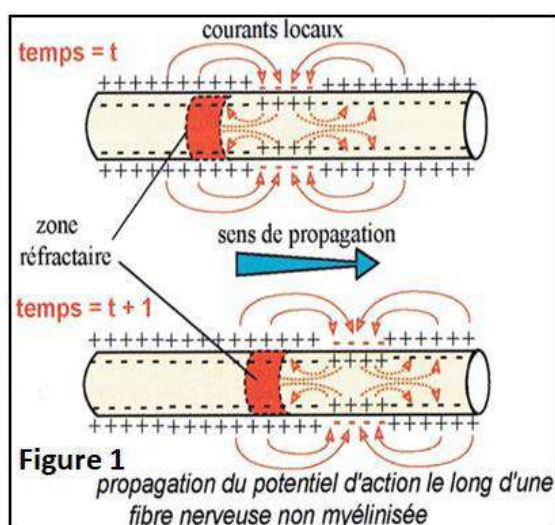




Si l'on applique à une fibre deux stimulations successives espacées de 10 ms au moins, on obtient deux réponses identiques ; mais si l'on réduit progressivement cet intervalle, on constate que la seconde s'affaiblit (période réfractaire relative), puis disparaît complètement (période réfractaire absolue). Ainsi, après chaque excitation, la fibre devient inexcitable pendant un temps très court et ne retrouve son excitabilité normale que progressivement. La durée de la période réfractaire est sensiblement égale à celle du potentiel d'action, ce qui revient à dire qu'un nouveau potentiel ne peut apparaître que lorsque le précédent est éloigné. Dans les stimulateurs électroniques, le choc d'ouverture intervient moins de 0,5 ms après le choc de fermeture. Il tombe donc pendant la période réfractaire et ne produit aucun effet.

### Activité 16 :

#### Etude de la propagation de l'influx nerveux.



#### Analyser les figures du document afin d'expliquer la propagation de l'influx nerveux.

On place des électrodes excitatrices sur une fibre isolée. Ces électrodes réceptrices sont reliées à un oscillographe cathodique. Après excitation, on recueille un potentiel d'action sur l'écran. La propagation de l'influx nerveux se fait ainsi (document) :

##### \* Cas des fibres nerveuses sans myéline (Figure 1) :

La zone ponctuellement dépolarisée par la stimulation efficace produit, de part et d'autre du point, des courants locaux responsables de l'excitation des zones adjacentes.

Cette auto-excitation se propage ainsi de proche en proche à partir du point excité, sans qu'il n'y ait jamais possibilité de retour sur la zone qui vient d'être stimulée : on parle de conduction continue ou de proche en proche. En effet, la période réfractaire dure trois millisecondes et l'établissement d'un courant pouvant stimuler à nouveau la zone qui vient d'être excitée n'existe que pendant un temps beaucoup plus court.

##### \* Cas des fibres nerveuses à myéline (Figure 2) :

La gaine de myéline qui entoure le cylindraxe joue le rôle d'un isolant électrique. A partir d'un point excité, ce ne sont pas les deux zones immédiatement adjacentes qui seront stimulées, mais les deux étranglements de Ranvier les plus proches, c'est-à-dire les deux portions de cytoplasme en contact avec l'environnement aqueux conducteur. La dépolarisation ne peut se déplacer que de nœud de Ranvier en nœud de Ranvier (seules régions où l'axone est à nu) : on parle de conduction saltatoire ; ce qui permet au potentiel d'action d'avancer plus rapidement. Il y a économie d'énergie et de temps. C'est au niveau des fibres à myéline que la vitesse de conduction de l'influx nerveux est donc la plus grande. En effet, plus la myéline n'est épaisse, plus les nœuds de Ranvier sont éloignés les uns des autres. Il existe ainsi une corrélation entre diamètre et vitesse de conduction.

Si l'on augmente la distance qui sépare les électrodes stimulatrices et réceptrices et si l'on applique au nerf des stimulations suffisamment intenses, on constate que la courbe obtenue présente plusieurs sommets de plus en plus espacés. Le nerf, nous l'avons vu, est formé de fibres qui diffèrent par leur excitabilité. Cette expérience montre que des différences analogues affectent leur vitesse de conduction. Par rapport à un potentiel d'action classique, celui-ci présente plusieurs dépolarisations successives – d'où sa qualification de complexe – au lieu d'une seule. Cela est dû au fait que le nerf étant constitué de plusieurs fibres nerveuses, on enregistre l'activité de ces différentes fibres et non un potentiel d'action unitaire. Par conséquent, si toutes les fibres du nerf ne conduisent pas à la même vitesse, elles ne se dépolariseront pas en même temps et l'on enregistrera autant de pics de dépolarisation qu'il y aura de catégories de fibres nerveuses à l'intérieur du nerf. Plus on s'éloigne du point de stimulation, plus le PA présente de pics successifs qui correspondent aux catégories d'axones qui le composent. Le pic initial correspond aux axones de gros diamètre, les plus rapides, le dernier aux axones fins, les plus lents. Connaissant la longueur du nerf et les latences respectives des divers pics, il est possible de calculer la vitesse de conduction de chacune des sous populations.

## IV- La synapse neuroneuronique

### Activité 17 :

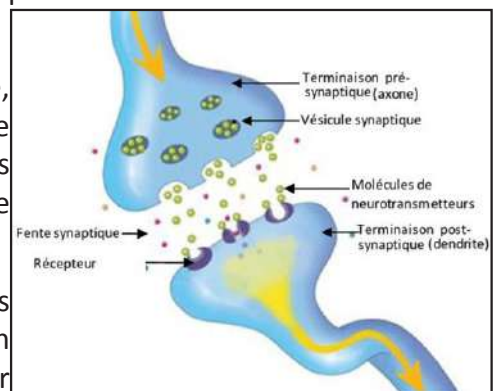
#### Etude de la structure des synapses chimiques.

##### Observations :

1. Au microscope photonique, on voit dans les centres nerveux de nombreuses fibres qui se terminent par un renflement et qui s'appuient soit sur d'autres fibres, soit sur un corps cellulaire : les renflements sont les boutons synaptiques. Chacun d'eux représente un lien entre deux neurones différents.

2. Au microscope électronique au niveau du bouton synaptique, on voit que les deux neurones sont séparés par un intervalle de 20 nm. D'autre part, on constate que la synapse n'est pas symétrique : l'un des éléments comporte des vésicules, l'autre non (Figure ci-contre).

3. La vitesse de propagation de l'influx nerveux semble plus faible quand elle est calculée sur un trajet qui comporte un centre nerveux ou un ganglion que lorsqu'elle est calculée sur le trajet d'un nerf. L'influx semble perdre du temps quelque part.

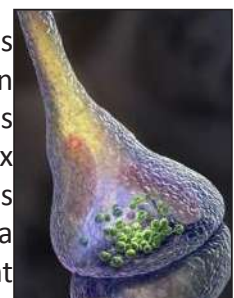


Or, un centre nerveux comporte des relais entre neurones, les synapses. Il semble donc que ces structures retardent la propagation de l'influx nerveux. Le temps ainsi perdu au niveau de chaque synapse s'appelle le délai synaptique. Il est de l'ordre de 0,5 ms mais peut atteindre 1 ou 2 ms.

A partir de l'analyse de ces observations, dégager la structure et les différents types de synapses.

Les neurones sont des cellules indépendantes et communiquent entre elles au niveau de régions particulières dénommées synapses.

Le terme de synapse, proposé par Sherrington (1897), désignait au départ les zones de contact entre neurones, zones de contact spécialisées dans la transmission de l'information. Mais les synapses ne sont pas uniquement interneuronales ; elles lient également les cellules réceptrices aux neurones et les neurones aux cellules effectrices (jonction neuromusculaire). C'est au niveau de ces synapses que s'effectue la transmission de l'information d'une cellule à une autre : la transmission synaptique. Toutes les synapses interneuronales (on dit également



neuroneuroniques) présentent invariablement la même organisation de base :

- un élément présynaptique appartenant à un premier neurone. L'élément présynaptique se caractérise par la présence de vésicules synaptiques (organites de stockage du neurotransmetteur) et de nombreuses mitochondries. Parfois, on distingue sous la membrane présynaptique une zone dense aux électrons plus ou moins géométrique : la grille synaptique. Cette grille synaptique correspond à une organisation particulière du cytosquelette liée à l'exocytose des vésicules synaptiques.

- une fente synaptique séparant les deux neurones,

- un élément post-synaptique appartenant à un deuxième neurone. L'élément post-synaptique se caractérise, dans le cas d'une synapse interneuronale, par la présence d'une région sous-membranaire, dense aux électrons, qui reflète une organisation particulière du cytosquelette liée à l'ancrage des récepteurs postsynaptiques dans cette région.

Toutefois, en fonction de critères morphologiques et fonctionnels, on est amené à opérer plusieurs distinctions :

### ■ Synapses neuroneuroniques :

Un neurone peut avoir de 1 000 à 10 000 synapses et peut recevoir l'information de 1 000 autres neurones.

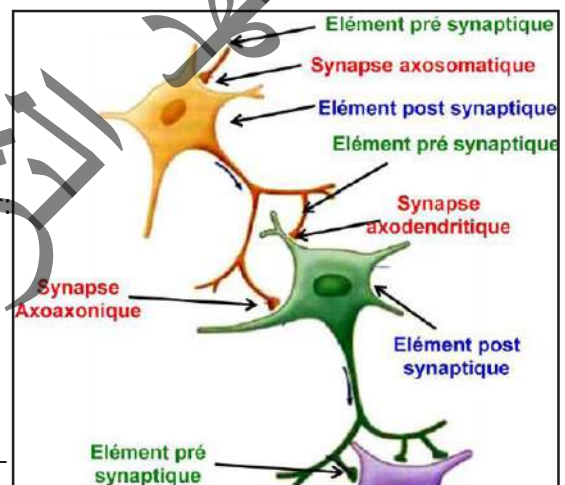
Un neurone est rarement isolé : il fait partie de chaînes neuroniques. Trois cas peuvent se présenter :

L'arborisation terminale d'un neurone A peut rencontrer

les dendrites d'un neurone B et la synapse est dite axo-dendritique ;

le corps cellulaire (ou soma) d'un neurone et la synapse est dite axo-somatique ;

l'axone d'un neurone B et la synapse est dite axo-axonique.



### Synapse neurone – musculaire :

Un muscle se contracte sous l'action d'une commande nerveuse. Anatomiquement, il y a une relation nerf-muscle. Chaque fibre nerveuse motrice se ramifie à son extrémité et commande ainsi tout un groupe de fibres musculaires représentant une unité motrice. La ramification ultime qui rejoint une seule fibre musculaire établit avec elle une relation de type synapse appelée plaque motrice.

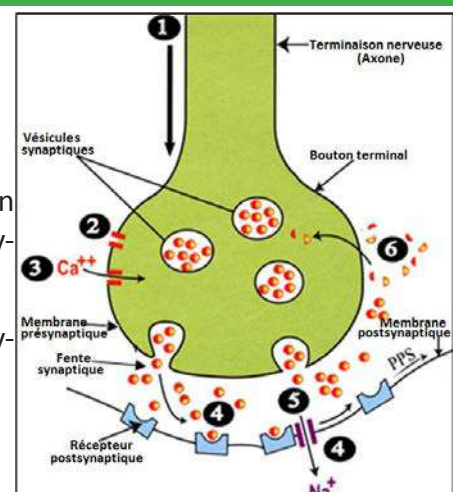
### Activité 18 :

#### Comment fonctionne une synapse neuroneuronique ?

L'influx nerveux ne peut se propager d'un neurone à l'autre qu'en libérant des neurotransmetteurs au niveau de la synapse (synapse chimique).

Le document ci-dessous résume le fonctionnement d'une synapse.

Observer le document ci-dessus et préciser les étapes de la transmission synaptique.





Le neurotransmetteur est stocké dans les vésicules synaptiques de l'élément présynaptique. L'arrivée des potentiels d'action [1] dans l'élément présynaptique entraîne l'ouverture des canaux voltage-dépendants de  $\text{Ca}^{++}$  (CVD  $\text{Ca}^{++}$ ) [2] puis entrée du  $\text{Ca}^{2+}$  dans la terminaison présynaptique [3] et la fusion d'une vésicule avec la membrane plasmique. La vésicule libère par exocytose le neurotransmetteur dans la fente synaptique. On appelle zone active l'ensemble formé par les vésicules présynaptiques et la membrane axonale présynaptique où s'effectue l'exocytose. Les molécules de neurotransmetteur ainsi libérées peuvent aller se fixer sur la membrane post-synaptique au niveau des récepteurs qui lui sont spécifiques [4]. Cette fixation entraîne un passage d'ions à travers la membrane post-synaptique par ouverture des canaux chimio-dépendants (CCD) [5] dans la cellule post-synaptique et la naissance d'un potentiel post-synaptique (PPS) : C'est la transmission synaptique.

Dans le même temps, les molécules de neurotransmetteur présentes dans la fente synaptique sont recaptées par la membrane présynaptique [6] et la membrane elle-même est recyclée.

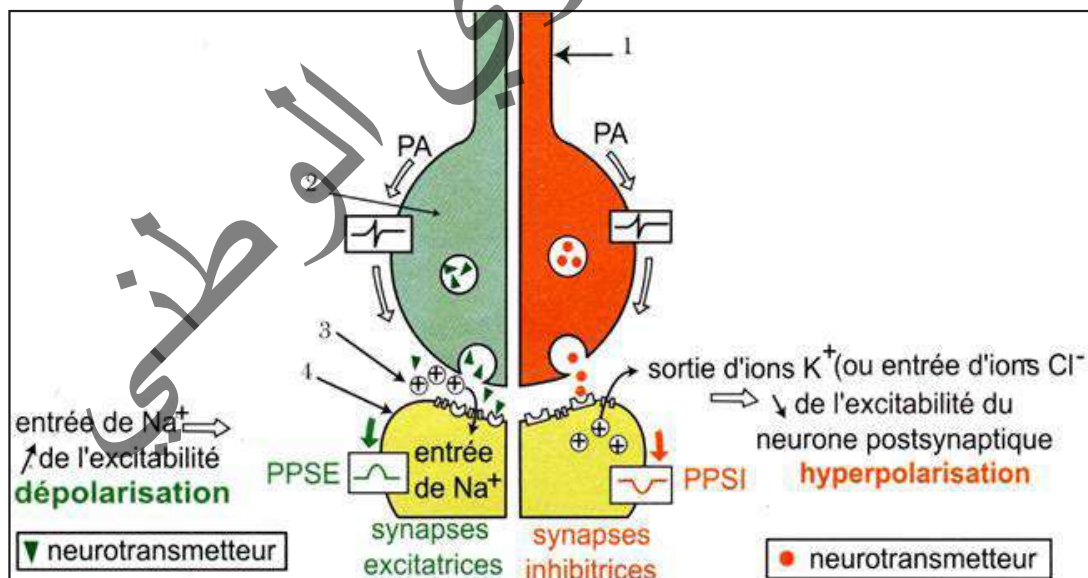
NB. Il reste ensuite à inactiver le neurotransmetteur pour éviter que la dépolarisation (ou l'hyperpolarisation) qu'il a provoquée en se combinant avec les récepteurs post-synaptiques ne se prolonge et empêche la synapse de fonctionner normalement. Selon le type de neurotransmetteur, deux mécanismes sont responsables de cette inactivation :

- soit il est dégradé par une enzyme spécifique dans la fente synaptique ;
- soit il est recapté (cas le plus courant) par la terminaison présynaptique et peut ainsi être réutilisé.

### Activité 19 :

Quels types de synapses peut-on rencontrer ?

Le document suivant illustre la nature des synapses chimiques.



Grâce à une comparaison subtile, dégager les 2 types de synapses et leurs particularités.

Sur un même neurone, il existe des synapses qui permettent le passage des messages nerveux (synapses excitatrices) et d'autres qui s'opposent (synapses inhibitrices). Selon le type de synapse considéré, la combinaison neurotransmetteur-récepteur se traduit par une dépolarisation ou une hyperpolarisation de la membrane post-synaptique.

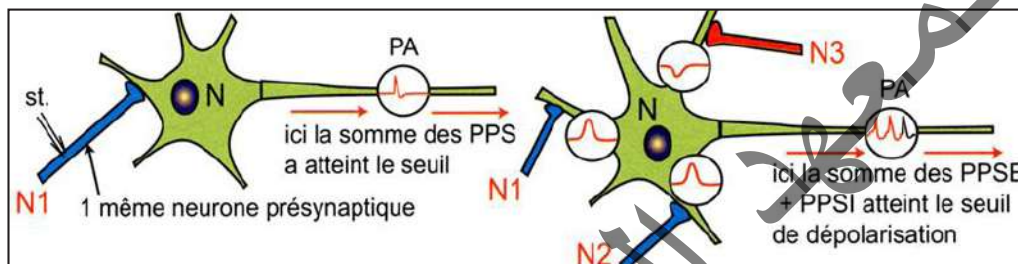
Dans le cas d'une synapse excitatrice, le neurotransmetteur (acétylcholine) ouvre les CCD au sodium (ou au calcium) et permet la rentrée de  $\text{Na}^+$ . Il s'ensuit une augmentation de cations intracellulaires ce qui a pour effet de provoquer une dépolarisation locale qu'on qualifie de potentiel post-synaptique excitateur (PPSE).

Dans le cas d'une synapse inhibitrice, le neurotransmetteur (GABA) ouvre les CCD au chlore (ou au potassium) et permet la rentrée de  $\text{Cl}^-$  (et la sortie de  $\text{K}^+$ ) ; ce qui a pour effet de provoquer une hyperpolarisation locale (par entrée de chlore ou sortie de potassium) qu'on qualifie de potentiel post-synaptique inhibiteur (PPSI).

## Activité 20 :

### Quel rôle peut jouer le neurone postsynaptique en cas d'application de plusieurs excitations ?

Un neurone post-synaptique M reçoit simultanément plusieurs PPS provenant de plusieurs terminaisons présynaptiques (excitatrices et inhibitrices).



**Analyser le document précédent afin de dégager la propriété du neurone postsynaptique mise en évidence.**

Au niveau du neurone postsynaptique, les différentes variations du potentiel de membrane engendrées par différentes synapses au niveau du même neurone vont être additionnées : donnant un potentiel global, qui traduit deux phénomènes de sommation :

- sommation temporelle (même neurone avec 2 stimulations suffisamment rapprochées) : les signaux parviennent à la même cellule à différents moments. Les potentiels s'additionnent en raison de l'ouverture d'un plus grand nombre de canaux ioniques et, par conséquent, d'un flux plus important d'ions positifs vers la cellule.
- sommation spatiale (deux stimulations de 2 synapses différentes pour une même cellule à deux endroits différents) : idem précédemment.

L'interaction de plusieurs PPSE par l'intermédiaire de la sommation temporelle et de la sommation spatiale peut augmenter le flux des ions positifs vers l'intérieur de la cellule et amener la membrane jusqu'au seuil afin qu'un potentiel d'action puisse être engendré.

On retrouve un codage en fréquence : la fréquence des PA augmente avec l'amplitude globale au niveau du cône axonique.

Si un même neurone (un motoneurone) en contact avec de très nombreux autres neurones par des synapses, reçoit à la fois des messages nerveux différents générateurs de PPSE et de PPSI, il en résulte au niveau du cône axonique (= cône d'implantation = cône d'émergence = segment initial) un PPS global (PPSG) correspondant à la somme algébrique des PPSE et des PPSI reçus. Cette somme peut-être :

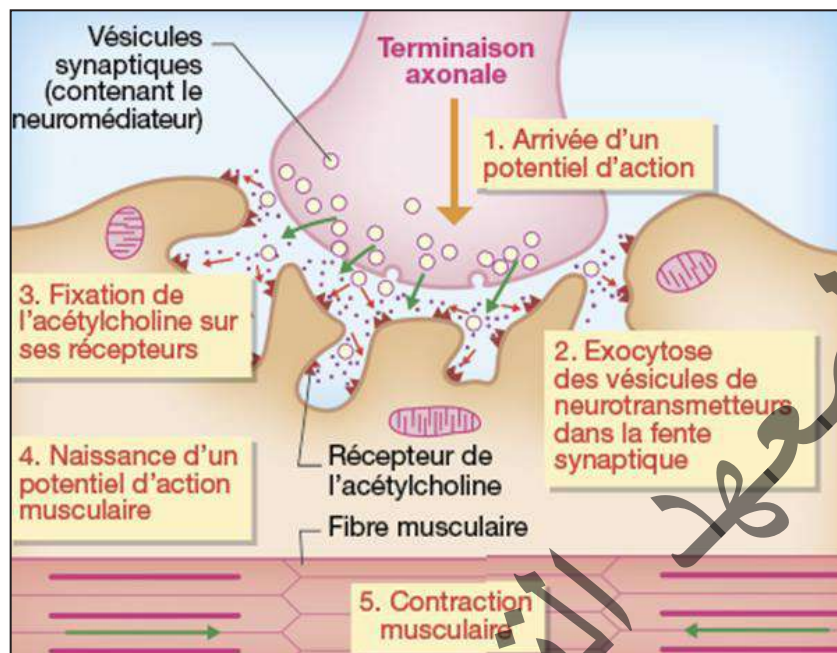
- une dépolarisation inférieure au seuil ou une hyperpolarisation => pas de PA ;
- une dépolarisation supérieure au seuil => naissance d'un PA.

Le neurone postsynaptique réalise l'intégration des messages reçus.

## Activité 21 :

### Comment fonctionne une synapse neuromusculaire ?

La figure suivante donne les étapes de transmission d'un message nerveux d'un neurone à une fibre musculaire.



**Donner la succession des étapes de la transmission synaptique dans le cas d'une jonction neuromusculaire évoquant les différences avec une jonction neuroneuronique.**

- Le fonctionnement d'une synapse neuromusculaire :

Les étapes de la transmission du message nerveux à travers la plaque motrice sont :

1 : L'arrivée de l'influx nerveux à la terminaison nerveuse entraîne l'entrée du  $\text{Ca}^{2+}$  par ouverture des CVD  $\text{Ca}^{2+}$ .

2 : La fusion des vésicules avec la membrane présynaptique libère l'acétylcholine dans la fente synaptique.

3 : Les molécules d'acétylcholine libérées vont se fixer sur la membrane post-synaptique (de la cellule musculaire) au niveau des récepteurs de l'acétylcholine.

4 : Cette fixation entraîne un passage d'ions  $\text{Na}^+$  à travers la membrane de la fibre musculaire grâce à l'ouverture des CCD  $\text{Na}^+$ , qui aboutit à la naissance d'un PPSE.

5 : La contraction de la fibre musculaire.

6 : Dans le même temps, les molécules d'acétylcholine présentes dans la fente synaptique sont soit recaptées par la membrane présynaptique, soit détruites par l'acétylcholinestérase.

La machinerie de la transmission synaptique est alors prête à un nouveau cycle de transmission synaptique.

- Particularités de la plaque motrice :

\* Particularités structurales : présence des replis (appareil sous neural) dans la membrane postsynaptique ; cellule postsynaptique = fibre nerveuse.

\*Particularités fonctionnelles : toujours excitatrice (présence des canaux ioniques voltages dépendants dans la membrane postsynaptique) ; 1 seul neurotransmetteur excitateur = l'acétylcholine.

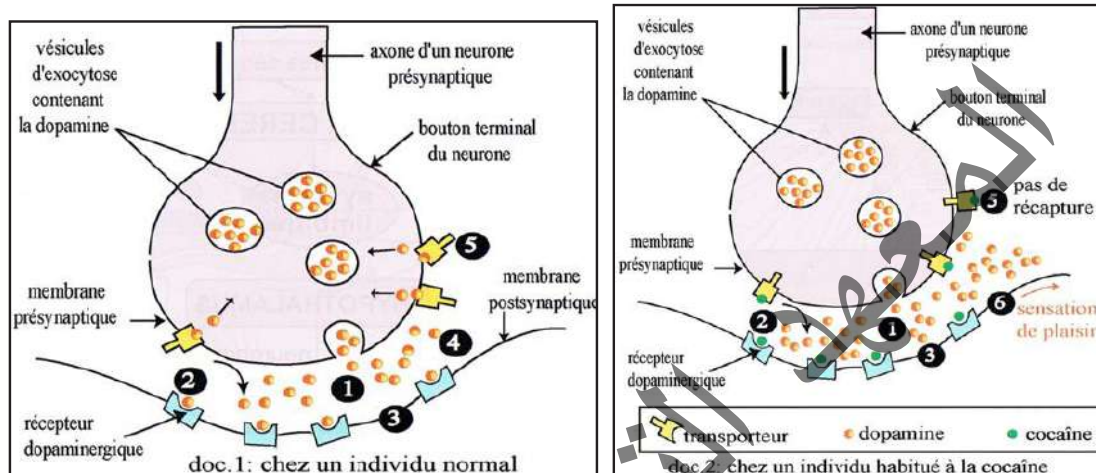
## V- Danger des psychotropes sur le fonctionnement du système nerveux

### Activité 22 :

#### Comment agit la cocaïne sur le système nerveux ?

La coca est une plante d'Amérique du Sud de la famille des Érythroxylacées. La cocaïne est un « Ester méthylique de la benzoylecgonine » : principal alcaloïde de la feuille de coca.

Les figures suivantes montrent le mode d'action de la cocaïne sur le cerveau.



Comparer les deux figures afin de montrer les effets néfastes des drogues à travers celui de la cocaïne.

La cocaïne agit par stimulation de la libération et blocage de la recapture des neurotransmetteurs Dopamine (DA), Noradrénaline (NA), et la sérotonine (ST) dans la fente synaptique, ce qui est responsable d'une hyperactivation du système de récompense.

- ✓ La cocaïne se fixe sur le transporteur qui recapte la dopamine et le bloque ;
- ✓ La dopamine reste dans l'espace synaptique et continue à stimuler le neurone postsynaptique;
- ✓ La sensation de plaisir est amplifiée et prolongée;
- ✓ La cocaïne agit aussi en bloquant la recapture de la sérotonine et de la noradrénaline.

Le mot «drogue» désigne toute substance naturelle ou de synthèse dont la consommation provoque un état modifié de la conscience.

La drogue modifie le fonctionnement du cerveau donnant pendant un certain temps des sensations d'euphorie et de plaisir avec déconnexion de la réalité. Quand on consomme une drogue de manière répétée, on devient toxicomane.

De manière générale, la toxicomanie, du grec : toxikon, « poison » et mania, « folie » est une dépendance psychologique voire physique d'une ou de plusieurs substances chimiques (psychotropes, drogues synthétiques, plantes, solvants) sans nécessité thérapeutique.

La toxicomanie conduit à la tolérance ou accoutumance (tendance à augmenter la dose pour retrouver le même plaisir) et à la dépendance physique ou psychique (troubles de privation tels qu'agitation, anxiété, malaise, dépression...).

Elle se caractérise par :

- ✓ L'accoutumance (tendance à augmenter la dose pour même effet)
- ✓ La dépendance psychologique (toujours) et physique (souvent) contraint à continuer la consommation
- ✓ Les conséquences néfastes (émotionnelles, sociales, économiques).

Les substances toxicomanogènes peuvent être d'origine naturelle ou synthétique, elles sont classées en quatre catégories :

**Quatre types d'effets :**

- ✓ Perturbateurs du SN : Cannabis ;
- ✓ Hallucinogènes : LSD, kétamine, mescaline (peyotl) psilocybine (champignons) ;
- ✓ Stimulants : cocaïne, crack, amphétamines, ecstasy (NMDA), nicotine ;
- ✓ Dépresseurs : morphine, héroïne, benzodiazépines;

Les drogues agissant sur la transmission synaptique peuvent avoir différents effets :

- Effet agoniste : La drogue a le même effet que le neurotransmetteur ;
- Effet antagoniste : La drogue se fixe sur le récepteur du neurotransmetteur et le bloque ;
- Inhibition du recaptage : La drogue empêche le recaptage du neurotransmetteur dans la cellule présynaptique ;
- Inhibition de la sécrétion : La drogue empêche la sécrétion du neurotransmetteur;

Les principales règles assurant une bonne hygiène du système nerveux sont :

- Eviter la consommation des drogues ;
- Lutter contre les effets du stress (réaction de l'organisme aux agressions causées par certains agents physiques (chaleur, bruit...) ou psychologiques (émotion, drame...)) ;
- Assurer une bonne oxygénation et une alimentation saine ;
- Pratiquer régulièrement des activités sportives ;
- Contrôler régulièrement sa pression artérielle ;
- Travailler régulièrement et avec modération afin d'éviter le surmenage.



## NB. Le tabac (la nicotine)

Il agit sur l'ensemble de l'organisme :

- Effets physiologiques :
  - o rythme cardiaque et pression artérielle ↗ ;
  - o Dilatation des bronches, augmentation de la salivation.
- Effets sur le comportement :
  - o Euphorie transitoire (circuit de la récompense) ;
  - o Impression d'augmentation d'énergie ;
  - o Baisse d'appétit, du stress, de l'anxiété ressentis ;
- Effet de tolérance → augmentation de la consommation ;
- Dépendances psychiques et physiques très fortes.

Action de la nicotine :

- Effet stimulant par liaison au récepteur de l'acétylcholine ;
- Reste plus longtemps que l'acétylcholine dans la fente synaptique ;
- Se lie sur des récepteurs à l'acétylcholine :
  - o sur des neurones glutaminergiques excitateurs
  - o sur des neurones à GABA (inhibiteurs)
- Effet global d'activation des neurones dopaminergiques
- L'exposition chronique à la nicotine augmente la période réfractaire → diminue l'effet positif ressenti
- L'absence de nicotine → diminution de l'activité des neurones dopaminergiques → mal-être lors du sevrage.

## JE RETIENS

Sur le plan anatomique, on distingue :

- un système nerveux **central** (le **névraxe**) : il constitue un axe nerveux à l'intérieur de l'organisme. Encore appelé axe cérébrospinal ou ensemble encéphalo-médullaire, il se compose dans sa partie céphalique (supérieure) de l'encéphale logé dans la boîte crânienne et dans sa partie caudale (inférieure) de la moelle épinière logée dans la colonne vertébrale.
- un **système nerveux périphérique** : renfermant les nerfs et leurs ganglions.

En fonction de leur lieu de rattachement au névraxe, on distingue :

\* les nerfs crâniens (12 paires) qui peuvent être exclusivement sensitifs (I, II, VIII), exclusivement moteurs (III, IV, VI, XI, XII) ou mixtes (V, VII, IX, X) ;

\* les nerfs rachidiens (31 paires), tous mixtes.

Des coupes transversales de la moelle épinière permettent de retrouver la structure tubulaire observée dans l'encéphale.

- Le canal de l'épendyme traverse la moelle épinière et contient du liquide céphalo-rachidien.
- Il est entouré par une substance grise qui dessine 4 cornes : 2 cornes antérieures larges et 2 cornes postérieures effilées.
- La substance blanche recouvre la substance grise ; elle est divisée par les sillons et les cornes de la substance grise en 3 paires de cordons (antérieurs, latéraux et postérieurs).

Un neurone comprend :

- Le **corps cellulaire** ou **péricaryon** ou **soma** : Il est de forme étoilée, en général, et entouré d'une membrane (appelée parfois neurolemme) classique. Le cytoplasme contient un noyau et tous les éléments de cellule animale ordinaire mais il est riche en mitochondries et en ribosomes qui peuvent être libres ou associés à des saccules du réticulum endoplasmique formant des petits amas connus sous le nom de corps de Nissl et des neurofibrilles. Le noyau est central, volumineux et renferme un gros nucléole. Il est bloqué en interphase.

- des prolongements cytoplasmiques qui sont de deux types :

- \* **les dendrites** plus courts mais ramifiés ; le plus souvent nombreux ;

- \* **l'axone ou cylindraxe** plus ou moins long et unique, terminé par une ramification appelée arborisation terminale dont les principales branches sont les collatérales axoniques se détachant à angle droit. L'ensemble se termine par un bouton synaptique. L'axone possède une membrane, l'axolemme, et un cytoplasme appelé axoplasme. L'axone est entouré sur toute sa longueur d'une gaine appelée gaine de **Schwann** qui présente des étranglements ou **nœuds de Ranvier** et des noyaux. Une autre gaine appelée gaine de myéline, interrompue au niveau des étranglements, entoure quelque fois, l'axone. L'axone prend naissance au niveau du cône d'émergence ou cône axonique, zone de jonction avec le corps cellulaire.

Une coupe transversale d'un nerf montre des fibres, avec ou sans myéline, qui sont groupées en **faisceaux** entourés de gaines conjonctives minces. Généralement, les faisceaux sont noyés dans une masse de tissu conjonctif lâche, abondamment vascularisée et entourée d'une gaine épaisse de tissu conjonctif dense.

Le **potentiel membranaire** est la différence de potentiel ou de tension mesurée entre la face externe et la face interne de la membrane d'un neurone (ou de toute cellule vivante).

Cette différence de potentiel est égale à environ -70 mV (millivolts).

Le **potentiel de repos** est le terme utilisé pour désigner le potentiel de membrane de la membrane

plasmique d'une cellule excitable lorsqu'elle est au repos : C'est un des états possibles du potentiel de la membrane.

La polarisation s'explique par le fait que la concentration en ions sodiques,  $\text{Na}^+$ , est plus élevée à l'extérieur de la cellule qu'à l'intérieur de celle-ci. Les ions potassiques,  $\text{K}^+$ , se retrouvent en plus grande concentration à l'intérieur de la cellule qu'à l'extérieur mais ne font pas le contrepois avec les ions  $\text{Na}^+$  pour ce qui concerne les charges électriques étant donné l'importante différence quantitative en faveur des ions  $\text{Na}^+$ .

Les ions  $\text{K}^+$  ont tendance à sortir de la cellule, les ions  $\text{Na}^+$  ont tendance à pénétrer dans la cellule. Deux catégories de protéines membranaires prennent en charge le passage des ions à travers la bicouche lipidique : ce sont des «canaux» et des «pompes» à ions.

Les «canaux de fuite», ouverts en permanence, permettent une **diffusion passive** des ions  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$  dans le sens décroissant de leur gradient de concentration. Ils sont beaucoup plus perméables aux ions  $\text{K}^+$  qu'aux ions  $\text{Na}^+$ , ce qui rend l'intérieur de la fibre électro négatif par rapport à l'extérieur.

Le maintien de concentrations différentielles en  $\text{Na}^+$  (plus concentré à l'extérieur) et en  $\text{K}^+$  (plus concentré à l'intérieur) est assuré grâce à l'activité d'une pompe, la  **$\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPase** (transport actif).

En réponse à une stimulation du neurone, il y a une brusque modification du potentiel de repos : on obtient un **potentiel d'action**. La stimulation en un point de la membrane d'un élément excitable, entraînant une dépolarisation membranaire suffisante (valeur seuil), provoque l'apparition d'un potentiel d'action (PA). Ce PA est une inversion brutale et transitoire du potentiel de membrane. Le potentiel d'action :

- n'apparaît que lorsque le potentiel de membrane atteint la valeur seuil (- 50 mV) ; cette valeur correspond à une intensité seuil d'excitation (stimulus liminaire).

- se propage le long d'une fibre identique à lui-même sans déformation tout en gardant la même amplitude quelle que soit l'intensité du stimulus  $\geq$  seuil : il obéit à la loi du tout ou rien. La fréquence des potentiels d'action reste liée à l'intensité du stimulus : il s'agit d'un codage en modulation de fréquence.

Ce sont en effet des mouvements de sodium et de potassium qui sont à l'origine des différentes phases du potentiel d'action.

A la suite d'une excitation efficace, ce sont toujours des canaux ioniques de la membrane plasmique qui interviennent, mais seulement au départ ou à l'arrivée d'une dépolarisation : **canaux voltage-dépendants (CVD)**.

En réalité ces canaux sont des protéines intrinsèques (incluses dans la membrane et qui la traversent) qui se déforment pour laisser passer les ions et reprennent leur forme initiale pour les empêcher de passer.

- Phase de dépolarisation : Les canaux  $\text{Na}^+\text{VD}$  s'ouvrent les premiers, puis se referment aussitôt. Un nombre important d'ions  $\text{Na}^+$  sont ainsi entrés dans la cellule dont l'intérieur devient plus positif que l'extérieur.

L'électrode enregistre une variation d'environ **+110 mV** : le PA est à **+40 mV**.

- Phase de repolarisation : 1 à 2 ms (milliseconde) après, ce sont les canaux  $\text{K}^+\text{VD}$  qui s'ouvrent, permettant une sortie brutale d'ions  $\text{K}^+$ . L'intérieur de la cellule redevient négatif, jusqu'à sa valeur initiale de - 70 mV.

- Phase d'hyperpolarisation : Les canaux  $\text{K}^+\text{VD}$  ne se ferment pas aussi rapidement que les canaux  $\text{Na}^+\text{VD}$ . D'autres ions  $\text{K}^+$  peuvent encore sortir de la cellule et le potentiel devient plus négatif qu'au repos. C'est la pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  - ATPase qui rétablit l'équilibre.

Le fonctionnement d'une synapse se résume ainsi :

\* Arrivée de l'onde de dépolarisation à la terminaison nerveuse ;

- \* Ouverture des canaux voltage-dépendants de  $\text{Ca}^{++}$  (CVD  $\text{Ca}^{++}$ ) et entrée de  $\text{Ca}^{++}$  ;
- \* Libération du médiateur chimique par exocytose des vésicules.
- \* Fixation du médiateur sur des récepteurs postsynaptiques.
- \* Ouverture des canaux chimio-dépendants de  $\text{Na}^+$  (CCD  $\text{Na}^+$ ) ;
- \* Entrée de l'ion à l'origine du PPS ;
- \* Inactivation du médiateur chimique.

Dans le cas de la synapse excitatrice, la fixation du médiateur chimique (Acétylcholine) sur les récepteurs post-synaptiques provoque l'entrée de  $\text{Na}^+$  par ouverture de CCD, à l'origine d'une dépolarisation ou **PPSE**. Dans le cas de la synapse inhibitrice, la fixation du médiateur chimique (GABA) sur les récepteurs post-synaptiques provoque l'entrée de  $\text{Cl}^-$  ou la sortie de  $\text{K}^+$  par ouverture de CCD, à l'origine d'une hyperpolarisation ou **PPSI**.

Les différents PPS provenant de plusieurs synapses s'additionnent algébriquement et peuvent engendrer au niveau du neurone postsynaptique, un ou plusieurs **PA** si le seuil est atteint : on parle de **sommation spatiale**.

Plusieurs PPSE véhiculés par un même neurone présynaptique et rapprochés dans le temps s'ajoutent et peuvent atteindre le seuil de dépolarisation et engendrer un PA au niveau du motoneurone : on parle de **sommation temporelle**. Ainsi le neurone post-synaptique répond à la somme algébrique des PPS : il est **intégrateur**.

On désigne habituellement sous le nom de drogue toute substance, naturelle ou synthétique, modifiant l'activité mentale (effet psychotrope) et susceptible de conduire à un **état de dépendance** constituant la toxicomanie.

**Une toxicomanie** est une modification du comportement qui consiste à prendre un produit (la drogue) afin de retrouver ses effets psychiques ou d'éviter les maux de la privation. Une toxicomanie naît de la « rencontre entre un produit, un individu et un moment socioculturel ».

Selon leur nature chimique, les drogues peuvent avoir différents effets sur le système nerveux :

- **Au niveau de la synapse**, certaines ont une action sur le neurone présynaptique en favorisant ou en inhibant la sécrétion d'un neurotransmetteur, ou bien en diminuant l'effet de recapture. D'autres agissent sur le neurone postsynaptique en prenant la place du neurotransmetteur. Si elles s'opposent à son action, leur effet est antagoniste ; si elles produisent la même action que lui, leur effet est agoniste.

- **Au niveau cérébral**, la suractivation ou au contraire l'inhibition des activités neuronales se traduit par une modification de l'état mental, un éloignement du réel, une altération des perceptions sensorielles. Selon l'effet principal observé sur l'activité mentale, les drogues sont classées en trois catégories : les déprimeurs, les **stimulants** et les **dérégulateurs**. Par leur action sur la transmission des messages nerveux, les drogues agissent aussi sur les fonctions cardiaque, respiratoire, digestive...

De nombreuses substances provenant de la pollution (dés herbants), du dopage (amphétamines), des drogues (cocaïne, nicotine, morphine, etc.) peuvent modifier ce fonctionnement au niveau des différents stades indiqués.

## Je m'exerce

**QCM : Choisir la (ou les) bonne(s) réponse(s).**

1- Les centres nerveux sont constitués par

- a- le cerveau et la moelle épinière.
- b- le cerveau et les nerfs.
- c- les nerfs et la moelle épinière.
- d- le cerveau, les nerfs et la moelle épinière.

2- A propos de la synapse chimique

- a- l'élément présynaptique contient des mitochondries.
- b- l'élément présynaptique contient du cytosquelette.
- c- les petites vésicules synaptiques renferment des neurotransmetteurs classiques.
- d- les petites vésicules synaptiques ovalaires à centre clair contiennent souvent des neurotransmetteurs inhibiteurs

3- A propos des synapses chimiques,

- a- Le GABA est un acide aminé inhibiteur.
- b- La membrane des petites vésicules synaptiques est riche en synaptophysine.
- c- L'entrée de calcium dans la terminaison synaptique entraîne la libération du neurotransmetteur dans la fente synaptique.
- d- La face interne de la membrane post-synaptique est souvent le siège d'un épaissement dense aux électrons.

4- Au niveau de la synapse l'intensité du message nerveux

- a- est proportionnelle à la fréquence des potentiels d'action de la zone présynaptique.
- b- est codé en concentration en neurotransmetteurs.
- c- est annulé par le passage dans la fente synaptique.
- d- ne se transmet pas à la fibre postsynaptique qui répond à la loi du tout ou rien.

5- Une drogue est une substance chimique :

- a- qui est produite par l'organisme.
- b- qui agit au niveau d'une synapse.
- c- qui n'affecte pas le comportement.
- d- qui crée une dépendance.

6- Une stimulation extérieure :

- a- déclenche un message nerveux moteur.
- b- est captée par un récepteur.



- c- déclenche un message nerveux sensitif.
- d- déclenche une réponse de notre organisme.

7- Un message nerveux moteur :

- a- commande le mouvement des muscles.
- b- est transmis par un nerf sensitif.
- c- est transmis par un nerf moteur.
- d- est élaboré par les centres nerveux.

8- Le cerveau

- a- est le seul centre nerveux de l'organisme.
- b- reçoit les messages nerveux moteurs.
- c- commande par voie nerveuse les muscles effecteurs.
- d- peut être perturbé par l'usage de drogues.

9- Les neurones

- a- sont des cellules nerveuses.
- b- forment un réseau de communication.
- c- communiquent entre eux par des messages chimiques.
- d- ne communiquent pas entre eux.

10- Les cellules nerveuses sont appelées

- a- des neurones.
- b- des synapses.
- c- des nerfs.
- d- des fibres nerveuses.

11- Les fibres nerveuses

- a- sont toujours des axones.
- b- conduisent des potentiels d'action d'amplitude variable.
- c- sont des prolongements cellulaires.
- d- sont localisées uniquement dans les nerfs.

12- Le potentiel d'action

- a- est de fréquence constante.
- b- peut se propager uniquement le long de l'axone.
- c- est un message de nature chimique.
- d- conserve toutes ses caractéristiques lors de sa propagation.

### 13- Un bouton synaptique

- a- est situé à l'extrémité d'un axone ou d'une dendrite.
- b- contient des vésicules de différents neurotransmetteurs.
- c- libère des molécules de neurotransmetteurs en réponse à l'arrivée d'un potentiel d'action.
- d- libère toujours la même quantité de neuromédiateurs.

### 14- Les neurotransmetteurs

- a- sont identiques au sein du système nerveux.
- b- se déversent dans l'axone lors de l'arrivée du potentiel d'action à l'extrémité de la dendrite.
- c- se déversent dans la fente synaptique lors de l'arrivée du potentiel d'action à l'extrémité de la dendrite.
- d- restent fixés au récepteur postsynaptique.

### 15- Deux neurones communiquent entre eux

- a- par des synapses.
- b- par l'intermédiaire d'un messenger chimique.
- c- par le sang.
- d- par un arc électrique.

### 16- La moelle épinière se situe

- a- autour de la colonne vertébrale.
- b- dans la colonne vertébrale.
- c- le long du tube digestif.
- d- autour du cerveau.

### 17- Le potentiel de repos

- a- correspond à une différence de potentiel membranaire de - 70 mV.
- b- montre que l'extérieur est plus électronégatif que l'intérieur.
- c- est présent chez toutes les cellules même non vivantes.
- d- est aussi appelé potentiel d'action.

## EXERCICES

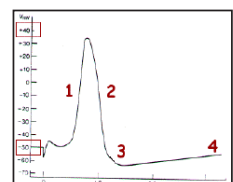
### Exercice 1

#### 1- Compléter les pointillés :

Le potentiel de repos est la..... enregistrée sur une fibre isolée au repos, entre la surface externe chargée ..... et l'intérieur chargée .....

La stimulation en un point de la membrane d'un élément excitable, entraînant une ..... membranaire suffisante (valeur seuil), provoque l'apparition d'un potentiel d'action (PA). Ce PA est une ..... brutale et ..... du potentiel de ....., qui obéit à la loi ..... et se propage sans ....., de manière autonome, tout au long de la membrane de l'élément excité.

#### 2- Analyser le document ci-contre :



3- Choisir la bonne réponse :

Pendant le potentiel d'action, la partie excitée d'une fibre nerveuse est chargée :

- a- positivement à l'extérieur et négativement à l'intérieur.
- b- négativement à l'extérieur et positivement à l'intérieur.

4- Les fibres nerveuses ont deux (2) propriétés physiologiques. Lesquelles?

4- Quelle est l'origine ionique du potentiel de repos d'une part et du potentiel d'action d'autre part ?

### Exercice 2

Dans l'étude physiologique des nerfs, on utilise des électrodes excitatrices et des électrodes réceptrices liées à un oscilloscope.

1) Quelle est la courbe obtenue à partir du montage du document 1 ?

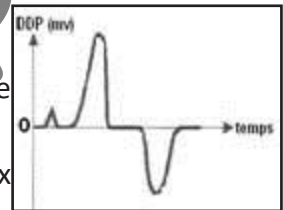
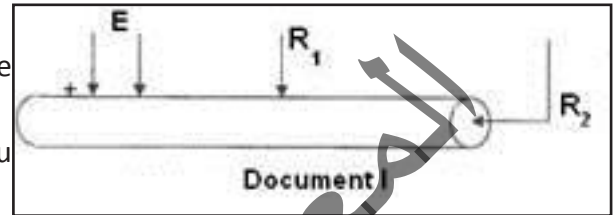
2) Quel montage correspondant à la courbe du potentiel d'action diphasique ci-contre ?

3) Quelles propriétés de fibre nerveuse met en évidence cette courbe diphasique ?

4) Définir les mots : chronaxie, rhéobase. Donner leur importance dans le cadre de l'étude de la physiologie nerveuse.

5) Après avoir défini « synapse », dites comment se la propagation de l'influx nerveux à ce niveau ?

6) Faire le schéma annoté d'un neurone.



### Exercice 3

Des expériences de stimulation sont portées sur le nerf sciatique d'une grenouille.

Toutes les stimulations sont portées en un point B quelconque d'un nerf (Document 1).

Les modalités des expériences sont portées dans le tableau ci-dessous.

|          | Intensité de stimulation en mA (I) | Place de l'électrode réceptrice R sur le nerf sciatique |
|----------|------------------------------------|---|
| Courbe a | 0,1                                | à 150 mm de B   |
| Courbe b | 1                                  | à 150 mm de B   |
| Courbe c | 1                                  | à 30 mm de B  |
| Courbe d | 1                                  | à 150 mm de B   |

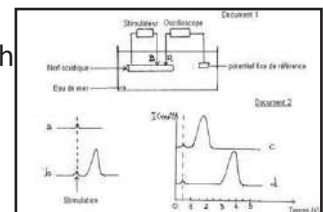
Les courbes a, b, c, d sont représentées dans le document 2.

1-a) Analyser la courbe b du document 2, en distinguant les différentes phases.

b) Quelles propriétés du nerf la courbe b met-elle en évidence ?

2- Expliquer l'allure des courbes a et b de ce document.

3- En utilisant les données des courbes c et d du document 2 et celles du tableau précédent, calculer la vitesse de conduction du nerf sciatique d'une grenouille.



### Exercice 4

Les structures A, B et C ci-dessous sont prélevées de 3 parties différentes du tissu nerveux.

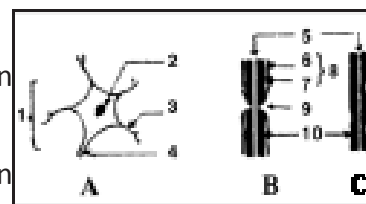
1) a) Annotez ces structures en précisant pour chaque numéro le nom correspondant.

b) Indiquez à quelle partie du système nerveux appartient chacune de ces structures. Justifiez, à chaque fois votre réponse.

2) Ces différentes structures A, B et C appartiennent à une même cellule qui représente l'unité structurale du tissu nerveux.

a) Décrivez, schéma à l'appui, une expérience permettant de mettre en évidence la continuité entre ces structures.

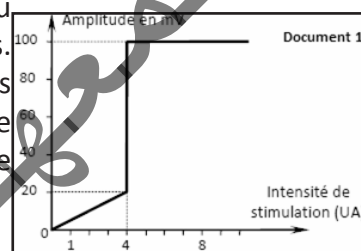
b) Nommez et représentez, à l'aide d'un schéma clair, la cellule en question.



3) Les récepteurs sensoriels et les boutons synaptiques sont des terminaisons de fibres nerveuses. Précisez leurs rôles respectifs.

### Exercice 5

A. Une fibre nerveuse géante de calmar est placée dans un milieu convenable. On porte sur la fibre des stimulations d'intensités croissantes. Une électrode réceptrice est implantée au-dessous des électrodes stimulatrices détecte les variations de la ddp transmembranaire. Le document 1 ci-contre montre l'évolution de l'amplitude du phénomène électrique enregistré en fonction de l'intensité de stimulation.

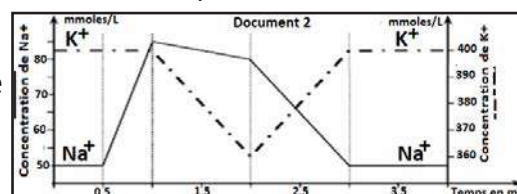


1) Représentez, à l'échelle et nommez les phénomènes électriques correspondants aux intensités 1, 3 et 4.

2) Analysez la courbe du document 1 en vue de déduire les propriétés correspondant de ces phénomènes électriques.

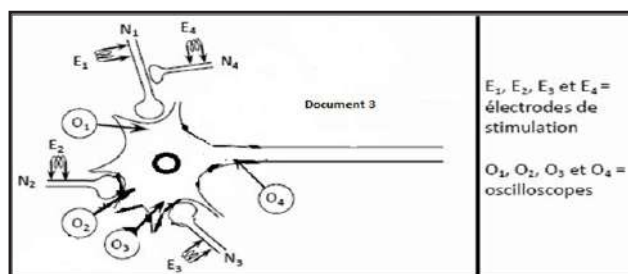
3) Représentez et justifiez le tracé obtenu avec la stimulation d'intensité 8, à une distance de 12 cm des électrodes stimulatrices sachant que la vitesse du phénomène électrique est de 40 m/s.

B) 2<sup>ème</sup> série d'expériences : Afin de comprendre les mouvements ioniques au niveau de la fibre nerveuse, suite à une stimulation efficace d'intensité 8 (document 1), on mesure les variations des concentrations intracellulaires des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  dans cette fibre. Les résultats de ces mesures sont représentés par les graphes du document 2.



A partir d'une analyse rigoureuse des graphes du document 2, et en faisant appel à vos connaissances, expliquez les mouvements ioniques des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  en relation avec les phases du phénomène enregistré suite à cette stimulation.

C) 3<sup>ème</sup> série d'expériences : On considère le circuit neuronique du document 3. Trois neurones présynaptiques  $\text{N}_1$ ,  $\text{N}_2$  et  $\text{N}_3$  font des jonctions sur un même neurone postsynaptique M et un neurone  $\text{N}_4$  faisant jonction sur  $\text{N}_1$ .



1) Expérience 1 : On stimule isolément et avec une intensité suffisante en  $\text{E}_1$ ,  $\text{E}_2$  et  $\text{E}_3$ .

Les ddp enregistrées au niveau des oscilloscopes  $\text{O}_1$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$  sont présentées dans le document 4 ci-contre.

| Document 4                  | ddp enregistrée en millivolt (mV) au niveau de : |              |              |              |
|-----------------------------|--|--------------|--------------|--------------|
|                             | $\text{O}_1$                                     | $\text{O}_2$ | $\text{O}_3$ | $\text{O}_4$ |
| Stimulation de $\text{N}_1$ | - 82   |              |              | - 78         |
| Stimulation de $\text{N}_2$ |  | - 54         |              | - 58         |
| Stimulation de $\text{N}_3$ |  |              | - 58         | - 61         |

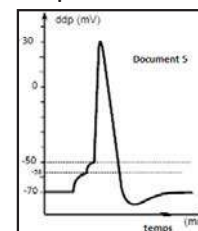
a) Précisez la nature de chacune des synapses  $N_1-M$ ,  $N_2-M$  et  $N_3-M$  et justifiez la réponse en précisant le nom de chaque phénomène électrique enregistré.

b) En comparant les ddp enregistrées en  $O_1$ ,  $O_2$  et  $O_3$  par rapport à  $O_4$ , quelle propriété du phénomène électrique pouvez-vous dégager ?

2) Expérience 2 : On stimule simultanément les neurones  $N_1$ ,  $N_2$  et  $N_3$ .

Représentez, à l'échelle, l'enregistrement obtenu en  $O_4$  et justifiez-le.

En déduire le rôle du neurone M.



3) Expérience 3 : Dans cette expérience, on a obtenu en  $O_4$  l'enregistrement du document 5.

a) Quelle expérience possible a-t-on réalisée pour obtenir cet enregistrement ? Justifiez.

b) Quel est le rôle joué par le neurone M dans cette expérience ?

4) Expérience 4 : On stimule simultanément  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  et  $N_4$ . On enregistre en  $O_4$  un potentiel d'action.

On stimule simultanément  $N_1$  et  $N_4$ , la ddp de repos ne change pas au niveau d' $O_1$ .

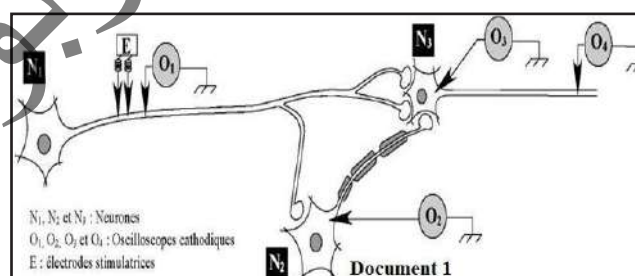
Exploitez les informations tirées par ces deux expériences afin d'expliquer :

- le rôle du neurone  $N_4$ .

- l'obtention d'un potentiel d'action en  $O_4$  suite aux stimulations simultanées des neurones  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  et  $N_4$ .

### Exercice 6

On se propose d'étudier le mode de fonctionnement des synapses. Pour cela, on réalise deux expériences selon le dispositif expérimental représenté dans le document 1.



**Expérience 1 :** On porte deux stimulations d'intensités croissantes  $I_1$  et  $I_2$  en E et on enregistre, parallèlement, les différences de potentiels au niveau des oscilloscopes  $O_1$ ,  $O_2$ ,  $O_3$  et  $O_4$ . Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

|                       |             | ddp (en mV) enregistrée au niveau: |       |       |       |
|-----------------------|-------------|------------------------------------|-------|-------|-------|
|                       |             | $O_1$                              | $O_2$ | $O_3$ | $O_4$ |
| Intensité du stimulus | $I_1$       | - 60                               | -70   | -70   | -70   |
|                       | $I_2 > I_1$ | +30                                | -58   | +30   | +30   |

1- Exploitez les données fournies dans le tableau en vue

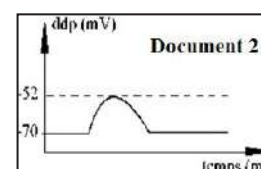
a- d'identifier la nature des potentiels obtenus en  $O_1$ ,  $O_2$ ,  $O_3$  et  $O_4$ , suite aux stimulations d'intensités  $I_1$  et  $I_2$ .

b- d'expliquer la différence de réponses enregistrées en  $O_2$  et en  $O_3$  suite à la stimulation  $I_2$ .

c- de déduire la nature de la synapse  $N_1-N_3$ .

Expérience 2 : On porte en E deux stimulations très rapprochées d'intensité  $I_2$ .

Le document 2 représente l'enregistrement obtenu en  $O_3$ .





2- Exploitez les résultats des expériences 1 et 2 en vue :

a- d'expliquer l'enregistrement obtenu en  $O_3$  (document 2).

b- de déduire la nature de la synapse  $N_2-N_3$ .

### Exercice 7

Pour comprendre les caractéristiques de la transmission neuroneuronique, on réalise des séries d'expériences sur des structures nerveuses isolées et placées dans un liquide physiologique contenant des ions calcium comme le présente le document 1.

#### ■ Première série d'expériences :

Le document 2 présente des expériences réalisées sur les neurones  $N_1$  et  $N_2$  ainsi que les enregistrements obtenus au niveau des oscilloscopes  $O_1$ ,  $O_2$  et  $O_3$ .

1) À partir de l'analyse du document 2 et en faisant appel à vos connaissances :

a- déduisez la nature des synapses  $N_1-M$  et  $N_2-M$ .

b- dégagez une propriété commune des potentiels enregistrés.

c- déterminez en justifiant votre réponse, le nombre minimal de stimulations efficaces mobilisant les deux synapses  $N_1-M$  et  $N_2-M$  pour obtenir un potentiel d'action au niveau de l'oscilloscope  $O_3$ .

2) A partir des informations précédentes, expliquez le rôle du neurone M.

■ Deuxième série d'expériences : Trois neurotoxines  $T_1$ ,  $T_2$  et  $T_3$  sont utilisées pour étudier le mécanisme du fonctionnement de la synapse  $N_2-M$ . Pour cela, on remplace le liquide physiologique du document 1 par un liquide physiologique contenant des ions calcium radioactifs puis on porte la stimulation  $St_2$  dans trois conditions expérimentales différentes. Ensuite,

- on enregistre les phénomènes électriques au niveau des oscilloscopes  $O_1$  et  $O_2$  ;

- on cherche la radioactivité dans l'élément présynaptique ;

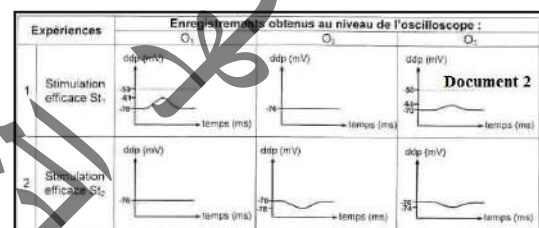
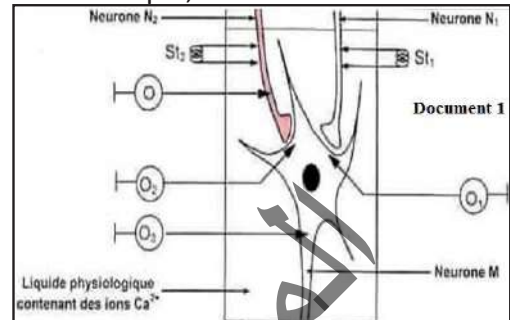
- on dose le GABA dans la fente synaptique  $N_2-M$ .

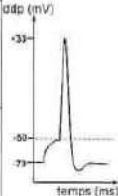
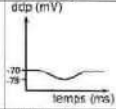
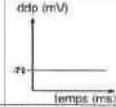
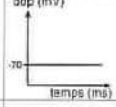
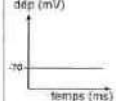
Les expériences et les résultats obtenus sont présentés par le document 3.

3) A partir de l'exploitation du document 3 et en faisant appel à vos connaissances

a- expliquez les résultats obtenus et dégagez l'effet de chacune des neurotoxines  $T_1$ ,  $T_2$  et  $T_3$ .

b- expliquez le mécanisme du fonctionnement de la synapse  $N_2-M$ .

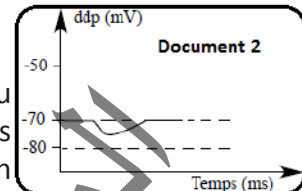
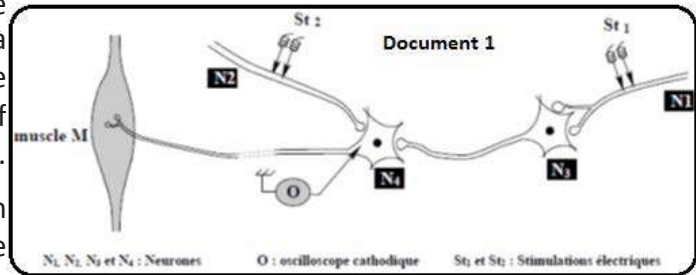


| Document 3  |  | Résultats  |  |                            |   |
|-------------|--|--|--|----------------------------|---|
| Expériences |  | Enregistrement au niveau de l'oscilloscope $O_1$                                     | Radioactivité dans l'élément présynaptique | Taux du GABA dans la fente | Enregistrement au niveau de l'oscilloscope $O_2$                                      |
| 1           | Stimulation $St_2$   |  | Présence                                   | 1.5 mmole/L                |  |
| 2           | Addition d'une neurotoxine T1 dans le liquide physiologique, suivie de la stimulation $St_2$ .   |  | absence                                    | Nul                        |  |
| 3           | Injection d'une neurotoxine T2 dans l'élément présynaptique, suivie de la stimulation $St_2$ .   |  | présence                                   | Nul                        |  |
| 4           | Injection d'une neurotoxine T3, ayant une structure proche de celle du GABA, dans la fente synaptique, suivie de la stimulation $St_2$ . |  | présence                                   | 1.5 mmole/L                |  |

## Exercice 8

On se propose d'étudier le mécanisme de la transmission du message nerveux à travers les synapses. Pour cela on réalise deux expériences en utilisant le dispositif expérimental représenté dans le document 1.

Expérience 1 : On porte une stimulation efficace  $St_1$  au niveau de l'axone du neurone  $N_1$ . Le tracé du document 2 représente l'enregistrement obtenu au niveau de l'oscilloscope O.



Expérience 2 : On porte, simultanément, une stimulation efficace  $St_1$  au niveau de la terminaison axonique du neurone  $N_1$  et deux stimulations efficaces, successives et très rapprochées  $St_2$  au niveau de la terminaison axonique du neurone  $N_2$ . Il en résulte une contraction du muscle M.

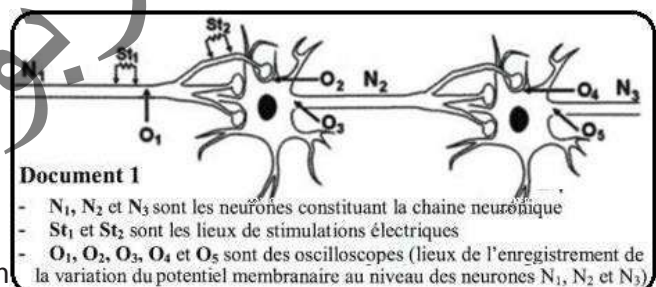
1- Exploitez les résultats des expériences 1 et 2 en vue de :

- préciser la nature des synapses  $N_1-N_3$ , et  $N_2-N_4$ .
- dégager deux propriétés du message nerveux.

2- En tenant compte des informations dégagées précédemment et de vos connaissances, expliquez la fonction assurée par le neurone  $N_4$ .

## Exercice 9

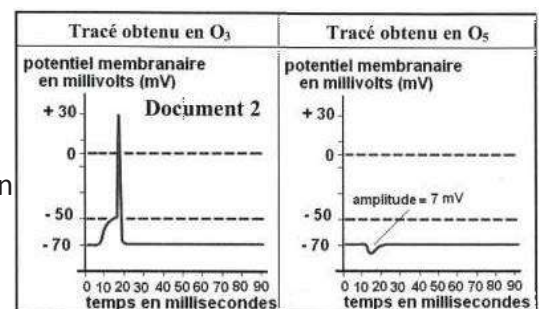
On se propose d'étudier certains phénomènes électriques au niveau d'une chaîne de neurones. Le document 1 ci-contre montre une chaîne de trois neurones  $N_1$ ,  $N_2$  et  $N_3$ . En utilisant le dispositif expérimental du document 1 ci-dessus, on réalise les deux expériences suivantes :



Expérience 1 : On porte en  $St_1$  une stimulation efficace ; les réponses obtenues en  $O_3$  et  $O_5$  sont représentées sur le document 2.

1- En exploitant les documents 1 et 2 et :

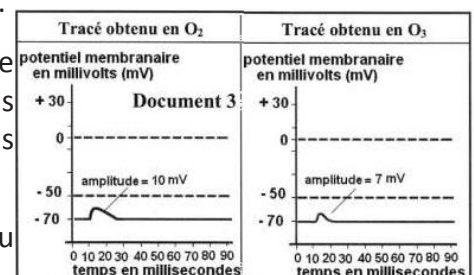
- schématisez les tracés enregistrés en  $O_1$ ,  $O_2$  et  $O_4$ .
- expliquez l'obtention des tracés enregistrés en  $O_3$  et en  $O_5$  (document 2).
- déduisez la nature des neurones  $N_1$  et  $N_2$ .



Expérience 2 : On applique une stimulation isolée en  $St_2$  ; on obtient en  $O_2$  et en  $O_3$  les tracés indiqués sur le document 3.

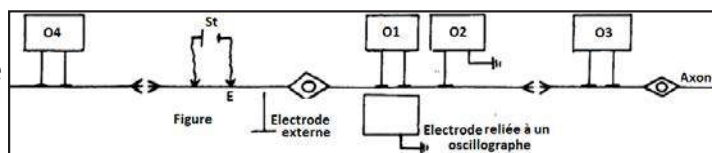
2- En tenant compte de ces tracés, indiquez la nature de la réponse que l'on peut obtenir en  $O_3$  si on porte en  $St_2$  trois stimulations rapprochées et de même intensité que celle appliquée dans l'expérience 2 ; justifiez votre réponse.

3- A partir des expériences 1 et 2, expliquez alors le rôle du neurone  $N_2$  dans la transmission du message nerveux.



### Exercice 10

La figure suivante représente une chaîne de neurones. Deux électrodes excitatrices sont placées au point E (sur une dendrite) et en O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> et O<sub>4</sub> on place 4 oscillographes



cathodiques. On applique successivement, par les électrodes excitatrices, des courants électriques dont les intensités sont données dans le tableau ci-dessous. On détermine pour chaque intensité le temps d'excitation minimum nécessaire pour obtenir une réponse (observée sur l'écran de l'oscillographe O<sub>1</sub>).

|                             |     |     |     |      |     |     |     |     |     |
|-----------------------------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Intensités en milliampères  | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,7 | 1,2 |
| Temps d'excitation en msec. | 2   | 1   | 0,9 | 0,6  | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,1 |

1) Construire la courbe  $I = f(t)$  en prenant, par exemple, pour échelle : 1 cm pour 0,2 mA et 1 cm pour 0,2 msec.

2- a) Interprétez cette courbe et donnez les valeurs caractéristiques concernant l'excitabilité de la fibre nerveuse considérée.

b) On excite de nouveau la fibre avec un courant d'intensité  $I_1 = 0,2$  mA pendant un temps  $t_1 = 0,3$  ms. Qu'observe-t-on sur l'écran de O<sub>1</sub> et sur celui de O<sub>2</sub> ? Justifiez votre réponse.

c) Même question avec un courant d'intensité  $I_2 = 0,3$  mA et un temps  $t_2 = 0,6$  ms.

Justifiez votre réponse.

3) On porte en E une excitation efficace :

a) Qu'observe-t-on sur l'écran de chacun des oscillographes (O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> et O<sub>4</sub>) ?

b) Des mesures ont montré que la vitesse de l'influx dans cette fibre est de 50 m/s, la distance entre E et O<sub>3</sub> de 12 mm et le temps mis par l'influx entre E et O<sub>3</sub> de 0,34 ms. Interprétez ces résultats.

### J'approfondis mes connaissances

**Document :** Substances capables de modifier le fonctionnement synaptique.

De nombreuses substances provenant de la pollution (dés herbants), du dopage (amphétamines), des drogues (cocaïne, nicotine, morphine, etc.) peuvent modifier ce fonctionnement au niveau des différents stades.

La connaissance du fonctionnement synaptique permet d'aider ou de bloquer la synapse par l'intermédiaire de médicaments (qui sont parfois les mêmes substances que les drogues mais que l'on fait agir sur des synapses malades et dont la quantité est toujours dument contrôlée).

#### ▪ Facteurs modifiant la synthèse:

- Si les nutriments appropriés (en particulier les acides aminés) ne sont pas fournis, la synthèse du neurotransmetteur ne peut pas avoir lieu.

- Dans le cas de la maladie de Parkinson, ce sont les enzymes de synthèse du médiateur, la dopamine, qui ont disparu.

Certaines drogues peuvent inhiber la synthèse d'un transmetteur.

Par exemple : l'une d'entre elles inhibe la formation de la sérotonine. Or, la sérotonine est le transmetteur essentiel impliqué dans le sommeil. La perturbation se traduit chez le Rat par une impossibilité de dormir pendant 48 heures après l'injection de la drogue.

▪ **Facteurs agissant sur la libération du transmetteur:**

Lors du dopage, les amphétamines agissent en augmentant la libération des médiateurs du même groupe que l'adrénaline. Ces médiateurs, en plus grande quantité au niveau des synapses, provoquent une excitation inhabituelle.

▪ **Facteurs modifiant la fixation du transmetteur sur les récepteurs postsynaptiques:**

Nous avons vu que le récepteur était spécifique d'un neurotransmetteur déterminé ; mais une molécule de forme très proche peut tromper le récepteurs et se fixer sur lui. Suivant le cas, elle peut l'exciter ou le bloquer.

**Exemple 1 : Mimétisme.**

La morphine (extraite du Pavot) a une molécule de forme très voisine de celle de neurotransmetteurs normalement sécrétés par les neurones de certaines régions du cerveau : les endorphines qu'on appelle encore les morphines du cerveau.

Une injection de morphine libère dans le sang un grand nombre de molécules qui vont se fixer sur les récepteurs des endorphines et jouer le même rôle : diminuer la douleur. C'est pourquoi la morphine est utilisée en milieu hospitalier pour atténuer la souffrance dans le cas de maladies très douloureuses.

Cependant, la molécule de morphine n'est pas tout à fait semblable à celle d'une endorphine. Ceci explique qu'elle ait des propriétés différentes :

- elle est moins rapidement détruite (son action est plus longue),
- elle crée un caractère d'accoutumance (cas de la morphine-drogue).

C'est-à-dire que l'organisme exige des doses de plus en plus fortes entraînant un mauvais fonctionnement de la synapse.

**Exemple 2 : Blocage.**

Le curare, poison d'origine végétale, était utilisé par les Indiens pour enduire leurs pointes de flèches. Le gibier atteint était rapidement paralysé. On sait maintenant que la molécule de curare est assez longue.

A ses deux extrémités, elle mime grossièrement une molécule d'acétylcholine de sorte qu'elle bloque deux sites récepteurs en même temps au niveau de l'appareil sous-neural de la plaque motrice. Les sites étant déjà occupés, l'acétylcholine ne peut pas se fixer et transmettre l'excitation au muscle, d'où la paralysie.

▪ **Substances agissant sur l'inactivation des neurotransmetteurs:**

**Un exemple :** certains insecticides organochlorés bloquent l'action de la cholinestérase.

L'acétylcholine n'étant pas détruite, elle continue donc à agir. Voici comment se traduit cette action :

- Au niveau des muscles lisses du tube digestif, les contractions musculaires entraînent des diarrhées.
- Les contractions au niveau des bronches vont rendre la respiration pénible et peuvent entraîner l'asphyxie.

- La libération d'acétylcholine à la jonction nerf-glandes exocrines (glandes salivaires et glandes sudoripares) provoque une hyper salivation et sudation intense.
- Enfin, sur le cœur, l'acétylcholine agit comme s'il y avait une excitation permanente du système parasympathique ; c'est-à-dire un effet dépresseur entraînant une bradycardie.

Ainsi, de nombreuses substances provenant de la pollution (désherbants), du dopage (amphétamines), des drogues (cocaïne, nicotine, morphine, etc.), peuvent modifier ce fonctionnement au niveau des différents stades précités.

### J'utilise mes connaissances:

#### Projet de classe :

A la fin du chapitre 4, les élèves en sous-groupes réalisent une investigation sur les métiers en rapport avec les cours :

Groupe 1 : Faire une maquette du système nerveux central et la présenter.

Groupe 2 : Faire un schéma sur l'organisation fonctionnelle du système nerveux et le présenter.

Groupe 3 : Faire une investigation sur les cas de pathologie du système nerveux (Maladie de Parkinson).

Groupe 4 : Faire une investigation sur les cas de pathologie du système nerveux (Maladie d'Alzheimer).

Groupe 5 : Faire une investigation sur les cas de pathologie du système nerveux (Maladie d'Epilepsie).

Groupe 6 : Faire une investigation sur les cas de pathologie du système nerveux (Personnes ayant fait un AVC).

Groupe 7 : Faire une investigation sur les Neurosciences.

Groupe 8 : Faire une investigation sur le métier de neurologue.

S'informer auprès du professeur de Français (pour le langage scientifique adapté), de Physique (Galvanomètre, voltmètre, oscilloscope, flux, potentiel, polarisation etc.), de Chimie (Phénomènes ioniques...), de Mathématiques (Vitesse, sommation ...) et d'un professionnel en plus de la documentation en livres et internet.



# المجلة التثريوي الوطني

CHAPITRE IV :  
GRANDS ENSEMBLES  
GÉOLOGIQUES/POTEN-  
TIALITÉS MINIÈRES ET  
HYDROGÉOLOGIQUES  
DE LA MAURITANIE

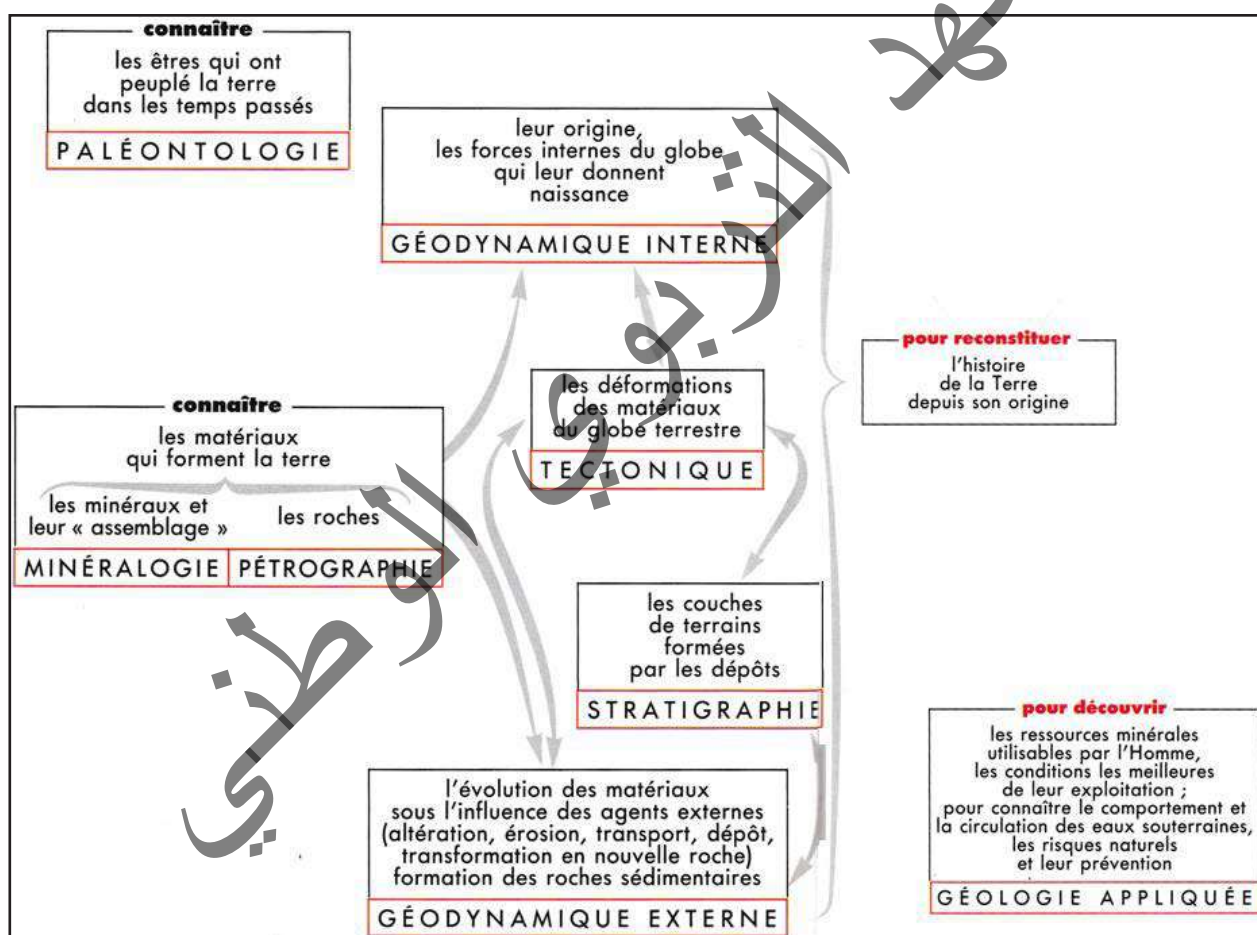
# المحطة التدريبية الوطنية

## Je découvre :

## I- Notions préliminaires

## Activité 1 :

Définir quelques notions préliminaires en géologie.



En vous aidant du document précédent, définir les principales notions en géologie.

La géologie (du grec ancien *gê*, la Terre, et *logos*, le discours) est la science dont le principal objet d'étude est la Terre. Elle se base en premier lieu sur l'observation, puis établit des hypothèses permettant d'expliquer l'agencement des roches et des structures les affectant afin d'en reconstituer l'histoire et les processus en jeu. Elle permet de comprendre la structure de la Terre et un certain nombre de mécanismes à l'origine de phénomènes naturels. La géologie est une science comprenant de nombreuses spécialités et fait appel aux connaissances de domaines scientifiques variés, tels que la biologie, la physique, la chimie, la science des matériaux, la cosmologie, la climatologie, l'hydrologie...

Les méthodes d'études et les connaissances géologiques s'appliquent dans de nombreux domaines sociétaux, économiques et industriels, comme l'exploitation de matières premières, le génie civil, la gestion des ressources en eau, la gestion de l'environnement ou la prévention des risques naturels. La géologie se compose de nombreuses disciplines spécialisées :

- La pétrographie (du grec *petra*, « pierre », et *graphê*, « description ») désigne l'étude descriptive des roches : elle consiste à décrire les différentes caractéristiques d'une roche (texture, assemblage minéralogique, porosité...) par le biais d'observations directes, macroscopiques ou microscopiques, et d'acquisition de données par soumission des échantillons à différentes méthodes.
- La pétrologie (du grec *petra* et *logos*, « étude ») est la discipline dont l'objectif est de déterminer les mécanismes de formation et d'évolution d'une roche. On distingue la pétrologie exogène, qui s'intéresse aux processus de formation des roches sédimentaires à la surface de la Terre et la pétrologie endogène, qui est axée sur les processus de formation des roches magmatiques et des roches.
- La minéralogie est l'étude et la caractérisation des minéraux.
- La stratigraphie est la branche qui étudie l'agencement des différentes couches (ou strates) géologiques afin d'en tirer des informations temporelles.
- La paléontologie est une discipline dont le domaine d'étude se concentre sur les êtres vivants disparus (fossiles) pour en tirer des conclusions sur leur évolution au cours des temps géologiques. Les objectifs de la paléontologie sont de décrire les espèces fossilisées, afin d'en déduire des conclusions phylogéniques, et de déterminer la relation entre les êtres vivants disparus et actuels pour réfléchir à propos de leur évolution.
- La tectonique est la branche qui traite des déformations au sein de la croûte terrestre ; elle se focalise principalement sur la relation entre les structures géologiques et les mouvements et les forces qui sont à l'origine de leur formation.
- La géologie appliquée qui utilise ces différentes disciplines dans des domaines d'intérêt tels que les mines, le pétrole, les travaux publics, l'eau...

La géologie appliquée est à la base de la recherche et de l'exploitation des ressources naturelles, qu'elles soient énergétiques (charbon, pétrole, gaz naturel et minerais radioactifs) ou minérales (minerais métalliques, phosphates...). Cette Science intervient aussi dans la recherche et l'exploitation des matériaux de construction et dans l'étude préalable à toute construction d'ouvrages d'art. Elle participe également à la recherche des eaux souterraines. La géologie appliquée contribue à la protection de notre environnement en général et à l'utilisation rationnelle des ressources naturelles en particulier.

Le géologue intervient dans les études préliminaires aux grands travaux :

- travaux de surface : carrières, barrages, fondations, routes, ponts, aérodromes, voies ferrées, agrandissement de la ville ;
- travaux en profondeur : puits, tunnels, galeries.

Les roches (du latin populaire *rocca*) sont des matériaux naturels généralement solides et formés, essentiellement ou en totalité, par un assemblage de minéraux, comportant parfois des fossiles (notamment dans les roches sédimentaires), du verre résultant du refroidissement rapide d'un liquide (volcanisme, friction...) ou des agrégats d'autres roches.

La roche présente une grande diversité d'aspects décrits comme suit :

- souvent dure et cohérente : elle est dénommée pierre (marbre, granite), caillou, galet... ;



- friable ou inconsistante à l'image de la craie et du talc pressés sous les doigts ;
- plastique comme l'argile humidifiée ;
- meuble à l'exemple du sable qui coule dans le sablier ;
- à la limite liquide — huile — ou gazeuse ;
- ou perméable comme le calcaire ;
- ou imperméable comme l'argile.

La classification des roches reste complexe, car elle est basée sur un grand nombre de critères. Elles sont classées selon leur composition, leur origine ou la modalité de leur formation ; d'abord en trois grandes catégories :

- les roches magmatiques formées par la solidification de magmas : les roches volcaniques, les roches plutoniques ;
- les roches sédimentaires, formées à la surface de la Terre ou dans les mers par l'accumulation en couches de matériaux sous l'action d'agents exogènes, comme le vent, l'eau ou les squelettes externes de petits organismes aquatiques ;
- les roches métamorphiques formées par la recristallisation (et généralement la déformation) de roches sédimentaires ou magmatiques. Cela se produit sous l'action de la température et de la pression qui croissent avec la profondeur dans la croûte terrestre ou au contact d'autres roches et la lave.

Un minéral (terme qui semble provenir du mot latin *minera*, signifiant minière ou mine) est le plus souvent un solide naturel, inorganique et homogène avec une structure atomique ordonnée et une composition chimique définie. Il peut être décrit, dans la très grande majorité des cas, comme une matière cristallisée caractérisée par sa composition chimique et l'agencement de ses atomes selon une périodicité et une symétrie précises qui se reflètent dans le système cristallin et le groupe d'espace du minéral.

Un minéral est donc une substance qui n'est pas vivante et qui peut être formée naturellement ou synthétisée artificiellement. Il se définit par sa composition chimique et l'organisation de ses atomes. Les minéraux sont généralement solides dans les conditions normales de température et de pression. Ils s'associent pour former les roches constituant la croûte terrestre et, d'une façon plus générale, la lithosphère. La science qui étudie les minéraux est la minéralogie. Les minéraux peuvent être composés d'un seul élément comme le carbone (DIAMANT) ou l'OR, ou de plusieurs éléments. Les roches peuvent être formées d'une seule espèce minérale : roches simples (roches monominérales) comme les grès, les calcaires. Elles peuvent résulter de l'association de plusieurs minéraux de natures différentes : roches composées (roches polyminérales) comme le granite, le basalte.

Voici des exemples de minéraux qui constituent des roches : quartz ou silice, feldspath, orthose, mica, calcite...

Un minerai (du latin *minera*, mine) est une roche contenant des minéraux utiles en proportion suffisamment intéressante pour justifier l'exploitation, et nécessitant une transformation pour être utilisés par l'industrie. Par extension, le terme « minerai » peut également désigner directement les minéraux exploités. Beaucoup de minerais sont métalliques, ex : la bauxite pour l'aluminium ; la galène pour le plomb ; la garniérite pour le nickel ; la sidérite, la magnétite et l'hématite pour le fer ...Mais pas uniquement, ex : la fluorine pour le fluor ; la barytine pour le baryum ; le lignite, l'antracite pour le charbon...

La mine est le lieu d'extraction et/ou d'exploitation du minéral. Un gisement est un ensemble géologique qui renferme un minéral susceptible d'être exploité.

## II- Ères géologiques :

### Activité 2 :

Donner un aperçu sur les subdivisions des ères géologiques.

L'échelle des temps géologiques est un système de classement chronologique utilisé, notamment en géologie, pour dater les événements survenus durant l'histoire de la Terre. Les premières échelles des temps géologiques trouvent leur source au XVIII<sup>e</sup> siècle mais prennent une forme de datation précise avec Arthur Holmes, dans les années 1930.

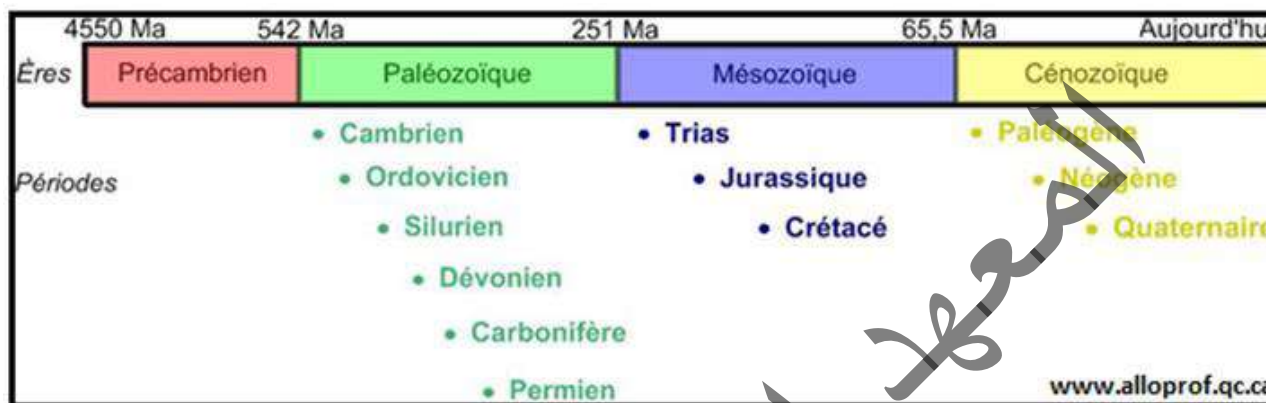
|                | ÈRE         | PÉRIODE                     | ÉPOQUE               | AGE ABSOLU<br>(en MA) | CYCLE OROGÉNIQUE            |
|----------------|-------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------|
| CÉNOZOÏQUE     | QUATERNAIRE |                             | Holocène             |                       | ALPIN                       |
|                |             |                             | Pléistocène          |                       |                             |
|                | TERTIAIRE   | NÉOGÈNE                     | Pliocène             | 2                     |                             |
|                |             |                             | Miocène              | 5                     |                             |
|                |             | PALÉOGÈNE<br>= NUMMULITIQUE | Oligocène            | 23                    |                             |
|                |             |                             | Éocène               | 35                    |                             |
| MÉZOZOÏQUE     | SECONDAIRE  | CRÉTACÉ                     | supérieur            | 65                    | ALPIN                       |
|                |             |                             | inférieur            | 100                   |                             |
|                |             | JURASSIQUE                  | supérieur            | 130                   |                             |
|                |             |                             | moyen                | 150                   |                             |
|                |             |                             | inférieur            | 180                   |                             |
|                |             |                             | inférieur            | 205                   |                             |
|                |             | TRIAS                       | supérieur            |                       |                             |
|                |             |                             | moyen                |                       |                             |
|                |             |                             | inférieur            |                       |                             |
|                |             |                             |                      | 250                   |                             |
| PALÉOZOÏQUE    | PRIMAIRE    | PERMIEN                     |                      | 290                   | HERCYNIE                    |
|                |             | CARBONIFÈRE                 | supérieur = Houiller | 320                   |                             |
|                |             |                             | inférieur            | 360                   |                             |
|                |             | DÉVONIEN                    |                      | 400                   | CALÉDONIEN                  |
|                |             | SILURIEN                    |                      | 420                   |                             |
|                |             | ORDOVICIEN                  |                      | 500                   |                             |
|                |             | CAMBRIEN                    |                      | 530                   |                             |
| PRÉPALÉOZOÏQUE |             |                             |                      | 4600                  | CADOMIEN                    |
|                |             |                             |                      |                       | Plusieurs cycles mal connus |

Déterminer, en s'aidant du document, les différentes ères géologiques, leurs principales subdivisions et leur durée.

La Terre s'est formée il y a 4,6 milliards d'années et se poursuit jusqu'à aujourd'hui.

L'échelle des temps géologiques divise l'histoire de la terre en unités plus courtes appelées ères géologiques en se basant sur l'apparition et la disparition de différentes formes de vie. La mise au point des méthodes de datations radiométriques, on a obtenu des âges «absolus» répartis tout au long de l'échelle relative des temps géologiques.

Les ères sont les grandes divisions de l'échelle des temps géologiques : le Prépaléozoïque (Précambrien), le Paléozoïque (Primaire), le Mésozoïque (Secondaire) et le Cénozoïque (Tertiaire et Quaternaire). Les périodes sont les sous-divisions des ères géologiques.



### III- Ensembles géologiques de la Mauritanie

#### Activité 3 :

Identifier et décrire les grands ensembles géologiques de la Mauritanie.

Géologiquement, la Mauritanie se subdivise en grandes entités réparties comme le montre la carte (ci-dessous).



Dégage à partir de cette carte, les principales unités qui forment la géologie de la Mauritanie et leurs limites.

Géologiquement, la Mauritanie se subdivise en 5 ensembles répartis comme suit :

♦ **La chaîne des Mauritanides** : appelée autrefois (avant 1962) Arc Akjoujt-Bakel, elle correspond à des collines, à des reliefs isolés (inselberg) et à des crêtes grésos-quartzitiques N-S rectilignes, localisés à une zone arquée, ouverte vers l'ouest, d'orientation générale subméridienne et de 100 Km de large au maximum, qui s'étend de l'extrémité méridionale de la dorsale RGueibat au fleuve Sénégal, entre les latitudes 20° et 15°N et les longitudes 12° à 15°W. Elle dessine un arc de cercle dont la concavité est tournée vers l'Atlantique. Ses structures sont déversées vers l'Est sur le craton ouest africain qui constitue son avant pays. La chaîne des Mauritanides est composée de formations sédimentaires et métamorphiques fortement plissées et tectonisées, durant des événements orogéniques dont le plus marquant est l'événement Hercynien (âge d'environ 300 Millions d'années). Elle renferme de nombreuses minéralisations d'or, de cuivre, de chrome, cobalt et de terres rares. C'est dans cette chaîne que se trouve le gisement de cuivre-or d'Akjoujt.

Cette chaîne, en grande partie située en Mauritanie, est une longue bande de plus de 1800 km. Elle s'étend du Sahara occidental au Nord, jusqu'en Sierra Leone au Sud, en passant par la Mauritanie occidentale et l'Est du Sénégal. Elle est constituée de formations sédimentaires et métamorphiques fortement plissées et tectonisées.

Géographiquement du Nord au Sud, on peut distinguer trois tronçons :

- ▶ au Nord le tronçon Zemmour - Tiferchai ;
- ▶ au Centre le tronçon Akjoujt - Bakel ;
- ▶ au Sud, les régions orientales du Sénégal et de la Guinée septentrionale.

♦ **La Dorsale RGueibat** : Il s'agit d'un vaste bombement allongé NE-SW, formant la partie septentrionale du craton ouest africain. La dorsale RGueibat s'étend pour l'essentiel en Mauritanie, au Sahara Occidental et en Algérie. Elle se situe entre les méridiens 3° et 16° Ouest d'une part et les parallèles 20° et 27° Nord d'autre part couvrant une zone de 1500 km de long sur 205 à 400 km de large. Elle est constituée de terrains Archéens (âges supérieurs à 2,5 Milliards d'années) et Paléoprotérozoïques (âges entre 1 et 2,5 milliards d'années). Tandis qu'un domaine archéen affleure à l'Ouest et au Sud-Ouest (groupes de l'Amsaga, du Tasiast et de Ghallaman), on note l'existence d'un autre domaine central et oriental dit Birimien dont les formations sont rattachées au Protérozoïque inférieur (groupes de Chegga et de Chenachane). La Dorsale RGueibat est un socle cristallin constitué par des granites, des roches basiques et ultrabasiques ainsi que des roches métamorphiques, qui affleurent vers le Nord. Elle correspond à un vaste bombement de socle cristallin et métamorphique précambrien que l'érosion a réduit à l'état d'une pénéplaine parsemée de buttes et pitons dénommés Eglab, surtout granitiques.

On trouve dans ce domaine cratonique des gisements d'or et de fer et des indices identifiés d'or, de fer, de cuivre, de nickel, de lithium, de béryl, de wolfram, d'uranium et des éléments du groupe du platine. De même, des kimberlites ont été mises en évidence dont certaines sont diamantifères.

♦ **Le bassin de Taoudéni** : Le bassin sédimentaire de Taoudéni est le plus grand bassin de l'Afrique de l'Ouest (occupe 2/3 du craton) avec une superficie d'environ 1.500.000 km<sup>2</sup>. Sa partie occidentale constitue plus de la moitié du territoire Mauritanien. Sa limite méridionale est marquée par la dorsale de Léo, tandis que sa bordure septentrionale est limitée par la dorsale de RGueibat qui le sépare du bassin de Tindouf. Sa bordure occidentale est constituée par les Mauritanides alors que sa partie orientale est formée par l'Adrar des Iforas. Il est recouvert par des séries essentiellement infracambriennes et paléozoïques, peu déformées. Le bassin est composé de formations Protérozoïques Supérieures, de formations Cambro-ordoviciennes, et de roches sédimentaires du Silurien au Carbonifère. Sa partie orientale est couverte de sédiments Mésozoïques à Cénozoïques.



La formation Protérozoïque Supérieure est caractérisée par des roches sédimentaires de plateforme côtière, composées de grès, d'argiles et de calcaires et incluant également des roches sédimentaires continentales. La formation du Protérozoïque Supérieur est épaisse de 600m à 1400 m dans la région du Hank et de 1400m dans la région d'Adrar. L'épaisseur augmente vers la partie centrale du bassin. Les formations Cambro-Ordoviciennes, composées de conglomérats, de mudstones, de grès, de siltstones, couvrent en discontinuité le Protérozoïque Supérieur. Elles atteignent 1.000 m d'épaisseur. Les systèmes Siluriens-Carbonifères sont constitués de grès, d'argiles et de calcaires. La succession Paléozoïque est due à des mouvements tectoniques faibles, et présente une structure plate avec quelques failles, révélant une structure simple. Cependant, il existe quelques failles de direction ENE-WSW dans la région sud, accompagnées d'intrusions doléritiques d'âge Permo-Triassique. Le bassin de Taoudéni est un large affaissement intracratonique qui paraît s'être formé en réponse à l'Orogenèse panafricaine. Le bassin s'est initié dans l'Infracambrien et a continué à se développer durant le Paléozoïque jusqu'au Carbonifère. Dans le bassin de Taoudéni, les roches-mères d'âge infracambrien sont mal connues mais sont identifiées et prouvées être matures. Elles sont adjacentes aux réservoirs de calcaires à stromatolithes qui ont prouvé la présence de gaz dans le puits d'Abolag-1. Des réservoirs plus jeunes d'âge Ordovicien sont probablement plus importants économiquement.

♦ **Le Bassin Sédimentaire Côtier Atlantique** : La bordure occidentale du pays correspond au bassin Côtier sénégal-Mauritanien d'âge Jurassique à Quaternaire. Il s'étend entre les parallèles 11°N et 22° N, il s'étend du Nord au Sud, le long de la façade maritime mauritanienne, sur près de 750 km (de Nouadhibou à l'embouchure du fleuve Sénégalais). Il s'enfonce à l'intérieur du pays (vers l'Est) sur une distance atteignant par endroit 360km. La surface de ce bassin est estimée à 184 000 km<sup>2</sup>, dont plus de 100 000 km<sup>2</sup> en offshore. Il est limité au Nord par le Maroc, au Sud par le bassin sénégalais, à l'Est par la chaîne des Mauritanides et à l'Ouest par l'océan atlantique. Ce bassin est constitué par des sédiments du Jurassique au Quaternaire. Il est situé à l'ouest des Mauritanides. Il est constitué par des sédiments et des roches sédimentaires du Crétacé inférieur au Quaternaire, les plus anciens dépôts disparaissant progressivement vers l'est. La série Paléocène consiste en calcaires argileux avec quelques couches de grès et correspond à une régression marine de près de 100m. La série intermédiaire à supérieure est composée de grès argileux à glauconite, colorés en rouge par la présence d'oxydes de fer. Les lits siliceux et des couches de phosphate ont également été observés. La série Oligo-Miocène est composée d'argiles ou d'argiles marneuses. Le faciès représentatif est un grès argileux de couleur rouge due à la présence d'oxydes de fer. Le Quaternaire marin est composé de quatre transgressions marines : la mer s'est avancée plusieurs fois au-delà des côtes actuelles. Les transgressions les plus importantes s'observent en Mauritanie avec leurs quatre dépôts successifs : grès argileux à glauconies (Tafaritien), grès (Aioujien), calcaires clastiques (Inchirien), sable et coquillages (Noukchottien). Ces quatre épisodes sont séparés par 3 épisodes continentaux qui constituent l'histoire du Quaternaire.

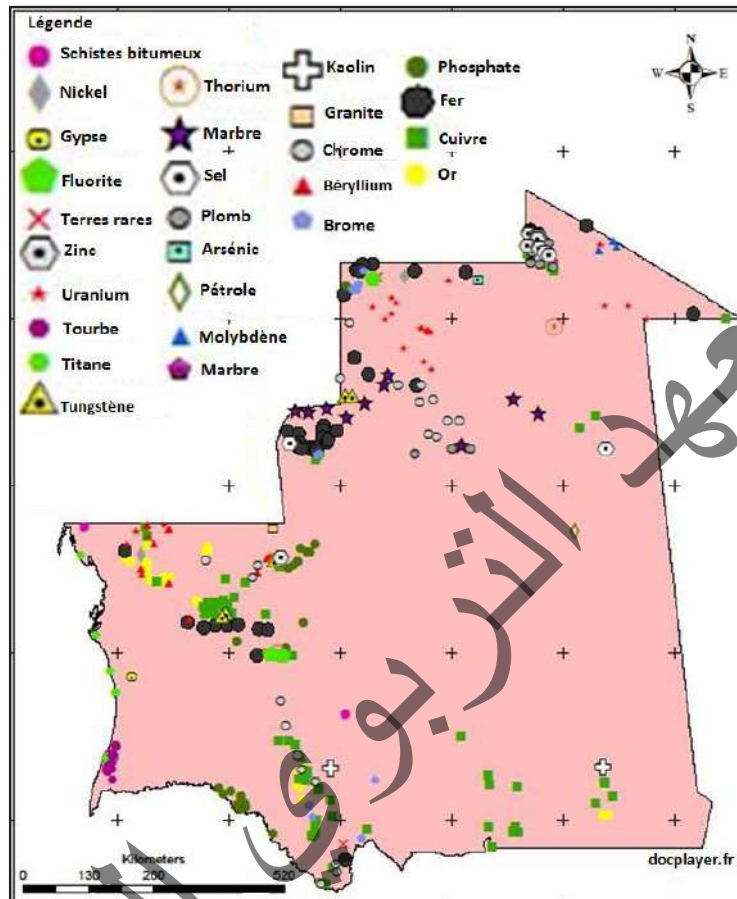
♦ **Le Bassin de Tindouf** : au nord, il est constitué par un remplissage sédimentaire (essentiellement gréseux) dont les termes de base, discordants sur le socle, sont progressivement plus anciens vers l'ouest. Il dessine un vaste synclinal E-W dont les pendages peuvent atteindre la verticale. Les auréoles sédimentaires de sa bordure sud forment par érosion différentielle une succession de cuestas qui longent la Dorsale Réguibat, alors que dans le reste du bassin les plaines et les plateaux et reliefs tabulaires dominent largement. Ce remplissage sédimentaire comprend plusieurs ensembles discordants entre eux. Le plus ancien est formé de terrains qui, à l'ouest, vont du Précambrien supérieur au Dévonien supérieur marin ou, à l'est, de l'Ordovicien supérieur au Stéphanien continental (au centre du bassin). Le Zemmour, dans l'extrême nord-ouest de la Mauritanie, représente à la fois la bordure sud-occidentale du bassin de Tindouf et, sur le plan structural, la zone externe et l'avant-pays plissé du tronçon nord de la chaîne hercynienne des Mauritanides.

## IV- Ressources minières

### Activité 4 :

Définir les principaux gisements miniers du pays.

Les quatre grandes régions géologiques de la Mauritanie présentent, grâce à leur genèse différente, des types de gisements qui leur sont spécifiques :



- Dégager de l'analyse du document, les principaux gisements miniers du pays.
- Donner des exemples de gisements ou d'indices signalés dans votre région.

♦ **Gisements du fer du Tiris** : La Dorsale RGueibat contient le célèbre site ferrifère du Tiris (Kédia d'Idjil). La Kédia d'Idjil est un massif montagneux qui domine très distinctement la pédiplaine du socle du Tiris (Dorsale RGueibat). Ce relief est essentiellement constitué de roches métamorphiques très plissées (quartzites, schistes, itabirites, brèches...).

Le minerai présente deux types principaux :

- le minerai en plaquettes, souvent friable, parfois induré, est formé d'un empilement de petits lits très riches en hématite, minéral de formule  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  qui confère à la roche un pourcentage de 65-66% de fer.

- le minerai massif, à l'aspect d'un grès gris-bleuté dont les grains sont constitués d'hématite. Il se présente en amas lenticulaires, épousant les structures tectoniques et ayant des dimensions souvent importantes (plusieurs centaines de mètres). Le pourcentage en fer est de l'ordre de 68%.

Dans les deux cas, le minerai est très riche en hématite, minéral dense ; le quartz est l'impureté principale.





Les guelbs sont des hauteurs isolées, des montinsules, dispersés dans un rayon de 50 km autour de Zouerate. Ils dominent de 100 à 200 m la pédiplaine environnante et sont constitués de quartzites ferrugineux intégrés dans des roches métamorphiques, des gneiss pour la plupart. Le Guelb El Rhein est l'objet d'une exploitation. Le minerai est un quartzite à magnétite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) avec, principalement dans la partie supérieure des affleurements, de l'hématite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) et de la goethite). Le quartz est l'impureté principale : le pourcentage en fer est de l'ordre de 37%.



Les gisements d'hématite sont localisés principalement au niveau de la Kedia d'Idjil et de M'haoudatt. Selon des informations de 2013, Guelb El Rhein, le seul gisement à magnétite en exploitation à l'heure actuelle, renferme plusieurs centaines de millions de tonnes de réserves prouvées. Le minerai est abattu à l'explosif, chargé dans des camions, concassé, trié puis transporté par train jusqu'à Nouadhibou où il est exporté.



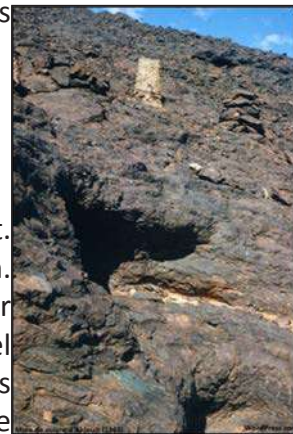
#### ♦ Gisements du Cuivre d'Akjoujt :

La chaîne métamorphique des Mauritanides renferme de très nombreux indices de cuivre dont certains sont associés à de l'or et du manganèse ou à du cobalt. Le Guelb Moghrein, à Akjoujt représente le gisement type de cuivre de cette région. A quatre kilomètres à l'Ouest d'Akjoujt, la colline occidentale du Guelb Moghrein a connu une exploitation de cuivre dès l'époque protohistorique.

Le gisement est encaissé dans des formations peu métamorphisées, qui sont d'anciennes roches sédimentaires détritiques (schistes siliceux) ou carbonatées (dolomies), ou bien des émissions volcaniques basiques. Bien qu'étant métamorphisées ces dernières, des chloritoschistes notamment, conservent leur composition initiale de laves ou de tufs basiques. Le gisement est un amas lenticulaire, de pendage  $30^\circ$  en surface et qui constitue le cœur d'un synclinal faillé. De bas en haut, deux zones principales sont à distinguer :

- ♦ le minerai profond, sulfuré.
- ♦ le minerai superficiel, oxydé.

Le minerai sulfuré (1,8 % de cuivre) occupe la partie inférieure du gisement. C'est un amas de carbonates magnésiens et ferri-fères avec un peu de calcium. La chalcopryrite est l'espèce minérale la plus intéressante de cette zone, car elle contient le cuivre. Le minerai oxydé (2,7 % de cuivre) occupe l'essentiel de la partie supérieure du gisement. Les oxydes de fer y sont très abondants et les minéraux cuprifères sont représentés principalement par la malachite et la chrysocolla. L'ensemble est coiffé par un « chapeau de fer », croûte ferrugineuse d'une épaisseur de 0 à 15 m qui résulte de l'oxydation superficielle du gisement.



#### ♦ Gisements du phosphate de Bofal :

A environ 300 km de la côte, le long de la rive nord du fleuve Sénégal, on trouve des gisements de phosphate sous la forme d'affleurements au sein de la Formation de Bofal, d'âge Éocène.

Deux gisements ont été largement étudiés, à savoir le gisement dans le village de Bofal, et celui de Loubboira. Les réserves de Bofal sont de 130 Mt avec une épaisseur moyenne de 1,7 m, une teneur moyenne de 21 % en  $\text{P}_2\text{O}_5$ , et épaisseur de recouvrement de 8 m en moyenne. En comparaison, Loubboira est caractérisé par des réserves de 29 Mt, une épaisseur moyenne de 2 m, une teneur moyenne de 19 % en  $\text{P}_2\text{O}_5$ , et une épaisseur de recouvrement de 7 m en moyenne.



Ces ressources sont ouvertes au nord à Bofal et au sud-est à Loubboira ; les réserves probables totales pourraient dépasser les 100 Mt.

L'apatite est un phosphate commun dans les roches métasédimentaires (schistes cristallins et marbres).

#### ♦ Gisement d'or de Taziast :

Le gisement d'or de Taziast a été découvert en 1994 mais la production de l'or n'a commencé qu'en juillet 2007.

Les réserves prouvées et probables sont d'environ 8,9 millions d'onces d'or.

Située à environ 300 kilomètres au nord de Nouakchott, dans la région de l'Inchiri, la mine de Taziast est une exploitation à ciel ouvert. Le minerai contenant de l'or est extrait du gisement à partir de fosses. Le gisement actuellement en exploitation contient au mieux 2,5 grammes de poussière d'or disséminés par tonne de minerai.

Quant à l'or, il prend de l'importance avec un projet qui permettra prochainement à la Canadienne Kinross, en trois ans, de doubler sa production, actuellement de 250 onces d'or par an.



#### ♦ Autres :

- On trouve d'importantes ressources de sel en Mauritanie, précisément dans la région de l'Aftout es Saheli, située le long de la côte au Sud de Nouakchott. Du côté Est de la dépression de l'Aftout, d'importants gisements stratifiés sont présents à N'Teret et Twidermi, au sein de dépressions isolées au milieu de la ceinture dunaire marginale. Le sel (NaCl) est extrait traditionnellement sous de barres dans le Tiris (Idjil) et dans le Trarza (N'Terert). Il existe également quelques salines dans les zones basses proches de l'océan (Nouakchott).

Le gisement de N'Terert comprend 8 couches de sel. Les plus accessibles, les quatre couches supérieures, chacune d'une épaisseur inférieure à 20 centimètres, sont plus ou moins épuisées. La cinquième couche, connue sous le nom de Sikha el Beïda ou Sikhat el Fahl, est une couche mince et de haute qualité, elle est le gisement le plus important de la région sur le plan économique. Elle comprend jusqu'à 40 cm de sel compact de haute qualité.

Les salines d'Idjil dans le Nord de la Mauritanie sont exploitées en utilisant des méthodes artisanales, et approvisionnent les marchés de Nouakchott en sel gemme. Les dépôts de sel y occupent une superficie de plus de 50 km<sup>2</sup>. Les deux premiers mètres contiennent dix couches de sel (d'une épaisseur maximum de 20 centimètres), inter stratifiées avec des argiles noires. Les dimensions des ressources de sel gemme combinées avec des inondations fréquentes de la région rendent les dépôts adaptés à une exploitation par des méthodes artisanales.

- L'exploitation du falun des environs de Nouakchott pourrait permettre de fabriquer du ciment. Pour l'instant, cette exploitation reste artisanale : la production est essentiellement destinée à la construction (mortier) et aux remblais divers.

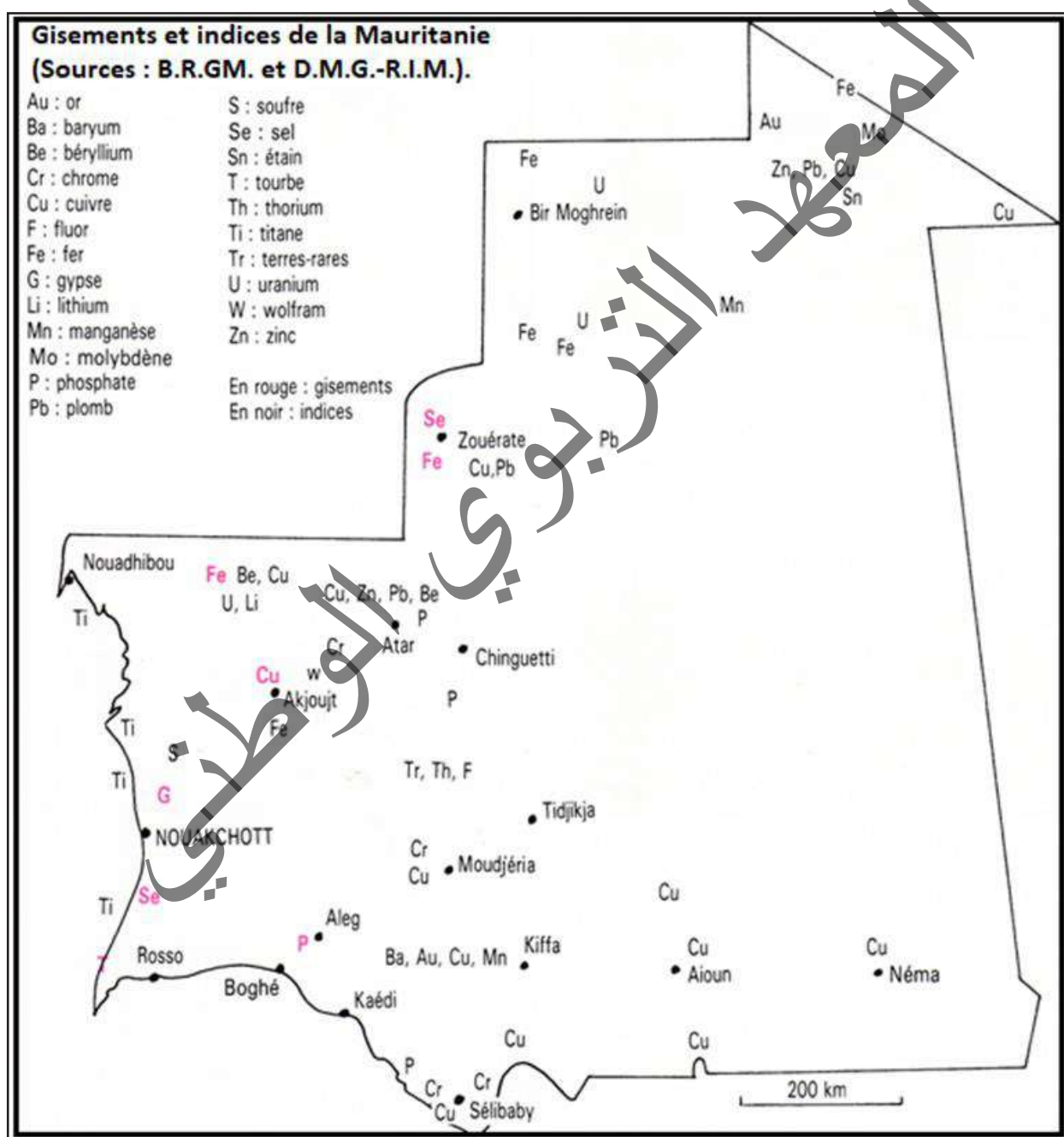


- Gypse : Probablement l'un des plus grands gisements de gypse au monde est situé à Sebkhia N'Drhamcha entre 50 et 100 km au Nord/Nord-est de Nouakchott, à proximité de la route côtière du Nord de Nouakchott. Deux types de gisements sont présents dans la zone : des dépôts lités et des dépôts de dunes. Le dépôt de gypse lité affleure principalement le long du flanc oriental de Sebkhia N'Drhamcha. Il y a plusieurs centaines de millions de tonnes de ressources, dont environ 140 millions de tonnes sont des réserves démontrées.

### Activité 5 :

Définir les principaux indices miniers du pays.

La Mauritanie dispose d'ensembles géologiques très variés présentant une diversité d'indices miniers. Cette carte montre les principaux indices miniers du pays.



Dégage de l'analyse de la carte ci-dessus, les principaux indices miniers du pays notamment ceux signalés dans ta région.



Le territoire mauritanien regorge d'indices miniers :

- dans la chaîne des Mauritanides : des indices de cuivre, de fer, de terres rares associées à de l'yttrium, de tungstène, de fluor, de baryum, de chrome, de l'or, de manganèse, de cobalt
- dans le bassin côtier : des indices de phosphates apatitiques, de halite (NaCl), de gypse, de calcite ;
- dans le Bassin de Taoudéni : des indices de phosphates, de cuivre, de barytine ;
- dans la dorsale RGueibat : la nature des roches qui affleurent dans cette région est très favorable à la présence de métaux divers (plomb, zinc, cuivre, étain, molybdène, or, uranium...).

Par ailleurs, il faut rappeler l'existence de la tourbe, roche combustible des environs de Keur Massène.

D'autres substances utiles sont signalées çà et là en Mauritanie mais ce ne sont, pour la plupart, que de petits indices surtout dans le domaine des roches ornementales :

- ✓ cipolins, dont le sciage pourrait permettre de créer des plaques de marbre ;
- ✓ stromatolithes ;
- ✓ pierres semi-précieuses comme les tourmalines, ainsi que les variétés de quartz ;
- ✓ roches pour élaborer des compositions artistiques diverses.

Les résultats des forages d'uranium à Bir enNar sont également très encourageants et sont accompagnés d'une production de quartz de haute qualité à Oum Agneïna.

De plus, des gisements de cuivre, d'or, de gypse, de phosphates et de sel ont été identifiés et certains sites sont en exploitation. Des prospections en cours indiquent l'existence d'indices de diamant, de béryllium et lithium, d'uranium, de kaolin, de chrome, de manganèse, de titane et autres éléments rares, de tourbe, de cobalt, de manganèse et de terres rares.

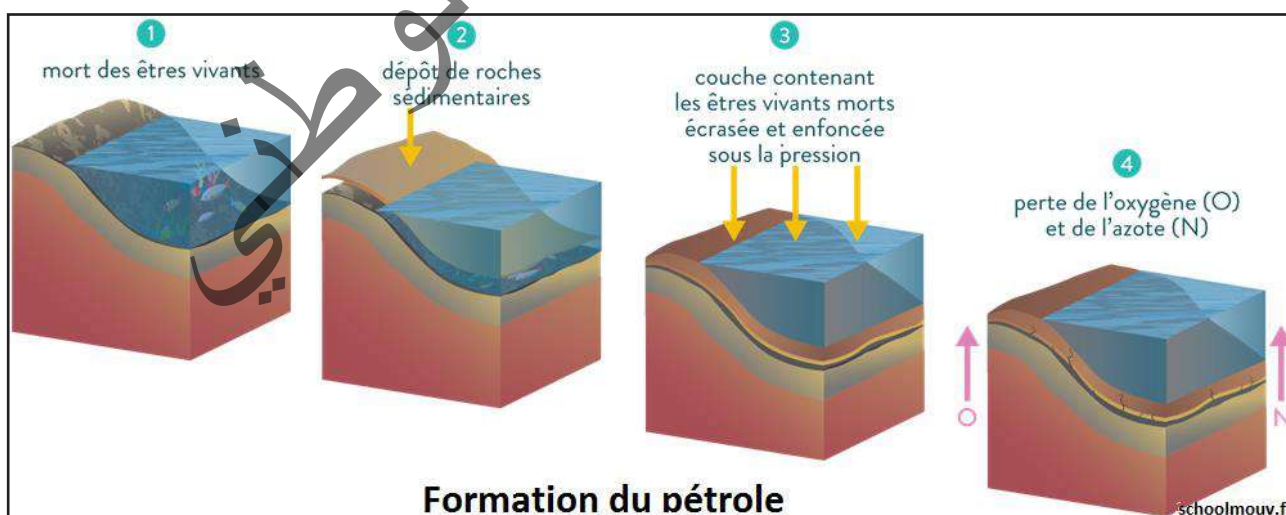
## V- Ressources en pétrole et gaz naturel :

### Activité 6 :

**Comment se forment le pétrole et le gaz naturel ?**

Pour commencer, il faut d'abord étudier la formation du pétrole sous forme de pétrole brut.

Le document suivant montre les principales étapes par lesquelles passe cette formation.



A partir de la description du document précédent, dégager :

- l'origine du pétrole ;
- d'où peut provenir la matière organique ;
- pourquoi peut-on parler de « roche-mère » du pétrole.

• **La matière première** : Au cours des ères géologiques de nombreux micro-organismes, espèces planctoniques et végétaux vivaient sous les océans. Lorsque ses êtres vivants mouraient, leurs restes se déposaient au fond des océans, et pendant des millions d'années, ces restes se mélangèrent dans des milieux peu oxygénés (anoxiques) avec de la boue riche en sédiment comme du sable, de l'argile, ou même du sel appelé limon. Pendant des millions d'années l'accumulation de ces sédiments continue, et sous l'effet de la compression, celles-ci se transforment petit à petit en roches, qui deviennent alors des réservoirs de pétrole. En outre, sous leur propre poids (subsidence) et par le phénomène de tectonique des plaques, ces couches sédimentaires se cassent et s'enfoncent plus profondément sous terre.

• **La transformation de la matière organique** : Au cours de l'enfouissement, une petite partie de la matière organique sédimentaire échappe à l'oxydation et des réactions réductrices transforment la matière organique en kérogène. En milieu pauvre en oxygène, une lente transformation sous l'effet de bactéries, de l'action de la température (gradient géothermique) et de la pression pendant des millions d'années, en une huile mélangée à des gaz appelée pétrole brut. Ainsi, naît l'ensemble constituant le pétrole brut que l'on peut comparer à de la limonade dans une bouteille.

- Lorsque la pression et la température augmentent, du fait de l'enfouissement du sédiment, vers 2 000 m de profondeur (soit environ 65 °C), le « craquage » du kérogène commence : c'est le début de la formation du pétrole. Cela entraîne une transformation chimique des matières organiques d'origine en hydrocarbures, composés de carbone et d'hydrogène.

Tous ces hydrocarbures sont ainsi contenus dans une roche nommée roche mère. Moins denses que la roche qui les entoure, ils ont naturellement tendance à remonter vers la surface. Lors des migrations dites « primaires » la compaction va provoquer un déplacement des fluides dans la roche mère. Il y a alors expulsion de l'eau puis des huiles depuis la roche mère vers un drain, qui conduira les hydrocarbures vers une roche-réservoir. Les migrations « secondaires » constituent la phase où les hydrocarbures continuent leur remontée, vers la surface. Si rien ne stoppe cette remontée du pétrole, celui-ci s'échappe alors sous forme de suintements, et se solidifie en bitume à la surface de la terre. Si les hydrocarbures rencontrent une roche imperméable ou roche couverture, ils sont arrêtés dans leur remontée, et se concentrent pour former des poches. Ces hydrocarbures sont alors piégés. Les plus répandus sont les pièges structuraux, engendrés par des déformations des couches géologiques (anticlinaux...).

La température nécessaire à cette transformation est en relation avec la durée d'évolution de la matière organique sédimentaire. Les hydrocarbures liquides se forment :

✓ à 60 °C dans un sédiment argileux de 200 millions d'années ;

✓ à 100 °C au moins dans des argiles de 70 millions d'années.

- A des profondeurs et des températures élevées, ce sont des hydrocarbures gazeux qui se forment. Au-delà de 4 000 à 5 000 m, le craquage s'intensifie, on obtient alors un gaz.

Le sédiment qui a donné naissance au pétrole constitue la roche mère du pétrole.

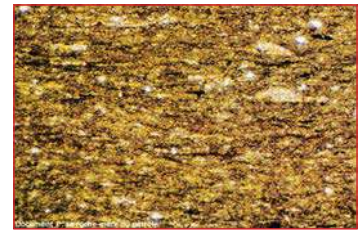
Le plancton est surtout abondant au niveau du plateau conti-nental et dans les zones équatoriales et tropicales. La sédimentation fine doit être importante car l'enfouissement des organismes doit être rapide. Les milieux favorables à la formation du pétrole peuvent donc être les estuaires, les lagunes ou les bassins plus ou moins fermés.

## Activité 7 :

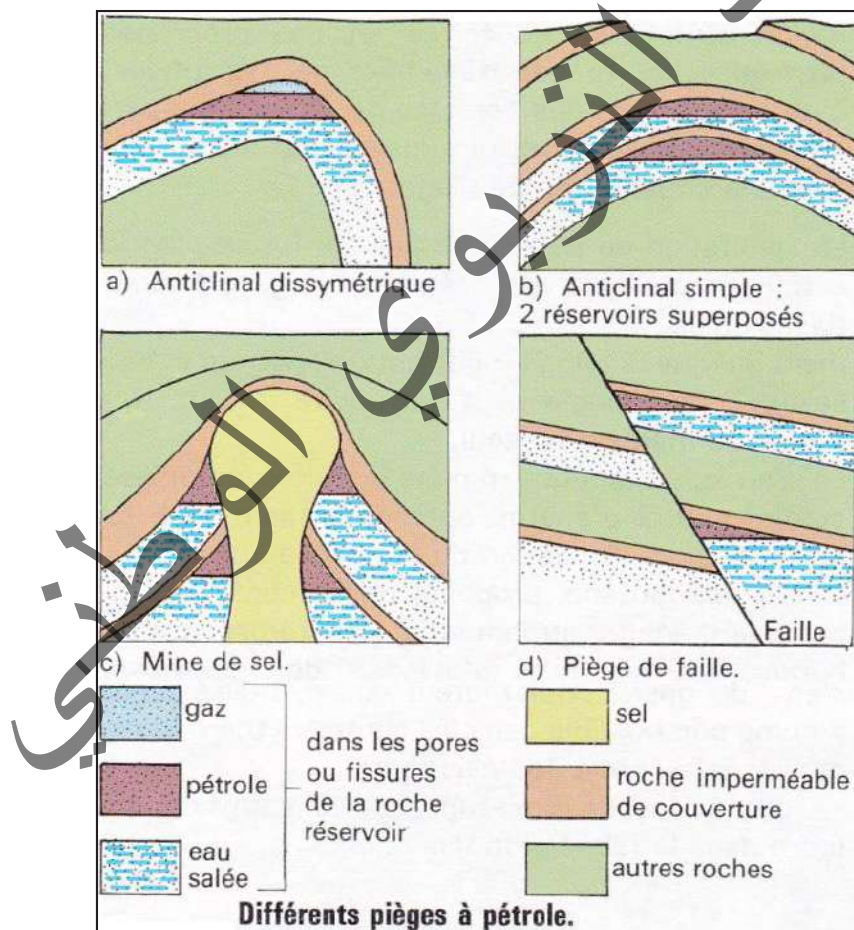
Où se forment le pétrole et le gaz naturel ?

Document 1 : Roche-mère de pétrole vue au microscope.

Document 2 : Roche-réservoir du pétrole et sa coupe mince.



Document 3 : Localisation des roches-réservoirs du pétrole.



A partir de l'analyse des documents précédents, dégager :

- les caractéristiques d'une roche-réservoir ;
- ce qu'est un piège à pétrole ;
- les modes de gisements du pétrole.



Des lits sombres, correspondant à de la matière organique fossile, le kérogène, s'observent au sein de cette roche sédimentaire argilo-calcaire ; la lente évolution du kérogène est à l'origine du pétrole (Document 1).

Dans chaque région, les puits sont assez rapprochés les uns des autres. On peut se demander si le pétrole n'est pas prisonnier dans une poche souterraine ou dans des fractures de la croûte terrestre. La remontée d'échantillons au cours de forages productifs prouve que le pétrole est localisé dans des fissures ou imbibe des roches poreuses.

Ces matériaux poreux, microfissurés constituent les roches magasins ou réservoirs (Document 2A). L'espace occupé par le pétrole se limite aux vides de la roche qui ne représentent dans le meilleur des cas que vingt à vingt-cinq pour cent du volume total de celle-ci (Document 2B).

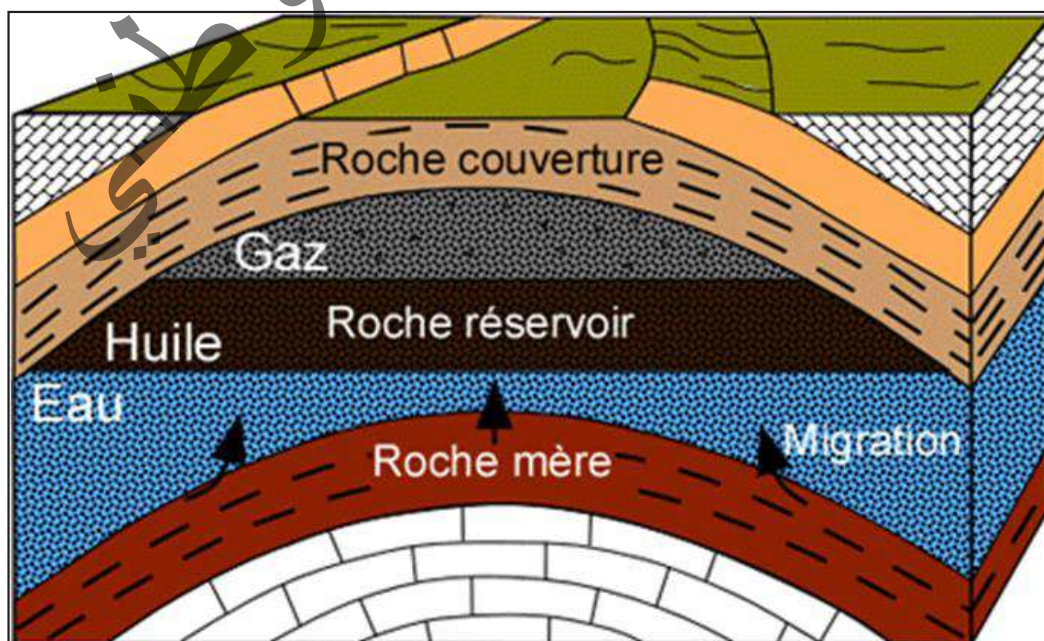
Le pétrole et le gaz constituent un ensemble fluide mobile, moins dense que l'eau. Si le pétrole se trouve dans des roches poreuses disposées en couches horizontales, il aura tendance à occuper tout l'espace disponible et à remonter au sommet des couches. Or les gisements sont limités et constituent ce qu'on appelle un champ pétrolier. Après leur formation, sous l'effet du tassement du sédiment, des poussées tectoniques, ces pétroles sont expulsés en même temps que l'eau et les gaz, comme si on appuyait sur une éponge mouillée reposant sur des graviers. Il suffit d'une petite fissure dans une roche rigide pour qu'il s'échappe ; s'il atteint une fracture plus importante, il peut gagner la surface de la terre où il s'altère et se transforme en bitume. Le pétrole est arrêté dans sa migration par des roches imperméables appelées roches de couverture formant des barrages qui l'obligent à s'accumuler dans des roches poreuses qui présentent le plus souvent une structure plissée en forme d'anticlinal. Nés d'un plissement rocheux, les pièges de type anticlinal (en forme de dôme) ont une forme de dôme et sont les pièges structuraux les plus courants. L'eau ayant la plus forte densité et le gaz la plus faible, trois couches se distinguent dans ces poches : le gaz, puis le pétrole et en dessous, l'eau.

Les roches dans lesquelles ils vont s'accumuler constituent ce que l'on appelle des roches- réservoirs. Ces pièges constituent des gisements exploitables (Document 3).

Le pétrole situé au sommet de la voûte est bloqué par la roche imperméable. Il peut être surmonté par du gaz. On comprend que si l'extrémité du puits arrive dans la roche contenant le pétrole, le gaz prisonnier sous forte pression, peut refouler le pétrole vers l'orifice du puits de production.

Le pétrole est donc emprisonné dans des roches magasins surmontées par des roches de couverture, dans des pièges.

Le pétrole est une roche liquide d'origine naturelle, une huile minérale composée d'une multitude de composés organiques (essentiellement des hydrocarbures), piégée dans des formations géologiques particulières.

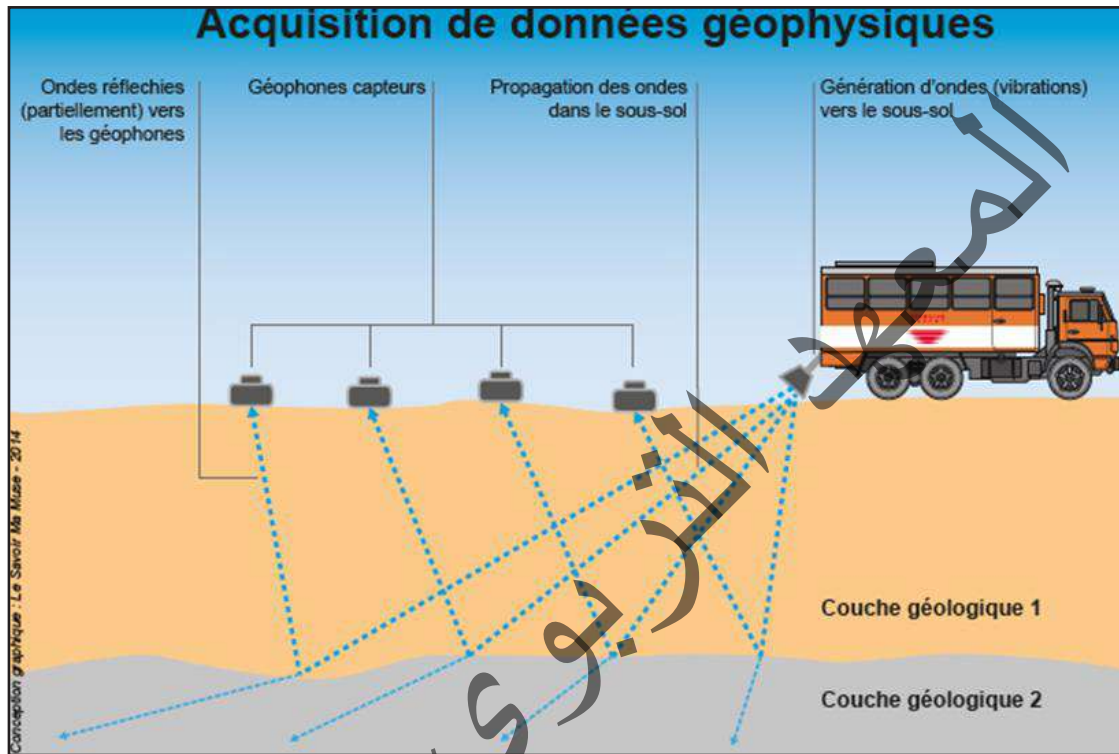


## Activité 7 :

Quelles sont les étapes qui conduisent de la découverte à l'exploitation d'une nappe de pétrole ?  
Quel est l'apport de la géologie ?

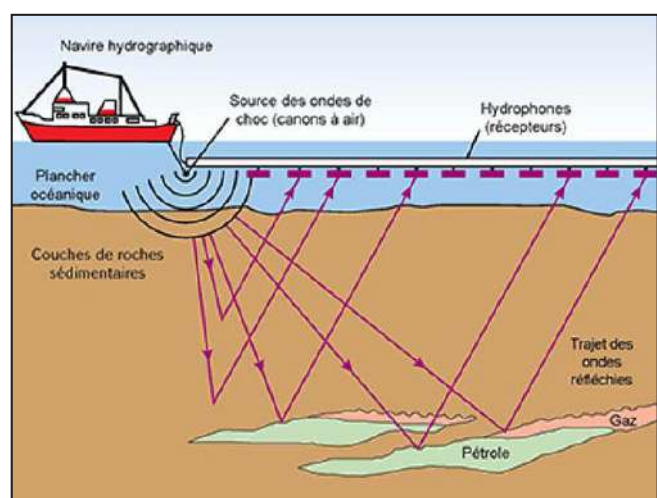
### Document 1 : Prospection sismique

- Onshore : Le principe de la sismique est le suivant : On provoque de légers ébranlements (chute d'un poids, petite explosion...) et on suit les signaux ainsi émis qui se réfléchissent sur certaines discontinuités.



### - Offshore :

La prospection sismique est fondée sur la propagation du son. Le son est produit par l'explosion d'une charge de dynamite, à la surface de l'eau ou par les canons à air sur les navires créant des ondes sonores en envoyant des courants d'air comprimé dans les couches rocheuses sous le plancher océanique. Le son (ondes sonores) se propage dans l'eau à la vitesse de 1 400 à 1 500 m par seconde (vitesse dans l'air : 330 m/s). Arrivé sur le fond il est réfléchi vers la surface, et enregistré par un hydrophone (ou géophone) situé à la surface de l'eau. Connaissant le temps mis par le son pour se réfléchir sur le fond et revenir à la surface,



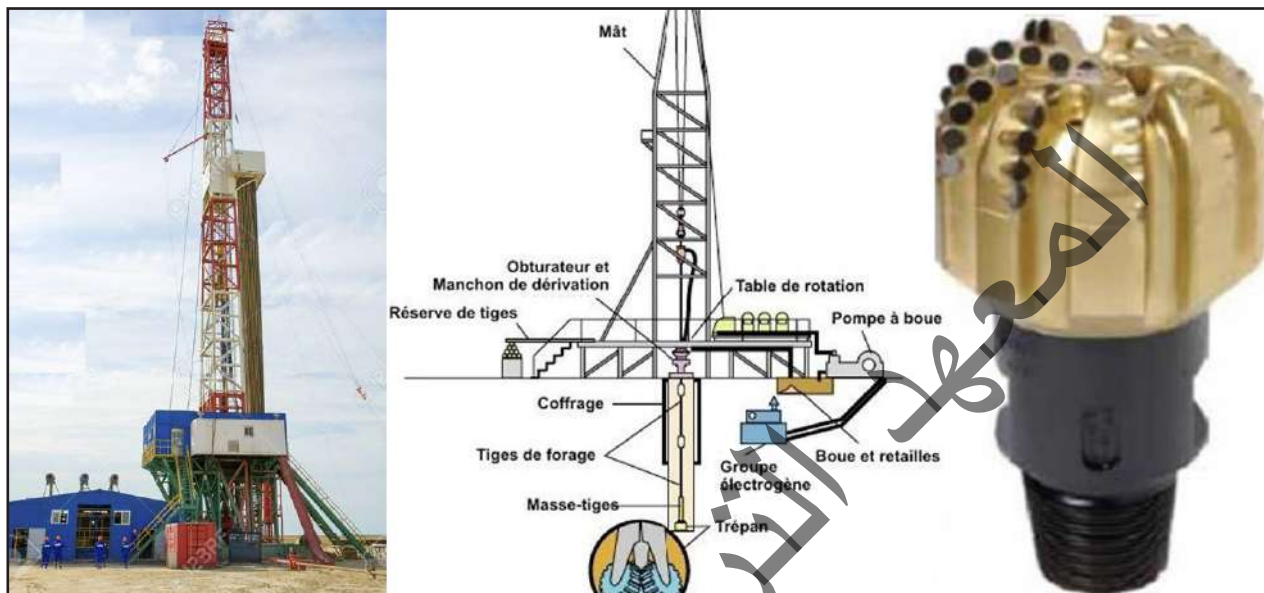
il est possible de connaître la profondeur. Une partie de ce son va pénétrer dans le fond de la mer et va aller se réfléchir sur les différentes couches géologiques qui constituent le sous-sol. A chaque fois l'hydrophone (micro) va recevoir un écho qui met d'autant plus de temps à revenir au micro que la couche est plus profonde. Les variations de densité rocheuse retournent des ondes sonores différentes à la surface où l'information est enregistrée par des instruments tels que les



géophones. L'information est convertie en image à partir de laquelle les géoscientifiques peuvent déterminer la profondeur, l'emplacement et la structure des ressources pétrolières et gazières qui gisent sous la surface.

#### Document 2 : Appareil de forage : un derrick et le détail du trépan.

L'appareil de forage est constitué d'une tour métallique appelée derrick, servant à introduire verticalement dans le sol des tiges creuses vissées bout à bout. La hauteur du derrick d'environ 45 mètres, permet la manœuvre et le stockage des tiges de forage.



#### Document 3 : Les plates-formes.

Une plate-forme pétrolière est une construction marine fixe ou flottante qui sert à l'exploitation d'un gisement pétrolier. Elle supporte principalement les dispositifs nécessaires pour la phase de forage et d'extraction du pétrole, ainsi que parfois des équipements destinés à assurer une présence humaine à bord. Certaines plates-formes permettent de transformer le pétrole, le gaz ou les condensats de gaz naturel extraits, de façon à ce qu'ils soient plus faciles à transporter et à exporter.



#### Document 4 : La diagrapie

La diagrapie consiste en un enregistrement continu de différents paramètres physiques comme le rayonnement gamma (obtention de masses volumiques), la résistivité électrique (présence

et nature de liquides contenus dans une couche), la polarisation spontanée (salinité, porosité, présence d'argiles), ou encore la vitesse du son (couche compacte ou non). Cette méthode permet donc d'obtenir de nombreuses informations utiles sur le sol mais coûte extrêmement cher, d'où l'utilisation privilégiée des méthodes de surface.

**A partir de l'étude des documents précédents, montrer :**

- où est-il logique de prospecter ;
- les étapes qui ont précédé la première production d'un puits ;
- en quoi les études sismiques sont-elles intéressantes.

Pour connaître la constitution géologique d'une région, les géophysiciens procèdent à divers mesures de surface. L'imagerie sismique est une méthode géophysique d'observation de la sub-surface.

Elle permet de visualiser les structures géologiques en profondeur grâce à l'analyse des échos d'ondes sismiques. Pour préciser en particulier les courbes de niveau des couches géologiques, on emploie les méthodes de la prospection sismique. Les ondes sismiques peuvent être d'origines naturelles (séisme) ou artificielles. Le signal initial est généralement issu d'une source prévue pour l'imagerie (camion vibreur, explosif, canon à air, etc.). Les ondes de choc provoquées artificiellement se propagent dans le sous-sol. Les couches géologiques étant de densité et de nature différentes, lorsque le front d'onde franchit la frontière séparant deux couches, une partie de l'énergie transportée est réfléchie et réfractée vers la surface du fait de discontinuité des constantes élastiques des couches.

La méthode sismique implique la production d'énergie qui est transmise au sous-sol. Après un certain temps, cette énergie ayant été réfléchie ou réfractée sur une ou plusieurs discontinuités, retourne en surface ou elle est perçue par des récepteurs ou géophones.

**Les trois grandes techniques de prospection sismique sont :**

- la diagraphie acoustique : La diagraphie acoustique utilise la transmission directe des ondes pour mesurer la vitesse du son dans les roches traversées par un forage. Les diagraphies électriques tracent les enregistrements obtenus, après le forage, par une sonde introduite à l'intérieur du trou foré et qui mesure certains paramètres physiques des roches traversées (résistance électrique, radioactivité, etc.). La comparaison des différents enregistrements permet de déterminer la nature des roches rencontrées (argile, sel, calcaire, etc.), les limites des couches de nature différente, et de reconnaître les fluides qui les imprègnent (huile, gaz, eau douce ou salée).

- la sismique réflexion : La sismique par réflexion étudie la réflexion d'ondes sismiques aux interfaces entre plusieurs couches géologiques. Des ondes sismiques (élastiques) engendrées par l'explosion de charges de quelques kilogrammes d'explosifs (TNT) se propagent à travers des terrains sédimentaires ou métamorphiques, se réfléchissent sur des surfaces de séparation des formations de nature différentes. Elle permet d'avoir une image 2D ou 3D de surfaces typiquement de l'ordre de 1 000 km<sup>2</sup> pour des profondeurs inférieures à 10 km qui permet ensuite aux géologues des compagnies pétrolières d'estimer les probabilités de trouver du pétrole. La sismique réflexion est généralement utilisée pour des profondeurs de 50 m et plus. Largement employée pour la prospection industrielle, elle est responsable de la découverte de très nombreux gisements de pétrole.

- la sismique réfraction : Elle utilise la propagation des ondes le long des interfaces entre les niveaux géologiques. Cette méthode convient en particulier à certaines applications de génie civil et d'hydrologie. Elle permet d'estimer le modèle de vitesse et le pendage des couches.

La sismique (ou sismologie) est l'étude de la propagation des ondes provoquées par les séismes au sein de la Terre. En prospection, c'est l'homme qui provoque les ondes à l'aide d'explosifs, de camions vibreurs ou encore l'impact d'un marteau sur une plaque, afin de visualiser les différentes

couches géologiques d'une zone (la prospection pouvant se faire sur terre comme en mer). C'est la vitesse des ondes qui est mesurée par des capteurs et qui va permettre d'évaluer les différentes limites des surfaces de discontinuité (limite de couche, zones hétérogènes au sein d'une roche,...). L'onde sismique se réfracte sur l'interface et revient aux sismographes qui sont situés à la surface du sol. Le parcours de l'onde réfractée permet de déterminer la profondeur des interfaces.

Dans les études sismiques on mesure le temps de passage d'une vague de vibrations ... de la terre en plusieurs points voisins, en utilisant des géophones.

Si un piège géologique est localisé, rien ne dit qu'il contient du pétrole. La seule manière de s'en assurer est de faire un forage d'exploration et d'étudier les carottes de roche obtenues (échantillons du sous-sol).

Un forage pétrolier est un puits de petit diamètre, inférieur à cinquante centimètres, dont la profondeur varie (le forage peut aller jusqu'à cinq mille mètres). Pour le réaliser, on utilise une sorte de perceuse appelée trépan (document 2) munie de mollettes qui brise la roche et creuse peu à peu un trou. Le trépan est vissé au bout d'une tige formée de tubes (train de tiges) et animé d'un mouvement rotatif depuis la tour métallique appelée derrick. Tandis que le forage s'approfondit, de nouvelles tiges sont vissées. Pour refroidir le trépan, de la boue est injectée sous pression, ce qui a pour effet de colmater les parois du trou et de remonter les déblais de roches. Ceux-ci sont recueillis, examinés et, quand le forage approche de l'objectif prévu, on effectue un carottage. Un outil en forme de couronne découpe un cylindre de roche «la carotte» (document 1 ci-contre) que l'on remonte en surface et qui

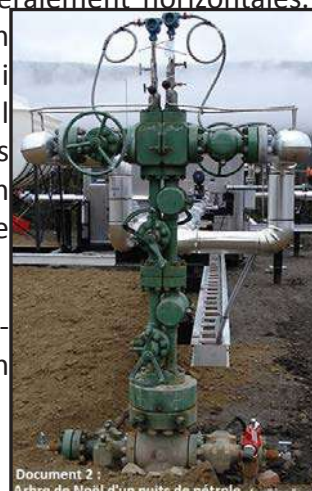


est analysé en détail. Les forages ne sont pas toujours verticaux, ils peuvent être déviés dans une autre direction. Ainsi, trois ou quatre puits sont forés à partir d'un emplacement unique. En mer, des problèmes supplémentaires doivent être réglés en particulier, maintenir en place la plateforme de forage malgré la houle. Lorsque le forage d'exploration a trouvé des indices de pétrole (accompagnant celui-ci, on trouve souvent des gaz et de l'eau salée), des forages supplémentaires sont effectués à quelques kilomètres du trou afin de délimiter les dimensions du gisement. Par la suite, de nombreux forages sont réalisés pour drainer tout le volume du gisement.

Après confirmation de présence de pétrole, il est temps de préparer l'exploitation.

Les techniques modernes de forage directionnel permettent de forer des puits déviés et qui peuvent même devenir horizontaux, avec une profondeur suffisante et avec les outils appropriés. Cela présente un grand intérêt car les roches réservoirs contenant des hydrocarbures sont généralement horizontales ou presque horizontales. Cela a permis accroître l'efficacité des puits de pétroles, car les roches contenant les hydrocarbures (pétrole, gaz naturel...) sont généralement horizontales. De plus, un puits de forage horizontal placé dans une zone de production permet d'exploiter une plus grande surface qu'un puits vertical ; ce qui permet d'accroître la production. L'apparition du forage déviés et horizontal a également permis d'atteindre des zones situées à plusieurs kilomètres du lieu de forage, permettant ainsi l'exploitation d'hydrocarbures situés en dessous d'endroits où il est difficile de placer un appareil de forage, sensible à l'environnement ou peuplé.

Lors de la découverte d'un gisement de pétrole, celui-ci est prélevé par pompage, grâce à des puits qui peuvent être installés sur terre (on shore) ou en mer (offshore).





La tour de forage est enlevée. Le pétrole peut remonter spontanément en surface en jaillissant la limonade qui sort d'une bouteille. L'ouverture d'un puits provoque une décompression suivie d'un dégagement de gaz qui entraîne le pétrole. On installe un ensemble de vannes constituant la tête de puits, encore appelée « arbre de Noël » (document 2 ci-contre) qui coiffe et règle le débit du puits. Dans d'autres cas, le pétrole est extrait grâce à des pompes animées d'un mouvement de va-et-vient par un balancier installé à la surface ayant l'allure d'une tête de cheval (document 3 ci-dessous).



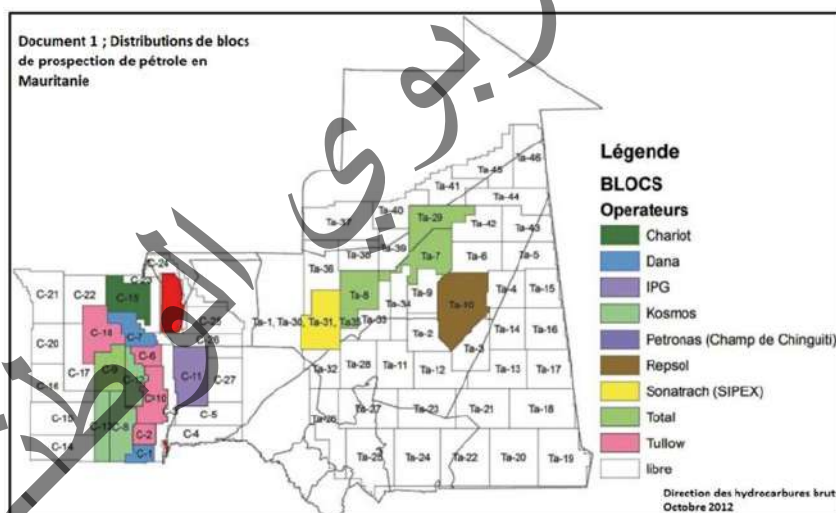
Document 3 : Pompe à balancier.

inventaire.iledefrance.fr

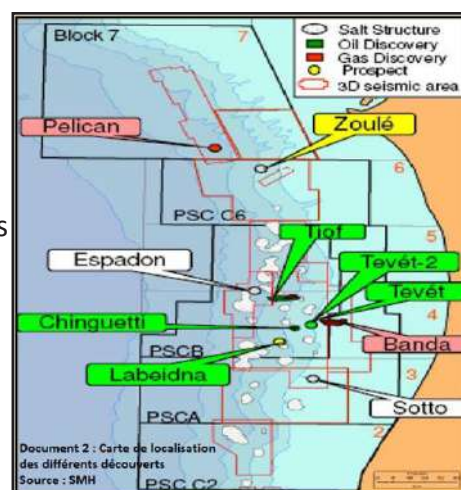
En mer, le pétrole est stocké dans des réservoirs sur une plate-forme fixe avant son évacuation.

## Activité 8 :

Quelles sont les perspectives d'avenir du pays dans le domaine des hydrocarbures ?



Les recherches géologiques des hydrocarbures sont effectuées dans le but de découvrir des champs de pétrole et de gaz, d'étudier leur architecture géologique, de déterminer leur valeur commerciale, d'estimer les réserves et de les préparer à l'exploitation. Pour atteindre ces objectifs, on procède à un ensemble d'études géologiques, géophysiques et géochimiques ainsi qu'au forage de puits. Ces travaux sont réalisés suivant une succession d'étapes bien définies. Aux différentes étapes de la recherche géologique, on fait recourt aux méthodes d'investigations appropriées et à des forages à objectifs bien fixés.





Malgré une superficie de 1 085 000 km<sup>2</sup>, l'exploration en Mauritanie se limite aux deux bassins sédimentaires : le bassin côtier et le bassin de Taoudéni. Plusieurs contrats de partage de production ont été signés avec des sociétés pétrolières individuelles ou en groupement d'entreprises dans les deux bassins qui ont été découpés en plusieurs blocs (Documents 1 et 2).



### Commenter les trois cartes en vue de dégager les principales potentialités en pétrole et gaz du pays.

- Le bassin côtier comprend 56 blocs, dont 7 en ultra-profond, 8 offshore profonds et

4 côtiers. Le bassin de Taoudenni porte sur 75 blocs. Cependant, une intensification des activités d'exploration a été enregistrée et dont les résultats pourraient être prometteurs (document 1).

- Les premières productions pétrolières de la Mauritanie ont eu lieu en mars 2006, à partir du champ pétrolier Chinguetti dont la production à raison d'environ 75.000 barils/jour pour une période estimée à 10 ans. Les réserves de pétrole dans les champs de Chinguetti, Walata (ex-Tiof) et Tevet sont de l'ordre de 400 millions de barils situés dans le bloc 4.

Les réserves de gaz des champs Banda (situé dans le bloc 4) et Pélican (dans le bloc 7) sont estimées à 3 TCF (Trillion Cubic Feet) ou 84 milliards m<sup>3</sup>.

- Plusieurs découvertes ont vu le jour par les différents opérateurs qui opèrent dans le secteur pétrolier mauritanien dans le Bassin Côtier (document 2) :

- Chinguetti (découvert le 16 mai 2001) : réserves récupérables estimées à 123 millions de barils. Il contient des réserves de gaz récupérables de l'ordre de 80 millions de pieds cubes standard (80 MCF).

- Oualata (découvert en 2003) : gisement mixte gaz – pétrole dont les réserves en place sont estimées à 1 milliard de barils avec des réserves récupérables estimées à 280 millions de barils.

- Tevet (découvert en octobre 2004) : ses réserves en place de pétrole brut sont estimées à 200 millions de barils avec des réserves récupérables de l'ordre de 40 millions de barils.

- Banda (découvert en octobre 2002) : réserves récupérables de l'ordre de 33 milliards de mètres cubes (1,2 TCF)

- Pélican (découvert en 2003) : c'est essentiellement un gisement de gaz naturel avec des réserves récupérables de l'ordre de 33 milliards de mètres cubes.

- Lebedian : avec des réserves récupérables estimées à plus de 27 BCF.

- En matière de gaz, les espoirs sont fondés sur le champ gazier offshore Ahmeyim, situé à 5 200 mètres de profondeur, à la frontière entre la Mauritanie et le Sénégal. Avec des réserves estimées à 450 milliards de mètres cubes, il est considéré comme le plus important gisement de gaz offshore en Afrique de l'Ouest. La production attendue est de 227 milliards de mètres cubes sur trente ans.

### Activité 9 :

#### Le raffinage et la pétrochimie.

L'exploitation de cette source d'énergie fossile et d'hydrocarbures est l'un des piliers de l'économie industrielle, car le pétrole fournit la quasi-totalité des carburants liquides — fioul, gazole, kérosène, essence...

Lors de la distillation, le mélange est chauffé jusqu'à ce que les éléments se vaporisent. Ils sont ensuite récupérés séparément par condensation des vapeurs.

**Commenter le document précédent afin de dégager le principe de raffinage du pétrole et les principaux produits obtenus.**

Le raffinage du pétrole est un procédé industriel qui désigne l'ensemble des transformations et des traitements visant à tirer du pétrole brut différents produits finis. Selon l'objectif visé, en général, ces procédés sont réunis dans une raffinerie (photo ci-contre).

On en distingue en général deux grands types :

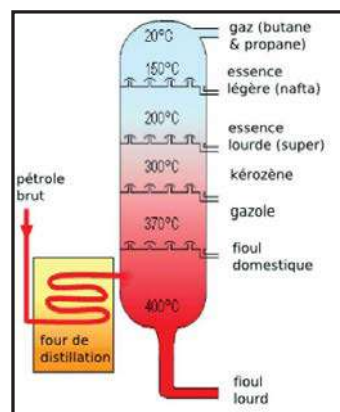
- les produits énergétiques, tels que l'essence, le diesel (gazole) ou le fioul ;
- les produits non énergétiques, tels que les lubrifiants, le bitume et les naphthas utilisés en pétrochimie.

La distillation du pétrole brut en vue d'obtenir les produits intermédiaires est réalisée en deux étapes complémentaires :

- Une première distillation, dite atmosphérique (réalisée à pression atmosphérique), consiste à séparer les différents composants d'un mélange liquide en fonction de leur température d'évaporation. Le pétrole brut est injecté dans une grande tour de distillation, haute de 60 mètres et large de 8 mètres environ, où il est chauffé à environ 400°C. Les différents hydrocarbures contenus dans le pétrole brut sont vaporisés : d'abord les légers, puis les moyens, et enfin une partie des lourds. Elle permet de séparer les gaz, les essences et le naphtha (coupes légères), le kérosène et le gazole (coupes moyennes) et les coupes lourdes.
- Les résidus issus de la distillation atmosphérique subissent une deuxième distillation, dite sous vide (colonne dépressurisée) consistant à séparer, sur le même principe que la distillation atmosphérique, les produits lourds des résidus de produits moyens en les soumettant à une deuxième phase de distillation dite « sous vide ». Une colonne plus petite est fermée puis dépressurisée. Cette chute de pression permet de récupérer plus facilement les produits lourds dont la température d'ébullition est abaissée. Elle permet de récupérer des produits moyens supplémentaires ayant une valeur commerciale : du gazole est récupéré en haut de la colonne et du fioul lourd à sa base. Les résidus de cette distillation sous vide sont récupérés en vue de produire des lubrifiants. Ces huiles et graisses sont fabriquées à partir des résidus de la distillation sous vide.

Après la distillation, la proportion d'hydrocarbures lourds reste généralement importante eu égard à la demande commerciale en produits plus légers. Les molécules lourdes sont donc cassées en plusieurs molécules plus légères. C'est ce que l'on nomme l'opération de craquage. Elle a généralement lieu à environ 500°C et en présence d'un catalyseur.

Le pétrole brut se compose à 85% de carbone et à 10% d'hydrogène. Pour le reste, il contient diverses impuretés (sédiments, eau, sel, soufre et azote) qu'il conviendra d'éliminer au cours du raffinage pour éviter tout problème de corrosion ou d'encrassement et pour répondre aux contraintes réglementaires.



Raffinerie dans le Montana, États-Unis. (©photo)

www.connaissancesenergies.org

## Les gisements de pétrole : Où se trouve le pétrole en profondeur ?

Les réserves sont inégalement réparties dans le monde. Les principales sont situées aux USA, en URSS, au Moyen-Orient (surtout Arabie Saoudite).

Dans chaque région, les puits sont assez rapprochés les uns des autres. On peut se demander si le pétrole n'est pas prisonnier dans une poche souterraine ou dans des fractures de la croûte terrestre. La remontée d'échantillons au cours de forages productifs prouve que le pétrole est localisé dans des fissures ou imbibe des roches poreuses.

Il imprègne la roche comme, le café, un morceau de sucre ou l'eau une éponge. Ces matériaux poreux, microfissurés constituent les roches magasins. L'espace occupé par le pétrole se limite aux vides de la roche qui ne représentent dans le meilleur des cas que vingt à vingt-cinq pour cent du volume total de celle-ci.

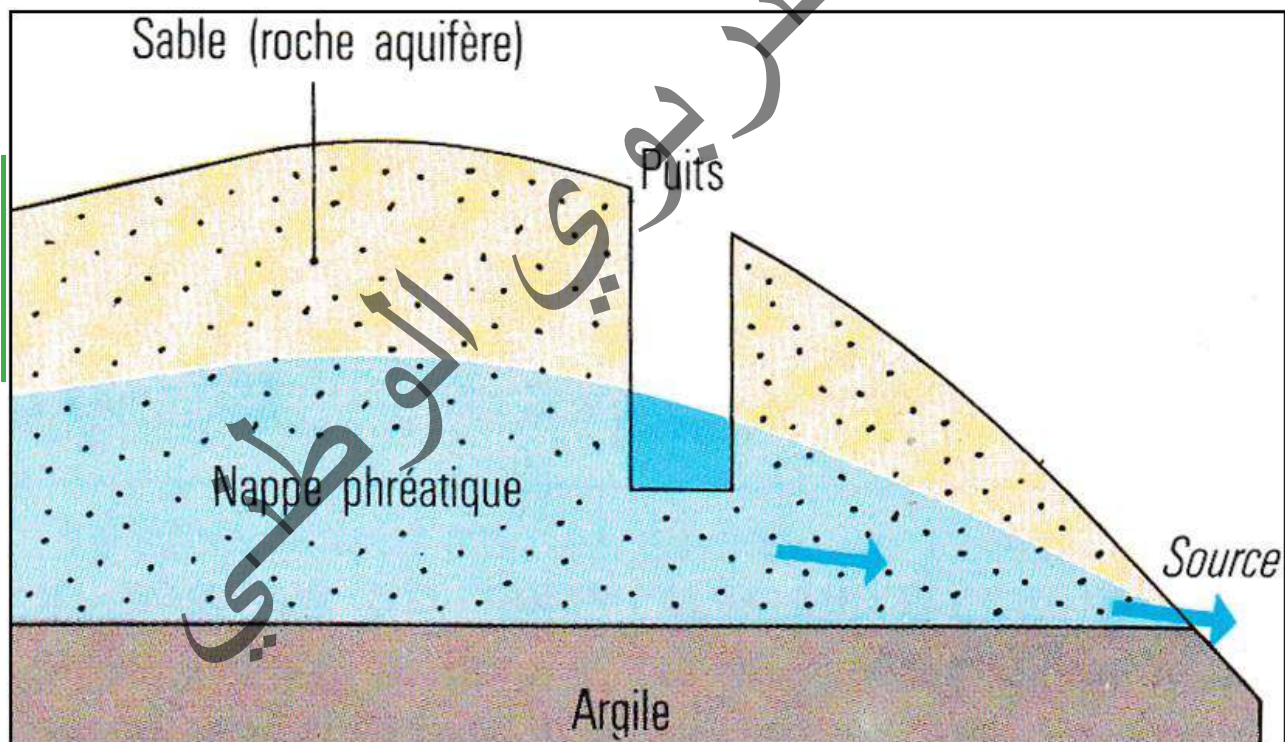
## VI- Ressources hydrogéologiques :

### Activité 10 :

Qu'est-ce qu'une nappe phréatique ? Quelle est son origine ?

Document 1 :

▪ Coupe géologique montrant une nappe phréatique :

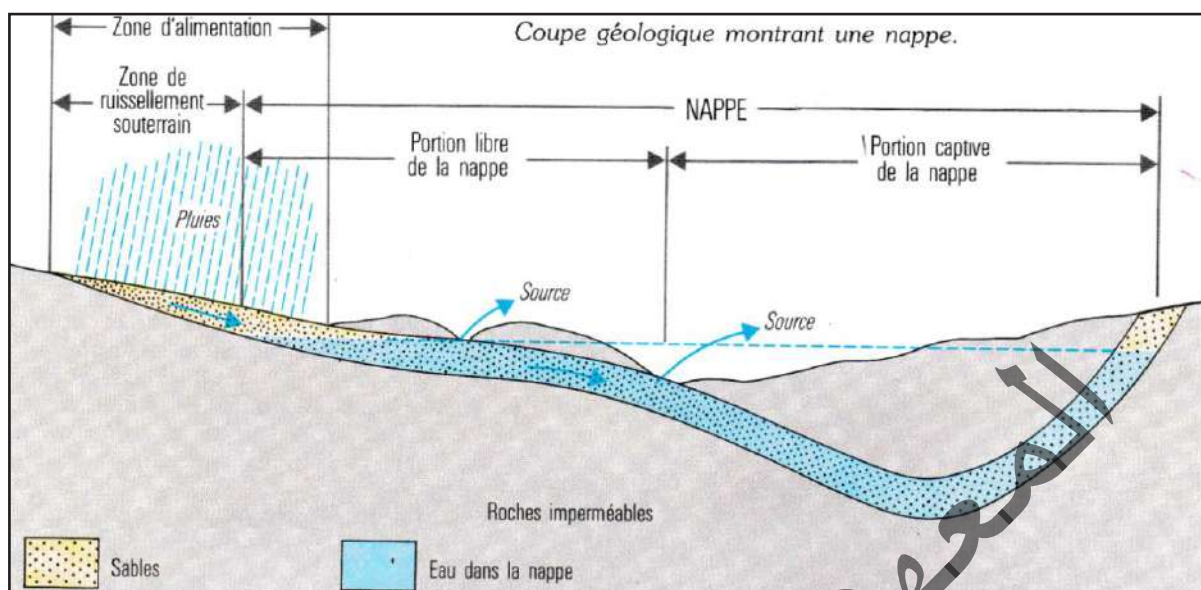


▪ Une manipulation simple consiste à verser de l'eau dans un grand vase rempli de sable : l'eau s'infiltre, le fond du vase arrête sa progression. On voit alors 2 couches : au-dessus, le sable est humide : il retient un peu d'eau autour des grains, mais l'air occupe les espaces libres ; au-dessous, le sable est gorgé d'eau qui a chassé l'air. Si on continue à verser de l'eau, on peut voir s'élever le niveau qui marque la séparation. On incline alors doucement le vase : le sable humide est beaucoup moins meuble que le sable sec car l'eau retenue à la surface des grains les maintient en contact ; le niveau reste horizontal : l'eau qui a pris la place de l'air est donc mobile.

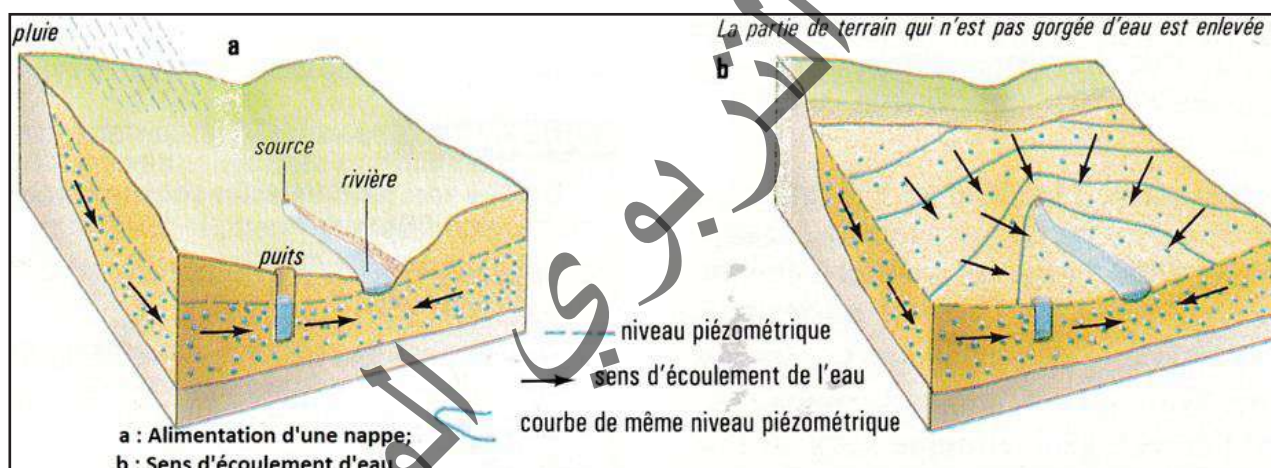


## Document 2 : L'alimentation des nappes phréatiques.

### ▪ Coupe montrant une nappe et son alimentation :



### ▪ L'alimentation d'une nappe phréatique :



▪ Un tube enfoncé jusqu'à la nappe permet d'introduire un capteur de pression (la pression varie avec la hauteur d'eau au-dessus du capteur, donc avec le niveau). Le capteur est relié à un dispositif enregistreur. On peut ainsi connaître la nappe pour l'exploiter d'une manière satisfaisante.

Une partie seulement des eaux de pluies parvient à la nappe par suite de l'évaporation et de l'absorption d'eau par la végétation.

L'eau qui sort des sources s'écoule vers les rivières et les fleuves dont le lit est souvent occupé par des alluvions riches en sable, donc aquifères. Plusieurs cas peuvent se présenter suivant que les roches sont imperméables ou perméables. Dans ce dernier cas la nappe alluviale et la nappe phréatique communiquent et leurs eaux se mélangent.

A partir de l'étude des documents proposés et de recherches, répondre aux questions :

- Qu'est-ce qu'une nappe phréatique ?
- D'où provient l'eau des nappes ?
- L'eau des nappes est-elle une ressource renouvelable ? Pourquoi ?

Les eaux des nappes phréatiques et les eaux de surface sont étroitement liées. Les nappes dépendent des rivières et vice-versa.

La recherche des nappes d'eau souterraines, ou nappes phréatiques, et leur utilisation rationnelle à usage domestique ou industriel est du domaine de l'hydrogéologue. L'eau de pluie qui s'infiltre, peut s'accumuler dans le sous-sol. Une roche qui accueille l'eau et la laisse se déplacer est un aquifère. L'eau qui noie un même aquifère constitue une nappe phréatique. La nappe phréatique est la première nappe sous la surface du sol (généralement situées entre 1 et 20 mètres de profondeur). Elle est réalimentée directement par l'infiltration des pluies. Elle est généralement « libre », c'est-à-dire qu'elle circule dans un sous-sol perméable. Leur recharge directe les rend sensibles aux éventuelles pollutions du sol générées par l'agriculture, les villes ou les industries.

Une nappe est limitée à sa base par une couche peu perméable : le mur.

Une nappe captive est une nappe d'eau souterraine qui circule entre deux couches de terrains imperméables. Elles sont recouvertes, totalement ou partiellement, par une couche de terrain imperméable. Ces nappes sont sous pression.

L'essentiel des prélèvements se fait dans les nappes d'eau superficielles ou nappes phréatiques. L'eau des nappes se déplace lentement dans les pores ou fissures de la roche nommée alors aquifère. La distribution des nappes dépend de l'aptitude des roches à constituer de bons aquifères.

Les nappes phréatiques sont alimentées par l'eau de pluie qui s'infiltre. L'eau des nappes est donc généralement une ressource renouvelable.

L'eau sur des continents vient des pluies. Elle y est stockée sous forme de neige ou de glace mais finira toujours par couler. L'eau va toujours du point le plus haut vers le point le plus bas. Elle ruisselle en surface, rejoint les rivières et les fleuves, où elle s'infiltre dans les roches du sous-sol y coule lentement et ressort par des sources mais rejoindra toujours l'océan.

Les eaux de surface sont beaucoup plus exploitées que les eaux souterraines. Elles sont plus faciles à prélever mais plus sensibles à la pollution.

Cependant la quantité d'eau qu'on peut prélever varie avec la saison (étiage). Les eaux souterraines sont plus difficiles à exploiter, il faut installer des pompes dans la roche qui les contient, mais elles représentent une réserve permanente importante et sont moins sensibles à la pollution.

L'eau, qui s'infiltre dans le sous-sol, est contenue dans les pores et les fissures des roches dans lesquelles elle circule avec plus ou moins de facilité. La masse d'eau contenue dans une roche est appelée nappe. Les plus superficielles, qu'on atteint par des puits, sont appelées nappes phréatiques. L'eau est maintenue dans une roche perméable lorsque celle-ci repose sur une formation imperméable qui bloque la descente de l'eau. L'eau d'une nappe circule avec une vitesse qui dépend de la perméabilité de la roche mais est toujours inférieure à celle de l'eau des rivières. L'eau d'une nappe est freinée par la roche qui la contient. La roche joue donc le rôle de réservoir pour l'eau qu'elle reçoit mais de réservoir qui fuit puisque l'eau se déplace et ressort pour rejoindre l'eau de surface.

A plusieurs dizaines ou centaines de mètres sous la surface du sol, il peut y avoir d'autres nappes d'eau souterraine. A la différence des nappes « phréatiques » libres, ces nappes peuvent être captives ou semi-captives, c'est-à-dire qu'elles se trouvent entre deux couches imperméables. La circulation de l'eau dans ces nappes est lente, tout comme son temps de renouvellement. Il faut parfois plusieurs milliers d'années pour que l'eau se renouvelle dans les nappes profondes.

Si on prélève plus qu'il n'y a d'apport, la quantité d'eau disponible va baisser, bien que l'eau soit une ressource régulièrement renouvelée dans nos pays tempérés. Il faut donc connaître les réserves, les apports, les prélèvements et ajuster les uns aux autres



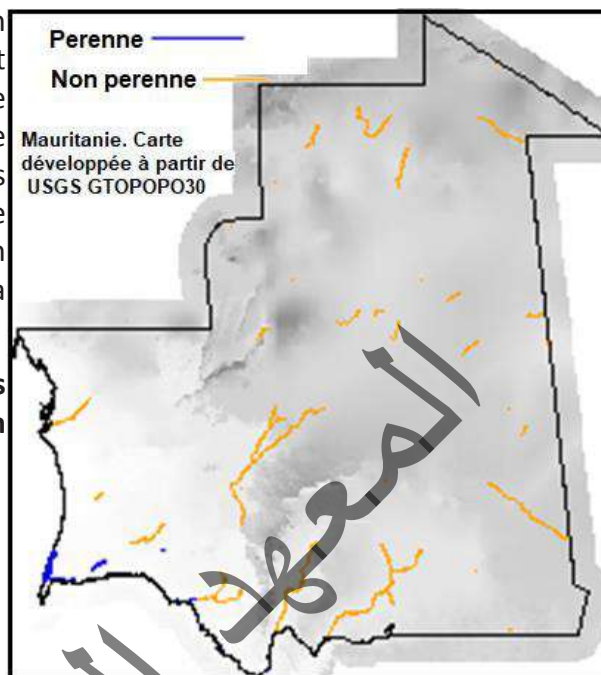
## Activité 11 :

### Quelles sont les potentialités en eaux de surface de la Mauritanie ?

Les eaux de surface en Mauritanie constituent un apport non négligeable pour le développement durable de l'agriculture, de l'élevage et de l'industrie dans le pays. Elles permettent aussi en temps de pluviométrie normale, la réalimentation de certains aquifères et surtout la préservation de l'équilibre de l'écosystème. La carte suivante montre la localisation des principales ressources en eaux de surface de la Mauritanie.

**Commenter la carte afin de citer et localiser les principales sources d'eau de surface du pays en insistant sur celle(s) de votre région.**

Les eaux de surface sont constituées essentiellement par le fleuve Sénégal et ses affluents dont les principaux sont : le Karakoro et le Gorgol. Seul 0.1 Km<sup>3</sup> d'eau de surface est généré à l'intérieur du pays et les 405 retenues d'eau (barrages et digues) constituent la principale possibilité de mobilisation des eaux de surface temporaires.



Les principales ressources en eau de surface sont réparties dans quatre grandes zones naturelles :

- **la zone de la vallée du fleuve Sénégal** : La vallée inférieure du fleuve Sénégal avec un bassin versant de 75 000 km<sup>2</sup> est totalement influencée par les ressources en eau de surface. Le barrage de Manantali avec une capacité de stockage de 11 milliards de m<sup>3</sup> dont 8 milliards de m<sup>3</sup> utiles.

Il apporte de 40% à 60% des ressources du fleuve ce qui permet de garantir un débit régulier de 300 m<sup>3</sup>/s à Bakel.

En service depuis 1986, le Barrage de Diama : a créé avec les endiguements des deux rives un réservoir dont le volume est de 250 millions de m<sup>3</sup>.

- **la zone de l'arc des Mauritanides** : Outre les affluents du fleuve Sénégal (le Niordé, le Gharfa, le Gorgol et le Karakoro), deux autres oueds importants descendent l'un du massif de l'Assaba, l'autre du Tagant, plus au nord.

Dans la région du Brakna, il existe un nombre important de mares et de lacs qui présentent un grand intérêt économique pour les populations riveraines. Parmi ces étendues d'eau on peut citer : Lac d'Aleg (3800 Km<sup>2</sup> de bassin versant), Lac de Male (955 Km<sup>2</sup> de bassin versant), Mare de Gadel :

(410 Km<sup>2</sup> de bassin versant), Mare de Choggar (190 Km<sup>2</sup> de bassin versant).

- **la zone de l'affolé et des hodhs** : Les principaux cours d'eau dans cette zone sont :

Lehbile (143 Km<sup>2</sup> de bassin versant), Lembramda (68 m<sup>2</sup> de bassin versant), M'remida (85 Km<sup>2</sup> de bassin versant), Guellab (94 Km<sup>2</sup> de bassin versant), Fouerini (80 Km<sup>2</sup> de bassin versant), Goatlebar (63 Km<sup>2</sup> de bassin versant).

- **la zone de l'Adrar** : Le réseau hydrographique de l'Adrar comprend essentiellement : l'oued Séguéilil (7500 km<sup>2</sup>), l'oued Lebiod (2500 km<sup>2</sup>) et l'oued Amder (affluent de Séguéilil sur lequel un barrage qui permet le stockage de 160 000 m<sup>3</sup> d'eau).

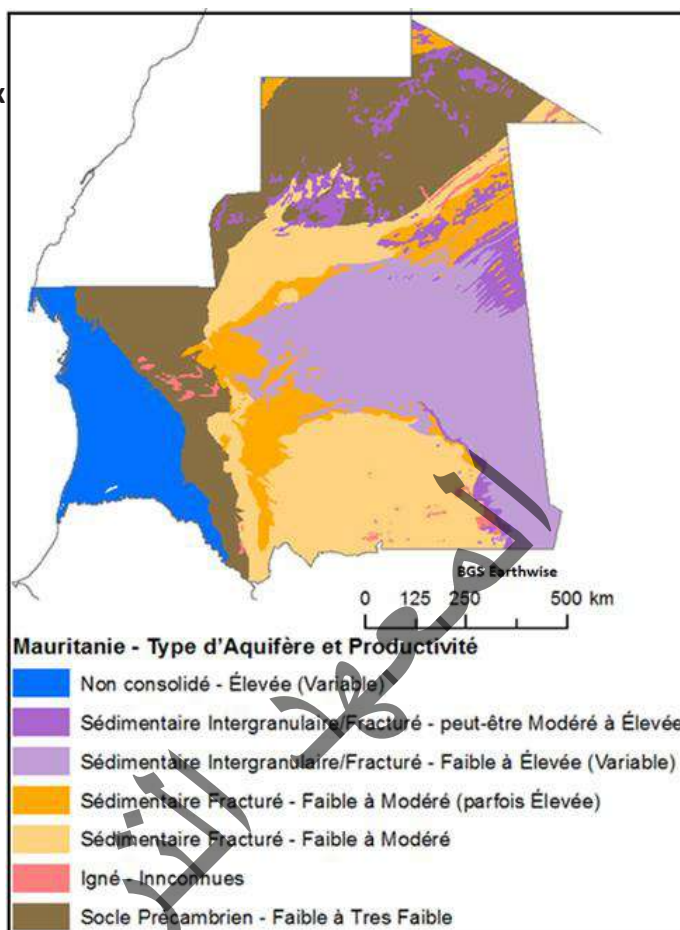
## Activité 12 :

### Quelles sont les potentialités en eaux souterraines de la Mauritanie ?

Le pays regorge de ressources en eau souterraines : certains des aquifères les plus importants se trouvent dans les zones désertiques éloignées des centres urbains et l'adduction d'eau potable reste, malgré les efforts déployés ces dernières années, un problème crucial.

L'essentiel des eaux souterraines en Mauritanie consiste en eaux dites «fossiles» qui se sont infiltrées durant les phases humides du Quaternaire récent (Inchirien et surtout Tchadien et Nouakchottien).

Deux grands types d'aquifères peuvent être distingués. Les premiers sont situés dans des zones de chaînes anciennes érodées (à socle dominant) et les seconds dans des bassins sédimentaires plus récents (voir carte ci-contre).



**Commenter la carte afin de citer et localiser les principales nappes du pays en insistant sur celle(s) de votre région.**

Le pays recèle d'importantes ressources en eau souterraine.

Ces ressources en eau souterraines sont influencées par la configuration géologique. Elles sont réparties en unités hydrogéologiques :

▪ **le bassin Côtier Sénégal-Mauritanien** : Dans ce bassin, les eaux sont contenues dans les nappes suivantes :

- nappes du Continental Terminal,
- nappes de Boulanouar : formée de 2 nappes : la nappe phréatique à eau douce dont l'épaisseur est de l'ordre de 30 m et la nappe sub-phréatique à eau chargée et dont l'épaisseur est de l'ordre de 65m),
- la nappe de Benichab,
- les nappes de Trarza dont les aquifères sont exploités dans les zones centrale et ouest du Trarza (comme Idini),
- la nappe d'Aleg et Kaédi,
- nappe des Alluvions de la Vallée du Fleuve Sénégal.

▪ **le bassin de Taoudéni** : Dans ce bassin ancien plusieurs types d'aquifères sont à distinguer : ils se situent dans les terrains datant du Précambrien supérieur ou du Primaire (du Cambrien au Dévonien). Les deux grands ensembles de terrain (sédimentaires anciens et récents) contiennent les aquifères qui correspondraient aux appellations des régions administratives en Mauritanie :

- Aquifère de l'Adrar,
- Aquifère du Tagant,
- Aquifère de l'Assaba et des sables de l'Aouker,
- Aquifère des grès d'Aïoun,
- Aquifère des pélites du Hodh,
- Aquifère des fractures du Dhar de Néma.

▪ **la Chaîne des Mauritanides** : La zone d'Akjoujt au Nord est la mieux connue. Les débits sont de l'ordre de 30 m<sup>3</sup>/h.

Au Sud, dans le secteur SE du Brakna et Nord du Gorgol, les valeurs de la transmissivité sont faibles (0.1 - 3 m<sup>2</sup>/h) et les débits peuvent atteindre 3 m<sup>3</sup>/h. La salinité reste acceptable, 470mg/l à Sangrafa et 1050 mg/l à Magta-Lahjar

▪ **la dorsale RGueïbatt** : Ce domaine est constitué essentiellement de roches métamorphiques et magmatiques dont l'hydrogéologie est caractérisée par la discontinuité des aquifères. Toutefois, l'altération superficielle et la fracturation peuvent donner naissance à des aquifères continus de surface. Ces aquifères revêtent parfois une certaine importance au niveau des oueds. L'infiltration des eaux de crues permet leur recharge.

La région de F'Derikà fait l'objet de nombreuses recherches. Les profondeurs des forages varient de 25 à 300m. Les niveaux statiques sont compris entre 13 et 80m, les débits de 3 à 10 m<sup>3</sup>/h.

Plus au Nord, tous les sondages exécutés dans la zone ont trouvé de l'eau à des profondeurs comprise entre 6 et 40m. Les eaux sont le plus souvent saumâtres.

## JE RETIENS

Une roche est un matériau constitutif de l'écorce du globe terrestre (lithosphère).

Les roches sont composées d'assemblages d'un ou plusieurs minéraux, cristallins ou vitreux. Elles sont souvent plus ou moins dures et cohérentes (pierres, cailloux), parfois plastiques (argiles) ou meubles (sables) ou liquides (pétrole) ou gazeuses (Gaz naturel).

Les minéraux sont des substances, dont l'assemblage forme les roches.

Un minéral est un élément ou composé chimique solide et homogène généralement inorganique formé dans la nature, habituellement par des processus inorganiques. Les minéraux peuvent être composés d'un seul élément comme le carbone (DIAMANT) ou l'OR, ou de plusieurs éléments.

Un minerai est une roche contenant un élément utile à l'homme en qualité et en quantité suffisantes pour justifier une exploitation.

Un minerai est une roche d'où l'homme extrait (dans des situations avantageuses en regard des conditions du marché mondial du métal) des métaux qui sont les matières premières de la métallurgie.

Un gisement est un ensemble géologique qui renferme un minerai susceptible d'être exploité.

En Mauritanie, apparaissent les grands ensembles géologiques suivants cités du plus ancien au plus récent :

- la Dorsale RGueibat, au nord du pays : les principales formations géologiques sont sédimentaires (arkoses, schistes,...), volcaniques (rhyolites, ignimbrites), plutoniques (gabbros, diorite, granite ...) et métamorphiques (quartzite, micaschistes, gneiss...).

Ces formations datent du Précambrien.

- le bassin de Taoudéni, au centre et à l'Est du pays : les sédiments datent du Précambrien supérieur à l'actuel. Les roches sont globalement sédimentaires (argiles, calcaires...).

Le bassin de Tindouf : au nord de la Mauritanie, il est constitué de formations sédimentaires essentiellement gréseuses. Ses plus anciennes formations vont du Précambrien supérieur au Dévonien supérieur.

- la chaîne des Mauritanides, à l'ouest du bassin de Taoudéni : c'est une longue bande qui s'étend du Sahara occidental au Nord, jusqu'en Sierra Leone au Sud, en passant par la Mauritanie occidentale et l'Est du Sénégal. Elle est constituée de terrains cristallins, métamorphiques et sédimentaires du Précambrien et du Cambro-ordovicien.

- le bassin côtier sénégal-mauritanien : situé en bordure de l'océan atlantique, il renferme des sables mio-plio-quaternaires. Au quaternaire, cette région a connu quatre transgressions marines dont la plus récente est le Nouakchottien (6800 – 4200 B.P.).

Le sous-sol mauritanien regorge de potentialités minières dont certaines sont sous forme de gisements (qualité et quantité du minerai justifiant une exploitation) ou d'indices (exploitabilité non justifiée). Ces potentialités minières sont représentées par :

- des substances métallifères comme le fer de Tiris (gisement de Lemhaoudat, de Rouessat à Zouerate...), le cuivre (gisement de Guelb Moghrein à Akjoujt) et l'or d'Akjoujt (mine de tasiast)....

- des substances non métallifères dont certaines sont exploitées comme le sel de N'Terert et de la Kédia d'Idjil, le gypse de NDrahmcha et d'autres exploitables comme le phosphate de Bofal.

Les prospections ont indiqué l'existence d'indices de fer, de cuivre, d'or, de terres rares (Bou Naga), de thorium, de diamant, de béryllium, de lithium, d'uranium, de kaolin, de chrome, de manganèse, de titane, de tourbe, de cobalt, ...

La recherche de ces roches réservoir, la prospection, utilise des méthodes directes et des méthodes indirectes.

- Les méthodes directes : Elles sont constituées par les coupes géologiques de terrains, les travaux de cartographie géologique, qui permettent de rechercher les caractéristiques stratigraphiques et structurales de la région.

- Les méthodes indirectes : Elles résultent de l'observation des phénomènes physiques (propagation des ondes électriques ou des ondes sismiques à travers les couches géologiques. Ces méthodes sont très précieuses pour la détermination structurale du terrain et des propriétés physiques des roches traversées par ces ondes. L'enregistrement des données de la sismique permet la recherche des structures du sous-sol favorables à la constitution de pièges.

Le pétrole provient de la transformation de la matière organique sous l'effet des microorganismes, de la température et du temps essentiellement. Il migre dans des roches magasins et s'accumule dans des pièges.

Le pétrole brut est atteint dans le sous-sol par un forage.

C'est une roche liquide riche en carbone qui, par combustion, produit de l'énergie.

Le pétrole est localisé dans les roches magasins, surmontées d'une roche de couverture imperméable dans des structures particulières du sous-sol appelées pièges.

Il provient de l'accumulation d'une grande quantité de matière organique issue du plancton et de la transformation de celle-ci sous l'action des microorganismes, de la chaleur interne de la terre et du temps.

Le pétrole est une roche énergétique, sédimentaire, d'origine organique.

L'exploitation du pétrole se fait par forage, sur le continent ou dans les océans : forage off-shore. Un gisement de pétrole est fréquemment accompagné de gaz naturel.

Un schéma classique de gisement indique la trilogie : gaz naturel, pétrole et eau salée. Cette trilogie peut se réduire à deux éléments ou même à un seul.

Le pétrole, en tant que matière première, est utilisé comme source d'énergie après traitement dans les raffineries. La distillation du pétrole fournit :

- du gaz (butane, propane) utilisé comme combustible ménager ou industriel ; du kérosène, carburant des réacteurs d'avions ; des essences, combustibles qui actionnent les moteurs à explosion ; du gasoil pour moteur diesel, utilisé aussi comme combustible dans les centrales thermiques pour la fabrication de l'électricité ;

- des huiles de graissage, de la paraffine qui entre dans la fabrication des bougies ;

- du bitume employé dans le revêtement des routes, mélangé avec des graviers dont il sert de liant. En outre la chimie du pétrole, ou pétrochimie, fournit :

- des matières plastiques ;

- des fibres textiles synthétiques : nylon, tergal

- des solvants ;

- des détergents ;

- des caoutchoucs synthétiques.

En plus, d'importantes découvertes d'hydrocarbures ont vu le jour :

- dans le secteur pétrolier mauritanien dans le Bassin Côtier : Chinguetti (découvert le 16 mai 2001), Oualata (découvert en 2003), Tevet (découvert en octobre 2004), Banda (découvert en octobre 2002) ...

- dans le secteur du gaz naturel : le champ gazier offshore Ahmeyim, situé à 5 200 mètres de profondeur, à la frontière entre la Mauritanie et le Sénégal. Avec des réserves estimées à 450 milliards de



mètres cubes. La production attendue est de 227 milliards de mètres cubes sur trente ans.

Dans le pétrole ont été découvertes des substances qui ne sont présentes, à l'état naturel, que chez les êtres vivants.

Les matières organiques qui leur ont donné naissance doivent être abondantes et largement réparties, comme l'est le plancton actuel. Ce plancton est surtout abondant au niveau du plateau continental et dans les zones équatoriales et tropicales.

Les milieux favorables à la formation du pétrole peuvent donc être les estuaires, les lagunes ou les bassins plus ou moins fermés. Les bactéries jouent un très grand rôle dans la genèse du pétrole car elles transforment la matière organique. Interviennent ensuite la pression et la température qui favorisent les réactions chimiques.

Après leur formation, ces pétroles ont tendance à migrer sous l'effet de la compaction. Cette migration peut s'arrêter lorsque les huiles trouvent sur leur chemin des couches imperméables. Les roches dans lesquelles elles vont s'accumuler constituent ce que l'on appelle des roches-réservoirs. Les provinces pétrolifères peuvent être :

- les bassins sédimentaires (plateau continental, talus continental, bassin profond) ;
- les bassins d'effondrement.

Les roches-magasins peuvent être des sables, des grès, des calcaires, d'autres roches fracturées. Les pièges à pétrole peuvent être des anticlinaux, des failles, des plis, des discordances, des récifs, etc.

L'eau est présente sur Terre sous forme gazeuse, liquide ou solide.

Rivières, nappes souterraines et océans constituent différents réservoirs d'eau.

La condensation de la vapeur d'eau atmosphérique entraîne la formation de nuages qui sont à l'origine des précipitations. L'eau ainsi précipitée ruisselle ou s'infiltre pour alimenter des nappes souterraines. Une partie de cette eau est utilisée par les êtres vivants. L'eau précipitée se retrouve toujours dans les océans.

En Mauritanie, les ressources en eau sont classées en deux grands ensembles : les eaux de surface et les eaux souterraines.

- Les principales ressources en eau de surface sont réparties dans quatre grandes zones naturelles:
  - la zone de la vallée du fleuve Sénégal : Les eaux de surface sont constituées essentiellement par le fleuve Sénégal et ses affluents dont les principaux sont : le Karakoro et le Gorgol ;
  - la zone de l'arc des Mauritanides ;
  - la zone de l'affolé et des hodhs ;
  - la zone de l'Adrar.
- Les ressources en eau souterraines sont réparties en unités hydrogéologiques :
  - ✓ le bassin Côtier sénégal-mauritanien ;
  - ✓ le bassin de Taoudéni ;
  - ✓ la Chaîne des Mauritanides ;
  - ✓ la dorsale RGueïbatt.

## Je m'exerce :

### QCM : Choisir la (ou les) bonne(s) réponse(s).

1. La paléontologie est
  - a- l'étude de la formation des strates.
  - b- l'étude des fossiles.
  - c- la représentation des reliefs sur la carte.
  - d- l'étude des déformations des strates.
2. La paléontologie est
  - a- l'étude des êtres vivants.
  - b- l'étude des restes d'êtres vivants conservés dans les roches.
  - c- la formation des fossiles.
  - d- le stockage des fossiles.
3. La tectonique est
  - a- l'étude des roches.
  - b- l'étude des minéraux.
  - c- l'étude des couches géologiques.
  - d- l'étude des déformations des couches géologiques.
4. Le pétrole se forme
  - a- à partir de réactions chimiques n'impliquant pas de restes d'êtres vivants.
  - b- grâce à une maturation en profondeur.
  - c- en quelques centaines d'années.
  - d- par dégradation des roches environnantes.
5. Quelle roche contient les hydrocarbures exploitables ?
  - a- la roche imperméable.
  - b- la roche couverture.
  - c- la roche réservoir.
  - c- la roche mère.
6. La roche mère des hydrocarbures
  - a- est la roche qu'il faut atteindre par forage pour les exploiter.
  - b- est synonyme de roche de couverture.
  - c- a été riche en matière organique accumulée lors de la sédimentation.
  - d- s'est enrichie en hydrocarbures par migration d'hydrocarbures en provenance d'une roche réservoir.

## 7. Le pétrole

- a- se forme à partir d'algues terrestres.
- b- se forme à partir de plantes terrestres.
- c- peut migrer après sa formation.
- d- se situe dans une roche imperméable.

## 8. Les roches de couverture des réservoirs de pétrole

- a- sont poreuses pour permettre aux hydrocarbures de circuler.
- b- sont imperméables pour piéger les hydrocarbures.
- c- sont perméables laissant les gaz s'échapper.
- d- sont imperméables pour que l'eau ne puisse pas se mélanger au pétrole.

## EXERCICES

### Exercice 1

Fais un tableau comparatif des grandes données géologiques des bassins de Taoudéni et sénégalomauritanien : situation, géomorphologie, stratigraphie et pétrographie.

### Exercice 2

La dorsale RGueibat couvre le nord de la Mauritanie. Elle est composée de roches métamorphiques et de granites archéens et Paléoprotérozoïques qui forment la bordure nord-ouest du craton ouest-Africain (Cahen et al. 1984).

L'Archéen est constitué de roches métamorphiques et granitiques. Les roches métamorphiques sont constituées de quartzites ferrugineux, des micaschistes, des gneiss (incluant les leptynites), et des amphibolites. Ces formations sont souvent migmatisées. Il existe quelques massifs de roches basiques qui varient d'anorthosites aux gabbros et aux roches ultrabasiques telles que les serpentinites, se présentant comme roches intrusives de petite taille. Le Protérozoïque inférieur consiste en roches volcano-sédimentaires et en granites, et est posé en couches discordantes. Les roches volcano-sédimentaires sont constituées par la série inférieure d'AguelteNebkha au sommet, et la série supérieure d'Imourene à la base. La série d'AguelteNebkha est composée de grès et de schistes à la base, et de tuff rhyolitique et de méta-andésite au sommet. La série d'Imourene est composée de grès et de conglomérats et se dépose en discontinuité sur la série d'AguelteNebkha. Les granites du Protérozoïque inférieur affleurent à l'est de la Dorsale Rgueibat. Ils sont constitués par des granites alcalins, des syénites et des gabbros (BRGM, 1975).

L'Archéen dans le sud-ouest de la Dorsale Rgueibat est appelé socle d'Amsaga qui est divisé en complexe du Rag el Abiod et en série de la Saouda. Le complexe de Rag el Abiod est composé de migmatites et de granites. La série de la Saouda consiste en une formation inférieure composée de charnockites, d'amphibolites et d'anorthosites, une formation centrale composée de gneiss et de granulites, et une formation supérieure composée d'amphibolites et de quartzites ferrugineux (BRGM, 1975). La formation Archéenne représente une direction N-S dans la région de Chegga à l'est, une direction NW-SE dans la région de Ghallaman dans le centre et une direction NNW-SSE dans la région de l'Amsaga au sud-ouest du bouclier». Website Supported by JICA OMRG © copyright 2005 - Info@omrg-mining.mr

**Dégage les caractéristiques principales de cette région.**

### Exercice 3

«La chaîne des Mauritanides, appelée «GreenstoneBelt», et caractérisée par des plis et des chevauchements formés par l'orogénèse Hercynienne du Paléozoïque, et se situe à la marge occidentale du craton Ouest-Africain. Elle s'étire sur plus que 2.500km, du Sénégal au Maroc en passant par la Mauritanie. Elle montre une direction NNW - SSE en Mauritanie et en atteint une largeur de 150km. Elle est constituée par les roches sédimentaires, des roches éruptives et métamorphiques du Précambrien au Paléozoïque (BRGM, 1975).

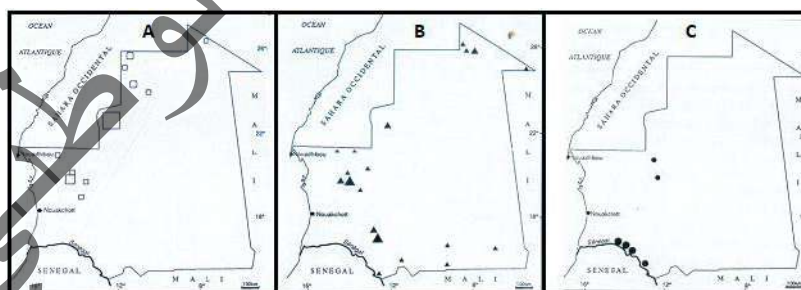
Dans la région d'Inchiri au nord, les Mauritanides sont l'objet de chevauchements majeurs sur la Dorsale RGueibat. Les Mauritanides sont divisées en trois unités d'est en ouest : la zone externe, la zone axiale et l'arrière-pays. Dans la zone externe, les formations sédimentaires de Sangafara et la série de Kiffa affleurent et sont formées de la manière suivante : La série de Sangafara est constituée de grès, de quartzites, de conglomérats et siltstones et correspond au groupe Précambrien ; tandis que la série de Kiffa comprend des tillites, des grauweekes et des dolomies et correspond au système Cambro-Ordovicien (BRGM, 1975). La zone axiale est caractérisée par un complexe volcano-sédimentaire et par des roches plutoniques. Le complexe volcano-sédimentaire est divisé en quatre groupes : le Groupe de Gadel, composé de micaschistes, de carbonates siliceux, de serpentinites et d'amphibolites ; le groupe d'El Aoudja, constitué de chloritoschistes, de metabasites ; le Groupe de Ouechkech, représenté par des rhyolites, des tufs acides et des conglomérats ; et le Groupe de Rhabra, composé de porphyres andésitiques et de brèches pyroclastiques. Les roches plutoniques sont composées de granodiorite de Guidimakha et de granite d'Aftout. La granodiorite du Guidimakha est accompagnée de granites à biotite-muscovite. Les roches plutoniques pourraient être d'âge Protérozoïque inférieur, tandis que les roches volcano-sédimentaires situées sur la zone axiale sont plus anciennes (BRGM, 1975).

L'arrière-pays renferme le groupe de Oua-Oua. Il est constitué de quartzites, de schistes à muscovite, chloritoschistes et de grès. Les Mauritanides sont affectées de plis déversés vers l'est (vers le bassin de Taoudeni) dûs au métamorphisme de la période la plus récente du Protérozoïque supérieur et à l'orogénèse Hercynienne, avec quelques plis couchés par chevauchement ». WebsiteSupported by JICA OMRG © copyright 2005 - Info@omrg-mining.mr

**Dégage les caractéristiques principales de cette région.**

### Exercice 4

Les trois cartes suivantes donnent la répartition de trois minerais (P, Fe et Cu).



**Fais correspondre à chacune des cartes l'un des trois minerais cités.**

### Exercice 5

Sur un fond de carte de la Mauritanie et en utilisant des figurés bien précis, localiser les éléments suivants : sel, gaz naturel, pétrole et or.

### Exercice 6

Recherchez tous les matériaux qui entrent dans la construction de votre établissement scolaire.

- Classez-les en matériaux bruts et matériaux transformés,.
- En utilisant des documents, des enquêtes, recherchez à partir de quoi et comment sont réalisés

les matériaux transformés. Quels sont ceux qui sont fabriqués dans votre région ? Votre pays ?

c) Quelle est la différence entre un minerai et une roche ? Quels sont les minerais que l'on exploite dans votre pays ?

### Exercice 7

2. La figure ci-contre représente une coupe géologique où apparaissent deux pièges à pétrole.

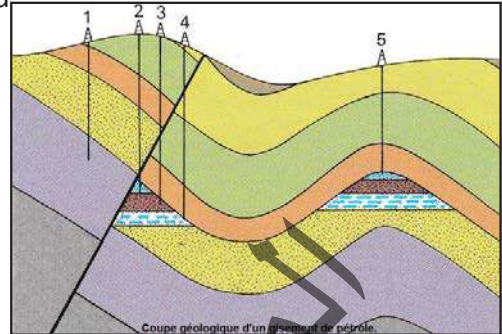
a) Quels sont les phénomènes géologiques qui ont permis la formation de ces pièges ? Dans quel ordre chronologique se sont formés les différents éléments de cette coupe ?

b) Dans quel cas le pétrole peut-il atteindre seul la surface ? Justifiez votre réponse.

c) Considérons les forages 2, 3, 4 et 5. Que vont-ils produire respectivement ?

d) Lors des opérations de forage, on prend soin de refroidir l'appareil. Pourquoi ?

e) Il y a quelques dizaines d'années, pour découvrir un gisement de pétrole, il fallait creuser plusieurs puits de recherche. Quels étaient les inconvénients de cette pratique ? Comment procède-t-on actuellement ?



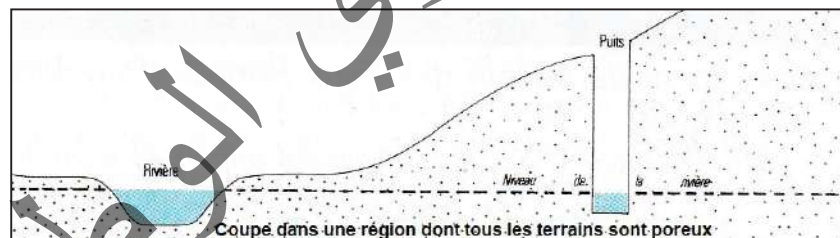
### Exercice 8

Donner la définition des mots et expressions qui suivent :

Nappe phréatique - aquifère - eau libre - source - nappe captive - puits artésien.

### Exercice 9

Voir le document ci-dessous.



1) Placer la nappe phréatique.

2) D'où vient l'eau qui alimente le puits : de la rivière ? Des pluies ? Des deux à la fois ?

(Pour répondre, pensez à représenter par des flèches l'écoulement souterrain des eaux de pluies et des eaux de la rivière).

3) Que pensez-vous de la qualité de l'eau du puits si la rivière est polluée ?

### J'approfondis mes connaissances :

#### Document 1 : La protection des ressources naturelles.

La consommation mondiale d'énergie, principalement sous forme de charbons, d'hydrocarbures et d'uranium a connu durant les dernières décennies une importante augmentation. Les industries et l'agriculture de notre société technologique utilisent des quantités d'eau sans cesse croissantes. Les ressources énergétiques de la terre ne sont pas inépuisables. Des pompes excessifs dans la nappe



phréatique\* entraînent un épuisement de celle-ci. La gestion rationnelle des ressources énergétiques et des ressources en eau, passe par la connaissance des gisements, l'évaluation de leur réserve, l'amélioration de leur exploitation, l'arrêt du gaspillage. Des études approfondies ont montré que les principales ressources énergétiques seront épuisées dans un avenir plus ou moins lointain. Pour retarder cette échéance, il devient nécessaire de gérer rationnellement les ressources naturelles. Au fur et à mesure que les gisements de minerais s'épuisent, on s'intéresse de plus en plus à ceux dont la teneur en minerais est faible. Avec leur épuisement total, on envisage la récupération des métaux dans les résidus de la consommation. Néanmoins, au cours de la décennie 1970-1980, l'exploration du fond des océans a permis de découvrir des gisements de nodules polymétallique (concrétions dont le diamètre va de 1 à 20 cm, à couches concentriques constituées de divers métaux. Ces découvertes laissent supposer que les réserves minérales du globe sont presque illimitées. Mais leur exploitation va poser de nombreux problèmes, en particulier la profondeur de ces gisements, sous plusieurs milliers de mètres d'eau. La lutte contre la pollution des nappes aquifères, par l'étude précise de la circulation des eaux d'infiltration, est également du domaine de la Géologie. L'eau est en équilibre très fragile avec le milieu. Le maintien de cet équilibre est indispensable à la vie sur la Terre. Pour limiter les risques de pollution au niveau d'un captage, l'hydrogéologue définit trois types de périmètres de protection :

- un périmètre de protection immédiate où est installé l'ouvrage de captage, il est clos et interdit à toute activité ;
- un périmètre de protection rapprochée où toute construction, toute activité souterraine est interdite ;
- un périmètre de protection éloignée où l'utilisation d'engrais, de pesticides et d'insecticides est interdite.

Dans les grandes villes, les eaux usées doivent être collectées à l'aide d'un réseau d'égouts et épurées dans des stations de traitement des eaux usées, avant d'être rejetées dans les cours d'eau. Au village, les eaux usées devraient être dirigées vers un puisard. Les déchets sanitaires doivent être traités dans des fosses septiques.

Le géologue, devenu pédologue, intervient enfin dans la préservation des sols, favorisant ainsi l'essor de l'agriculture.

## **Document 2 : Problème de l'eau**

«Indispensable à la vie, animale et végétale, l'eau est le constituant fondamental de tous les êtres vivants. L'homme adulte en contient 60%, son sang 80%. Ses fonctions sont multiples au sein de l'organisme : agent de transport et d'échange, solvant, thermostat (on retrouve ces mêmes fonctions en géologie). D'autre part, elle est l'un des facteurs principaux de toute activité socio-économique. Pour la Mauritanie, la maîtrise des eaux est une priorité qui conditionne l'avenir de son développement.

### **Quelques définitions.**

En premier lieu, il importe de préciser que l'eau est un minéral dont la formule chimique est  $H_2O$  (Hydrogène et oxygène associés sous forme d'une molécule). A la surface de la Terre, les conditions thermodynamiques (température et pression) déterminent, le plus fréquemment, un état liquide de ce minéral. Cependant, il arrive parfois qu'il soit à l'état solide (glaciers des montagnes et des pôles), ainsi qu'à l'état gazeux (atmosphère, laves). La circulation de l'eau sous ses divers états constitue ce que l'on a coutume d'appeler «le cycle de l'eau». En fait, il y a lieu de distinguer un cycle interne et un cycle externe (Fig. a). Ce dernier est important dans la mesure où il conditionne les apports d'eau indispensables à l'homme sur la Terre.

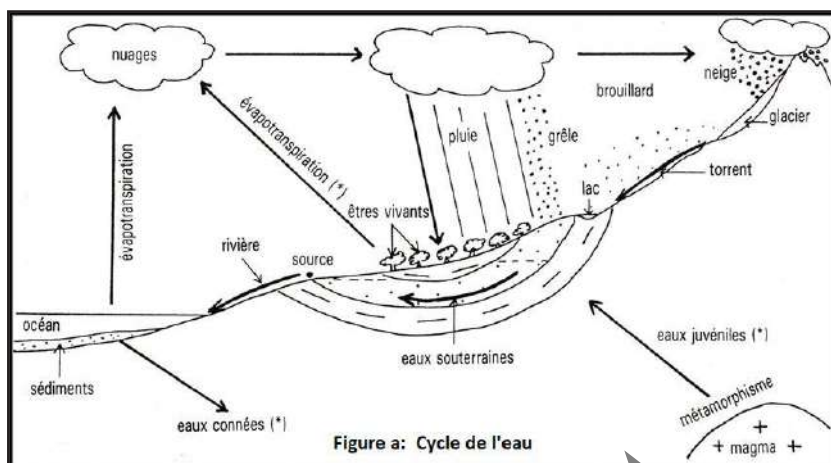
En hydrologie (= étude de l'eau), les quatre facteurs fondamentaux sont les suivants :

- P = totalité des précipitations atmosphériques (pluie, grêle, neige, brouillard).

- E = évapotranspiration, rejet total de vapeur d'eau par un terrain et par les plantes qui le couvrent.

- R = ruissellement de surface.

- I = infiltration.

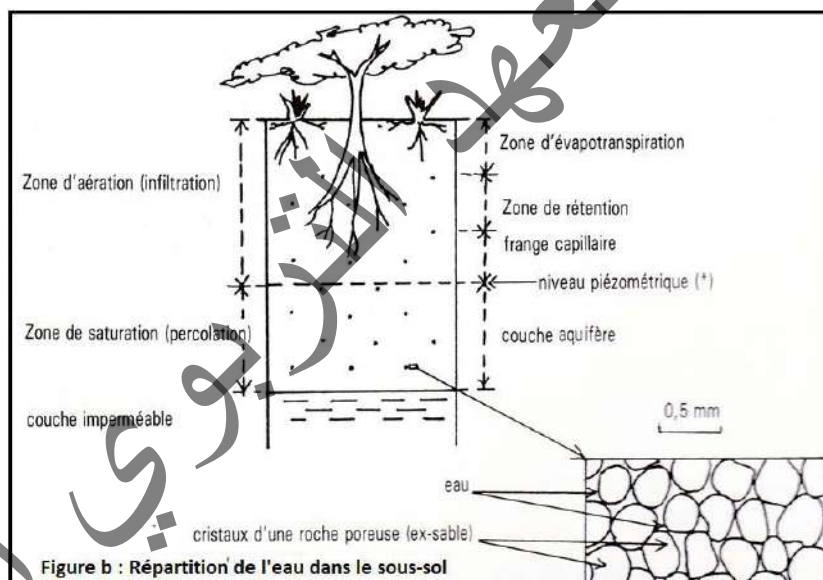


Lorsqu'elles tombent au sol, les précipitations ont trois destinées possibles : l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration.

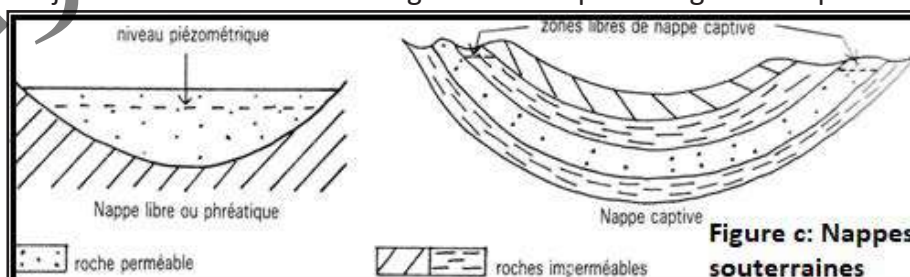
Ainsi, il est possible d'écrire la formule :  $P = E + R + I$

Lorsque l'infiltration est importante, les terrains sont amenés à renfermer de l'eau en quantité parfois considérable. L'étude particulière des eaux souterraines est le thème de base d'une discipline : l'hydrogéologie.

La répartition de l'eau dans le sous-sol est conditionnée par la présence de roches dont la porosité et la perméabilité sont variables. La circulation d'une eau est arrêtée au niveau d'une couche imperméable.



Son accumulation dans une zone poreuse et perméable sus-jacente est illustrée sur la figure b. La disposition géométrique des roches détermine l'existence de **nappes souterraines** variées, parmi lesquelles on peut distinguer 2 grands types : **les nappes libres (= nappes phréatiques**, lorsqu'elles sont peu profondes) et les nappes captives (Fig. c). L'ensemble des couches qui contiennent l'eau sous forme de nappe, constitue un **aquifère**.



**REMARQUE IMPORTANTE.** Des roches imperméables (granite, argilite) peuvent cependant renfermer des quantités d'eau non négligeables dans les failles au niveau desquelles elles sont broyées : dans ce cas, il s'agit d'une porosité de fracture. D'autre part, ces roches contiennent parfois de l'eau dans leur zone d'altération.». Géologie en Mauritanie 4ème AS, Edisud, 1989.

## J'utilise mes connaissances:

### Projet de classe :

A la fin du chapitre 4, les élèves en sous-groupes préparent une recherche ou investigation sur les grands ensembles géologiques, et potentialités minières et hydrogéologiques de leur région ou milieu.

- Un groupe réalise une recherche ou investigation pour situer et décrire l'ensemble géologique de sa région.
- Un groupe réalise une recherche ou investigation sur les Ressources minières de sa région.
- Un groupe réalise une recherche ou investigation sur Ressources hydrogéologiques de sa région.
- Un groupe réalise une recherche ou investigation sur le potentiel économique de sa région.
- Un groupe réalise une affiche sur les métiers en rapport avec les ensembles géologiques.

S'informer auprès du professeur de Français (pour le langage scientifique), de Géographie : Carte topographique de Mauritanie.

## BIBLIOGRAPHIE

- A. ANQUETIL, N. COHEN : Science de la Vie et de la Terre T<sup>erm</sup> S, Le Guide, Nathan, 2005.
- A. MBAREK : Bio Bac tome 1, Les Sciences Naturelles en 4<sup>è</sup> AS, A. MBarek.
- A. NOËL, M. DUPIN : Science de la Vie et de la Terre T<sup>erm</sup> S, Le Guide, Nathan, 2005.
- A. OULMOUDEN, D. DELOURME : Génétique, Dunod, 1999.
- Annales du bac : Sciences Naturelles, pour le bac 89, Vuibert, 1988.
- C. CALAMAND, J. ARRIGHI : Biologie Géologie Ter.S, Hachette Education, 1999.
- C. DESIRE : L'épreuve de Biologie au baccalauréat C, Armand Colin, 1984.
- C. DEVAUX, N. RABINEAU : Biologie humaine, Dunod, 1988.
- C. DURAND, F. LALEVEE : Science de la Vie et de la Terre T<sup>erm</sup> S, Bloc fiches, Nathan, 2002.
- C. DURAND, F. LALEVEE : Science de la Vie et de la Terre T<sup>erm</sup> S, Annales bac 2006, Nathan, 2005.
- CH. DESIRE : Sciences Naturelles – Terminale C, Bordas, 1980.
- G. LUCOTTE : Exercices de génétique, Academicpress, 1980.
- H. CHADLI, M. DARGHOUTH : Biologie 7<sup>è</sup> Année Math-Sciences, Centre National Pédagogique (Tunisie), 1985.
- H. et J.M. HOMASSEL : Sciences de la Vie et de la Terre – T<sup>le</sup> S, Bordas, 2002.
- H. et J.M. HOMASSEL : Sciences de la Vie et de la Terre – T<sup>le</sup> S, MémoBac, Bordas, 2005.
- IPN : Sciences Naturelles 7AS, 2012.
- J. BERGERON, J-C HERVE : Science de la Vie et de la Terre S, Hatier, 2005.
- J. DAVID RAWN : Traité de Biochimie, Editions universitaires, 1990.
- J. ESCALIER : Biologie – Terminale D, Fernand Nathan, 1980.
- J. ESCALIER, L. GIRARD : Bac Biologie D, Hachette Education, 1991.
- J. LAUVERJAT, G. MIQUEL : Biologie Géologie 4<sup>è</sup>, Hachette Collèges, 1988.
- J. P.BODEN : Biologie – Premières L & ES, Bordas, 1994.
- J-P. BODEN, J. LAMARQUE : Biologie Terminale C, Bordas, 1989.
- J-P. BODEN, J. LAMARQUE : Biologie Terminale D, Bordas, 1989.
- P. ROUSSEAU : Génétique Licence 1 D1, LMGM (UMR5100, CNRS-UPS
- M. BREUIL : Dictionnaire des Sciences de la Vie et de la Terre, Nathan, 2005.
- M. DION, J. ESCALIER : Biologie- Terminale D, Hachette Lycées, 1989.
- M. DION, M. FONTANET : Biologie - Terminale D, Fernand Nathan, 1983.
- M. EL HAJ YOUSSEF : L'épreuve de Sciences Naturelles au baccalauréat, Devoirs types, STEP, 2001.
- M. Le BELLEGARD : Science de la Vie et de la Terre 4<sup>è</sup>, Hatier, 1998.

- M. MEDHIOUB : Biologie, Documents pratiques, 7<sup>e</sup>, M. Medhioub, 2000.
- N. BOUCHES, A. FLORIMOND : Sciences de la Vie et de la Terre T<sup>erm</sup> S, Nathan, 2005.
- N. SALVIAT : Sciences de la Vie et de la Terre, T<sup>le</sup>S, Hachette Education, 2003.
- P. VINCENT : Biologie – Terminale D, Vuibert, 1985.
- P. VINCENT : Sciences Naturelles - Terminale D, Vuibert, 1974.
- R. DEMOUNEM, J. GOURLAOUEN : Biologie – Terminale D, Nathan, 1989.
- Y. DATTEE, P. VINCENT : Exercices de Génétique, baccalauréat, Vuibert.
- MAURITANIE\_rapport\_forages\_manuels\_(FINAL)

## REFERENCES

- <https://www.icours.com/cours/biologie/transmission->
- [www.cours-univ.fr/génétique-L2](http://www.cours-univ.fr/génétique-L2)
- <http://membres.multimania.fr/coursgenetique/genetiq>
- <http://www.catoirefantasque.be/dossiers/genetique/>
- <http://www.snv.jussieu.fr/vie/dossier/gpes-sanguins>
- <http://fr.wikipedia.org/lesloisdemendel>
- <https://www.icours.com/cours/biologie/transmission-de-linformation-genetique/genetique-hu-maine>
- [www.facebook.com ' posts ' bassin-de-tindoufintroduc...](https://www.facebook.com/posts/bassin-de-tindoufintroduc...)
- [maghreb-info.com](http://maghreb-info.com)
- [www.jeuneafrique.com ' mag ' economie ' mauritanie-le](http://www.jeuneafrique.com/mag/economie/mauritanie-le)
- [www.jeuneafrique.com ' economie ' mauritanie-kosm](http://www.jeuneafrique.com/economie/mauritanie-kosm)
- [www.invest-mauritania.com ' sector ' petrole-gaz](http://www.invest-mauritania.com/sector/petrole-gaz)
- [www.agenceecofin.com ' gaz-naturel ' 2810-70528-m..](http://www.agenceecofin.com/gaz-naturel/2810-70528-m..)



# المجلة التريبيوي الوطني

# المحطة التدريبية الوطنية