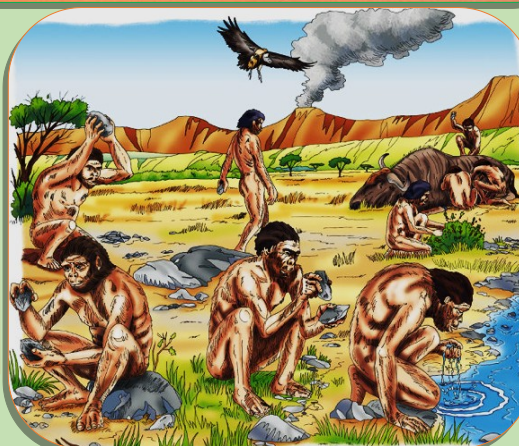
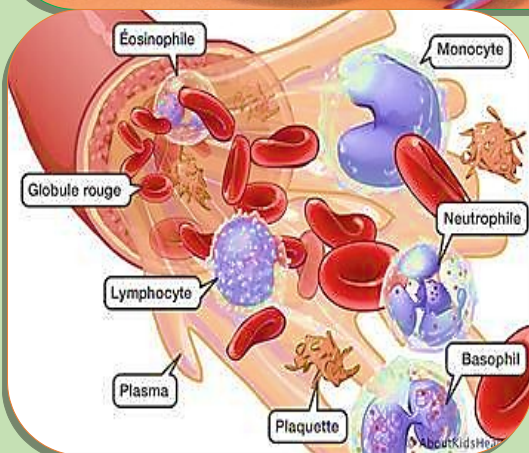
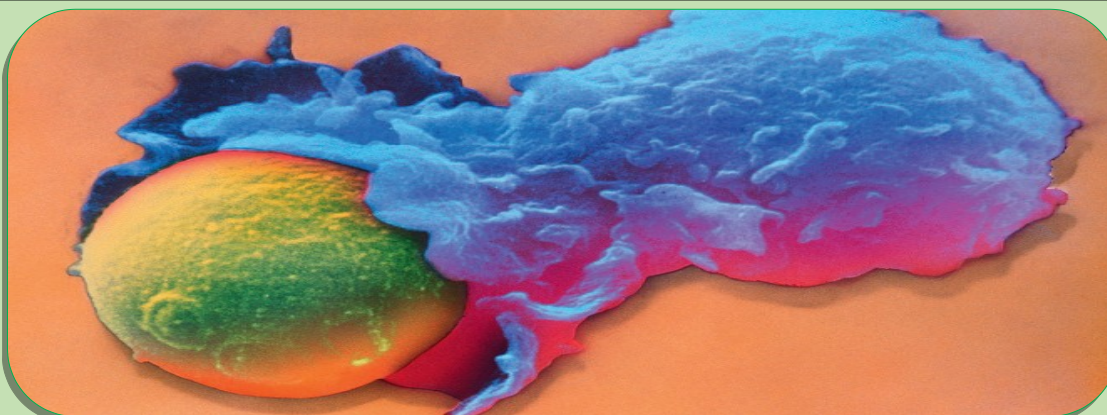


# Livre d'activité

## Sciences de la Vie et de la Terre (SVT)



### 12<sup>ème</sup> Terminal sciences expérimentales

Nom : ..... Prénom : .....

Etablissement: .....

Classe : ..... Année : .....

|                                                                                                                                           |                                                                                                           |                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| <br>République du Mali<br>Un peuple – Un But – Une Foi | <br><b>La cigogne</b> | abdoulayesd7@gmail.com<br>Tel: (+223) 78228685 / 50449193 |
| Dembélé<br>Abdoulaye Seydou                                                                                                               |                                                                                                           |                                                           |

|                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Table des matières                                                                                                  |     |
| Avant-propos.....                                                                                                   | 2   |
| Biologie.....                                                                                                       | 3   |
| Concept général 1 : La vie cellulaire.....                                                                          | 4   |
| Sous concept 1 : La structure de la cellule.....                                                                    | 4   |
| Sous concept 2 : Les échanges cellulaires.....                                                                      | 8   |
| Sous concept 3 : le métabolisme énergétique de la cellule.....                                                      | 13  |
| Concept général 3 : l'information génétique.....                                                                    | 18  |
| Sous concept 1 : Le support de l'information génétique.....                                                         | 18  |
| Sous concept 2 : La transmission de l'information génétique au cours des divisions cellulaires.....                 | 22  |
| Sous concept 3 : l'expression de l'information génétique.....                                                       | 28  |
| Concept général 3 : L'unicité des individus et la diversité génétique.....                                          | 35  |
| Sous-concept 1 : Les mécanismes fondamentaux de la reproduction sexuée chez les mammifères et les spermaphytes..... | 35  |
| Sous-concept 2 : Le brassage génétique assuré par la reproduction sexuée et l'unicité génétique des individus.....  | 45  |
| Sous-concept 3 : Diversité génétique d'une population.....                                                          | 53  |
| Sous-concept 4 : Quelques aspects de la génétique humaine.....                                                      | 57  |
| Concept général 4 : les mécanismes de l'immunité.....                                                               | 63  |
| Sous-concept 1 : le soi et le non-soi.....                                                                          | 63  |
| Sous concept 2 : Les bases de L'immunocompétence.....                                                               | 67  |
| Sous-concept 3 : Le déroulement de la réponse immunitaire.....                                                      | 72  |
| Sous-concept 4 : Le dysfonctionnement et les déficiences du système immunitaire.....                                | 81  |
| Sous-concept 5 : Les aides à la réponse immunitaire.....                                                            | 86  |
| Concept général 5 : Relations de l'organisme avec le milieu extérieur.....                                          | 90  |
| Sous-concept 1 : Le fonctionnement des neurones.....                                                                | 90  |
| Sous-concept 2 : Les activités cérébrales et la motricité volontaire.....                                           | 99  |
| Sous-concept 3 : Quelques aspects du fonctionnement du muscle strié squelettique.....                               | 104 |
| Concept général 6 : Régulation hormonale et nerveuse.....                                                           | 111 |
| Sous concept 1 : La régulation du taux d'hormones sexuelles.....                                                    | 111 |
| Sous concept 2 : La régulation de la glycémie.....                                                                  | 118 |
| Sous concept 3 : L'activité cardiaque et la régulation de la pression artérielle.....                               | 123 |
| Concept général 7 : Biotechnologies et l'amélioration des espèces.....                                              | 128 |
| Sous- concept 1 : Définition et applications des biotechnologies.....                                               | 128 |
| Sous- concept 2 : L'amélioration des espèces.....                                                                   | 135 |
| Géologie.....                                                                                                       | 141 |
| Concept général 1 : L'évolution de la Terre et du monde vivant.....                                                 | 142 |
| Sous-concept 1 : L'histoire de la Terre et des êtres vivants.....                                                   | 142 |
| Sous-concept 2 : Les mécanismes de l'évolution.....                                                                 | 154 |
| Sous-concept 3 : La lignée humaine.....                                                                             | 161 |
| Sous-concept 4 : La géologie du Mali.....                                                                           | 168 |
| Lexique.....                                                                                                        | 175 |

## Avant-propos

Le livre d'activité est un document d'activité pédagogique qui contient les activités et une synthèse générale de chaque concept du programme de SVT de l'enseignement secondaire général (ESG), niveau Terminal Sciences Expérimentales (TSExp).

Ce document a été rédigé par **Dembélé Abdoulaye Seydou**, Professeur d'enseignement secondaire, **major de la promotion 2018 Master SVT de l'Ecole Normale Supérieur de Bamako (ENSup)** avec l'appui de **Mr Traoré Adama** de la même promotion ; afin de fournir un enseignement de qualité et de faciliter l'enseignement/apprentissage des SVT au niveau de l'enseignement secondaire général surtout dans l'application de l'APC.

En effet le manque de documentation rend très difficile voire impossible l'application de l'APC. Recopier les activités et organiser les travaux de groupes demande beaucoup de temps, par conséquent il est difficile d'épuiser le programme. Ce document a pour but de permettre au professeur un gain de temps dans l'exécution de la leçon ; permettre aux élèves une économie d'énergie et de faciliter l'application de l'APC.

**A l'intention des élèves !!! Avoir ce document ne remplace pas la présence en classe. Les synthèses générales ne peuvent pas remplacer les activités.**

# Biologie

## Concept général 1 : La vie cellulaire.

### Sous concept 1 : La structure de la cellule

#### Pré-évaluation :

Qu'est-ce qu'une cellule ?

Quels sont les différents types de cellules ?

#### Situation problème :

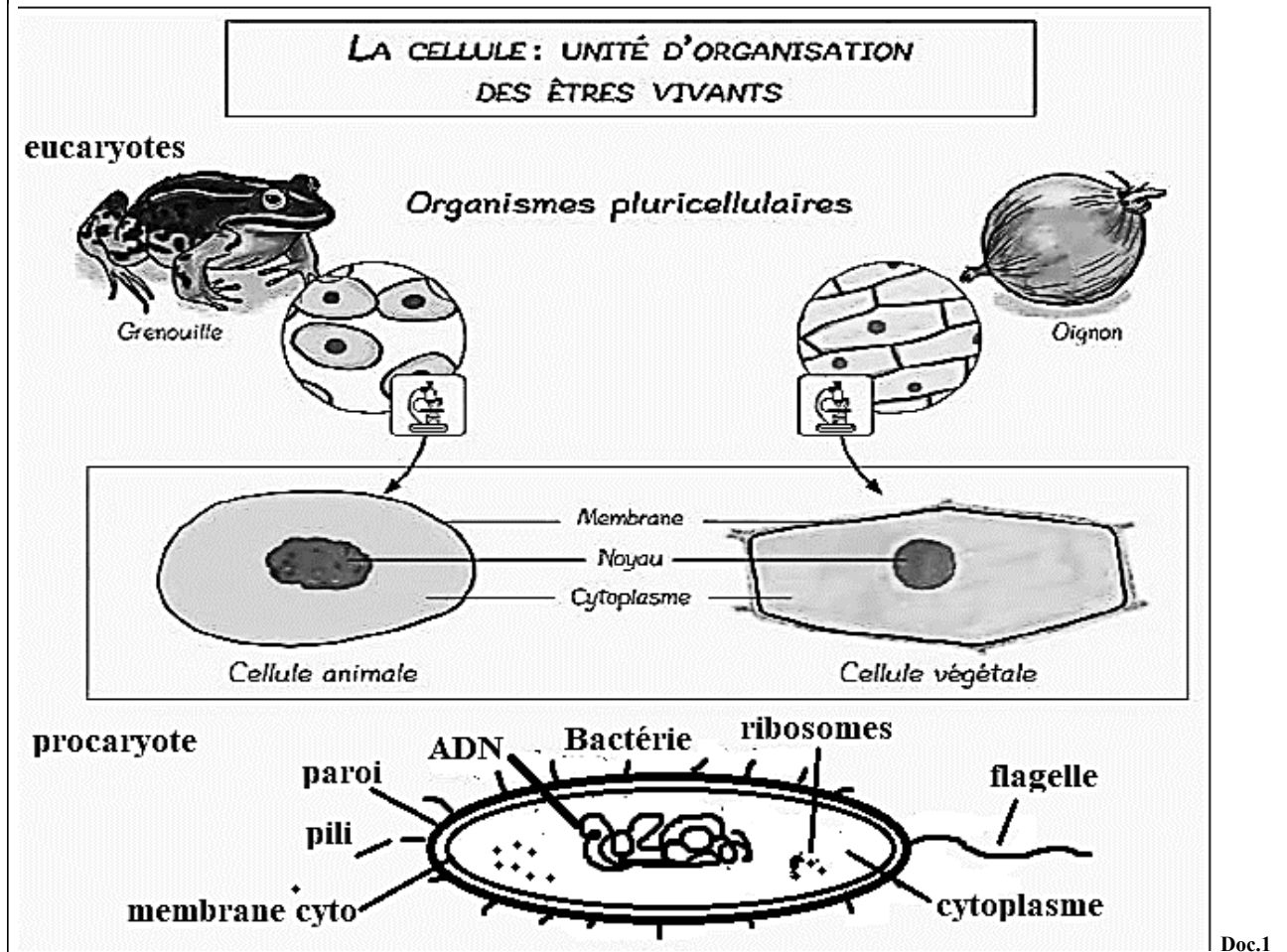
Jusqu'à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, on supposait que chaque être vivant n'était qu'une accumulation de substance. Le microscope a permis d'observer l'organisation des êtres vivants à très petite échelle. Avec ces observations, on a pu identifier l'unité constitutive de tous les êtres vivants (la cellule).

Quels sont les constituants d'une cellule ?

Comment est organisée une cellule ?

#### Activité 1 : observation au microscope optique.

Le document 1 représente les résultats de l'observation microscopique de trois types d'organismes.

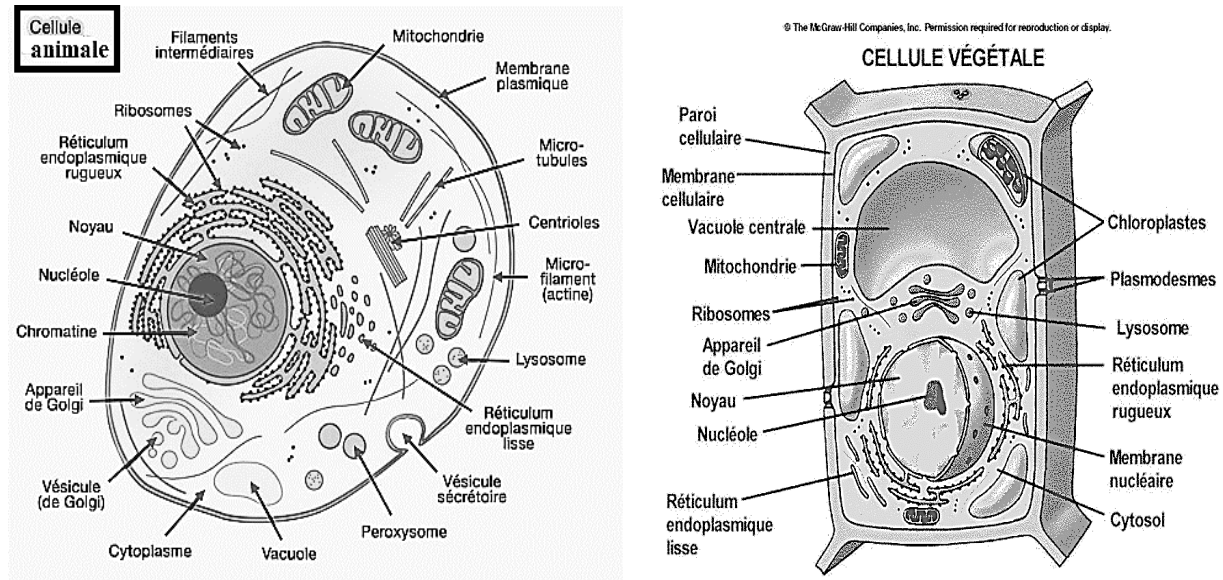


#### Consigne :

1. Définir une cellule et citer les constituants principaux d'une cellule.
2. Comparer une cellule eucaryote et une cellule procaryote.
3. Pourquoi la grenouille et l'oignon sont appelés pluricellulaires ?

## Activité 2 : Ultrastructure d'une cellule.

Le document 2 représente l'ultrastructure de cellule animale, végétale et celle du cytoplasme.



A et B

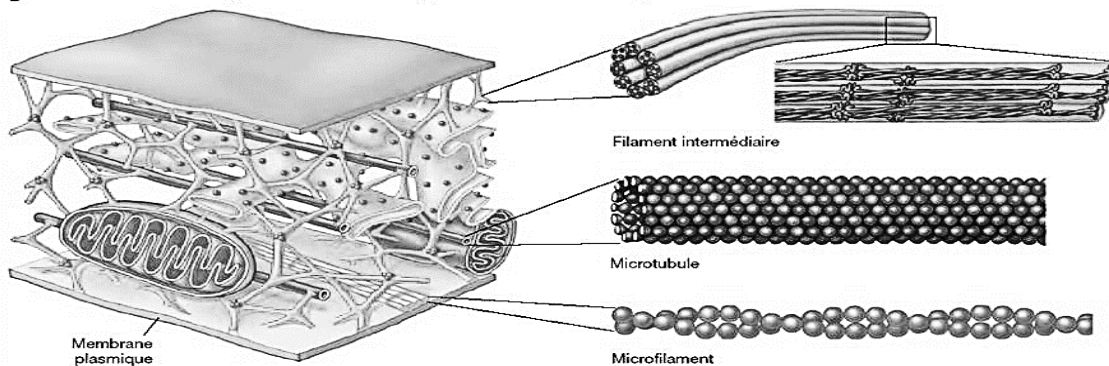
### les constituants du cytosquelette:

#### Microtubiles tubiline

Microfilaments (actine G : actine alpha c musculaire  
actine beta c pr forme les

desmosomes et les microvillosités)

**Filaments intermediaires: divers; Neurofilaments, Cytokératine, Desmine, Vimentine, lamine**



C

Document 2

### Consigne :

1. Décrire une cellule eucaryote observée au microscope électronique.
2. Définir un organe cellulaire et citer quelques-uns.
3. Donner le rôle des différents organites cellulaires.
4. Comparer l'ultrastructure des cellules animales et végétales.
5. De quoi est composé le cytoplasme d'une cellule.
6. Qu'est-ce que la théorie cellulaire ?

## Synthèse générale

### **I. Organisation de la cellule.**

Les cellules ne peuvent pas être observées à l'œil nu en raison de leur très petite taille. L'histoire de la biologie cellulaire est donc étroitement liée au perfectionnement d'un appareil optique agrandissant: le microscope. Les premiers microscopes composés ont été mis au point à la fin du XVI<sup>e</sup> siècle ce qui a activé les recherches sur les objets microscopiques.

La cellule est l'unité structurale et physiologique des êtres vivants à l'exception des virus. Il existe deux grands groupes de cellules : les cellules procaryotes ou bactéries qui ne possèdent pas de vrai noyau (pas de membrane nucléaire) et les cellules eucaryotes qui en possèdent un.

Les membranes cellulaires forment un réseau qui permet de délimiter différents compartiments dans la cellule (les organites) chacun jouant un rôle bien précis. En comparant les organites de la cellule animale et ceux de la cellule végétale, nous constatons que ce sont pratiquement les mêmes, la cellule végétale possédant toutefois en plus des chloroplastes de grandes vacuoles mais pas de centrosome. Il est possible de regrouper ces différents éléments de l'ultrastructure cellulaire en fonction des rôles qu'ils assurent dans la cellule.

Toutes les membranes que ça soit du cytoplasme, du noyau, du réticulum, de la mitochondrie ou de l'appareil de Golgi, présentent une surface considérable jouant un rôle important dans la vitesse des réactions chimiques. Cette surface fait intervenir des enzymes. Le passage dans la membrane implique parfois et pour certaines substances un processus appelé « dialyse ».

NB : La dialyse est la diffusion passive à travers une membrane perméable pour un soluté du milieu de forte concentration vers le milieu de faible concentration.

Mais ce pendant, la membrane ne se laisse en général pas traverser facilement. La traversée dans la membrane implique parfois la consommation d'énergie, c'est le transport actif. En effet au niveau de la membrane, il existe des sites de fixations spécifiques, ce sont les récepteurs membranaires qui permettent le transport actif des ions transmembranaires.

### **II. Rôles des constituants cellulaires.**

La cellule est constituée de plusieurs éléments. Chaque élément a un rôle bien déterminé. Grâce aux expériences menées sur les cellules, on a pu mettre en évidence le rôle des différents constituants cellulaires.

**a) Le noyau :** Le noyau assure la vie cellulaire. C'est le centre de contrôle de la cellule. Il est responsable de la transmission de caractères héréditaires (génétique) grâce à l'ADN qu'il contient dans les chromosomes (l'acide désoxyribonucléique). C'est le principal acteur dans la mitose.

**b) La membrane cellulaire :** Protège la cellule et contrôle ce qui entre et sort de la cellule.

**c) Le cytoplasme :** C'est le milieu où baignent les organites et les structures. C'est là que circulent beaucoup de substances (sucres, minéraux, protéines, gaz); ces substances voyagent par diffusion. Le cytoplasme est surtout composé d'eau.

**d) La vacuole :** Les vacuoles sont le siège du stockage des substances.

**e) Les mitochondries :** Les mitochondries assurent la respiration cellulaire (production d'énergie sous forme d'ATP).

**f) Les chloroplastes :** Responsable de la photosynthèse dans les cellules végétales. Il capte la lumière (source d'énergie) grâce à la chlorophylle. Le chloroplaste est le lieu de la fabrication des sucres (énergie potentielle chimique) qui sert à la respiration cellulaire.

**g) Les réticulum endoplasmiques :** Le réticulum granuleux assure la production des protéines cellulaires. Le réticulum lisse assure la synthèse des lipides cellulaires.

**h) L'appareil de golgi :** Responsable de la transformation des protéines. Il les distribue (dans la cellule et à l'extérieur de la cellule) grâce à des vésicules (petites bulles) qui se forment aux bouts.

**i) Le centrosome :** Le centrosome est responsable de la mobilité cellulaire (appareil cinétique). Il assure la formation des cils et des flagelles et joue un rôle important dans la mitose, dans la formation des asters.

**j) Les lysosomes :** Réserve d'enzymes qui digèrent la nourriture et les cellules mortes ou bactéries.

### **III. La théorie cellulaire :**

Dans la théorie cellulaire, « Toutes les êtres vivants sont constitués de cellules ».

La cellule est l'unité morphologique et physiologique des êtres vivants. Toute cellule vient exclusivement de la division d'une cellule préexistante appelée cellule mère. L'étude anatomique au microscope optique a servi de base à l'édification de la théorie cellulaire.

La cellule est capable d'accomplir trois fonctions principales : se maintenir en vie, se reproduire, se régulariser son propre métabolisme.

## Sous concept 2 : Les échanges cellulaires.

### Pré-évaluation :

Comment se nourrit une cellule ?

Quels sont les éléments nutritifs d'une cellule ?

### Situation problème :

Les cellules respirent et se nourrissent. Elles ont des échanges importants avec leurs milieux de vie dans lequel elles absorbent les éléments dont elles ont besoins et y rejettent leurs déchets. Ces échanges et ses mouvements constituent quelques aspects de la vie cellulaire.

Comment s'effectuent ces échanges ?

Quels sont les différents aspects de ces échanges ?

### Activité 1 : le comportement des cellules dans des milieux de concentration différentes.

#### A) Cas des cellules animales.

**Expériences :** On dispose de 3 tubes à essai contenant chacun une solution de NaCl à concentrations différente. On ajoute du sang frais de mouton dans chacun des trois tubes. Après quelques minutes, on observe l'état des hématies (voir Figure 1).

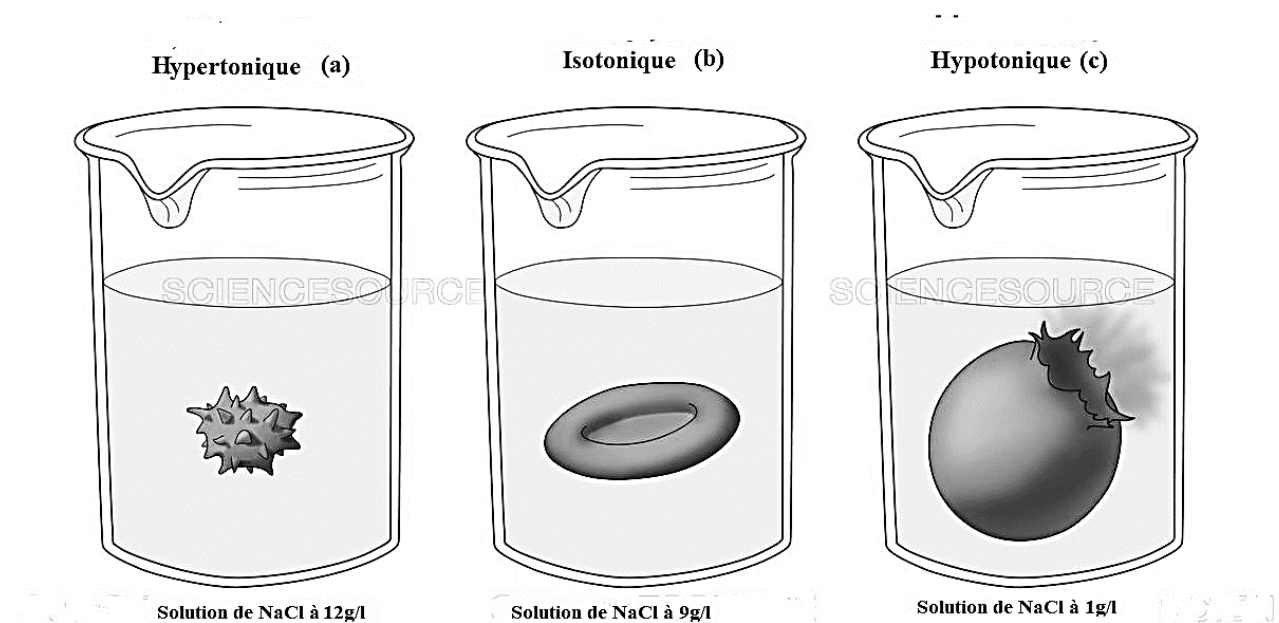


Fig.1

### Consigne :

1. Analyser et interpréter les résultats de cette expérience.
2. Définir : turgescence ; plasmolyse.

#### B) Cas des cellules végétales.

### Expériences :

On considère trois solutions de NaCl de concentrations différentes : 5‰, 9‰ et 20‰ ; dans lesquelles on plonge trois fragments d'épidermes d'oignon, après un quart d'heure, une préparation microscopique est faite avec l'épiderme de chaque solution afin d'observer le comportement des cellules dans chaque solution (voir Fig.2)

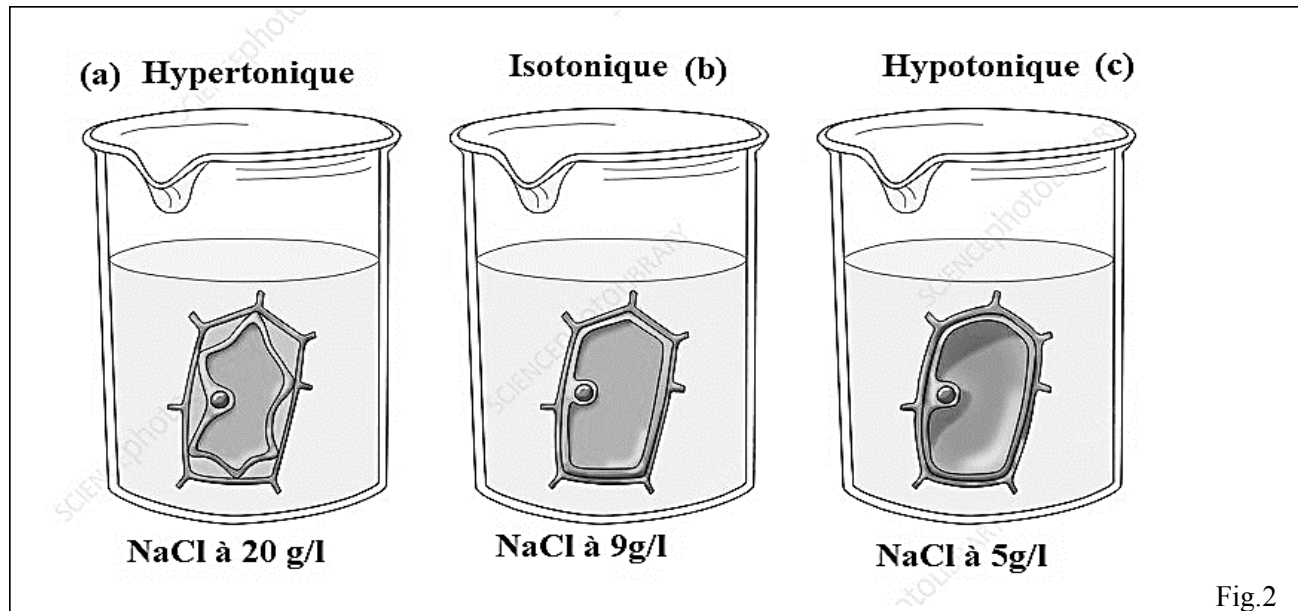


Fig.2

**Consigne :**

1. Analyser et interpréter les résultats de cette expérience.
2. Que se passe-t-il si on replace les cellules de 'a' dans la solution 'c' ? Nomme le phénomène observé.

**Activité 2 : L'osmose**

**A) Expérience de Dutrochet : le mécanisme d'osmose**

Une ampoule de verre contenant un soluté est plongée dans un solvant. Une membrane semi-perméable (ici une vessie de porc) sépare les deux compartiments. Le solvant a diffusé au travers de la membrane cellulaire et dilué la solution jusqu'à ce que la pression hydrostatique de la colonne équilibre la pression osmotique (la pression minimum qu'il faut exercer pour empêcher le passage du solvant de la solution moins concentrée vers la solution plus concentrée).

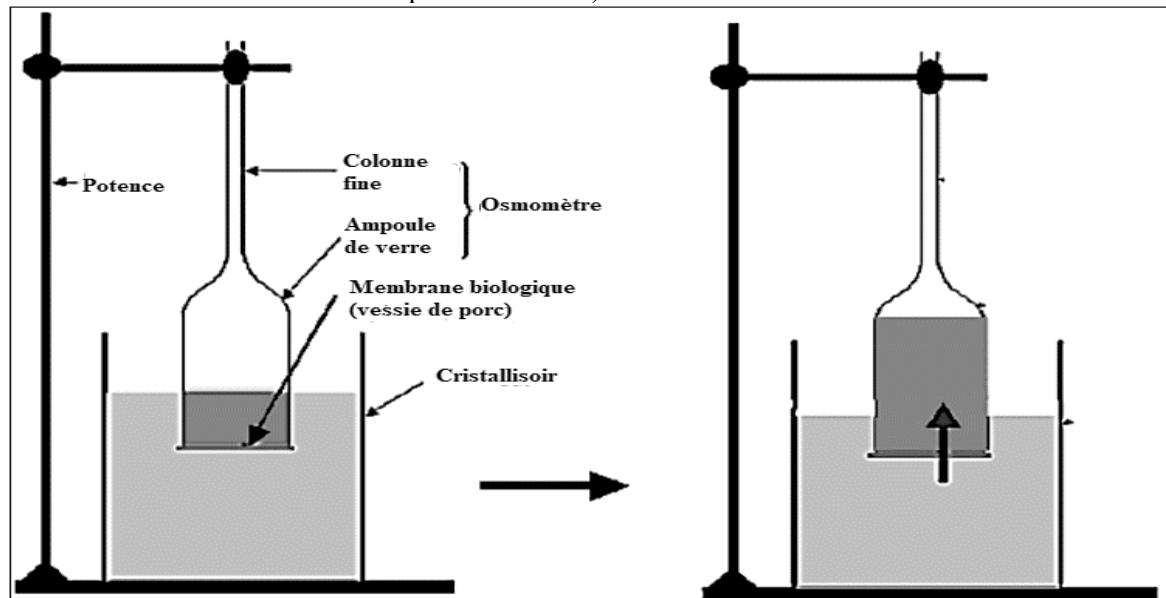


Fig.3

**Consigne :**

1. Analyser et interpréter.
2. Définir l'osmose.

3. Enoncer la loi de l'osmose.

### B) La pression osmotique.

La pression osmotique se définit comme étant la pression minimum qu'il faut exercer pour empêcher le passage d'un solvant d'une solution séparée à une autre à travers une membrane semi-perméable.

La pression osmotique (P) est proportionnelle à la température absolue (T) et à la concentration (n).

$$\pi = \alpha \cdot n \cdot T \quad \text{ou} \quad P = \frac{RC}{M} \cdot T$$

avec  $\alpha = R$ ,  $n = \frac{C}{M}$ . Cette formule n'est valable que pour les solutions aqueuses.

$\pi = P$  = Pression Osmotique (atm)

$\alpha$  = Coefficient de proportionnalité = 0,082 ;  $R$  = Constante des gaz parfaites = 0,082

$T$  = Température absolue en  $^{\circ}K = 273$  donc  $T = t^{\circ} + 273$  avec  $t^{\circ}$  en Celsius

$n$  = Concentration molaire =  $\frac{C}{M}$  avec  $C$  en g/L,  $M$  en g/mol et  $n$  en mol

Le calcul de la pression osmotique d'une solution contenant plusieurs ions est :

$$\pi = \alpha \cdot n \cdot T \cdot i$$

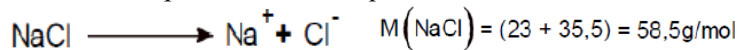
Avec  $i$  = nombre d'ion.

#### Consigne :

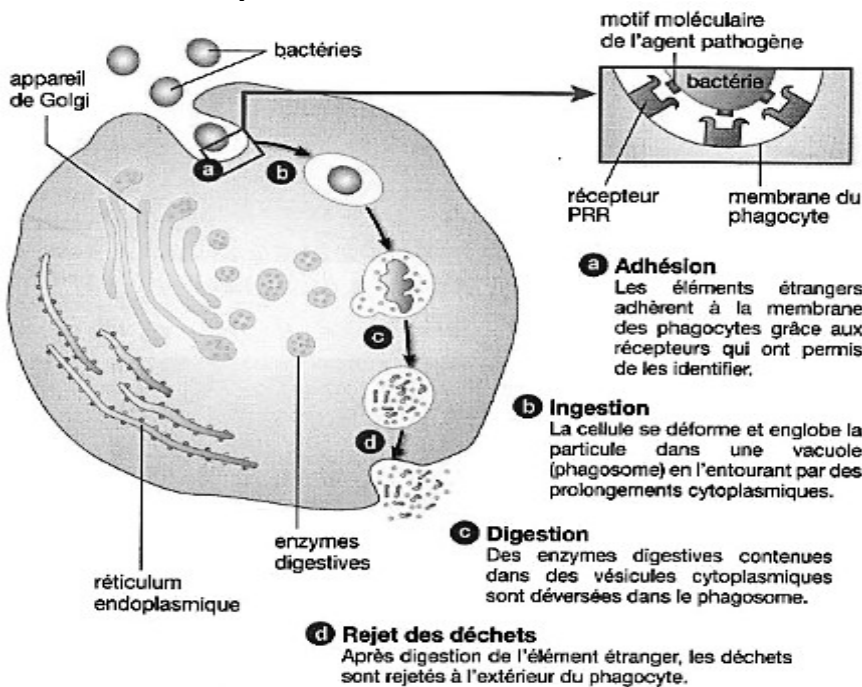
1. Soit des cylindres de pomme de terre placés dans une solution de saccharose à 20%. Calculer la pression osmotique sachant que la température est  $17^{\circ}C$ .

$$M(C_{12}H_{22}O_{11}) = (12 \cdot 12 + 22 \cdot 1 + 11 \cdot 16) = 342 \text{ g/mol}$$

2. Calculer la pression osmotique d'une solution de NaCl à 9g/l à la température  $t = 17^{\circ}C$ .



#### Activité 3 : L'Endocytose :



C'est aussi la capacité que possèdent certaines cellules (macrophages, granulocytes) à réaliser une invagination de leurs membranes plasmiques et à intégrer des particules externes à l'intérieur d'une vésicule formée à partir de la membrane plasmique. Si la particule absorbée est solide, c'est la phagocytose. Si la particule absorbée est liquide, c'est la pinocytose.

Fig.4

#### Consigne :

1. Définir : endocytose, exocytose.
2. Citer les étapes de la phagocytose.
3. Quelle différence fais-tu entre phagocytose et pinocytose ?

**Activité 4 : Échanges de substances entre la cellule et le milieu extérieur**

On plonge des fragments d'épiderme d'oignon dans une solution d'urée à 4%. L'observation microscopique donne les résultats suivants :

6min après les cellules sont plasmolysées.

15min plus tard les cellules deviennent turgescentes.

NB : l'urée est une substance capable de pénétrer dans la cellule.

La figure 5 représente les différents modes d'échanges de substances à travers la membrane plasmique.

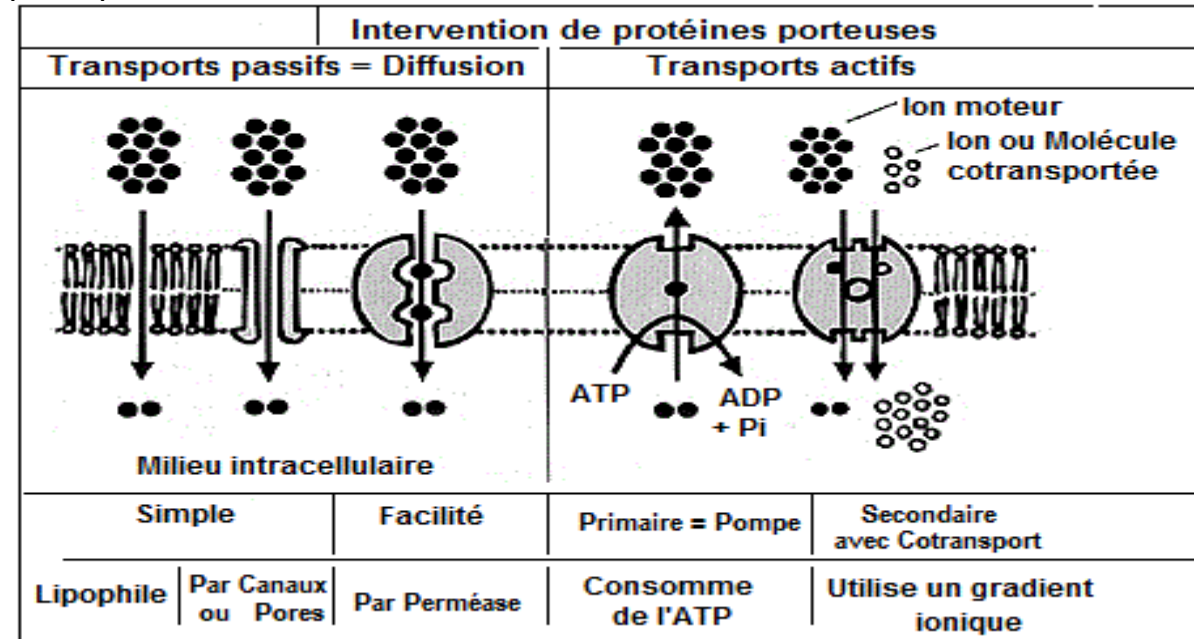


Fig.5

**Consigne :**

1. Expliquer ces résultats.
2. Schématiser une cellule à 6min et une cellule à 15min.
3. Citer et caractériser les différents modes d'échange d'ions entre la cellule et le milieu extracellulaire.

**Synthèse générale.**
**I. Le comportement des cellules dans les milieux de concentrations différentes :**

Les cellules respirent et se nourrissent. Elles ont des échanges importants avec le milieu extérieur. Ces échanges et ses mouvements constituent quelques aspects de la vie cellulaire. Les cellules peuvent être, dans certaines solutions, sous différents aspects.

**1) Solutions Isotoniques :**

Les cellules conservent leurs aspects normaux lorsqu'elles se trouvent dans une solution isotonique.

**2) Solutions Hypertoniques :**

Dans une solution hypertonique, la cellule animale se réduit, la vacuole des cellules végétales se rétrécit et la membrane plasmique se décolle sauf en certain point appelé « Plasmodesmes ».

La perte d'eau par une cellule placée dans un milieu hypertonique constitue la « Plasmolyse ».

**3) Solutions Hypotoniques :**

Dans une solution hypotonique, la cellule animale gonfle et lorsque la pression d'eau est trop forte, la cellule s'éclate à cause de la fragilité de sa membrane. Dans les mêmes conditions, la

vacuole de la cellule végétale gonfle, sa membrane plasmique est alors comprimée contre la paroi. C'est ce qui empêche la cellule d'éclater.

Cet état de la cellule est la « turgescence ». L'hémolyse est l'éclatement de la cellule suite à une trop forte turgescence (turgescence exagérée).

## **II. L'Osmose :**

**1) Définition :** L'osmose est le passage d'un solvant à travers une membrane semi-perméable d'une solution diluée vers une solution concentrée.

**Membrane semi-perméable :** est une membrane qui ne laisse passer que les solvants comme l'eau. Les petites molécules ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$ , urée, éthanol) peuvent le traverser librement. Leurs vitesses de transmission se fait dans le sens de la pression osmotique.

**Solvant :** C'est une substance qui a la propriété de dissoudre d'autre substance.

**2) La loi de l'osmose :** Si deux solutions de concentration différente sont séparées par une membrane semi-perméable, l'eau diffuse toujours du milieu de faible concentration en soluté (milieu hypotonique) vers le milieu de forte concentration en soluté (milieu hypertonique). Ce passage tant à égaliser les pressions osmotiques de part et d'autre de la membrane, c'est l'isotonie.

**3) La pression osmotique :** La pression osmotique se définit comme étant la pression minimum qu'il faut exercer pour empêcher le passage d'un solvant d'une solution séparée à une autre à travers une membrane semi-perméable.

## **III. L'Endocytose :**

C'est un transport faisant intervenir un transit de molécule dans les vésicules membranaires. C'est aussi la capacité que possèdent certaines cellules (macrophages, granulocytes) à réaliser une invagination de leurs membranes plasmiques et à intégrer des particules externes à l'intérieur d'une vésicule formée à partir de la membrane plasmique. Si la particule absorbée est solide, c'est la phagocytose. Si la particule absorbée est liquide, c'est la pinocytose.

## **IV) Echanges d'ions entre la cellule et le milieu ambiant :**

La plupart des solutés sont incapable de traverser la membrane, ils le traversent grâce à des protéines (molécules porteuses). Le transporteur est une protéine membranaire dont le rôle est spécifique car elle ne se lit qu'au type de molécule qu'elle transporte. Il existe deux types de transport : le transport passif et le transport actif.

### **1) Le transport passif :**

Le transporteur ne fait qu'augmenter la vitesse de diffusion d'un soluté spécifique, les ions sortent ou entrent dans la cellule selon leur gradient décroissant. Dans ce cas aucun apport d'énergie n'est requis (nécessaire).

### **2) Le transport actif :**

Le soluté traverse la membrane à l'opposé de son gradient de concentration (d'une région à faible concentration à une région à forte concentration).

Le transporteur doit être couplé à une enzyme hydrolysant, l'ATP et donc conduisant à une production d'énergie chimique. Le transport actif exige donc une dépense d'énergie contrairement au transport passif.

### Sous concept 3 : le métabolisme énergétique de la cellule.

#### Pré-évaluation :

Qu'est-ce que la photosynthèse

Quelle est son importance ?

#### Situation problème.

Dans un écosystème, on trouve du carbone minéral et du carbone organique. Des processus chimiques ainsi que les êtres vivants sont responsables des transformations qui permettent de passer d'un état à un autre. Les réactions de transformation de la matière et de l'énergie prélevée par les cellules dans leur environnement constituent le métabolisme.

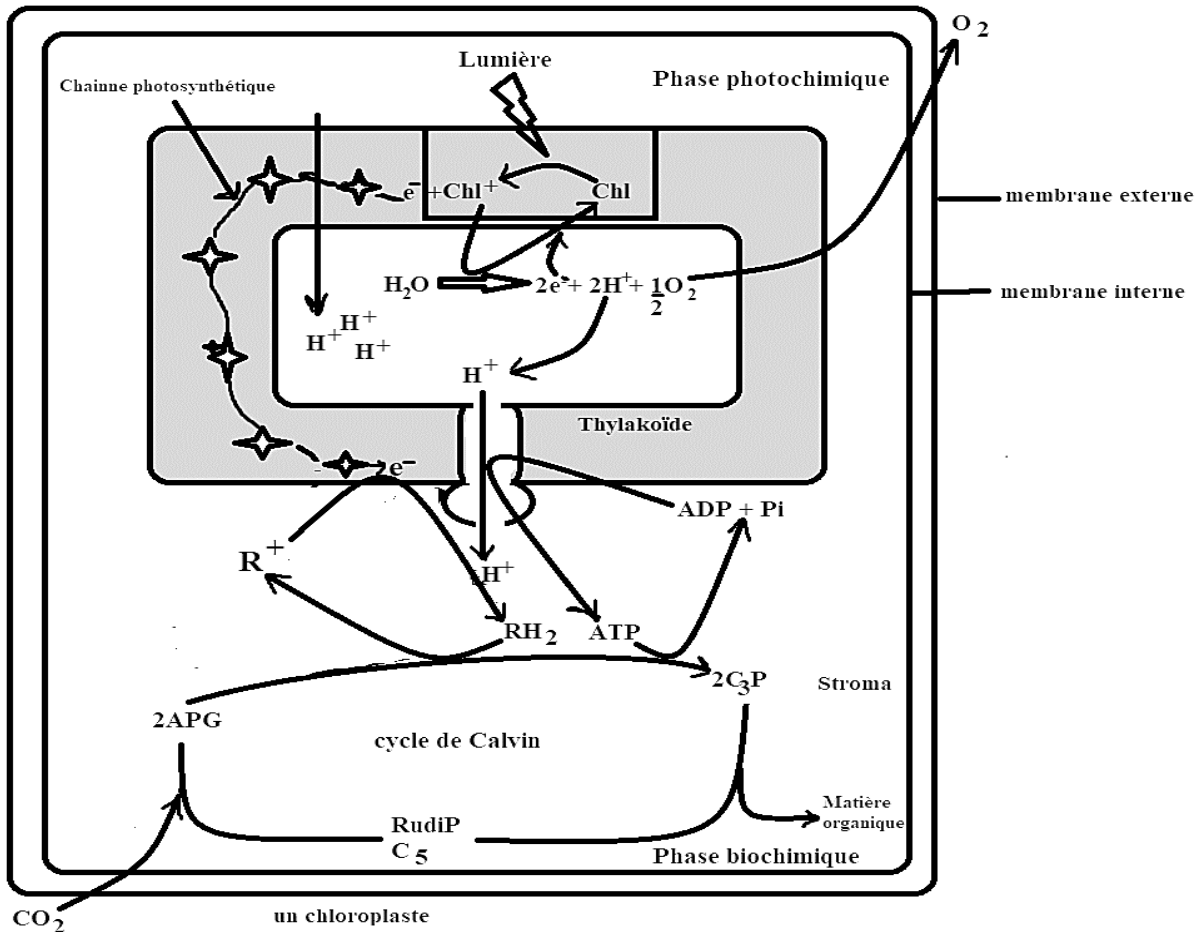
Quels sont les différents aspects du métabolisme énergétique ?

Quels liens existent entre photosynthèse et respiration ?

#### Activité 1 : Les mécanismes de la photosynthèse.

Les feuilles des végétaux verts sont des usines de production de carbone organique. Elles absorbent le gaz carbonique par leurs stomates et l'acheminent dans les chloroplastes de leurs cellules. Là la chlorophylle fixe l'énergie lumineuse qui sert à réduire le  $\text{CO}_2$  en molécules organiques carbonées. C'est la photosynthèse.

Le document 1 représente les différentes étapes de la photosynthèse.



Doc.1

#### Consigne : à l'aide du document 1 :

1. Citer les étapes de la photosynthèse et préciser leurs sièges.
2. Dégager les caractéristiques de chaque phase et établir un bilan.

3. Expliquer le couplage des deux phases de la photosynthèse.

**Activité 2 : La transformation de l'énergie des métabolites.**

**A. La respiration cellulaire.**

**Expérience 1 :** Si on isole des mitochondries d'une cellule par une technique appropriée, on peut constater que ces organites réalisent des réactions suivantes : dégradation d'un substrat organique, absorption de dioxygène, dégagement de dioxyde de carbone.

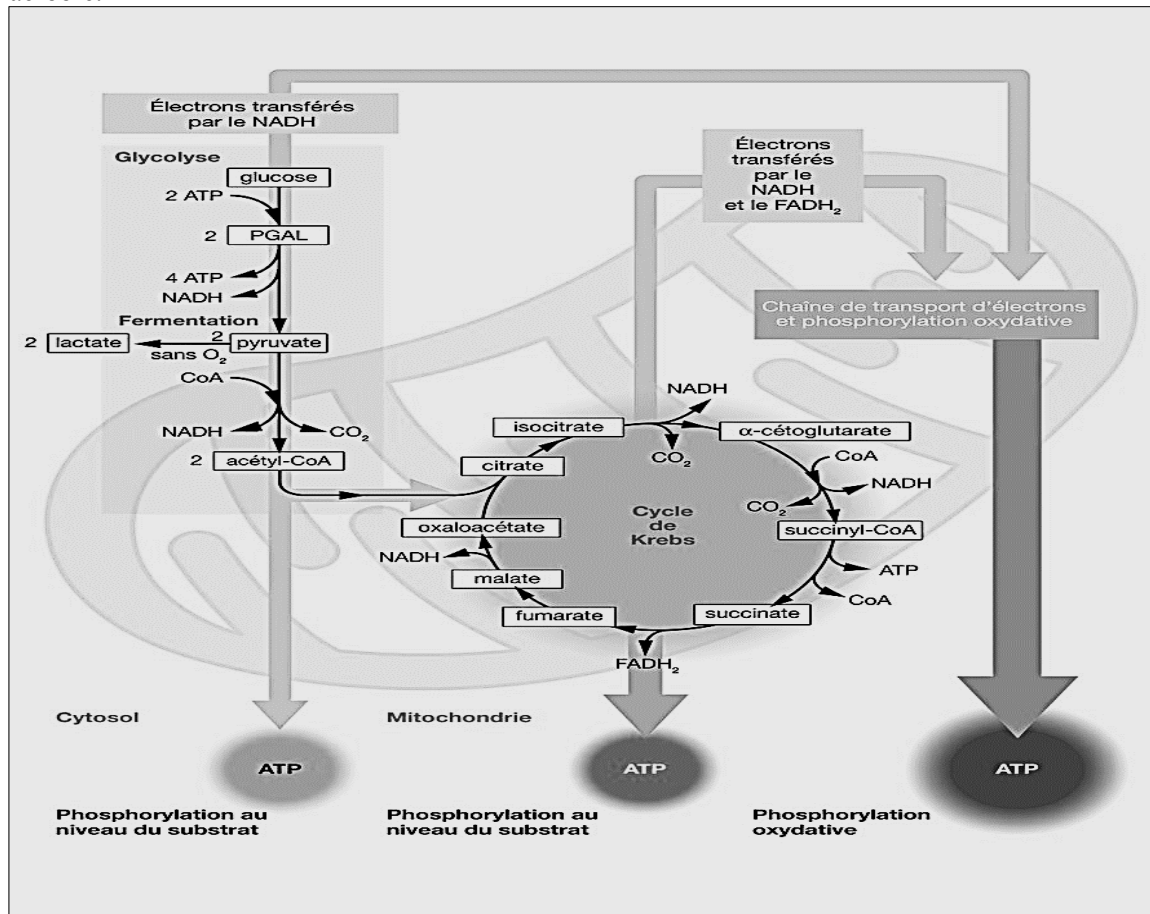
**Expérience 2 :** une fraction de culot de mitochondries diluée dans un tampon est placée dans un bioréacteur. On mesure la quantité de l'oxygène en fonction du temps. A t1, on ajoute du glucose dans le milieu et en t2 on ajoute du pyruvate. L'ajout de glucose ne modifie pas la teneur en oxygène, celui du pyruvate entraîne une consommation de dioxygène.

**Consigne :**

1. Nommer le phénomène mis en évidence dans l'expérience 1 et définir-le.
2. Interpréter les résultats de l'expérience 2

**B. Les étapes de la respiration cellulaire.**

Le doc. 2 représente les étapes de la dégradation d'un substrat organique dans une cellule en milieu aérobie.



Doc.2

**Consigne :**

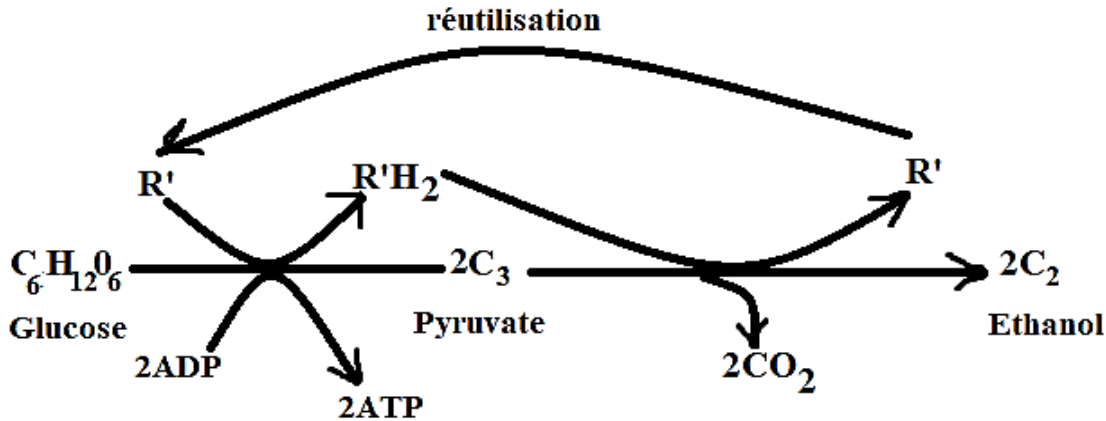
1. Citer et localiser les étapes de la dégradation du glucose.
2. Décrire les étapes de la dégradation du glucose.
3. Préciser le nombre d'ATP formé pour l'ensemble des réactions sachant que : Chaque molécule de pyruvate (2) subit les réactions à l'intérieur des mitochondries.  
1NADH2 donne 3ATP ; 1FAD donne 2ATP.
4. Etablir le bilan de la respiration.

5. Calculer le rendement énergétique de la respiration :

$$R = \frac{30,5 * \text{nombre d'ATP}}{ET} * 100. \text{ Avec } ET = 2860 \text{ KJ (énergie totale contenu dans une molécule de glucose.)}$$

### C. Les fermentations.

Les fermentations sont plus variées en terme réactionnel. Dans tous les cas, seule la première partie de la réaction fournit de l'ATP grâce à la glycolyse. Le produit final est toujours une molécule organique : l'oxydation est incomplète et ne libère que peu d'énergie. Mais c'est une source d'ATP pour les cellules en anaérobiose. Le document 3 représente les étapes de la fermentation alcoolique.



Doc.3

#### Consigne :

1. Définir la fermentation et préciser son siège.
2. Calculer le bilan de la fermentation alcoolique.
3. Comparer la fermentation et la respiration.

### Synthèse générale :

#### I. La photosynthèse.

La photosynthèse est la synthèse de molécules organiques à partir du  $CO_2$  en utilisant la lumière comme source d'énergie. La photosynthèse s'accompagne d'échanges gazeux :  $CO_2$  est absorbé et  $O_2$  est dégagé. La capture de la lumière pour la photosynthèse nécessite la présence de substances colorées capables d'absorber la lumière appelées pigments photosynthétiques. Il y a des pigments principaux représentés par les Chlorophylles (a et b) et des pigments accessoires (caroténoïdes et phycobellines). Tous ces pigments sont groupés dans des complexes appelés photosystèmes.

##### 1. Les phases de la photosynthèse.

###### a. Capture de l'énergie lumineuse : la phase claire.

L'énergie lumineuse est captée par pigments photosynthétiques. L'absorption d'un photon par la molécule provoque la délocalisation d'un électron de son orbite vers l'orbite supérieure : on dit que la molécule est excitée. L'énergie de l'excitation est libérée à nouveau de trois manières : émission de lumière ou de chaleur, transfert de l'excitation par résonance et enfin ionisation par émission de l'électron. Le photosystème est formé d'antennes collectrices qui absorbent la lumière pour la transférer de molécule à molécule, et un centre réactionnel formé de chlorophylle a qui réalise l'ionisation considéré comme un acte photochimique.

La phase claire débute par cet acte photochimique où la molécule de chlorophylle a perd un électron qui est transféré à différents accepteurs. La chlorophylle récupère son électron par la réaction de photolyse de l'eau.  $H_2O \rightarrow 2H^+ + 2e^- + \frac{1}{2} O_2$ . Le transporteur réduit par la chlorophylle est le premier d'une chaîne de transporteurs localisés dans la membrane des

thylakoïdes. Les électrons sont transférés le long de cette chaîne de façon spontanée grâce à l'énergie acquise par la conversion de l'énergie lumineuse, jusqu'à un accepteur final (le NADP : Nicotinamide Adénine Di nucléotide Phosphate) qui sera réduit en NADPH<sub>2</sub>. Tout au long de leur transfert, de l'énergie est perdue par les électrons. Elle est récupérée pour assurer le passage des H<sup>+</sup> à l'intérieur du thylakoïde, ce qui augmente la quantité. Lors de la phase photochimique, des protons issus de la photolyse de l'eau ou du transfert des électrons s'accumulent dans le thylakoïde. Ils créent une force permettant leur passage à travers des complexes particuliers de la membrane des thylakoïdes : les sphères pédonculées, qui récupèrent l'énergie libérée lors du passage des protons pour permettre la synthèse d'ATP (Adénosine Triphosphate) selon la réaction :  $ADP + P_i + \text{énergie} \rightarrow ATP + H_2O$ .

Les protons revenus dans le stroma du chloroplaste sont fixés par le même accepteur final que les électrons :  $NADP^+ + 2H^+ + 2e^- \rightarrow NADPH_2$ . La phase photochimique assure la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique utilisable dans les réactions cellulaires : l'ATP et le NADPH<sub>2</sub> qui seront nécessaires à la réduction du CO<sub>2</sub> en molécule organique.

### **b. Réduction du CO<sub>2</sub> : phase sombre**

Cette phase a lieu dans le stroma et utilise les produits de la phase claire qui sont nécessaires pour la synthèse des glucides : c'est le cycle de Calvin. Le CO<sub>2</sub> est intégré dans une molécule organique par l'enzyme la plus abondante chez les végétaux qui est la Rubisco. Ce CO<sub>2</sub> est ensuite réduit grâce au NADPH<sub>2</sub> et à l'ATP pour le transformer en glucide. La lumière n'est donc pas directement utilisée pour cette étape d'incorporation mais à l'obscurité, elle cesse de fonctionner. Les produits de la phase photochimique apportent ainsi l'énergie nécessaire à la réduction du CO<sub>2</sub> en molécule organique.

En retour, le transporteur réoxydé et l'ADP + P<sub>i</sub> libérés peuvent être reconvertis dans d'autres processus photochimiques. Les deux phases de la photosynthèse sont dépendantes l'une de l'autre dans les deux sens.

## **II. L'oxydation cellulaire.**

L'ATP est la source d'énergie de la cellule. Il faut de ce fait un renouvellement permanent de l'ATP. C'est la dégradation des métabolites qui libère l'énergie nécessaire à la synthèse de l'ATP. Cette dégradation se fait suivant deux voies : la respiration et la fermentation.

### **1. La respiration cellulaire**

Il s'agit d'un ensemble de réactions de dégradation de la matière permettant à la cellule de produire de l'énergie (ATP) avec absorption d'O<sub>2</sub> et dégagement de CO<sub>2</sub>. On peut la diviser en trois étapes : La glycolyse, la réaction transitoire et le cycle de Krebs et la phosphorylation oxydative.

#### **a. La glycolyse :**

C'est une suite de réactions qui dégradent une molécule de glucose en deux molécules de pyruvates dans le cytoplasme (ou cytosol). En effet les mitochondries n'utilisent pas directement le glucose. Cette réaction de glycolyse n'utilise pas d'oxygène et la principale réaction est une déshydrogénation. Il y a formation de deux molécules d'ATP et de deux molécules de NADH<sub>2</sub>.

#### **b. La réaction transitoire et le cycle de Krebs.**

Ces réactions ont lieu dans la matrice mitochondriale.

**La réaction transitoire :** durant cette réaction, le pyruvate subit une décarboxylation oxydative pour donner l'acétate qui se combine à la coenzyme A pour donner l'acétylcoenzyme A. Le CO<sub>2</sub> est libéré. Cette réaction s'effectue deux fois pour chaque molécule de glucose car elle porte sur chaque molécule de pyruvate. On obtient alors deux molécules de CO<sub>2</sub>, deux molécules d'acétylcoenzyme A et deux molécules de NADH<sub>2</sub>.

Le cycle de Krebs : c'est une voie métabolique qui débute et s'achève par un composé en C6 (l'acide citrique). Elle débute avec la fixation de l'acétylcoenzyme A sur un corps en C4 (l'acide oxaloacétique) préexistant dans la mitochondrie pour donner l'acide citrique. Le corps ainsi formé subit un ensemble de réactions constituant le cycle de Krebs (deux décarboxylations et quatre déshydrogénations). A la fin du cycle se trouve régénérer le corps en C4. Pour chaque molécule de glucose le cycle se produit deux fois ce qui fournit  $4\text{CO}_2$ , deux ATP et 8 transporteurs réduits (dont  $6\text{NADH}_2$  et  $2\text{FADH}_2$ ).

**c. chaîne respiratoire :**

C'est une voie métabolique se déroulant au niveau de la membrane interne de la mitochondrie. La chaîne respiratoire débute par la déshydrogénation du  $\text{NADH}$ ,  $\text{H}^+$  par le complexe  $\text{NADH}$  déshydrogénase dans la membrane interne mitochondriale :  $\text{NADH}, \text{H}^+ \rightarrow \text{NAD}^+ + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$ . Les électrons seront transportés le long de la chaîne respiratoire à travers les différents complexes jusqu'à l'accepteur final qui est l'oxygène alors que Les protons  $\text{H}^+$  sont pompés vers l'espace inter-membranaire.  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ .

Lors du transport d'électrons à travers chacun des trois complexes enzymatiques respiratoires, une chute importante de l'énergie est enregistrée qui est utilisée pour le pompage de protons ( $\text{H}^+$ ) de la matrice vers l'espace inter-membranaire. L'ATP synthase utilise l'énergie du flux protonique pour synthétiser l'ATP à partir d'ADP et  $\text{P}_i$  dans la matrice.  $\text{ADP} + \text{P}_i + \text{énergie} \rightarrow \text{ATP}$ .

C'est la phosphorylation oxydative puisque l'énergie provient des  $\text{H}_2$  des substrats par oxydation. La respiration cellulaire ne se produit qu'en présence d'oxygène et le glucose se brise en donnant du  $\text{CO}_2$  et de l'eau. C'est une minéralisation totale. Au cours de la respiration la dégradation d'une molécule fournit 38 molécules d'ATP dont deux proviennent de la glycolyse et 36 de la reoxydation des transporteurs d' $\text{H}_2$ .

**2. La fermentation :**

C'est une oxydation cellulaire incomplète des substrats organiques au cours de laquelle, il y'a formation d'un résidu organiques riche en énergie chimique potentielle.

Elle débute tout comme la respiration aérobie par la glycolyse. Les fermentations lactiques et alcooliques se déroulent en anaérobie. Elles produisent de l'énergie nécessaire au fonctionnement cellulaire lorsque les conditions du milieu ne sont pas favorables à la respiration mais cette production est faible à celle de la respiration. Le rendement énergétique de la fermentation est de 2%. Les mitochondries n'interviennent pas dans la fermentation. L'accepteur final est une molécule organique. La production d'ATP se limite aux deux molécules formées au cours de la glycolyse.

### Concept général 3 : l'information génétique.

#### Sous concept 1 : Le support de l'information génétique.

##### Pré-évaluation :

Qu'est-ce que l'ADN ?

Quelle est l'importance de l'ADN ?

##### Situation problème :

Les êtres vivants possèdent au sein de leurs cellules un "programme génétique" (donnant les caractéristiques de leur espèce + leurs caractéristiques individuelles) contenu, chez les Eucaryotes, dans le noyau. Ce programme se transmet de génération en générations sous forme de chromosomes, supports des caractères héréditaires.

Comment sont organisés les chromosomes ?

Quelle molécule est le support de l'information génétique et comment est-elle organisée ?

##### Activité1 : Rôle du Noyau.

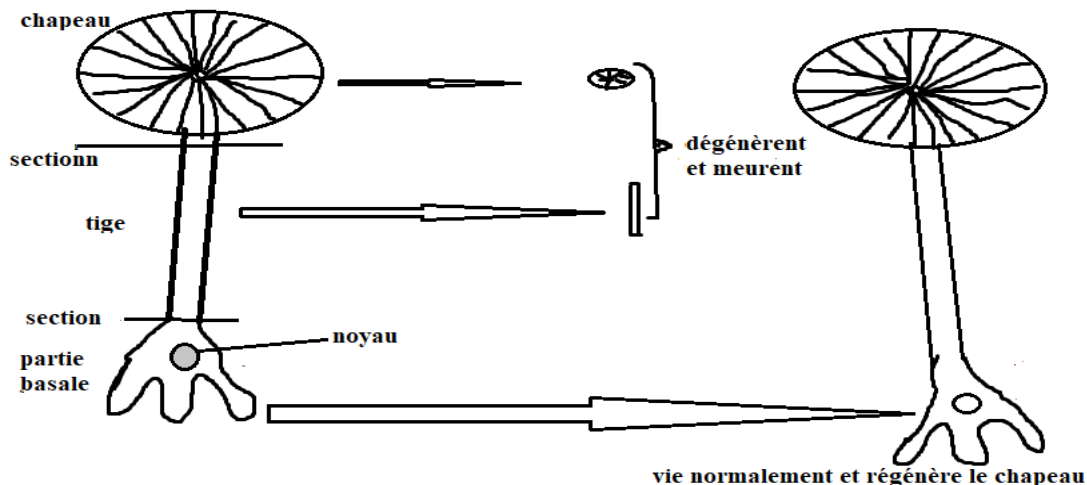
Les acétabulaires sont des algues unicellulaires, marines. Elles sont constituées d'une cellule de forme particulière, qui comprend une partie basale contenant le noyau, une tige (partie intermédiaire) et un chapeau (partie supérieure).

Elles constituent un matériel de choix pour l'étude du fonctionnement cellulaires.

On sectionne un acétabulaire en trois parties qui sont : le chapeau, la tige et la partie basale. (Document 1).

Quelques semaines plus tard on observe les résultats suivants :

- ♥ Le chapeau et la tige dégènèrent et meurent.
- ♥ La partie basale régénère la tige et un nouveau chapeau.



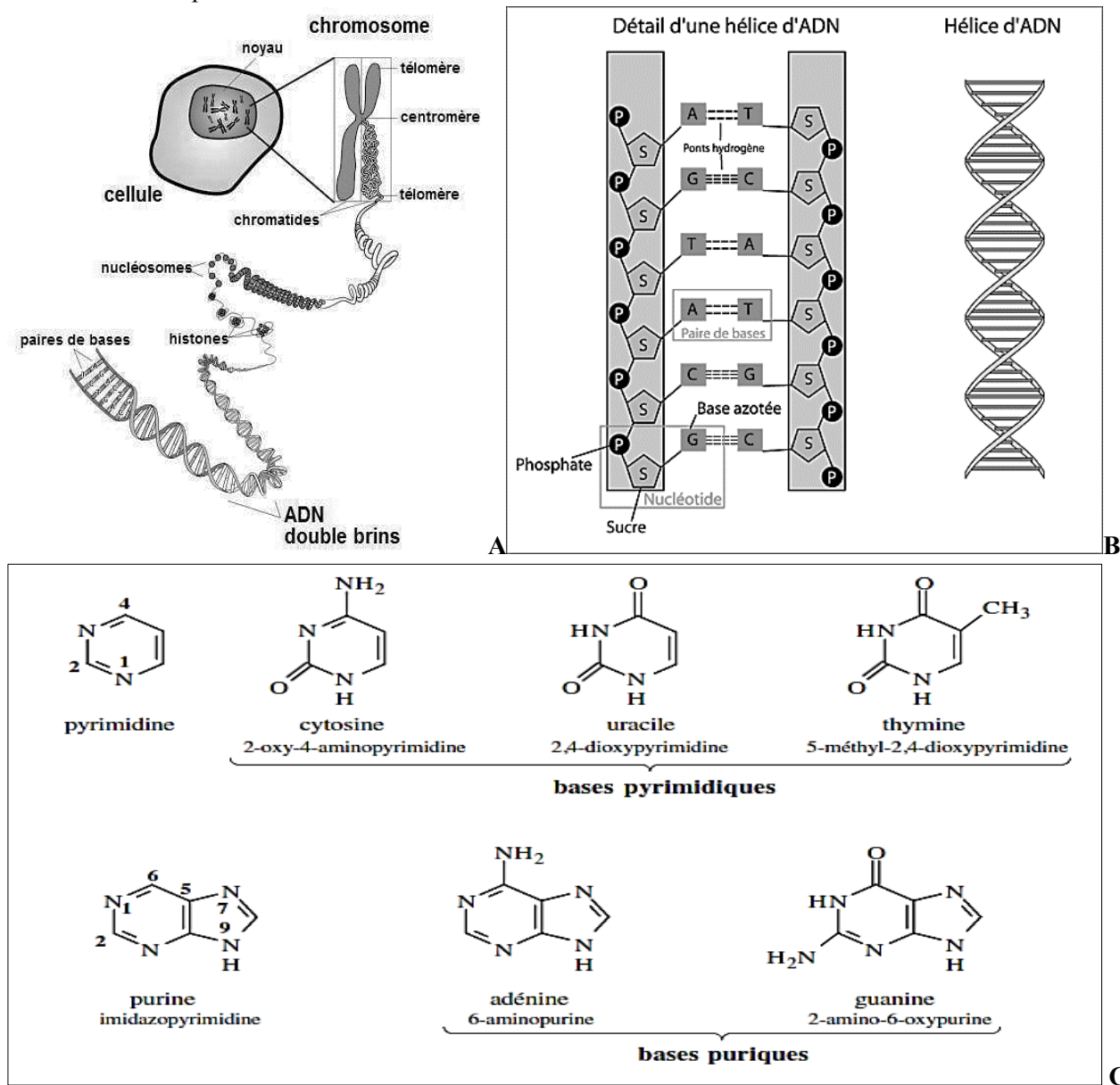
Doc.1

##### Consigne :

1. Interpréter ces résultats.
2. Qu'est ce qui se passe si on insert un noyau sain dans la tige coupée ?
3. Tirer une conclusion en donnant les rôles du noyau.
4. Que dévient un noyau isolé du cytoplasme ? En déduire le rôle du cytoplasme.

## Activité 2 : Structure de l'ADN (Acide désoxyribonucléique).

Le document 2 représente la structure des chromosomes et celle de l'ADN.



### Document 2

**Consigne : à partir des schémas A, B et C du document 2 :**

1. Décrire l'organisation d'un chromosome.
2. Décrire l'organisation de l'ADN.
3. En déduire la nature de l'ADN.
4. Définir : un nucléotide ; un nucléoside.
5. Quelles sont les bases azotées qui entrent dans la composition de l'ADN.

### **Synthèse générale.**

Toutes les cellules d'un être vivant, aussi diversifiées soient-elles, proviennent par division successive d'une cellule unique. Les vrais jumeaux se ressemblent parfaitement et sont toujours du même sexe. Ils proviennent d'une seule et même cellule.

La transmission des caractères chez chaque être vivant suppose l'existence d'un véritable programme biologique transmissible d'une génération à une autre. Ce programme est appelé information génétique.

#### **I. Le noyau.**

##### **1. Le rôle du noyau :**

C'est au niveau du noyau qu'est stockée toute l'information génétique de la cellule. Il est responsable de l'hérédité et du contrôle des structures qui commandent toute l'activité de la cellule. Ses structures sont les gènes. Il représente le patrimoine héréditaire de la cellule et est aussi porteur du génome. Son rôle principal est le stockage du génome nécessaire à la réplication de l'information génétique contenue dans les gènes.

##### **2. Structure du noyau :**

C'est un organite gros, réfringent (renvoie la lumière) et facile à colorer. Sa taille varie selon le type de cellule et son activité. Le rapport nucléo plasmique (volume du noyau divisé par le volume du cytoplasme) renseigne sur l'activité cellulaire. Les principales structures du noyau interphasique sont:

**L'enveloppe nucléaire:** c'est une double membrane en continuité avec le réticulum endoplasmique. Elle est interrompue par endroits par des passages appelés pores nucléaires. Les pores ne sont pas de simples trous. C'est une structure organisée comprenant environ 500 protéines disposées selon une symétrie d'ordre 8. Elle comprend un anneau cytoplasmique lié à des filaments, un anneau intermédiaire et un anneau nucléaire associé à un panier. Ces pores servent à réguler les échanges entre le cytoplasme et le noyau.

La face interne de l'enveloppe nucléaire est tapissée par une couche protéique filamenteuse de 10 à 20 nm d'épaisseur : la lamina. Elle donne au noyau sa forme et sert aussi à reconstituer l'enveloppe nucléaire après la mitose.

**Le nucléoplasme :** c'est la substance fondamentale du noyau formée par une matrice gélatineuse contenant des ions, des protéines, des enzymes et des nucléotides. Elle assure une continuité entre les divers constituants moléculaires du noyau.

**La chromatine :** c'est la forme sous laquelle se présente le matériel génétique pendant l'interphase. Elle comprend une forme très condensée inactive appelée hétérochromatine et une forme lâche et diffuse appelée euchromatine. La structure de la chromatine sera développée dans le prochain paragraphe.

**Le nucléole :** c'est une structure dense, bien individualisée et de forme sphérique. Il n'est pas entouré d'une membrane lipidique. Le rôle des nucléoles est la formation des ribosomes. Les gènes appelés organisateurs nucléolaires réalisent la transcription d'une partie des ARNr qui s'associent avec d'autres ARN et avec des protéines (issues du cytoplasme) pour former les pré-ribosomes qui se scindent en petite et grosse sous-unité.

## **II. Organisation du matériel génétique de la cellule**

### **1. Structure de l'ADN**

La structure de la molécule d'ADN a été établie en 1953 par Crick et Watson qui ont eu le prix Nobel.

C'est une molécule formée de deux longues chaînes de nucléotides (double brin) enroulées en double hélice.

Chaque brin est constitué de précurseurs appelés nucléotides. Chaque nucléotide est constitué d'un acide phosphorique, d'un désoxyribose (sucre) et d'une base azotée.

Il existe quatre types de bases azotées : l'adénine (A), la thymine (T), la guanine (G) et la cytosine (C).

La succession des nucléotides au niveau d'un brin d'ADN varie au sein de la même molécule et entre les molécules de différents individus et différentes espèces : on parle de séquence d'ADN. Cette séquence constitue une information génétique écrite avec un alphabet à 4 lettres. Les deux chaînes de nucléotides sont reliées au niveau des bases azotées. L'adénine est toujours associée à la thymine (A-T), la cytosine est associée à la guanine (G-C) : on dit que les deux chaînes sont complémentaires. Les brins sont polarisés il y a une extrémité 3' et une extrémité 5'. Dans une molécule d'ADN, l'extrémité 3' est en face de l'extrémité 5' de l'autre brin : les deux brins sont antiparallèles. L'ADN d'un individu donné est divisé en différentes parties chacune gouvernant un caractère donné. Ces fragments sont appelés gènes. Les différentes versions du même gène issues généralement de mutations sont appelées allèles.

### **2. Organisation du matériel génétique chez les eucaryotes :**

L'ADN des cellules eucaryotes se combine avec des protéines basiques appelées histones pour former des structures appelées nucléosomes. Ces structures contiennent 4 paires de particules protéiques histones (H2A, H2B, H3 et H4) entourées deux fois par le filament d'ADN d'une longueur de 60 paires de base. Entre les nucléosomes, il y a une partie inter nucléosomique associée à une histone H1. Cette fibre nucléosomique condense l'ADN de 6 à 7 fois.

La fibre nucléosomique se condense par la suite en une fibre plus épaisse dite fibre de 30 nm. Ce mode de condensation divise encore la communauté scientifique.

La fibre de 30 nm subit des niveaux de condensation supérieurs permettant le passage de l'état de chromatine à l'état de chromosomique visible pendant des mitoses. Ainsi, la fibre forme d'abord des boucles appelées microconvules. Ces boucles condensent encore l'ADN d'environ 10 fois.

Le passage ultime de la chromatine condensée au chromosome se fait par le regroupement des boucles en rosettes et leur ancrage à une charpente centrale du chromosome formée de protéines non histones. Cette étape permet de condenser l'ADN d'environ 20 fois.

Ce processus permet de passer d'une longueur totale de 1,90 m pour l'ADN humain à une longueur de 220µm correspondant à la longueur totale des chromosomes. C'est une condensation d'environ 8000 fois.

**Sous concept 2 : La transmission de l'information génétique au cours des divisions cellulaires.**

**Pré-évaluation :**

Quelles sont les modes de divisions des cellules ?

Quelle est l'importance de la division cellulaire ?

**Situation problème :**

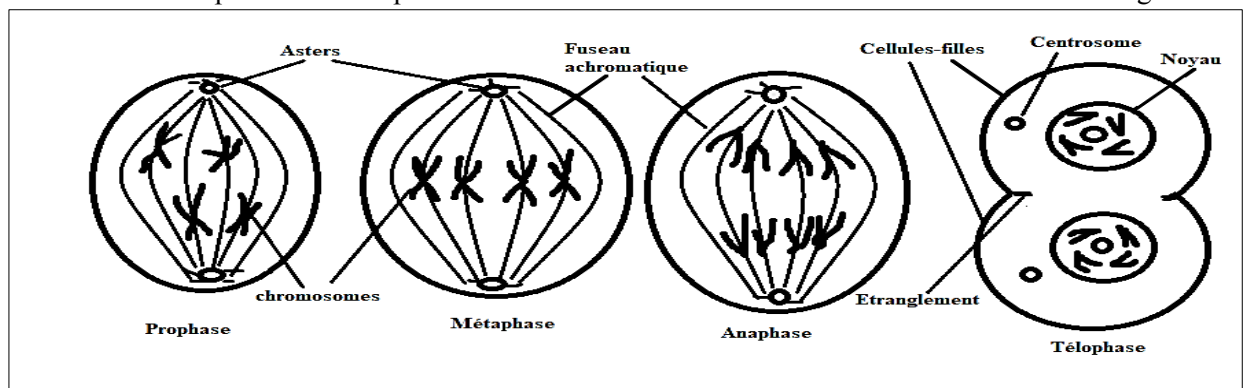
L'ADN, molécule support de l'information génétique se trouve les chromosomes. Chez les cellules eucaryotes il se combine avec des protéines basiques appelées histones pour former des structures appelées nucléosomes. L'ensemble des chromosomes forme le matériel génétique qui est un ensemble d'instructions qui doivent être transmises à la descendance. Les métazoaires et les métaphytes sont constitués de plusieurs cellules provenant du zygote. Toutes ces cellules contiennent la même information génétique.

Comment se transmet l'information génétique de la cellule-mère aux cellules-filles ?

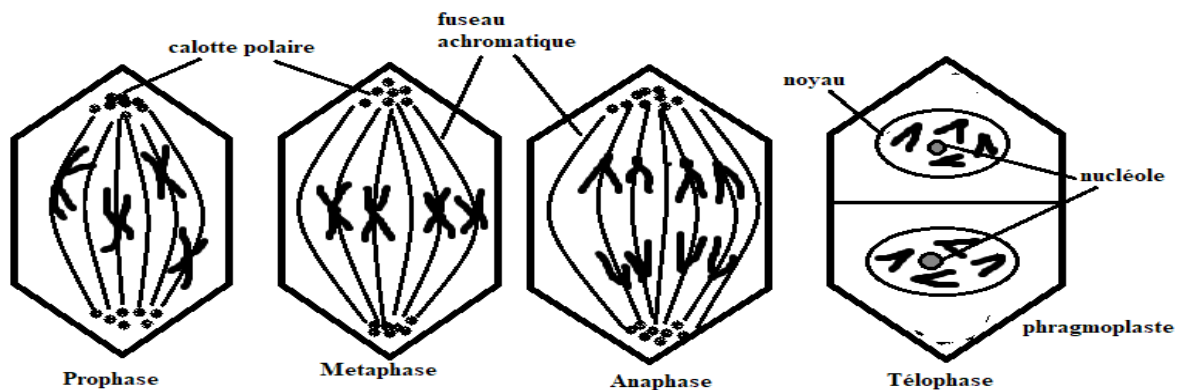
Comment l'information génétique est conservée au cours de la division cellulaire ?

**Activité 1 : La mitose**

Le document 1 représente les étapes de la mitose chez une cellule animale et chez une cellule végétale.



A



B

Document 1

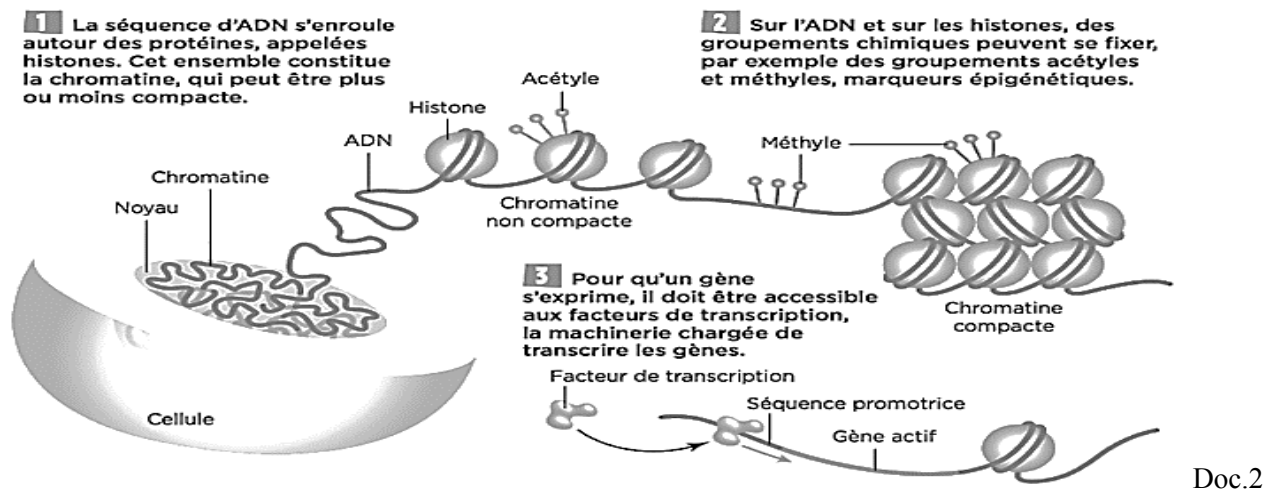
**Consigne :**

1. Citer et caractériser les étapes de la mitose d'une cellule animale.
2. Dégager les particularités de la mitose d'une cellule végétale.
3. Pourquoi dit-on que la mitose est une reproduction conforme ?

## Activité 2 : Chromosome et ADN

### A. Organisation des chromosomes

Le document 2 représente l'organisation des chromosomes.



**Consigne :**

1. Localiser les chromosomes dans la cellule.
2. Sous quelles formes trouve-t-on les chromosomes dans une cellule ?

### B. Nombre de chromosomes.

Le document 3 représente le nombre de chromosomes chez quelques espèces.

| Espèces             | Homme | Tabac | Chimpanzé | Maïs | Chien | Cheval |
|---------------------|-------|-------|-----------|------|-------|--------|
| Cellules somatiques | 46    | 48    | 48        | 20   | 78    | 64     |
| Cellules germinales | 23    | 24    | 24        | 10   | 39    | 32     |

Doc.3

**Consigne :**

1. Analyser le document 3.
2. En déduire la notion de diploïdie et d'haploïdie.

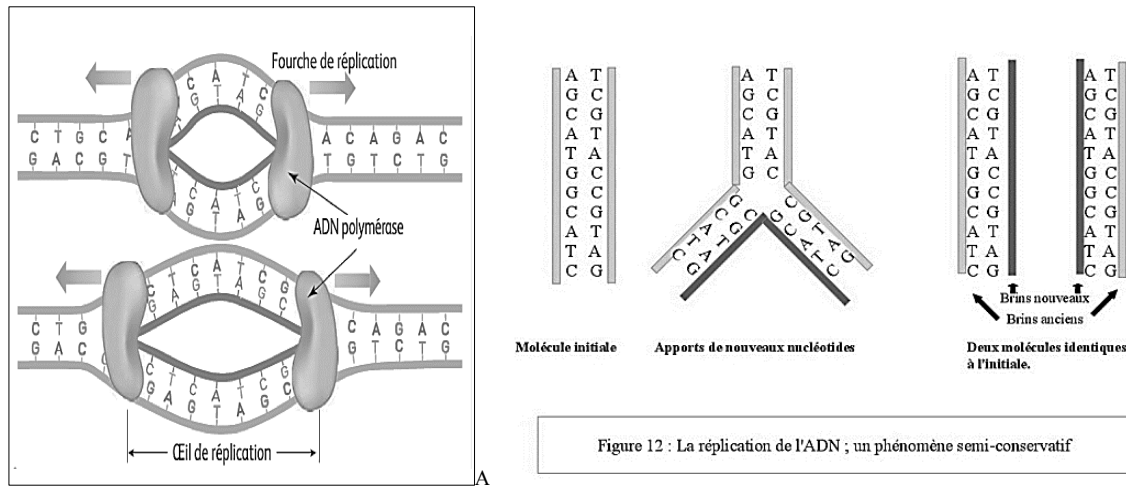
### C. Réplication de l'ADN et conservation de l'information génétique.

En 1958, Meselson et Stahl cultivent des bactéries appelées colibacilles sur un milieu riche en azote lourd (N<sup>15</sup>). Au bout d'un certain temps, l'ADN de ces bactéries incorpore l'azote lourd et devient l'ADN lourd. Ces bactéries à ADN lourd (génération G<sub>0</sub>) sont alors cultivées sur un milieu contenant de l'azote normal (N<sup>14</sup>) ; elles se multiplient plusieurs fois de suite (générations G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub>, etc.). Le document 4 représente les résultats de cette expérience.

| Culture des bactéries        |                 |                  |                       |                       |
|------------------------------|-----------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
|                              | N <sup>15</sup> | N <sup>14</sup>  | N <sup>14</sup>       | N <sup>14</sup>       |
| Résultats et interprétations |                 |                  |                       |                       |
|                              | ADN lourd 100%  | ADN hybride 100% | 50% Hybride 50% Léger | Hybride 25% Léger 75% |
| Génération                   | G <sub>0</sub>  | G <sub>1</sub>   | G <sub>2</sub>        | G <sub>3</sub>        |

Doc.4

Le document 5 représente le mécanisme de la duplication (réplication) de l'ADN.



Doc.5

### Consigné :

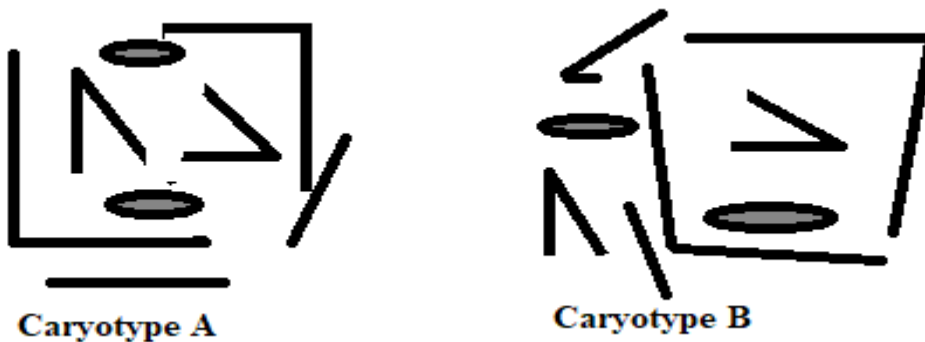
1. Comparer l'ADN de la génération G0 à celui de G1.
2. Pourquoi l'ADN de la génération G1 est appelé hybride.
3. Préciser la proportion en ADN lourds et légers qu'on obtient en G5.
4. Expliquer le mécanisme de la réplication de l'ADN.
5. Comparer les molécules-filles entre elles et comparer-les à la molécule-mère.
6. Pourquoi dit-on que la réplication est un phénomène semi-conservatif ?

### Activité 3 : Le caryotype.

Pour établir un caryotype, on procède comme suit :

- Cultiver des cellules au labo en plusieurs mitoses sur un milieu nutritif.
- Ajouter la colchicine dans le milieu pour bloquer les mitoses en métaphase.
- Placer les cellules en milieu très hypotonique pour les éclater.
- Ranger les chromosomes.

Le document 6 représente une photographie de l'ensemble des chromosomes chez deux drosophiles.



Doc.6

### Consigne :

1. Donner la formule chromosomique des drosophiles et citer les différentes formes des chromosomes.
2. Ranger les chromosomes de chaque drosophile dans l'ordre de taille décroissante.
3. Comparer les deux caryotypes et en déduire les notions d'autosomes et de gonosomes.

**Activité 4 : Cycle cellulaire et évolution de la quantité d'ADN au cours d'un cycle cellulaire.**

Chaque mitose est précédée par une phase préparatoire (interphase) au cours de laquelle se déroule le processus essentiel de la mitose (réplication de l'ADN, dédoublement du centrosome...).

Dans une population de cellules semblables, se divisant en même temps, on dose la quantité d'ADN que contiennent ces cellules. Le résultat obtenu est consigné dans le tableau ci-dessous.

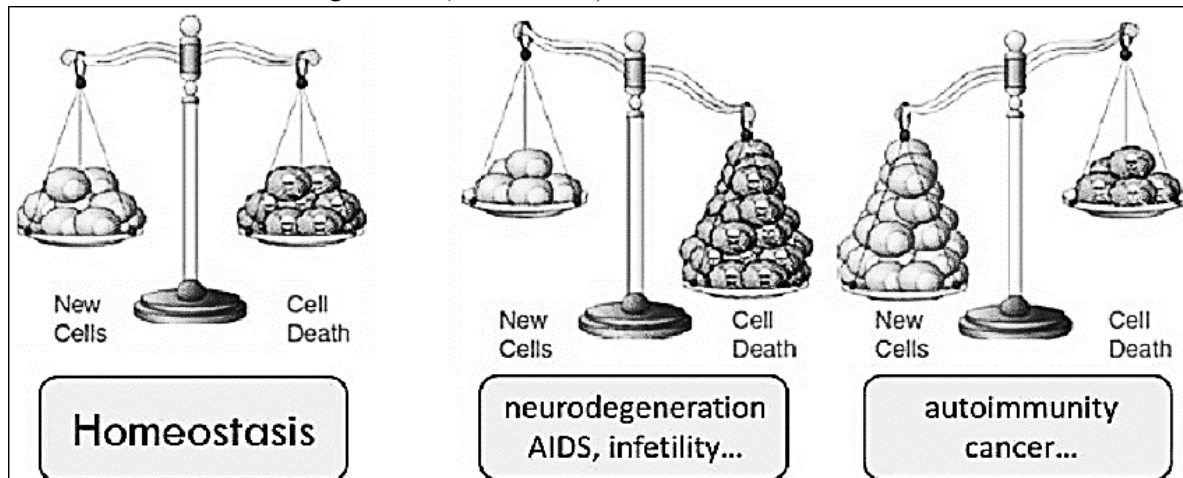
| Temps en h            | 0   | 1   | 2   | 6   | 10  | 11 | 13 | 16  | 18  | 21  | 22  | 24  | 29  |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Quantité d'ADN en UA. | 6,6 | 6,6 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 4  | 5  | 6,5 | 6,6 | 6,6 | 3,3 | 3,3 | 3,3 |

**Consigne :**

1. Tracer le graphe de variation de la quantité d'ADN en fonction du temps. Echelle : 1cm=1UA ; 0,5cm=1h.
2. Indiquer sur le graphe une interphase et une mitose.
3. En déduire un cycle cellulaire et décrire l'évolution de la quantité d'ADN au cours d'un cycle cellulaire.

**Activité 5 : importance de la mitose.**

A par quelques types de cellules de l'organisme (hématies, neurones), toutes les cellules de l'organisme sont capable de se diviser. Tous les cellules d'un organisme pluricellulaire on la même origine (le zygote). Chacune de ces cellules (somatiques) contiennent la même information génétique grâce à la mitose. La quantité de cellules produites doit correspondre aux besoins de l'organisme (homéostasie) pour assurer le bon fonctionnement de l'organisme. (Document 7)



Doc.7

**Consigne :**

1. Déterminer l'importance de la mitose.
2. Quelles sont les conséquences d'un déséquilibre entre production et la mort de cellules dans l'organisme.

### **Synthèse générale :**

Le matériel génétique est un ensemble d'instructions qui doivent être transmises à la descendance. Cette transmission nécessite d'abord la création de copies supplémentaires pour que les cellules disposent chacune de sa copie. On appelle ce processus la réplication.

#### **I. Réplication de l'ADN**

La réplication s'effectue par l'ADN polymérase qui écarte progressivement les deux brins de la molécule d'ADN (yeux de réplication) et permet à des nucléotides libres, présents dans le noyau de se fixer chacun en face de la base azotée du nucléotide qui lui est complémentaire. Ainsi, chaque brin d'ADN sert de matrice pour la synthèse d'un nouveau brin. La réplication débute à divers endroits de la molécule et progresse en sens inverse, formant des « yeux de réplication ». La réplication est achevée lorsque les « yeux » se rejoignent. Chaque nouvelle molécule comprend un brin nouveau et un brin ancien : **la réplication est semi-conservative.**

#### **II. La mitose**

La mitose est un processus continu, mais on peut y distinguer 4 étapes difficiles à délimiter.

##### **1. Prophase**

Les chromosomes commencent à se condenser s'individualiser. L'enveloppe nucléaire et le nucléole disparaissent. Un fuseau achromatique, constitué de microtubules apparaît entre les deux pôles.

##### **2. La métaphase**

Les chromosomes, au maximum de leur condensation, se positionnent à l'équateur du fuseau pour former « plaque équatoriale ».

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

Le fuseau tire sur les deux chromatides qui se séparent et migrent vers les pôles de la cellule.

##### **4. La télophase et Cytodiérèse**

Les chromatides se disposent en deux lots polaires et commencent à se décondenser, l'enveloppe nucléaire se forme autour de chaque lot de chromosomes et achève ainsi la formation des deux noyaux fils, le fuseau mitotique disparaît.

La cytokinèse est le partage du cytoplasme aboutissant à la séparation finale des deux cellules filles. Chez les animaux, la cytotdiérèse s'effectue par un simple étranglement du cytoplasme dans la région équatoriale de la cellule.

Chez les végétaux, cette séparation est plus complexe et fait intervenir des vésicules golgiennes chargées en substances pariétales qui se disposent à l'équateur de la cellule pour former une paroi au moment où les membranes qui les entourent constituent les nouvelles membranes.

#### **III. Mitose et cycle cellulaire**

Les cellules qui se divisent régulièrement présentent un ensemble d'activités structurales et métaboliques qui leur permettent de préparer et de réaliser la mitose. Ces transformations qui se succèdent de manière répétitive sont appelées cycle cellulaire. Sa durée est, en général entre 20 et 24 h. Les étapes du cycle cellulaire peuvent être aisément suivies à travers l'estimation de la quantité d'ADN cellulaire à un moment donné.

**Phase G1 (environ 8h) :** période qui suit la mitose et se caractérise par une quantité minimale d'ADN et des synthèses actives permettant la croissance cellulaire.

**Phase S (environ 8h) :** période de réplication de l'ADN en 2 chromatides attestée par une augmentation progressive vers le doublement de la quantité d'ADN.

**Phase G2: (environ 8h) :** les cellules contiennent une quantité d'ADN double avec production d'enzymes et de facteurs de régulation indispensables à la mitose. La fin de cette phase G2 est marquée par la phosphorylation de nombreuses protéines.

Ces trois étapes sont regroupées sous le nom d'interphase.

**Phase M ou mitose (1 à 2 h) :** période de division proprement dite et de partage égal du matériel héréditaire entre les 2 cellules filles issues d'une division.

Pendant l'interphase, une cellule apte à se diviser double son taux d'ADN, c'est-à-dire synthétise (phase S) autant d'ADN qu'elle en possède.

A l'anaphase, le taux d'ADN retombe à sa valeur normale en raison du dédoublement des centromères et par conséquent la séparation des chromatides-sœurs. Ainsi dans un organisme pluricellulaire, toutes les cellules ont la même quantité d'ADN.

La mitose s'observe dans les règnes animale et végétale. Malgré quelques variantes, de détail on retrouve les mêmes phases essentielles marquant l'universalité du phénomène. Grâce à la mitose les deux cellules-filles possèdent la même information génétique que la cellule-mère. C'est pour cela qu'on l'appelle reproduction conforme.

La réplication de l'ADN en interphase et le dédoublement des centromères en anaphase sont deux événements complémentaires qui assurent au cours des cycles cellulaires le maintien du caryotype et de l'information génétique dans toutes les cellules d'un organisme. En outre chez les organismes pluricellulaires, la mitose assure la croissance et le développement de l'organisme et aussi le remplacement des cellules mortes.

#### **IV. Le caryotype.**

C'est une représentation photographique ou dessinée du nombre et de la forme des chromosomes d'une cellule. Etablir un caryotype permet d'observer le nombre de chromosomes, de s'assurer de leurs structures et d'examiner les hétérochromosomes ou chromosomes sexuels

L'étude d'un caryotype humain est la cytogénétique.

L'examen du caryotype montre que le nombre et la morphologie des chromosomes sont stables chez une espèce donnée ( $2n = 46$  chez l'Homme) et tous les chromosomes sont présents par paires : on parle de chromosomes homologues. Selon la position du centromère, on distingue 3 types de chromosomes:

Les chromosomes acrocentriques: le centromère divise le chromosome en 2 bras inégaux.

Les chromosomes métacentriques: le centromère divise le chromosome en 2 bras égaux.

Les chromosomes télocentriques: le centromère est en position terminale.

### Sous concept 3 : l'expression de l'information génétique.

#### Pré-évaluation

Qu'est-ce qu'une protéine ?

Citer quelques exemples de protéine.

#### Situation problème :

Une protéine est constituée d'un enchainement (ou séquence) d'acides aminés. Il existe 20 acides aminés différents qui entrent dans la structure des protéines. Les protéines fabriquées par l'organisme déterminent son phénotype (caractères apparents). La synthèse de ces protéines est contrôlée par le génotype de l'individu.

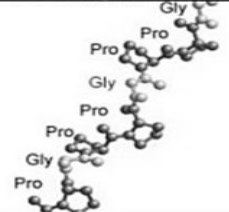
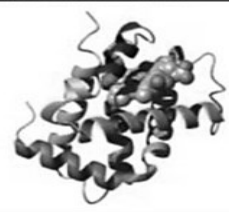
Comment l'organisme fabrique-t-il les protéines ?

Quelle est la relation entre la structure des protéines et le phénotype ?

#### Activité 1 : Organisation des protéines.

L'organisme fabrique en permanence des protéines. Une cellule élabore toujours les mêmes protéines : le pancréas sécrète de l'insuline, du glucagon ; la thyroïde sécrète la TSH, etc.

Il peut se former un nombre infini de suivant les acides aminés constitutifs, leur nombre et leur ordre d'arrangement (séquence). Les acides aminés proviennent de l'alimentation et sont fournis à la cellule par le sang. Ils sont associés par des liaisons peptidiques pour former la protéine dont la cellule a besoin ou qu'elle sécrète. Le doc.1 représente les différentes structures ; les différents types de protéines et leurs fonctions.

| Structure primaire                                                                 | Structure secondaire                                                                                                                                             | Structure tertiaire                                                                                                          | Structure quaternaire                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                                                                                |                                           |                                                                    |
| La structure primaire est la séquence des acides aminés.                           | Les structures secondaires sont les motifs que forment les acides aminés. On reconnaît principalement les structures en hélice $\alpha$ et en feuillet $\beta$ . | La structure tertiaire se rapporte aux relations dans l'espace des différentes structures secondaires, hélices et feuillets. | Les protéines qui contiennent plus d'une chaîne polypeptidique présentent un niveau supplémentaire d'organisation : on parle de structure quaternaire. |

A

| Protéines fibreuses                                                                                                                            | Protéines globulaires                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Forme allongée et mince                                                                                                                        | Forme sphérique et compacte                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Insolubles dans la cellule                                                                                                                     | Solubles dans le cytoplasme ou dans la phase lipidique des membranes cellulaires                                                                                                                                                                                                                      |
| Fonction mécanique et structurale                                                                                                              | Agents principaux de l'activité biologique de la cellule                                                                                                                                                                                                                                              |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>\alpha</math>-keratines</li> <li>- fibroïne</li> <li>- collagène</li> <li>- élastine</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- enzymes (catalyseur cellulaires)</li> <li>- transporteurs d'oxygène ou de lipides (sang)</li> <li>- hormones</li> <li>- récepteurs intégrés à la membrane et médiateurs d'effets hormonaux</li> <li>- immunoglobulines (anticorps)</li> <li>- etc</li> </ul> |

| Fonction                      | Exemple       | Rôle                                           |
|-------------------------------|---------------|------------------------------------------------|
| Élément structural            | Collagène     | Force de tension                               |
| Transporteur                  | Hémoglobine   | Transport de l'oxygène                         |
| Hormone                       | Insuline      | Contrôle concentration Glucose sanguin         |
| Récepteur                     | Acétylcholine | Induction de la contraction musculaire         |
| Défense contre les infections | Anticorps     | Liaison à un agent infectieux pour le détruire |
| Enzymes                       | Trypsine      | Dégradation protéines ingérées dans l'intestin |
| Mouvement                     | Myosine       | Contractilité des muscles                      |

B

#### Document 1

#### Consigne : à partir du document 1 :

1. Préciser les constituants d'une protéine.

2. Citer et caractériser les différentes structures des protéines.
3. Citer quelques types de protéine et donner leurs fonctions.

### Activité 2 : Influence des protéines sur le phénotype.

L'ensemble des caractères observables d'un individu à l'échelle de l'organisme ; cellulaire ou moléculaire constitue son phénotype. Un caractère phénotypique est sous le contrôle d'un ou plusieurs gènes.

Des différences phénotypiques entre individus sont dues à des différences de structure des protéines. Prenons l'exemple de la drépanocytose ou anémie falciforme (maladie génétique). Elle est due à la présence d'une hémoglobine structure anormale dans les hématies. Le drépanocytaire présente les phénotypes macroscopiques suivants : lèvres bleues, palpations cardiaques, le banc des yeux de couleur jaune, douleurs articulaires et osseuses, accélération du flux sanguin, essoufflement puis une anémie chronique. Le document 2 montre un fragment de l'hémoglobine d'un sujet normale (HbA) et celui d'un drépanocytaire (HbS).

| HbA: hémoglobine normale    |     |     |     |     |     |     |  |               | HbS: hémoglobine anormale   |     |     |     |     |     |     |  |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|---------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| CTG ACT CCT GAG GAG AAG TCT |     |     |     |     |     |     |  | nucléotides   | CTG ACT CCT GTG GAG AAG TCT |     |     |     |     |     |     |  |
| Leu                         | Thr | Pro | Glu | Glu | Lys | Ser |  |               | Leu                         | Thr | Pro | Val | Glu | Lys | Ser |  |
| 3                           |     |     | 6   |     |     | 9   |  |               | 3                           |     |     | 6   |     |     | 9   |  |
|                             |     |     |     |     |     |     |  | acides aminés |                             |     |     |     |     |     |     |  |

Doc.2

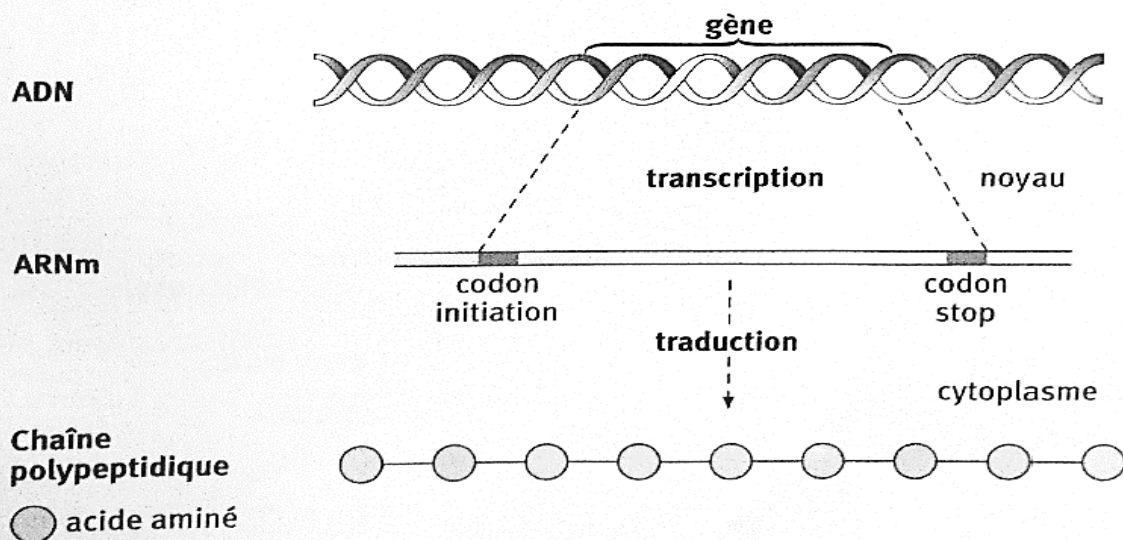
### Consigne :

1. Comparer la structure des deux protéines (HbA et HbS).
2. Qu'est-ce qui est à l'origine de la différence entre les deux protéines ?
3. En déduire l'influence des protéines sur le phénotype.

### Activité 3 : La synthèse des protéines.

#### A) Les étapes de la synthèse des protéines.

Dans une cellule, l'ADN possède l'information nécessaire à la synthèse des protéines. Cette information est contenue dans la séquence en nucléotides des gènes. Le transfert de l'information des gènes vers les protéines se déroule en deux grands étapes (voir document 3).



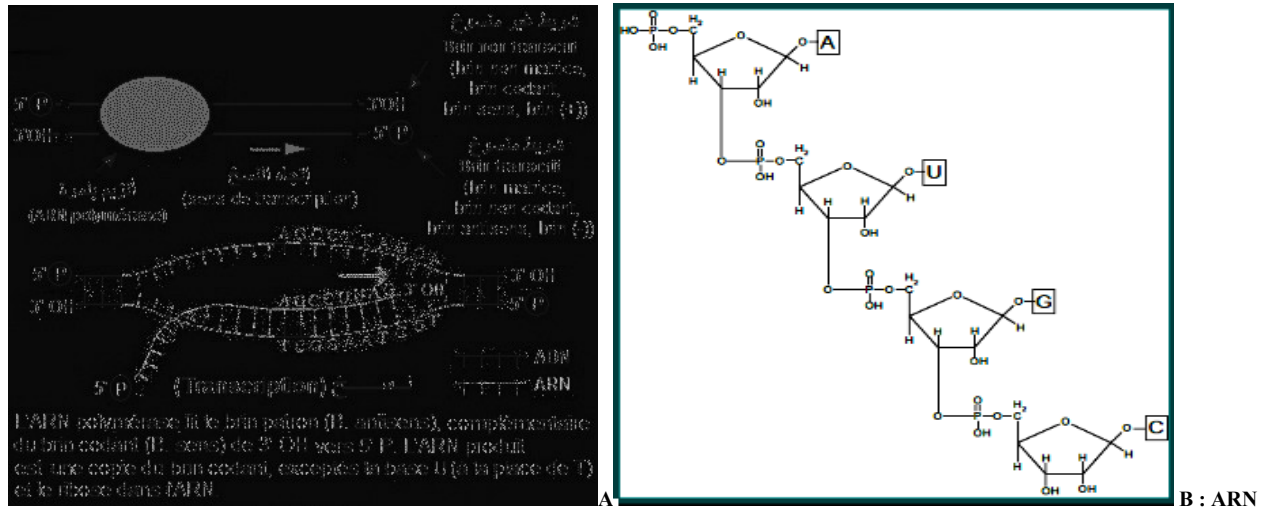
Doc.3

**Consigne : à partir du document 3**

1. Citer et caractériser les étapes de la synthèse de la synthèse des protéines.
2. Localiser chaque étape dans la cellule.

**B) La transcription**

L'information contenue dans le noyau, au sein de la molécule d'ADN est transmise au cytoplasme, lieu de synthèse des protéines : c'est la transcription (Doc.4A). L'ADN contient la totalité de l'information génétique, mais un seul brin, le brin transcrit, transmet l'information par l'intermédiaire d'une molécule, l'ARN messager (ARNm). Le document 4C représente les différents types d'ARN et leurs rôles.



| ARNr<br>ARN ribosomal                                                                             | ARNt<br>ARN de transfert                                                                                                | ARNm<br>ARN messager                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Constituant des ribosomes<br>Quelques milliers de nucléotides<br>Associé à des protéines 5 à 28 S | Transfèrent les acides aminés du cytoplasme au ribosome<br>75 à 90 nucléotides 4 S<br>Présentation en feuille de trèfle | Font passer l'information génétique du noyau (ADN) au cytoplasme<br>Résultat de la transcription de l'information génétique au niveau du noyau<br>Quelques centaines à quelques milliers de nucléotides<br>Durée de vie brève |

Document 4

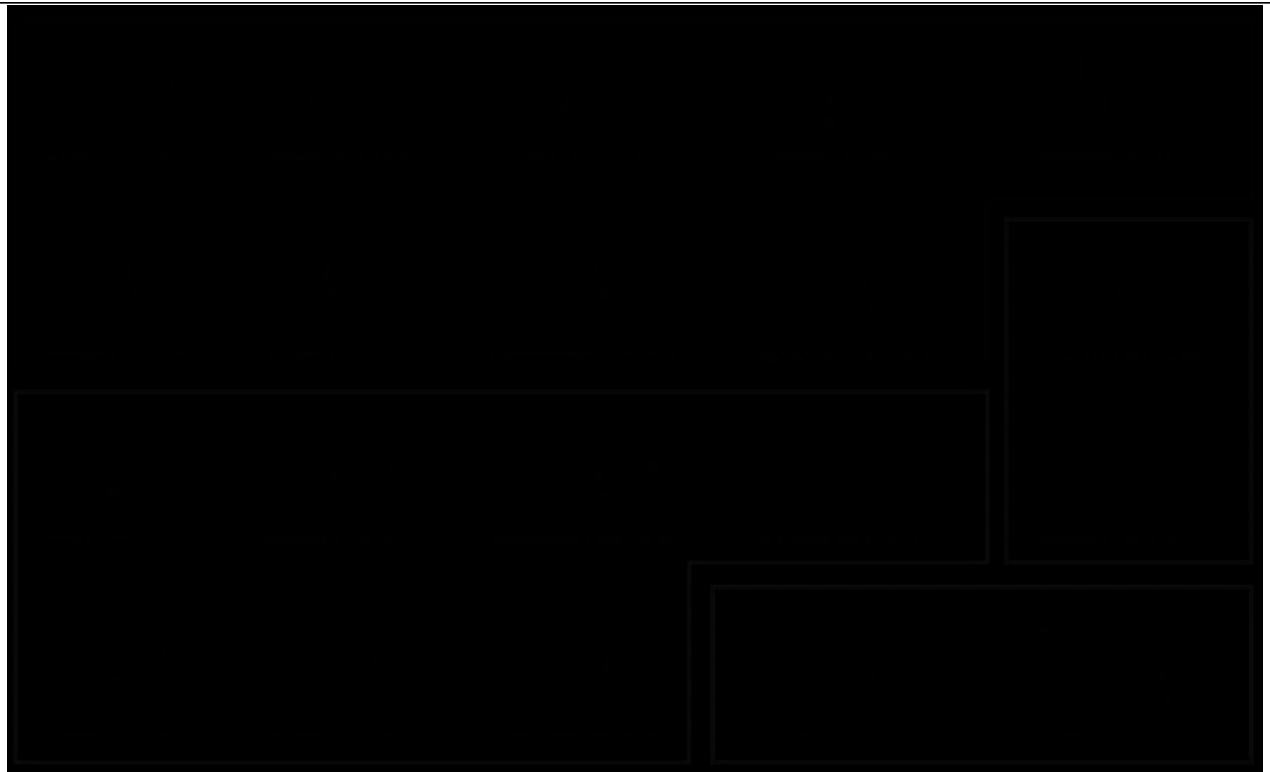
**Consigne : à partir du document 4 :**

1. Décrire le mécanisme de la transcription.
2. Décrire l'ARN.
3. Comparer l'ARN et l'ADN.
4. Citer les différents types d'ARN et donner leurs rôles.

**C) Le code génétique :**

Dans le cytoplasme, l'assemblage des acides aminés constitutifs d'une protéine est dicté par l'ARNm : c'est la traduction. Au cours de cette étape, le message de l'ADN contenu dans l'ARNm est codé.

Un code de correspondance doit donc exister entre le langage à quatre « lettres » des nucléotides et le langage à vingt « lettres » des acides aminés (Doc.5A) : c'est le **code génétique**. L'unité de code est formée de trois (3) nucléotides. A chaque codon correspond un acide aminé. Il existe donc :  $4^3 = 64$  possibilités, c'est-à-dire 64 codons pour vingt acides aminés (Document 5B).



A

|                 |   | Deuxième lettre |             |     |           |     |            |     |             |   |                  |
|-----------------|---|-----------------|-------------|-----|-----------|-----|------------|-----|-------------|---|------------------|
|                 |   | U               |             | C   |           | A   |            | G   |             |   |                  |
| Première lettre | U | UUU             | Phénylalani | UCU | Sérine    | UAU | Tyrosine   | UGU | Cystéine    | U | Troisième lettre |
|                 |   | UUC             | ne          | UCC |           | UAC | UGC        | C   |             |   |                  |
|                 |   | UUA             | Leusine     | UCA |           | UAA | Codons     | UGA | Codon Stop  | A |                  |
|                 |   | UUG             |             | UCG |           | UAG | Stop       | UGG | Tryptophane | G |                  |
|                 | C | CUU             | Leusine     | CCU | Proline   | CAU | Histidine  | CGU | Arginine    | U |                  |
|                 |   | CUC             |             | CCC |           | CAC | CGC        | C   |             |   |                  |
|                 |   | CUA             |             | CCA |           | CAA | Glutamine  | CGA |             | A |                  |
|                 |   | CUG             |             | CCG |           | CAG | CGG        | G   |             |   |                  |
|                 | A | AUU             | Isoleucine  | ACU | Thréonine | AAU | Asparagine | AGU | Sérine      | U |                  |
|                 |   | AUC             |             | ACC |           | AAC | AGC        | C   |             |   |                  |
|                 |   | AUA             |             | ACA |           | AAA | Lysine     | AGA | Arginine    | A |                  |
|                 |   | AUG             | Méthionine  | ACG |           | AAG | AGG        | G   |             |   |                  |
|                 | G | GUU             | Valine      | GCU | Alanine   | GAU | Acide      | GGU | Glycine     | U |                  |
|                 |   | GUC             |             | GCC |           | GAC | Aspartique | GGC |             | C |                  |
|                 |   | GUA             |             | GCA |           | GAA | Acide      | GGA |             | A |                  |
|                 |   | GUG             |             | GCG |           | GAG | Glutamique | GGG |             | G |                  |

B

Document 5

**Consigne :**

1. Analyser le code pour dégager ses caractéristiques.
2. Pourquoi l'appelle-t-on code génétique ?

## D) Le mécanisme de la traduction

Le document 6 représente les étapes de la traduction.

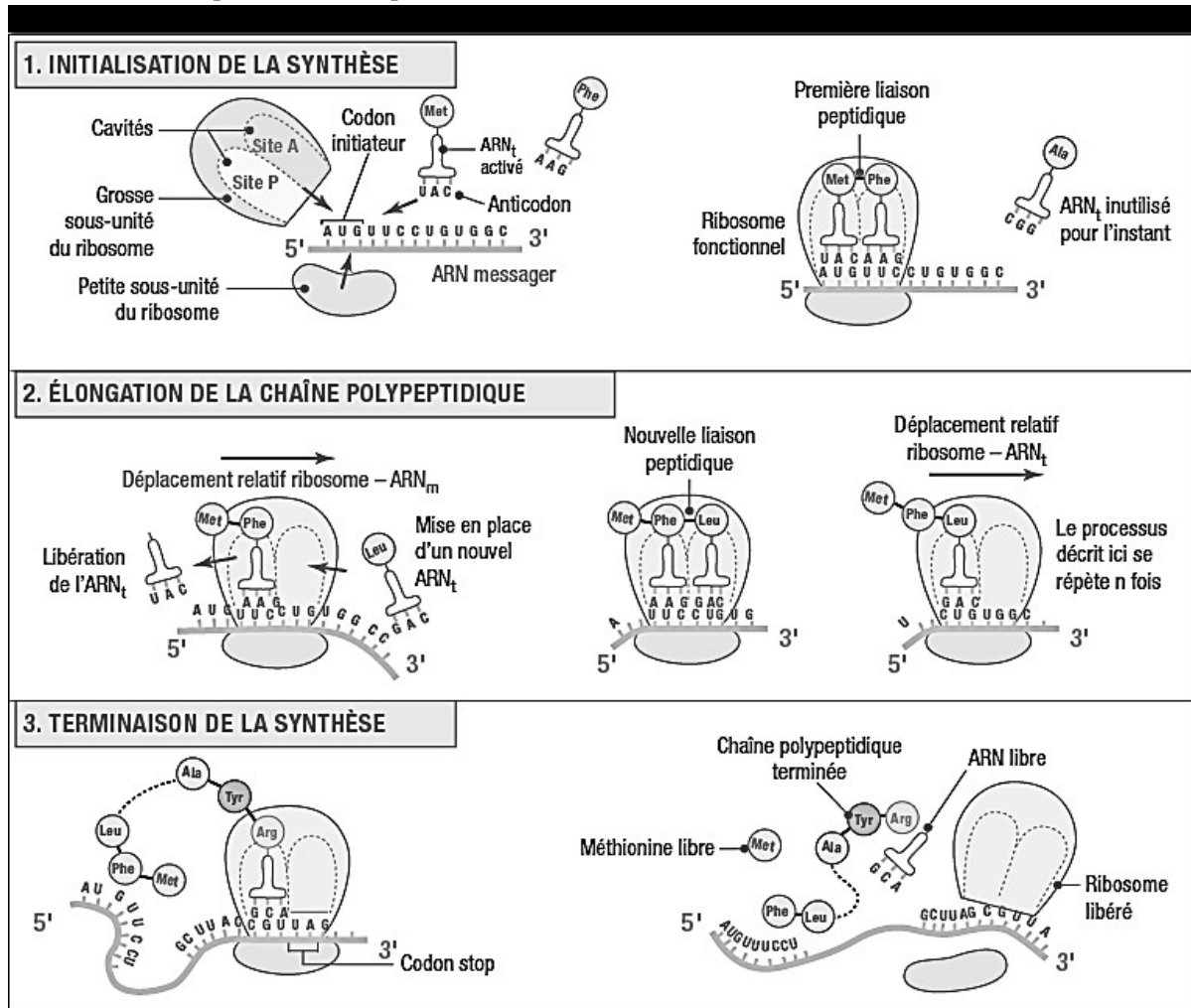


**Fig. 12 – La traduction**

Doc.7

**Consigne : à partir du document 7 :**

1. Citer les acteurs de la traduction et préciser leurs rôles.
2. Citer et caractériser les étapes de la traduction.

**Exercice d'application :**

Soit une séquence de base d'un gène dont le seul brin transcrit est :

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20  
**T A C G A C C A C C T C T C C A C G C A**

**Consigne :**

Donner en s'aidant du code génétique la séquence d'acides aminés.

## Synthèse générale.

### I. La structure des protéines

Les protéines sont les constituants chimiques de la matière vivante. Elles assurent la croissance de l'individu, la réparation des tissus après blessure ou maladie, ce sont des éléments bâtisseurs. Ce sont des constituants qui ont un rôle actif, vitale et une importance capitale dans le fonctionnement des cellules (enzymes, anticorps, antigènes, toxines...).

Une protéine est un ensemble d'acides aminés reliés entre eux par une liaison peptidique entre la fonction COOH d'un acide aminé et la fonction NH<sub>2</sub> de l'acide aminé suivant. Les protéines diffèrent à la fois par le nombre d'acides aminés et par leur enchainement ou leur séquence. Dans une protéine, on peut trouver plusieurs chaînes peptidiques. La protéine peut aussi comprendre une partie non peptidique. Il a été prouvé par l'étude de mutants qu'il y a une colinéarité entre la séquence du gène et la séquence de la protéine. L'information portée par le gène (ADN) consiste en une séquence précise de nucléotides qui indique l'enchainement des acides aminés au niveau de la protéine.

Elles sont complexes de par leurs compositions chimiques et leurs structures nous permettent de les classer en quatre (4) ordres de complexité.

**Structure primaire** : est l'ordre d'enchainement des acides aminés.

**Structure secondaire** : est le repliement local dans l'espace d'une chaîne polypeptidique dont on distingue 2 types de configurations. Des hélices  $\alpha$  et des feuillets plissés  $\beta$ .

**Structure tertiaire** : la chaîne forme des boucles ou replis à certains niveaux stabilisés par divers types de liaisons en particulier par des ponts disulfures s'établissant entre 2 molécules de Cystéine.

**Structure quaternaire** : est l'association de plusieurs chaînes polypeptidiques au sein d'une macromolécule comme dans l'hémoglobine ou dans l'anticorps.

### II. Structure des ARN

L'ARN se distingue de l'ADN par 3 caractéristiques : simple brin, porte l'uracile au lieu de la thymine et le ribose à la place du désoxyribose. Il y a 3 types d'ARN :

**L'ARN message** : simple brin linéaire

**L'ARN ribosomal** : lié aux ribosomes.

**L'ARN de transfert** replié en forme de trèfle et portant un acide aminé et un triplé caractéristique l'anticodon.

### III. Synthèse des protéines :

L'ADN des cellules eucaryotes est localisé dans le noyau mais la synthèse des protéines s'effectue dans le cytoplasme au niveau des ribosomes.

#### 1. La transcription de l'ADN en ARN

La synthèse débute par la synthèse d'une copie du gène sous forme d'une molécule d'ARN appelé ARN messager. Les ARN sont des acides nucléiques comme l'ADN mais ils diffèrent par 3 caractéristiques: ils ont un seul brin, possèdent le ribose au lieu du désoxyribose. La thymine est remplacée par l'uracile. L'ARN messager est synthétisé par complémentarité avec l'un des brins de l'ADN utilisé comme matrice. Ce processus est appelé transcription. L'ARNm obtenu a une séquence complémentaire par rapport au brin d'ADN transcrit et identique par rapport au brin non transcrit à part T qui est remplacé par U.

Un même gène est transcrit simultanément en plusieurs ARNm. Les ARNm synthétisés se détachent de l'ADN et migrent dans le cytoplasme par les pores de l'enveloppe nucléaire. L'ARNm est une copie éphémère du gène (durée de vie de quelques minutes). Chez les procaryotes, la transcription permet de former directement un ARN messager immédiatement utilisable pour l'étape suivante. Par contre, chez les

eucaryotes, la transcription forme un ARN dit pré-messager. Cet ARN comprend des tronçons qui persisteront dans le futur ARNm, ce sont les exons et des tronçons qui seront éliminés appelés introns. Lors d'un processus appelé épissage, les introns sont coupés et éliminés et les exons sont raccordés entre eux pour former l'ARN messager. Un même ARN pré-messager peut subir un épissage différent suivant plusieurs facteurs comme le type de cellule ou le moment de la transcription. Certains exons peuvent ou non être retenus. La conséquence est qu'un même gène peut donner plusieurs protéines différentes. De ce fait, la diversité des protéines (protéome) d'un organisme donné dépasse largement le nombre de ses gènes: on parle d'épissage alternatif.

## 2. La traduction

La traduction est la synthèse de chaînes peptidiques au niveau du cytoplasme selon le message porté par l'ARNm issu de la transcription.

### a) Le système de correspondance : code génétique

La relation entre séquence de nucléotides et la séquence d'acides nécessite un système de correspondance entre les deux langages.

Il n'est pas possible de faire correspondre un nucléotide avec un acide aminé parce qu'il n'y a que quatre nucléotides pour 20 acides aminés. La correspondance entre un doublet de nucléotides avec un seul acide aminé n'est pas non plus possible du moment qu'il n'existe que  $4^2 = 16$  doublets possibles. Il faut donc trois nucléotides pour désigner les 20 acides aminés. Le problème est qu'il existe  $4^3 = 64$  triplets possibles. Donc, la plupart des acides aminés sont codés par plusieurs triplets ou codons. Ce système de correspondance entre triplets nucléotidiques et acides aminés est appelé: code génétique. Le code génétique présente les caractéristiques suivantes :

**Il est redondant (ou dégénéré) :** certains acides aminés sont codés par plusieurs codons.

**Il est univoque :** chaque codon ne code que pour un seul acide aminé.

**Il est universel :** le code génétique est le même pour tous les êtres vivants (animaux, végétaux et bactéries). Cette universalité est en faveur d'une origine commune à toutes les espèces.

Il existe mathématiquement 64 triplets de nucléotides différents. Parmi les 64 codons possibles dont trois codons ne correspondent à aucun acide aminé : ce sont des codons STOP.

La traduction se fait au niveau de petits organites cytoplasmiques appelés ribosomes. Ce sont des particules formées de deux sous unités: la grande et la petite. Ces ribosomes parcourent l'ARNm triplet par triplet et chaque triplet fait appel à un acide aminé.

### b) Déroulement de la traduction

Pendant la traduction, l'information portée par l'ARNm est traduite en une séquence précise d'acides aminés (AA) pour constituer une protéine. C'est un processus qui se déroule au niveau des ribosomes qui s'associent avec l'ARNm pour lire le message et lui faire correspondre les acides aminés selon le code génétique.

La traduction fait intervenir aussi des ARN particuliers dits ARNt. C'est une molécule monocaténaire repliée en forme de trèfle. Elle comprend deux sites importants : un résidu adénine à l'extrémité 3' sur lequel se fixe un acide aminé de manière covalente et un triplet de nucléotides particulier appelé anticodon qui peut reconnaître et se fixer sur le codon correspondant sur l'ARNm. L'ARNt est donc l'adaptateur qui associe un triplet de l'ARNm avec l'acide aminé correspondant selon le code génétique. La synthèse d'une chaîne peptidique se fait en 3 étapes: l'initiation, l'élongation et la terminaison.

### Concept général 3 : L'unicité des individus et la diversité génétique.

#### Sous-concept 1 : Les mécanismes fondamentaux de la reproduction sexuée chez les mammifères et les spermaphytes.

##### Pré-évaluation

Quelles sont les différents modes de reproduction ?

Quel est le mode utilisé par les mammifères ?

##### Situation problème :

La capacité à se reproduire est une des caractéristiques des systèmes vivants. Pour cela, il existe deux stratégies qui consistent soit à peupler rapidement un milieu avec des individus tous identiques, soit à créer des individus en plus petite quantité mais tous différents les uns des autres. Le premier cas est assuré par la mitose (reproduction asexuée) et le deuxième par la reproduction sexuée. Les organismes pluricellulaires sont constitués de plusieurs cellules provenant d'une cellule unique : l'œuf ou zygote. Ce zygote est le résultat de la fusion de 2 gamètes (mâle et femelle) au cours de la fécondation.

Comment sont organisés les appareils reproducteurs chez les mammifères et les spermaphytes ?

Comment se forme les gamètes et le zygote chez les mammifères et les spermaphytes ?

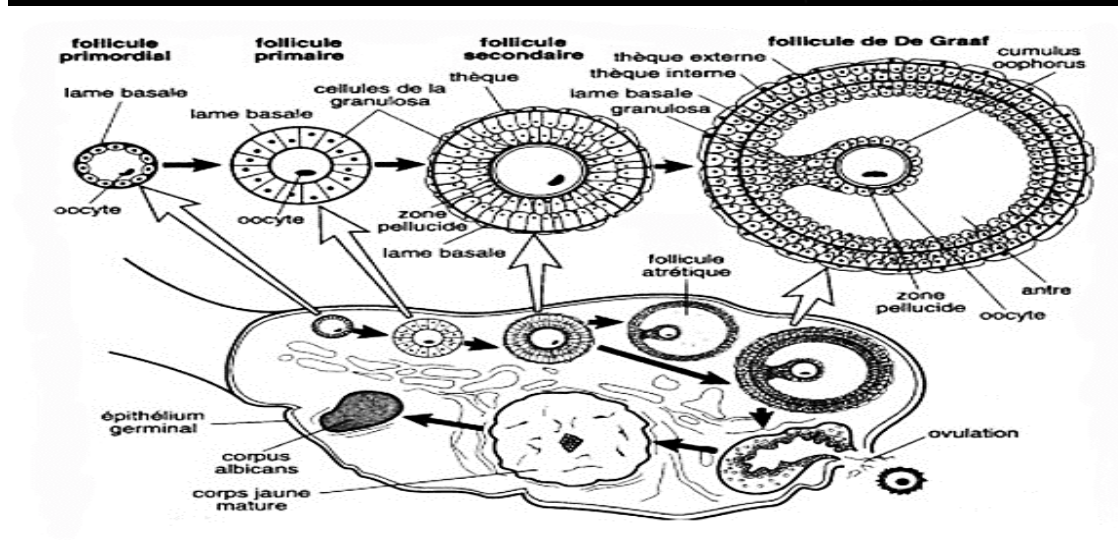
##### Activité 1 : Les organes producteurs de gamètes.

##### A) Chez les mammifères.

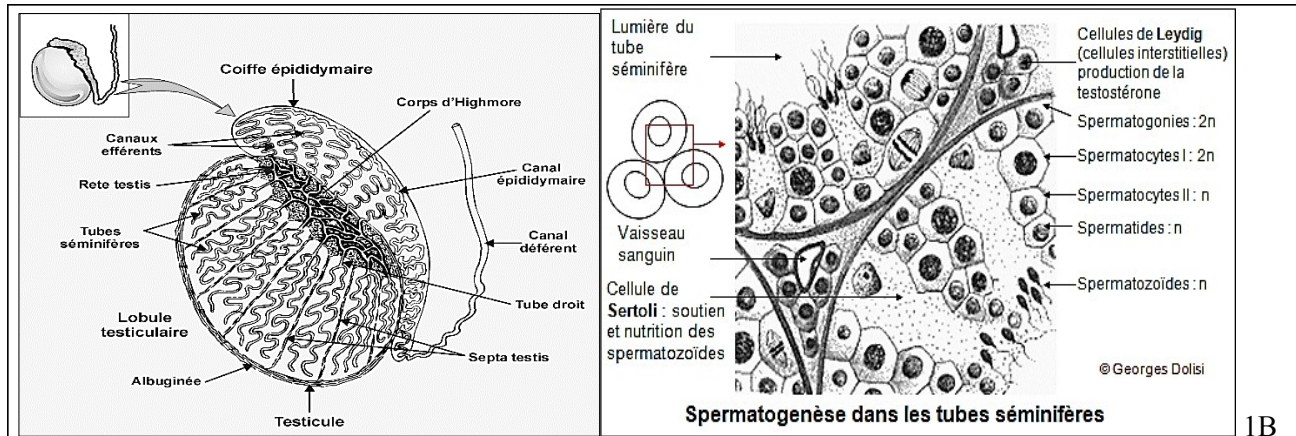
Le document 1 représente les appareils génitaux mâle et femelle chez l'Homme.



1A



1C



1B

Document 1 : les appareils génitaux chez les mammifères

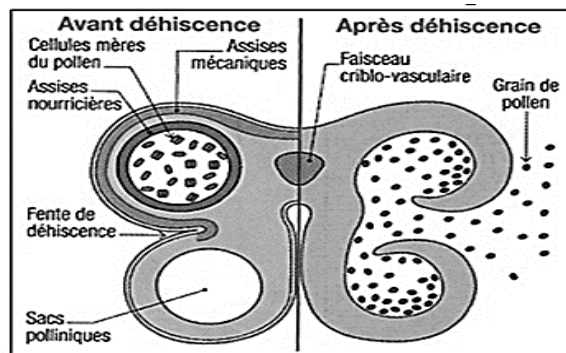
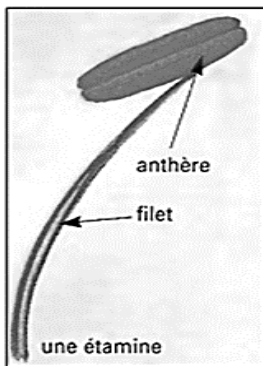
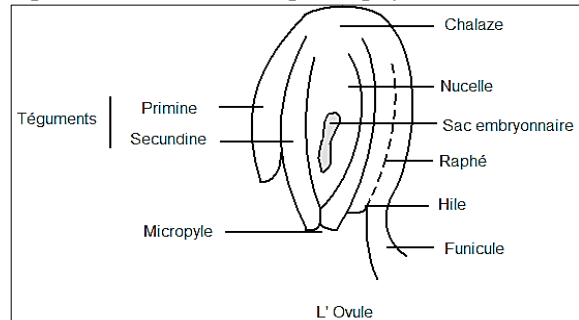
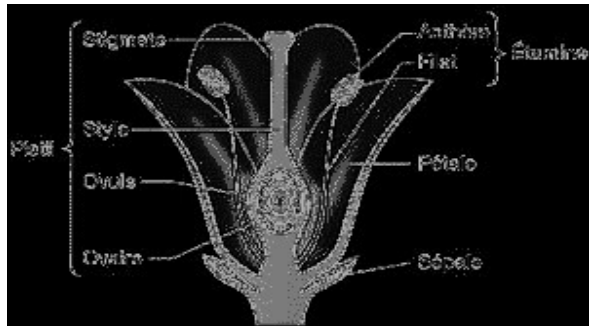
**Consigne : à partir du document 1 :**

1. Décrire l'organisation générale des appareils génitaux mâles et femelle.
2. Décrire l'organisation des testicules et des ovaires.
3. Quels sont les fonctions des testicules et des ovaires ?
4. Comparer les appareils génitaux mâle et femelle.

## B) Chez les spermaphytes.

Les spermaphytes sont les plantes à organes reproducteurs apparente (plantes à fleur).

Le document 2 représente l'organisation des organes reproducteurs chez les spermaphytes.



Document 2.

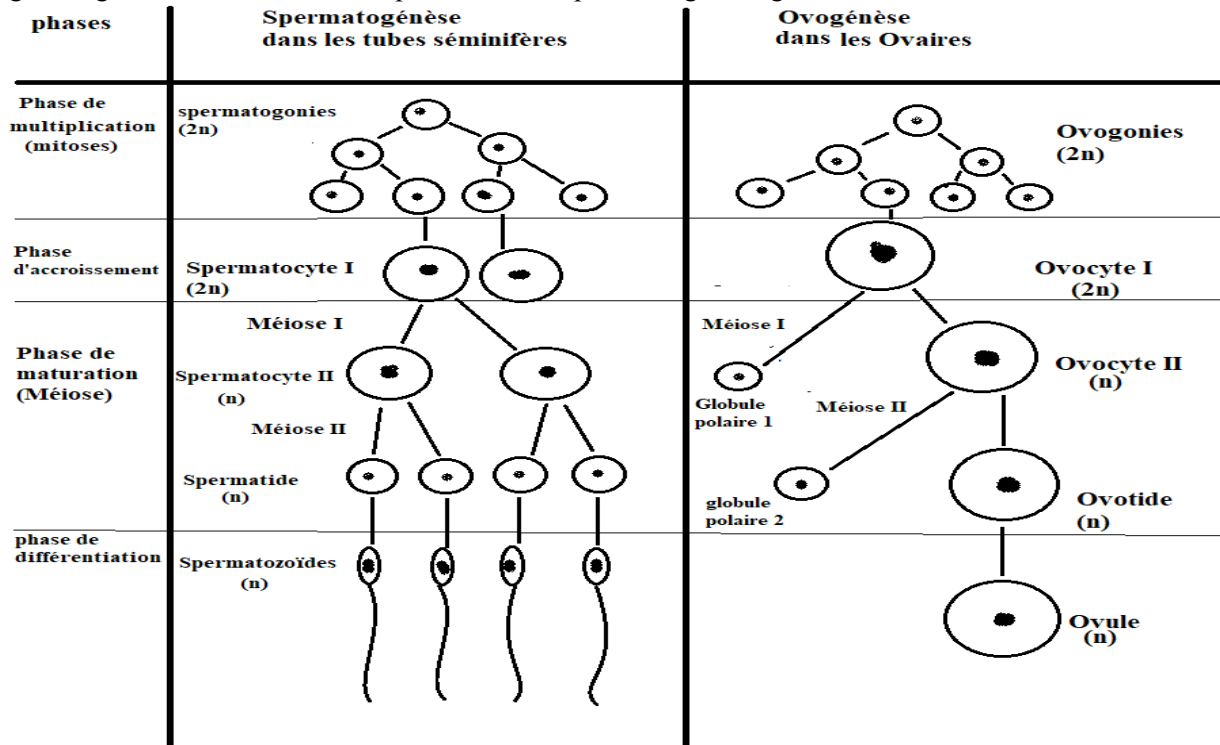
**Consigne : à partir du document 2 :**

1. Nommer l'ensemble des parties reproductrices mâles.
2. Nommer l'ensemble des parties reproductrices femelles.
3. Décrire l'organisation d'une anthère.

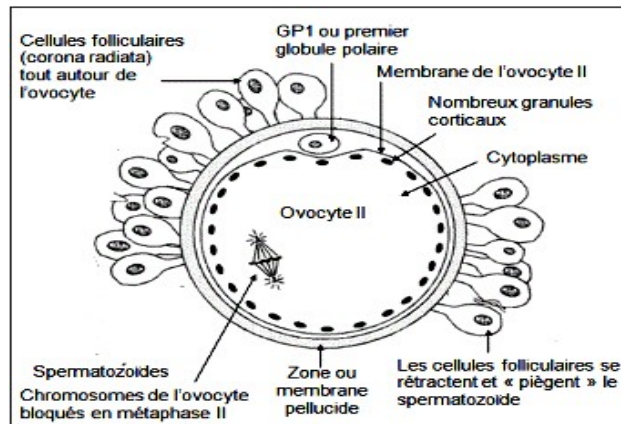
## Activité 2 la formation des gamètes (gamétogénèse).

### A) Chez les mammifères.

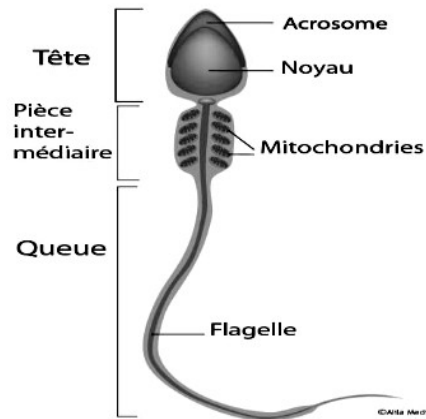
Les gamètes sont des cellules haploïdes qui se forment au cours d'un phénomène appelé gamétogénèse. Chez les mâles, on l'appelle spermatogénèse et chez les femelles, on l'appelle ovogénèse. Le passage de la diploïdie à l'haploïdie est réalisé lors d'une division cellulaire, la méiose qui intervient durant la gamétogénèse. Le document 3 représente les étapes de la gamétogénèse chez les mammifères.



3A



3B



3C

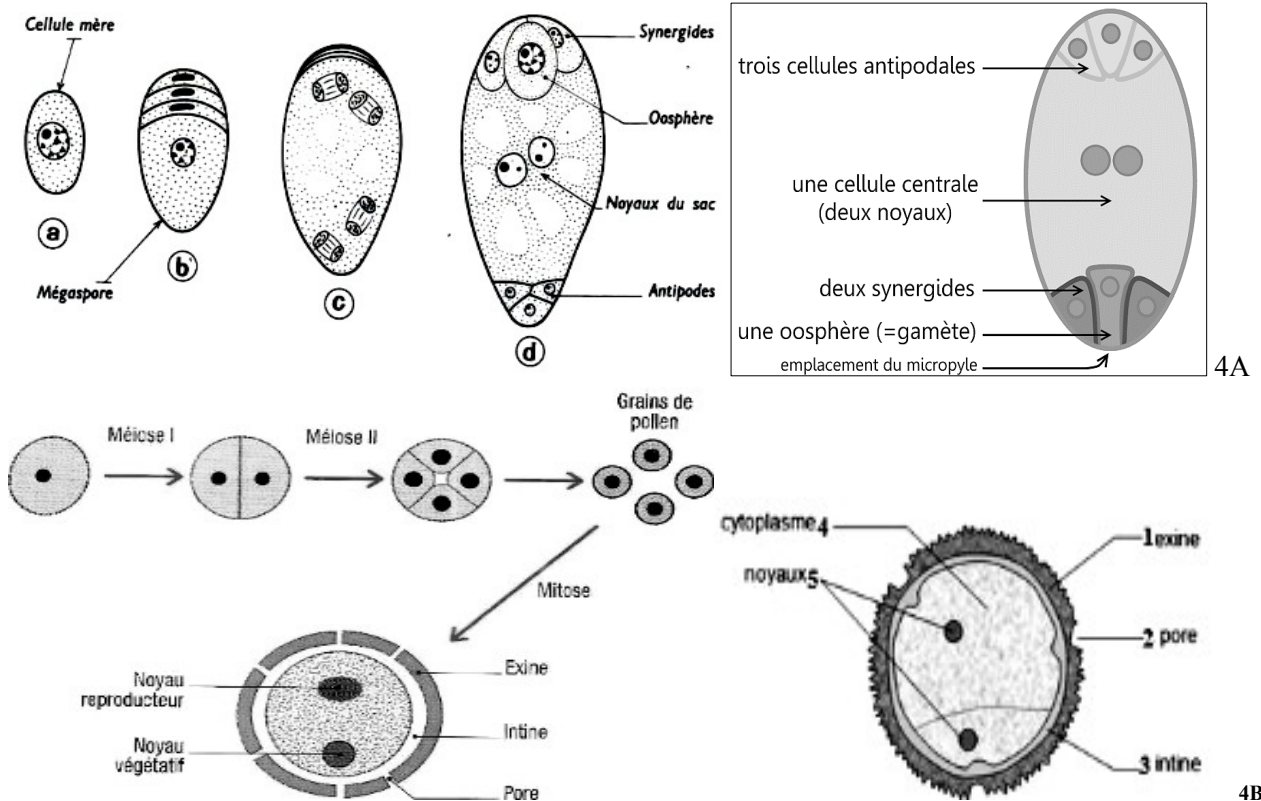
Document 3

### Consigne :

1. Citer et expliquer les étapes de la gamétogénèse.
2. Comparer la spermatogénèse et l'ovogénèse.
3. Comparer le gamète mâle et le gamète femelle.
4. Décrire l'évolution du nombre de chromosome au cours de la gamétogénèse.
5. Quelle est le phénomène responsable de la réduction chromatique ?

### B) Chez les spermaphytes.

Le document 4 représente les étapes de la gamétogénèse chez les spermaphytes.



Document 4

**Consigne : à partir du document 4 :**

1. Comparer la formation du sac embryonnaire à celle du grain de pollen.
2. Comment évolue le nombre de chromosome au cours de chaque processus ?

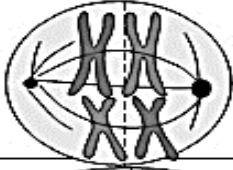
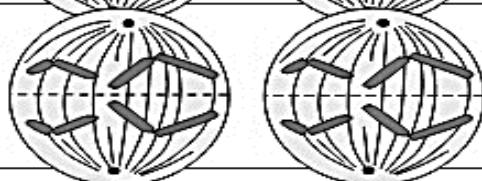
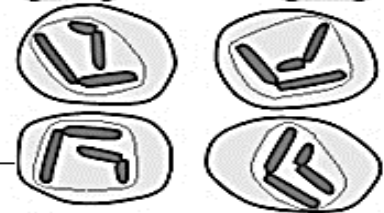
### Activité 3 : La méiose

A partir d'une cellule, la méiose en donne quatre : c'est donc une succession de deux divisions. Les phénomènes essentiels se produisent au cours de la première division : à la prophase I, les chromosomes homologues s'associent par paires, formant des bivalents. A la métaphase I, les paires de chromosomes s'alignent à l'équateur de la cellule. Lors de l'anaphase I, chaque chromosome se sépare de son homologue, et il en résulte deux lots qui contiennent chacun un seul exemplaire de chaque chromosome : les deux cellules filles qui se forment à la fin de la première division n'ont plus que la moitié des chromosomes présents dans la cellule mère : il y a eu réduction par deux du nombre de chromosomes. La cellule mère était diploïde ( $2n$  chromosomes), les deux cellules filles sont haploïdes ( $n$  chromosomes).

La seconde division, plus classique ne modifie pas le nombre de chromosomes et peut être comparée, dans son déroulement, à une mitose. Avec la réduction par deux du nombre de chromosomes, l'autre particularité de la méiose est de réaliser des brassages génétiques. Au cours de la prophase I, lors de l'appariement des chromosomes en bivalents, il se produit des échanges de chromatides donc de gènes : ces échanges sont

Ce brassage génétique est appelé brassage intra-chromosomique.

Un autre brassage génétique se produit à la métaphase I. En effet, la disposition des paires de chromosomes les uns par rapport aux autres à ce stade, se fait de manière aléatoire et a priori de nombreuses combinaisons sont possibles : ce brassage est appelé brassage inter-chromosomique. (Voir document 5)

| <b>Méiose 1 (première division de méiose) : Séparation des chromosomes homologues</b>                                                                                                                                                                 |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Prophase 1</b><br>- La chromatine se condense et les chromosomes à 2 chromatides deviennent visibles.<br>- L'enveloppe nucléaire disparaît.<br>- Les paires de chromosomes homologues se regroupent formant ainsi des tétrades. Il y a n tétrades. |    |
| <b>Métaphase 1</b><br>Les n tétrades se placent dans le plan équatorial de la cellule. Les 2 chromosomes homologues de chaque paire sont situés de part et d'autre du plan équatorial.                                                                |   |
| <b>Anaphase 1</b><br>Les 2 chromosomes homologues de chaque paire se séparent et chacun migre vers un pôle de la cellule.                                                                                                                             |    |
| <b>Télophase 1</b><br>Les 2 cellules filles s'individualisent. Chaque cellule fille contenant n chromosomes à 2 chromatides, elle est haploïde.                                                                                                       |    |
| <b>Méiose 2 (seconde division de méiose) : Séparation des chromatides</b>                                                                                                                                                                             |                                                                                      |
| <b>Prophase 2</b><br>Comme en Télophase 2, Les n chromosomes possèdent 2 chromatides.                                                                                                                                                                 |   |
| <b>Métaphase 2</b><br>Les chromosomes se placent dans le plan équatorial de la cellule. Les 2 chromatides d'un même chromosome sont situés de part et d'autre du plan équatorial.                                                                     |  |
| <b>Anaphase 2</b><br>Les chromatides de chaque chromosome se séparent au niveau du centromère et chaque chromatide migre vers un pôle de la cellule.                                                                                                  |  |
| <b>Télophase 2</b><br>- Les 4 cellules filles s'individualisent. Chaque cellule fille contenant n chromosomes à 1 chromatide, elle est haploïde.<br>- L'enveloppe nucléaire réapparaît.                                                               |  |

Document .5

**Consigne : à partir du texte et du document 5 :**

1. Donner la formule chromosomique de cette cellule.
2. Citer et décrire les étapes de la méiose.
3. Comparer la méiose et la mitose.
4. Décrire l'évolution de la quantité d'ADN dans une cellule au cours de la méiose (avec le graphe à l'appui).

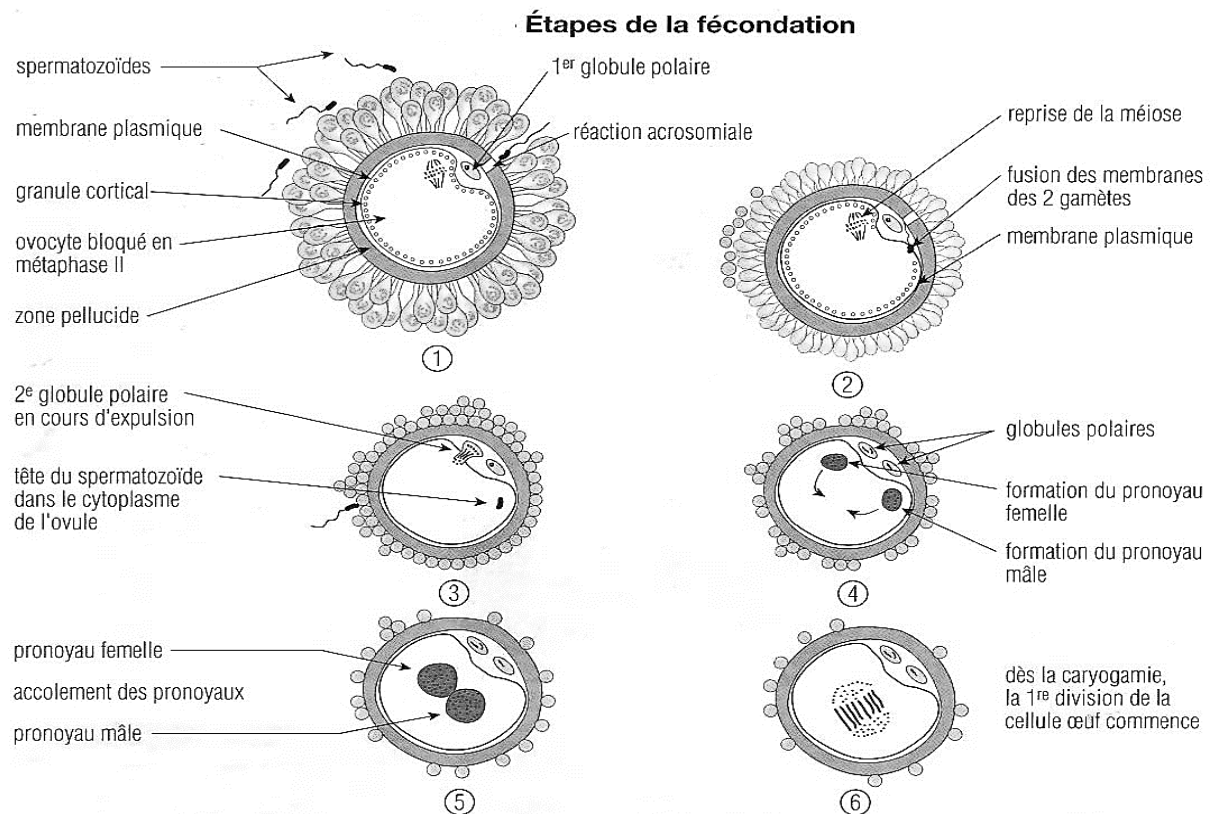
5. Quelle est l'importance de la méiose ?

**Activité 4 : La fécondation**

**A) Chez les mammifères**

Après avoir été émis dans le vagin, les spermatozoïdes remontent les voies génitales de la femme jusqu'aux trompes. Ils rencontrent de nombreux obstacles, notamment le passage du col de l'utérus, qui permettent d'éliminer ceux qui présentent des anomalies. Seules quelques centaines parviennent aux trompes au niveau desquelles a lieu la fécondation. Afin de pouvoir féconder l'ovocyte, les spermatozoïdes doivent perforer son enveloppe (gangue ou membrane pellucide). Pour cela, ils produisent et déversent des enzymes qui digèrent cette enveloppe et leur permet de rentrer en contact avec la membrane cytoplasmique de l'ovule. Le contact du premier spermatozoïde avec l'ovocyte provoque un décollement de la gangue qui empêche les autres gamètes mâles de féconder. Ainsi, un seul noyau de spermatozoïde peut pénétrer dans l'ovocyte. Les deux noyaux ou pronucléi migrent alors l'un vers l'autre et fusionnent : c'est la caryogamie qui rétablit la diploïdie dans la cellule œuf. Le caractère aléatoire de la fécondation par tel ou tel spermatozoïde, amplifie le brassage génétique réalisé par la méiose. La reproduction sexuée, par l'alternance entre méiose et fécondation, permet à chaque génération de créer des individus génétiquement nouveaux : « tous semblables, tous différents »

Le document 6 représente les étapes de la fécondation chez les mammifères.



Doc.6

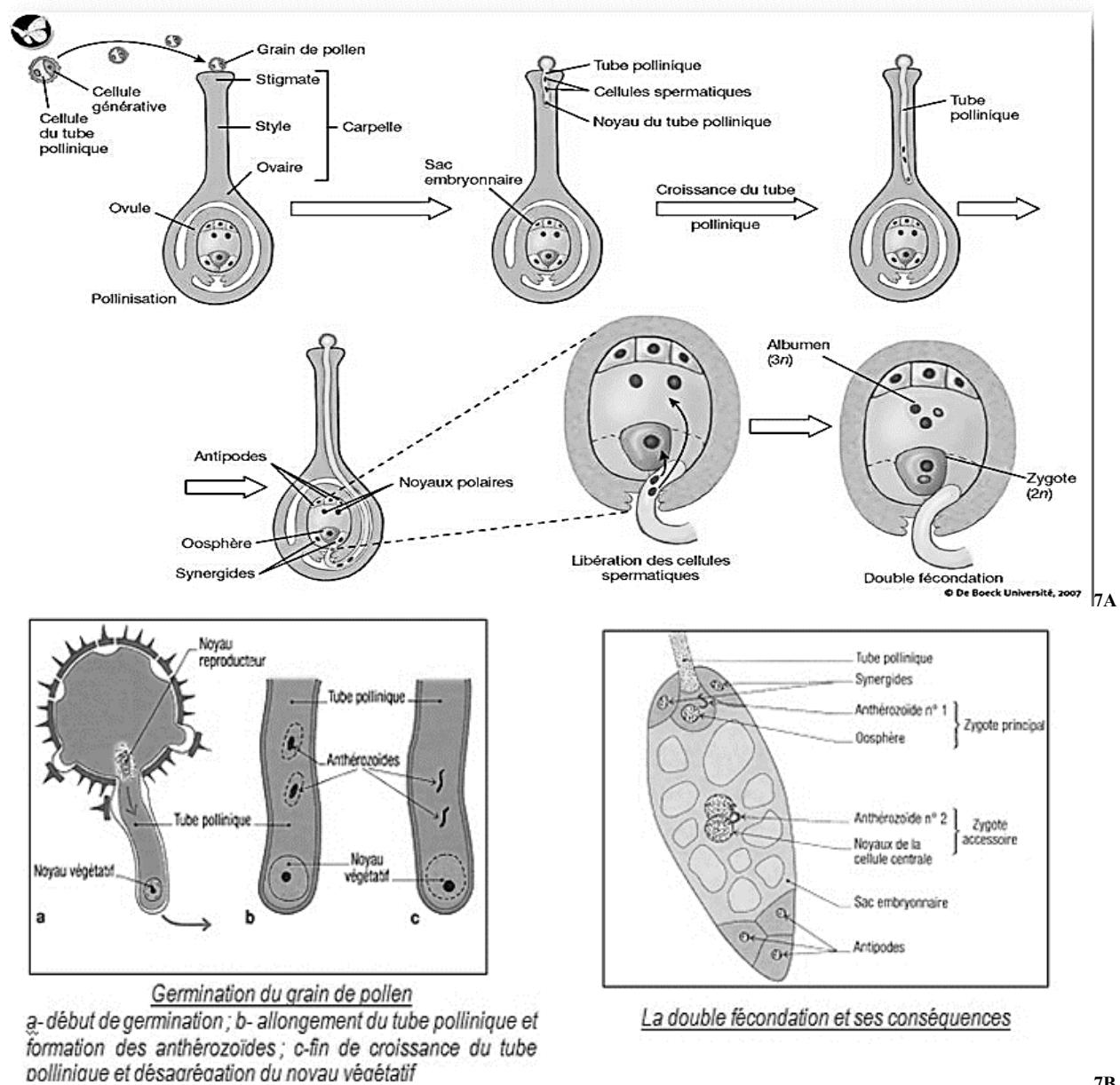
**Consigne : à partir du texte et du document 6 :**

1. Dans quelle partie de l'appareil génital a lieu la fécondation chez les mammifères ?
2. Pourquoi tous les spermatozoïdes n'atteignent pas le gamète femelle ?
3. Pour pouvoir féconder l'ovule, le spermatozoïde doit passer obligatoirement par l'utérus. Pourquoi ?
4. Citer et caractériser les étapes de la fécondation chez les mammifères.

5. Pourquoi chez les mammifères, l'ovule est fécondé par un seul spermatozoïde ?
6. Pourquoi dit-on que la pénétration du spermatozoïde entraîne le réveil physiologique du gamète femelle ?

### B) Chez les spermaphytes.

Le document 7 représente les étapes de la fécondation chez les spermaphytes.



Document 7

### Consigne :

1. Expliquer la pollinisation et la germination du grain de pollen.
2. Comment appelle-t-on les gamètes mâles et femelles des spermaphytes ?
3. Pourquoi parle-t-on de double fécondation chez les spermaphytes.
4. Comparer le spermatozoïde des mammifères et le grain de pollen.
5. Comparer l'ovule de mammifères et celui des spermaphytes.

6. Tracer le schéma du cycle de reproduction chez les mammifères et chez les spermaphytes.

### Synthèse générale.

La capacité à se reproduire est une des caractéristiques des systèmes vivants. Pour cela, il existe deux stratégies qui consistent soit à peupler rapidement un milieu avec des individus tous identiques, soit à créer des individus en plus petite quantité mais tous différents les uns des autres. Le premier cas est assuré par la mitose et le deuxième par la reproduction sexuée que nous allons étudier ici en prenant comme exemple l'espèce humaine.

#### **I. Organisation générale des appareils reproducteurs :**

##### **1. Chez les mammifères.**

Les appareils génitaux de l'homme et de la femme présentent donc de nombreuses analogies : des gonades qui fabriquent les cellules sexuelles, des conduits génitaux et des organes d'accouplement. Ces similitudes résultent du fait que pendant les premières semaines du développement embryonnaire, l'appareil génital est indifférencié chez l'embryon et que donc la plupart des structures ont une origine commune.

**L'appareil génital de la femme :** est formé de deux gonades, les ovaires, dans lesquelles se forment les cellules sexuelles ou gamètes (ovocytes) et de conduits génitaux dans lesquels se déplacent ces gamètes : trompes, oviductes, utérus et vagin. L'utérus est aussi l'organe dans lequel s'implante l'embryon. Le vagin intervient lors de l'accouplement. L'orifice génital débouche dans la vulve, fermée par les lèvres. C'est à ce niveau que débouche également le conduit urinaire. Le clitoris, considéré comme un pénis embryonnaire, se trouve sur la face antérieure de la vulve.

**L'appareil génital de l'homme comprend :** deux gonades, les testicules, qui forment les gamètes mâles ou spermatozoïdes. Les testicules, ou gonades mâles, sont des glandes protégées par les bourses ou scrotum. Ils sont coiffés par une sorte de « chapeau » ou épидидyme qui se prolonge par le spermiducte ou canal déférent qui va transporter les spermatozoïdes. C'est dans les testicules que sont fabriqués les spermatozoïdes, et leur passage par l'épididyme est indispensable à leur maturation. Les testicules sont coiffés par l'épididyme qui se prolonge par les conduits génitaux : spermiducte et urètre. La prostate et les vésicules séminales sont des glandes qui sont à l'origine du sperme et qui permettent la maturation des spermatozoïdes. Le pénis est l'organe d'accouplement qui permet de « déposer » directement les gamètes mâles dans le vagin.

##### **2. Chez les spermaphytes :**

Les spermaphytes sont des plantes qui produisent des graines. L'appareil reproducteur des spermaphytes est constitué d'une fleur qui, après fécondation, donne le fruit et la graine.

a) **Organe reproducteur mâle :** Chaque étamine comprend un filet et une anthère. L'anthère mûre donne le grain de pollen. L'androcée est l'ensemble des parties reproductrices mâles des fleurs.

b) **Organe femelle :** Le pistil comprend de bas en haut un ovaire, un style et un ou 2 stigmate. L'ovaire renferme l'ovule. Le gynécée est l'ensemble des parties reproductrices des fleurs femelles.

#### **II. Formation des gamètes : La gamétogénèse**

##### **1) Chez les mammifères :**

Les gamètes mâles et femelles se forment au cours d'un phénomène appelé gamétogénèse. Chez l'homme, il s'agit de la spermatogénèse et chez la femme, de l'ovogénèse.

La spermatogénèse est un processus se déroulant dans les tubes séminifères des testicules et conduisant à la formation des spermatozoïdes. L'ovogénèse est un processus se déroulant dans les ovaires et aboutissant à la formation des ovocytes puis des ovules.

La gamétogénèse peut être divisée en 4 phases ou étapes :

**Phase de multiplication** : Les spermatogonies et les ovogonies à  $2n$  chromosomes, cellules germinales de base et constituant respectivement le premier stade cellulaire de la spermatogénèse et de l'ovogénèse, se multiplient par mitose et donnent des spermatocytes I et des ovocytes I. Cette phase incessante à partir de la puberté chez l'homme est terminée dès la 15<sup>ème</sup> semaine de la vie fœtale chez la femme.

**Phase d'accroissement** : Les spermatocytes I et les ovocytes I augmentent de volume et sont toujours à  $2n$  chromosomes. Cette phase est très importante dans l'ovogénèse.

**Phase de multiplication** : elle correspond à la méiose.

Les spermatocytes I subissent la 1<sup>ère</sup> division de la méiose pour donner des spermatocytes II qui subissent la 2<sup>ème</sup> division de la méiose pour donner des spermatides à  $n$  chromosomes.

Les ovocytes I subissent la 1<sup>ère</sup> division de la méiose pour donner deux cellules de volumes inégales. La plus grosse est l'ovocyte II à  $n$  chromosome et la plus petite est la 1<sup>ère</sup> globule polaire à  $n$  chromosome. L'ovocyte II ne subira la 2<sup>ème</sup> division de la méiose que lors de la pénétration d'un spermatozoïde. Il se transforme alors en ovotide avant la fusion des noyaux.

**Phase de différenciation** : inexistante dans l'ovogénèse elle est très importante dans la spermatogénèse. Car les spermatides subissent une série de transformation et se différencient en spermatozoïdes.

## **2) Chez les spermaphytes :**

### **a) Formation du grain de pollen.**

Dans l'anthère, on trouve des cellules mères du grain de pollen à  $2n$  chromosome. Chaque cellule mère subit une méiose donnant quatre cellules haploïdes appelées « microspore » groupées en tétrades. Ces microspores subissent une mitose (division équationnelle) qui aboutit à la formation du grain de pollen avec 2 noyaux haploïdes. Le grain de pollen perd de l'eau et passe à l'état de vie ralenti.

### **b) Formation du sac embryonnaire :**

La cellule mère du sac embryonnaire, cellule diploïde, subit une méiose donnant 4 cellules haploïdes. Trois (3) de ces cellules dégénèrent et une seule se développe, c'est la « mégaspore ». Aussitôt formé, la mégaspore ou macropore s'accroît, tandis que son noyau se divise en 2, en 4 puis en 8 après 3 divisions. Les noyaux-fils se répartissent en 7 cellules dont l'ensemble constitue le sac embryonnaire.

## **III. La méiose**

La méiose est une division complexe qui se déroule dans les cellules de la lignée germinale (cellules mères des gamètes). Les cellules somatiques comprennent, en général, des chromosomes par paires ou chromosomes homologues. L'Homme, par exemple, possède 23 paires de chromosomes ( $2n = 46$ ). On dit que les cellules somatiques sont diploïdes. Par contre, les gamètes (spermatozoïdes et ovules chez l'Homme) doivent posséder uniquement 23 chromosomes, on dit qu'elles sont haploïdes. L'état diploïde est restauré lors de la fusion entre les gamètes mâles et femelles ou fécondation. La méiose comprend 2 divisions :

**Une division réductionnelle** : pendant laquelle le nombre de chromosomes est réduit de moitié.

**Une deuxième division dite** équationnelle qui ressemble étroitement à la mitose.

Chacune de ces divisions comprend plusieurs étapes et sous étapes :

**Prophase I** : c'est une phase à la fois importante et complexe. Elle est subdivisée en 5 étapes.

**Leptotène** : c'est le début de condensation des chromosomes qui commencent à s'individualiser.

**Zygotène** : les chromosomes homologues s'apparient c'est-à-dire se rapprochent par un processus appelé synapsis aboutissant à la formation du complexe synaptonémal. Ils se croisent à certains endroits formant des chiasmas.

**Pachytène** : les chromosomes continuent leur condensation formant des tétrades.

**Diplotène** : les chromosomes s'écartent légèrement et restent attachés au niveau des chiasmas.

**Diacinèse** : les chromatides sont fortement contractés et commencent à rejoindre l'équateur de la cellule.

**Métaphase I** : les bivalents se disposent en plaques équatoriales avec formation du fuseau achromatique et disparition de la membrane nucléaire et des nucléoles.

**Anaphase I** : les chromosomes homologues se séparent et migrent vers les pôles. La rupture des chiasmas aboutit à l'échange de morceaux de chromosomes entre les chromosomes homologues.

**Télophase I** : formation de noyaux fils haploïdes.

**Prophase 2** : Disparition de l'enveloppe nucléaire et Formation du fuseau achromatique.

**Métaphase 2** : Les chromatides se placent au centre de la plaque équatoriale.

**Anaphase 2** : séparation des chromatides qui migrent vers les pôles opposés.

**Télophase 2** : Formation de 4 cellules haploïdes résultant des 2 divisions chromatiques.

#### **Conséquences de la méiose :**

Le passage de cellules diploïdes aux cellules haploïdes.

Répartition indépendante des chromosomes d'origine paternelle et maternelle : brassage inter-chromosomique.

Echange de fragments de chromosomes ce qui modifie l'ordre des allèles sur le chromosome : brassage intra-chromosomique.

#### **IV. La fécondation**

##### **1. Chez les mammifères.**

Après avoir été émis dans le vagin, les spermatozoïdes remontent les voies génitales de la femme jusqu'aux trompes. Ils rencontrent de nombreux obstacles, notamment le passage du col de l'utérus, qui permet d'éliminer ceux qui présentent des anomalies. Seules quelques centaines parviennent aux trompes au niveau desquelles a lieu la fécondation.

Afin de pouvoir féconder l'ovocyte, les spermatozoïdes doivent perforer son enveloppe (gangue ou membrane pellucide). Pour cela, ils produisent et déversent des enzymes qui digèrent cette enveloppe et leur permet de rentrer en contact avec la membrane cytoplasmique du gamète féminin.

Le contact du premier spermatozoïde avec l'ovocyte provoque un décollement de la gangue qui empêche les autres gamètes mâles de féconder. Ainsi, un seul noyau de spermatozoïde peut pénétrer dans l'ovocyte. Les deux noyaux ou pronucléi migrent alors l'un vers l'autre et fusionnent : c'est la caryogamie qui rétablit la diploïdie dans la cellule œuf.

Le caractère aléatoire de la fécondation par tel ou tel spermatozoïde, amplifie le brassage génétique réalisé par la méiose. La reproduction sexuée, par l'alternance entre méiose et fécondation, permet à chaque génération de créer des individus génétiquement nouveaux.

##### **2. Chez les spermaphytes :**

**La pollinisation** est le transport du grain de pollen libéré par la déhiscence de l'anthère d'une fleur sur le stigmate de la même fleur (Pollinisation directe) ou sur le stigmate d'une autre fleur de la même espèce (Pollinisation Croisée ou indirecte).

Si les conditions sont favorables, le pollen repasse à l'état de vie active puis germe en poussant un tube pollinique. Ce dernier s'enfonce dans le style, traverse le nucelle et applique son extrémité contre le sac embryonnaire. Au cours de cette germination, le noyau végétatif s'engage dans le tube pollinique suivi du noyau reproducteur. Lorsque le tube pollinique atteint le sac embryonnaire, le noyau végétatif dégénère et le noyau reproducteur se divise en deux anthérozoïdes (gamète male).

**La double fécondation** : Quand le tube pollinique atteint le sac embryonnaire, l'un des anthérozoïdes fusionne avec l'oosphère en donnant un œuf diploïde appelé œuf principale, l'autre

anthérozoïde s'unit aux noyaux du sac donnant un œuf triploïde ( $3n$  chromosomes) appelé œuf accessoire ou œuf albumen.

Cette double fécondation est caractéristique aux angiospermes (spermaphytes dont le fruit n'est pas caché dans l'enveloppe).

**Sous-concept 2 : Le brassage génétique assuré par la reproduction sexuée et l'unicité génétique des individus.**

**Pré-évaluation**

Qu'est-ce qu'un gène ?

Pourquoi un enfant ressemble à ses parents ?

**Situation problème :**

Le développement d'un individu est fonction de ses caractères héréditaires. Ces caractères (génotype) sont transmis d'une génération à l'autre grâce à la reproduction sexuée. La reproduction sexuée assure un double brassage : le brassage intra-chromosomique assuré par le crossing-over et le brassage inter-chromosomique en métaphase I qui lié à la disposition des centromères de part et d'autre du « plan équatoriale ». Grâce au brassage génétique certains caractères sont transmises aux descendants et d'autres ne le sont pas.

Comment se fait la transmission de ces caractères et comment établir une carte factorielle ?

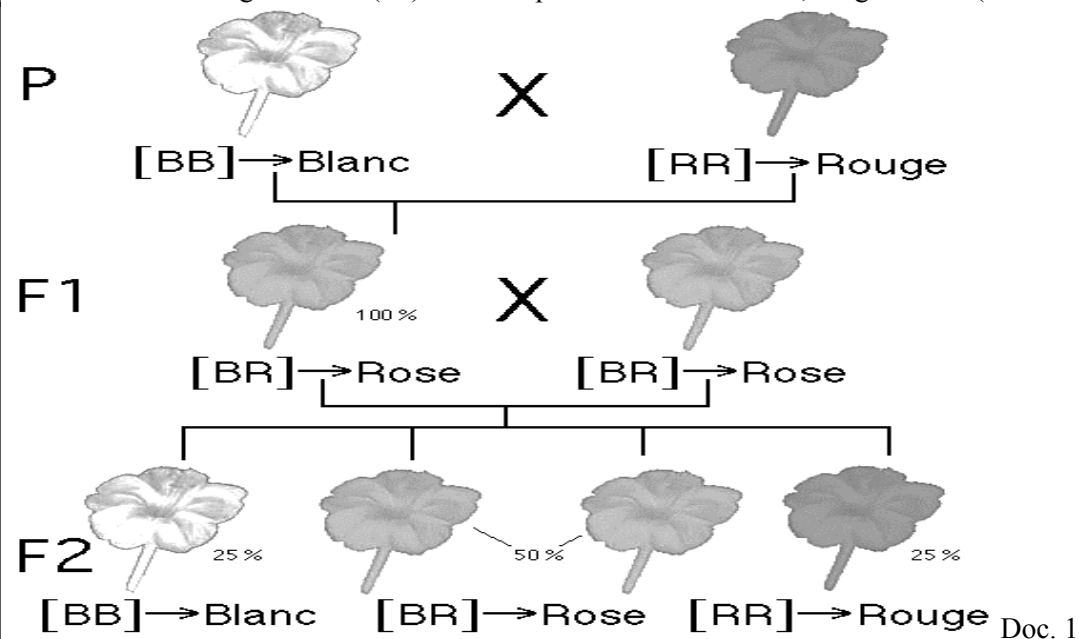
Pourquoi parle-t-on de diversité et d'unicité des individus ?

Qu'est-ce qu'une mutation et quelles sont ses conséquences ?

**A) La transmission des caractères héréditaires.**

**Activité 1 : Mono hybridisme sans dominance.**

On croise deux lignées pures de plantes appelées belles de nuit, une à fleur blanche et l'autre à fleur rouge. Toutes les plantes de la première génération filiale (F1) sont roses. L'autofécondation des plantes de la F1 donne la deuxième génération (F2) avec des plantes à fleur blanche ; rouge et rose (document 1)

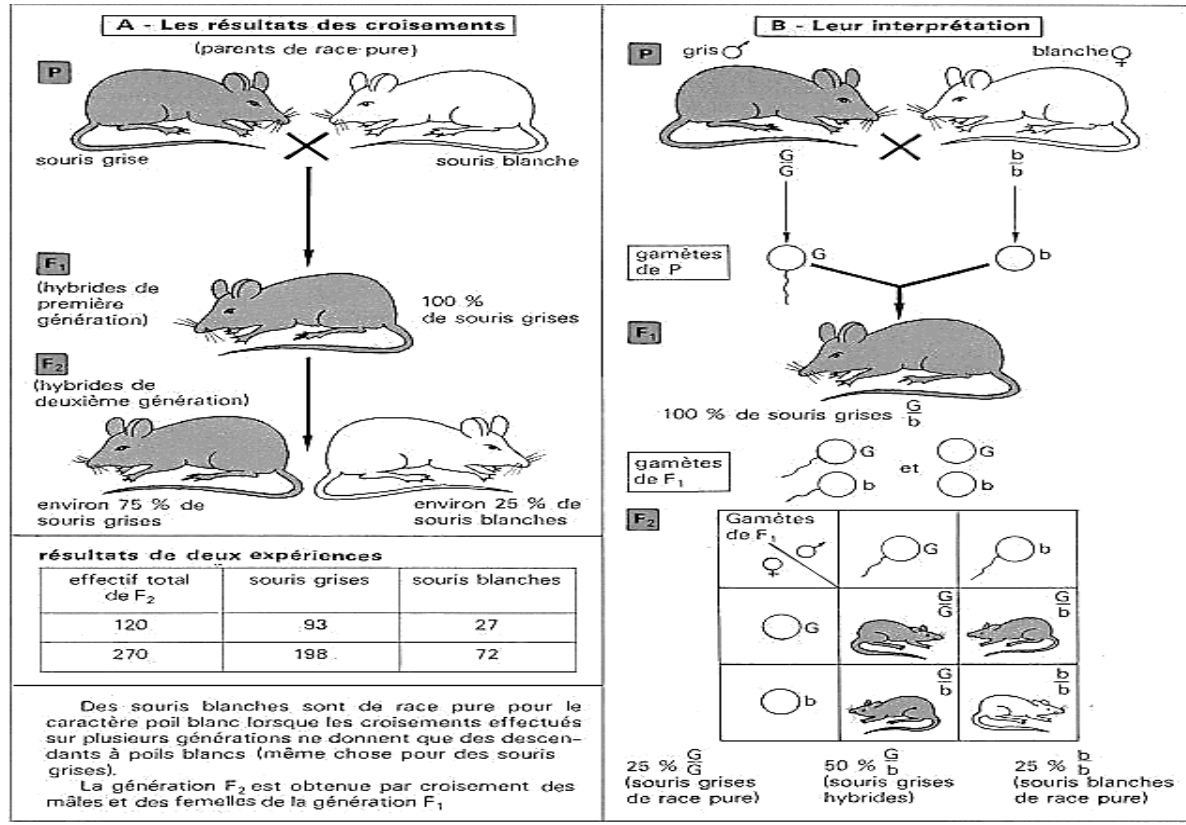


**Consigne :**

1. De combien de caractères étudie-t-on la transmission ? Lequel (s) ?
2. Que peut-on dire des individus de la F1 ? Tirer une conclusion.
3. Etablir l'échiquier de croisement.
4. Préciser les génotypes et les phénotypes des individus avec les proportions.
5. Définir : gène ; allèle ; génotype et phénotype.

### Activité 2 : Mono hybridisme avec dominance.

On croise une souris grise et une souris blanche toutes deux de lignée pure (homozygote). On constate que toutes les souris de la première génération filiale (F1) sont grises. Le croisement des souris grises de la F1 donne la génération F2 dans les proportions 75% et 25% (document 2).



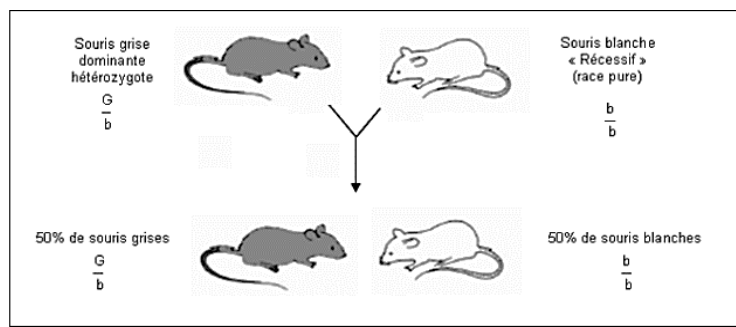
#### Consigne :

1. Combien de caractère étudie-t-on la transmission ? Lequel (s) ?
2. Nommer ce type de croisement et définir-le.
3. Que constate-t-on en F<sub>1</sub> ? Quelle conclusion peut-on tirer ?
4. Expliquer les résultats de la F<sub>2</sub>.

**Sachant que l'aspect dominant est représenté par la majuscule de son initial et l'aspect dominé par le minuscule et à partir de vos connaissances sur la méiose et la fécondation :**

5. Grouper les résultats dans le tableau de croisement (échiquier).
6. Préciser les génotypes et les phénotypes des individus avec les proportions.

### Activité 3 : Backcross et test-cross



On croise une souris grise de la F<sub>1</sub> avec le parent récessif. Ce type de croisement peut être appelé backcross ou test-cross.

**Consigne :**

1. Etablir l'échiquier de croisement.
2. Préciser les phénotypes et les génotypes avec les proportions.
3. Définir : backcross ; test-cross.

**Activité 4 : Di hybridisme avec dominance.**

**Le croisement dihybride de Mendel**

**Son croisement:**

Croisement de 2 parents de lignée pure pour les caractères «couleur et forme de la graine».

En F1, il observe la disparition de deux caractères parentaux.

En F2, il observe la réapparition «simultanée» des caractères disparus chez 6,25% des descendants.

*Il obtient le même rapport pour tous ses croisements dihybrides (ou presque).*

**Génération P**

Graines jaunes et lisses × Graines vertes et ridées

Fécondation croisée

**Génération F1**

Toutes, jaunes et lisses

**Génération F2**

Autofécondation des plants de la F1

|            |            |            |           |
|------------|------------|------------|-----------|
| 315<br>556 | 108<br>556 | 101<br>556 | 32<br>556 |
| [JL]       | [jL]       | [Jr]       | [jr]      |

Proportion 9 : 3 : 3 : 1

Campbell (3<sup>ed.</sup>) — Figure 14.8 : 277

Mendel a croisé des pois appartenant à deux variétés pures qui diffèrent par deux caractères : l'une à graines jaunes et lisses et l'autre à graines vertes et ridées. La F1 est homogène : tous les individus sont à graine jaunes et lisses. L'autofécondation des plantes de la F1 donne la F2 qui est hétérogène (document 4).

Doc.4

**Consigne :**

1. Combien de caractères étudie-t-on la transmission ? Lesquels ?
2. Nommer le type de croisement et définir-le.
3. Que peut-on dire de la F1 ? Tirer une conclusion logique.
4. Déterminer les résultats statiques en F1 (échiquier).
5. Réaliser un backcross et préciser les résultats.

**Activité 5 : Notion de linkage.**

On réalise des croisements entre des drosophiles de race pure. Les résultats ont indiqués dans le document 5

**Croisement A**

♀ F1 [clair, longues] × ♂ P2 [noir, vestigiales]

|                            |                               |                                |                           |
|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| 38,9 % F2 [clair, longues] | 39,8 % F2 [noir, vestigiales] | 10,7 % F2 [clair, vestigiales] | 10,6 % F2 [noir, longues] |
|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|

**Croisement B**

♂ M1 × ♀ P2 [ailes vestigiales et yeux pourpres]

|                                                         |                                                               |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 50 % (mâles et femelles) [ailes longues et yeux rouges] | 50 % (mâles et femelles) [ailes vestigiales et yeux pourpres] |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|

Document 5

**Consigne :**

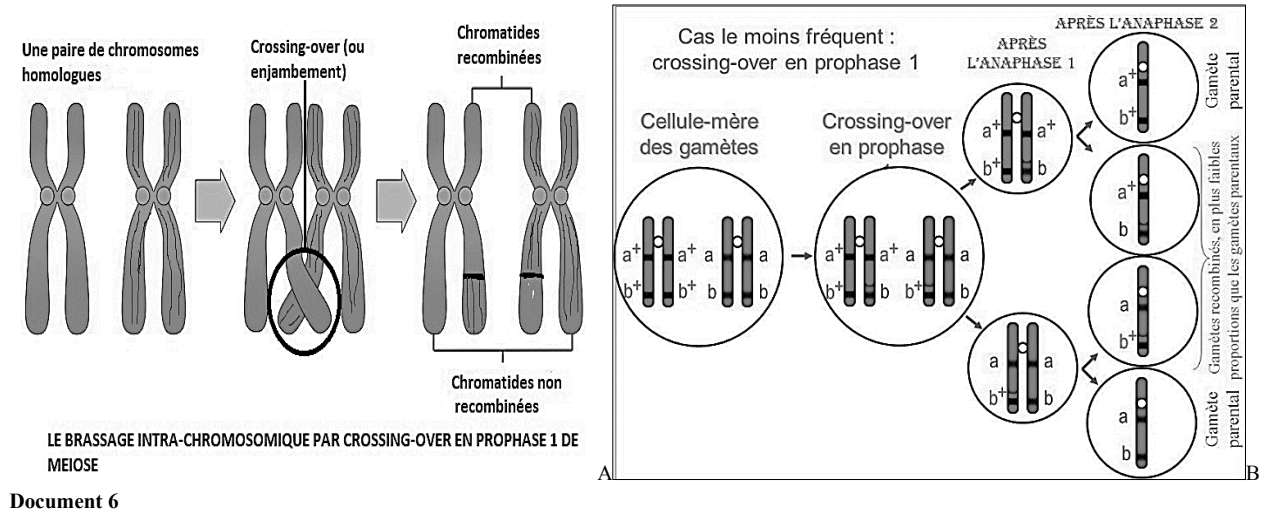
1. Quelle est la différence entre les croisements A et B ?
2. Comparer les résultats des deux croisements.
3. Calculer le pourcentage de recombinaison du croisement A et établir la carte factorielle.
4. En déduire le type de linkage dans chaque cas et caractériser les.

5. En cas de linkage qu'est ce qui fait apparaître les types recombinés ?

## B) Les brassages génétiques.

### Activité 1 : le brassage intra-chromosomique.

Le document 6 représente les mécanismes du brassage intra-chromosomique.

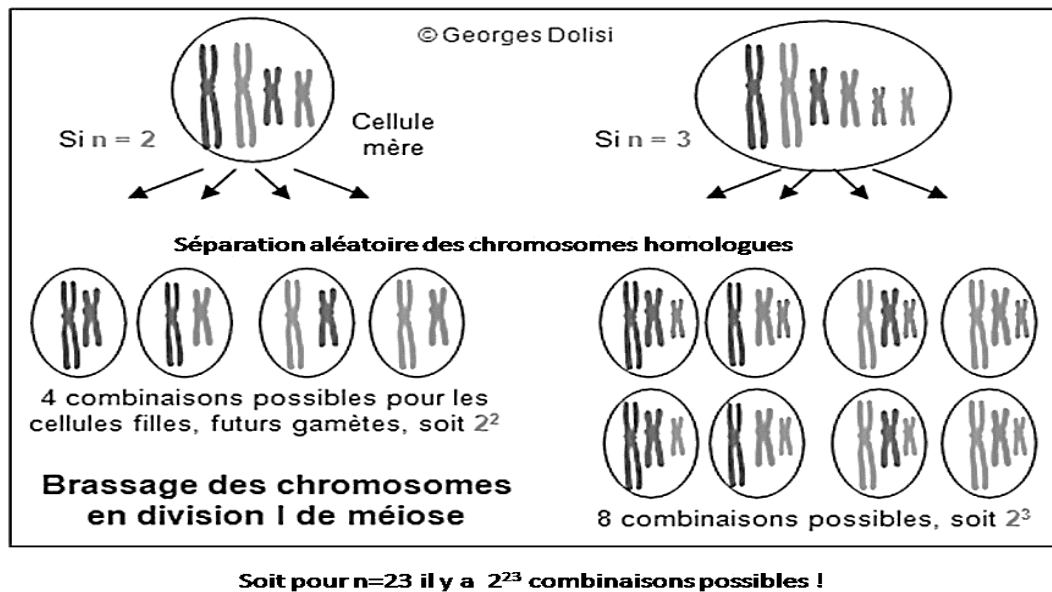


### Consigne :

1. Quel phénomène est à l'origine du brassage intra-chromosomique ?
2. A quel moment se déroule ce brassage ?
3. Comment se fait l'échange de caractères ?

### Activité 2 : Brassage intra-chromosomique.

Le document 7 représente le mécanisme de brassage inter chromosomique.



### Consigne :

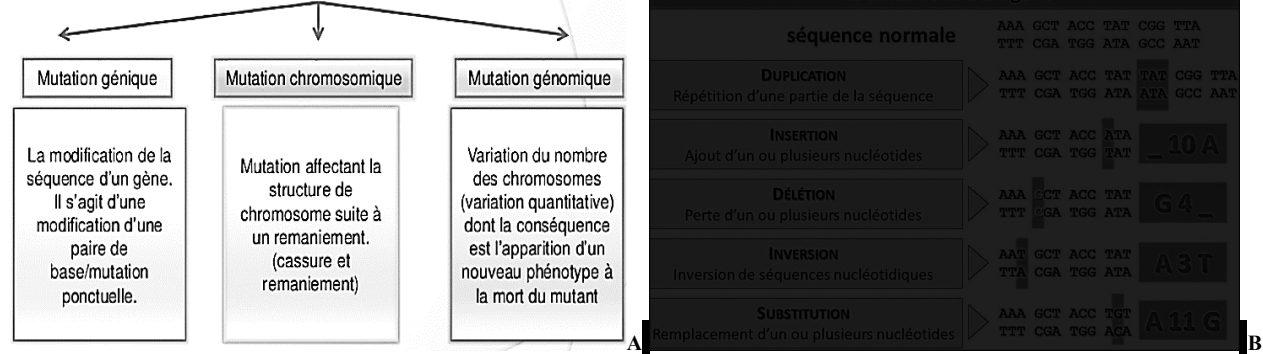
1. Quel est le phénomène responsable du brassage inter chromosomique ?
2. A quel moment se déroule ce brassage ?
3. Comment se fait les échanges de caractères dans ce brassage ?

## C) Les mutations

### Activité 1 : les types de mutation.

Les mutations sont des modifications qui surviennent au hasard. Elles résultent d'erreurs de copie lorsqu'un chromosome duplique son ADN avant la division cellulaire. Le document 8 représente les différents types de mutations.

Selon le niveau de structure atteint, on distingue 3 types de mutations:



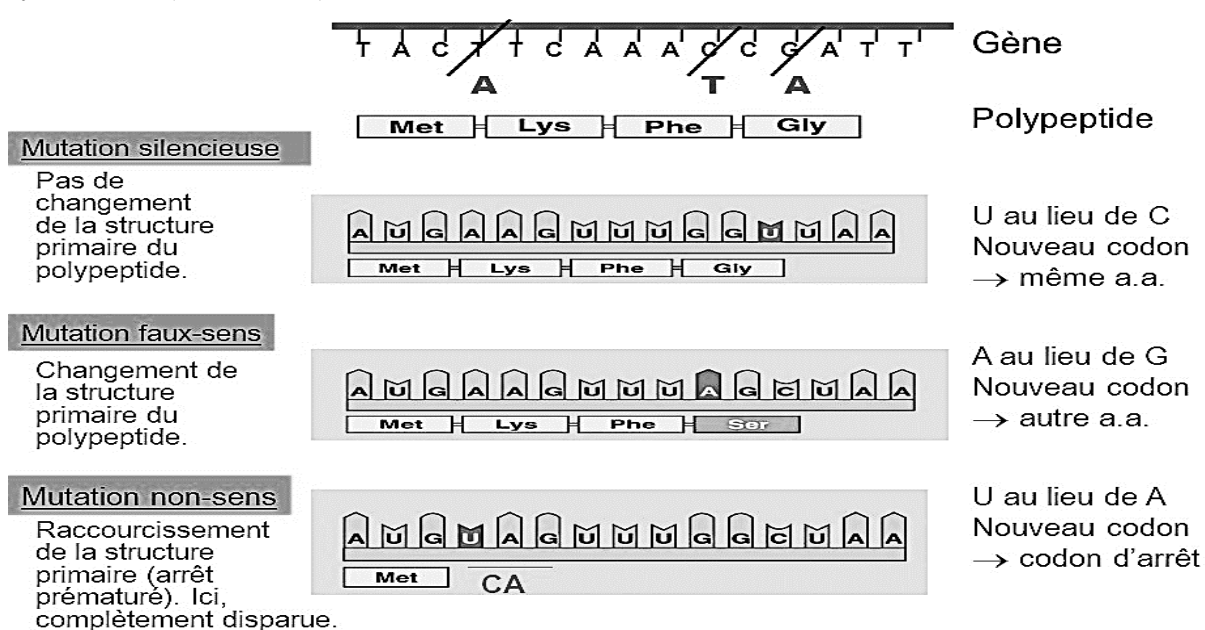
Document 8

### Consigne :

1. Quels sont les différents types de mutation ?
2. Citer et caractériser les types de mutation génique.
3. Que subit l'ADN dans une mutation génique ?

### Activité 2 : conséquences des mutations.

Les mutations peuvent être répertoriées en fonction des conséquences qu'elles induisent sur les protéines synthétisées. (Document 9).



Document 9

### Consigne :

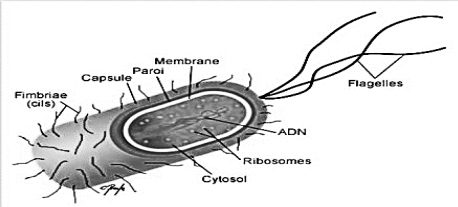
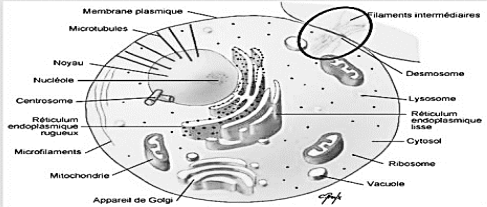
1. Classer les mutations en fonctions de leurs conséquences sur les protéines.
2. Dans quels cas ces mutations peuvent causer une modification des protéines synthétisées ?

## D) Diversité génétique et unicité des individus.

### Activité 1 : la nature du génome.

Le génome est l'ensemble des gènes présents dans les cellules d'un organisme. Chaque espèce a son génome. Le génome d'une espèce est stable et variable. La stabilité est assurée par la reproduction sexuée avec la méiose et la fécondation qui stabilisent le caryotype. La variabilité résulte des propriétés de l'ADN, molécule qui admet des changements de structure sans perdre, généralement ses fonctions. Le document 10 représente le génome chez les eucaryotes et chez les procaryotes.

#### Comparaison entre procaryote et eucaryote

|                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Cellule procaryote (bactérie)</b></p>  <p>La cellule est délimitée par une membrane, une paroi et une capsule.<br/>Le matériel génétique, est contenu dans le cytoplasme</p> | <p><b>Cellule eucaryote (animale)</b></p>  <p>Ces cellules sont délimitées par une membrane (animaux) ou paroi (végétaux) et possèdent un noyau qui contient le génome de l'individu. Elles possèdent des organites qui assurent le fonctionnement de la cellule<br/>Nota : liaison entre deux cellules = tissu</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Doc.10

#### Consigne :

1. Décrire le génome chez les eucaryotes et chez les procaryotes.
2. Qu'est ce qui assure la stabilité du génome d'une espèce ?

### Activité 2 : la diversité et l'unicité des individus.

Tout individu est hétérozygote pour un grand nombre de gène. Ce polymorphisme génétique est responsable à travers la reproduction sexuée de la naissance de génération en génération, d'individu génétiquement différent. En effet au cours de la méiose, le brassage intra-chromosomique suivi du brassage inter-chromosomique fait que chaque individu est unique. Par conséquent, chaque cellule haploïde, chaque gamète possède un génome unique. La fécondation, caractérisée par la rencontre aléatoire des gamètes, amplifie considérablement le brassage génétique dû à la méiose. Chaque organisme représente ainsi une association unique du gène de l'espèce n'ayant jamais existé et ne se reformera plus dans l'avenir. Chaque individu est unique du point de vue génotype. Cela justifie l'expression « Unicité des individus ».

Chez l'espèce humaine, chaque personne est hétérozygote pour 6 à 7% des gènes sur la base des 50000 gènes pour l'ensemble du génome humain. Il n'existe que 23 paires de chromosomes, cela signifie que chaque paire de chromosome porte de très nombreux gènes représentés par 2 allèles différents sur les chromosomes homologues. Par l'association des allèles des gènes qu'il possède, un chromosome diffère génétiquement de son homologue et diffère également de tous les autres chromosomes des individus de la même espèce.

#### Consigne :

1. Pourquoi les chromosomes homologues sont génétiquement différents ?
2. Pourquoi les enfants d'un même couple ne sont pas identiques ?
3. Expliquer l'expression : « unicité de l'individu ».

### Synthèse générale.

Du nom de Gregor Johann Mendel (1822-1884), ce prêtre autrichien passionné de botanique qui, huit ans durant, occupa ses loisirs à hybrider des petits pois et fut le premier à en tirer des lois statistiques, la génétique mendélienne a pour but d'étudier la transmission des caractères héréditaires de génération en génération.

Par convention, la génération initiale ou génération parentale est dénommée P, les générations suivantes ou générations filiales désignées F1, F2, F3... selon leur ordre d'apparition.

#### 1. Le mono hybridisme.

C'est le croisement entre deux individus différents par un seul caractère. En croisant deux lignées pures ne différant que par un seul caractère (par exemple des pois à graines jaunes et des pois à graines vertes), un des deux caractères disparaît à la génération suivante (première génération filiale ou F1).

On peut en déduire que le caractère présent en F1 est dominant alors que le caractère absent est récessif.

C'est la **première loi de Mendel** ou **loi d'uniformité** : tous les hybrides de première génération issus du croisement de deux lignées pures se ressemblent et présentent le caractère de l'un des parents et de lui seul. Ainsi, si des pois homozygotes à graines jaunes (lignée pure) sont croisés avec des pois homozygotes à graines vertes (autre lignée pure), en F1 tous les pois seront à graine jaune. Le caractère « graine jaune » est donc dominant et le caractère « graine verte » récessif. Ce qui en termes de génotype et de phénotype peut s'énoncer de la manière suivante, en utilisant l'allèle J pour jaune dominant et l'allèle v pour vert récessif.

Chaque parent étant homozygote (J/J ou v/v), il ne peut en effet former qu'un seul type de gamète : l'un porteur de l'allèle J, l'autre porteur de l'allèle v. La fécondation réunira donc obligatoirement les deux allèles J et v mais J étant dominant, il sera le seul à s'exprimer. Par conséquent tous les hybrides de première génération seront de phénotype « graine jaune ».

En croisant ensuite les hybrides de première génération (F1) entre eux, on aboutit alors aux résultats suivants. Cette fois, les deux caractères parentaux réapparaissent mais dans un rapport 3/1 : 75% des hybrides de deuxième génération présentent le caractère dominant et 25% le caractère récessif.

C'est la **deuxième loi de Mendel** ou **loi de ségrégation** : tous les hybrides de deuxième génération issus du croisement de deux hétérozygotes pour un même couple d'allèles ne se ressemblent pas et présentent l'un ou l'autre des caractères de la génération parentale.

#### 2. Di hybridisme

Les phénomènes décrits jusqu'à présent ne concernaient que des lignées parentales pures se distinguant par un seul caractère. Voyant maintenant ce qu'il en est lorsqu'elles diffèrent par deux caractères distincts et reprenons les expériences de Mendel effectuées à partir de pois à graines jaunes / ridées et de pois à graines vertes / lisses. Comme précédemment, il s'agit bien sûr de lignées homozygotes de sorte que le croisement de pois à graines jaunes / ridées entre eux ne donne que des pois à graines jaunes / ridées et il en est de même pour les pois à graines vertes / lisses. En revanche, si l'on croise les deux variétés entre eux, tous les pois de F1 présentent le même phénotype (graines jaunes et lisses) et aucun pois à graines vertes / ridées n'apparaît. On peut donc en conclure une nouvelle fois que les caractères « graine jaune » et « graine lisse » sont dominants alors que les caractères « graine verte » et « graine ridée » sont récessifs. Ce qui en termes de génotype et de

phénotype peut s'énoncer de la manière suivante en utilisant l'allèle J pour jaune dominant, l'allèle L pour lisse dominant, l'allèle v pour vert récessif et l'allèle r pour ridé récessif.

Mendel croise alors les hybrides obtenus en F1 entre eux et observe que les quatre caractères parentaux réapparaissent en F2 mais dans un rapport 9/3/3/1. 9/16 des pois sont à graines jaunes et lisses (J ; L), 3/16 à graines jaunes et ridées (J ; r), 3/16 à graines vertes et lisses (v ; L) et 1/16 à graines vertes et ridées (v ; r). Les deux lois d'uniformité et de ségrégation sont donc à nouveau vérifiées : tous les hybrides de première génération se ressemblent mais pas ceux de deuxième génération. Et n'importe quelle combinaison de caractères aboutirait à des proportions identiques : 3/4-1/4 en cas de mono hybridisme, 9/16-3/16-3/16-1/16 en cas de di hybridisme.

### **3. Cas du linkage (liaison entre les gènes)**

Dans le croisement de l'expérience, la F1 donne des drosophiles aux ailes longues et aux yeux rouges (uniformité des hybrides de la 1ère génération). Ailes longues et yeux rouges sont dominants et ailes vestigiales et les yeux bruns sont récessifs. La F2 donne  $\frac{3}{4}$  [L R] et  $\frac{1}{4}$  [v b].

Ce résultat nous montre que le croisement de di hybridisme donne des résultats de mono-hybridisme. On suppose qu'une liaison nommée linkage unit les gènes v et b et une autre unit les gènes L et R. Une telle liaison s'explique d'elle-même, si on admet que les gènes liés sont portés par un même chromosome, ils se déplacent ensemble. On dit qu'il n'y a pas eu de disjonction des caractères.

### **4. Les mutations :**

La mutation est un changement dans la séquence des nucléotides de l'ADN. Elle est provoquée par des agents mutagènes, c'est-à-dire des facteurs susceptibles d'augmenter la fréquence des mutations. Il s'agit des agents physiques (radiations ionisantes), des radiations chimiques (acide nitreux). La conséquence de l'action de ses agents est une modification structurale de l'ADN. La mutation ponctuelle : est toute modification n'affectant qu'une seule paire de nucléotide d'une séquence d'ADN. Cependant, il arrive parfois que la modification soit plus étendue, ce qui entraîne d'important remaniement du segment d'ADN. Les mutations ponctuelles sont de plusieurs types affectant la molécule d'ADN :

Substitution : Un nucléotide est remplacé par un autre.

Délétion : Elle est la perte d'un nucléotide de la séquence d'ADN.

Addition ou insertion : Un nucléotide s'insère entre 2 nucléotides de la séquence.

Lorsqu'une mutation entraîne une modification de la séquence des acides aminés d'une protéine, elle est dite efficace. Seules les mutations germinales sont transmissibles à la descendance. Les mutations somatiques se transmettent d'une cellule à une autre cellule sur le même organisme mais ne sont pas héréditaire.

### **5. Nature du génome :**

Le génome est l'ensemble de tout le matériel génétique d'un être vivant. Les individus d'une même espèce ont le même génome. Celui-ci est caractérisé par le nombre des chromosomes, leurs structures, l'emplacement de tous les gènes nécessaires à l'édification et au fonctionnement de l'organisme.

### **6. Diversité et l'unicité de l'individu**

Tout individu est hétérozygote pour un grand nombre de gène. Ce polymorphisme génétique est responsable à travers la reproduction sexuée de la naissance de génération en génération, d'individu génétiquement différent. En effet au cours de la méiose, le brassage intra-chromosomique suivi du brassage inter-chromosomique fait que chaque individu est unique. Par conséquent, chaque cellule haploïde, chaque gamète possède un génome unique. La fécondation, caractérisée par la rencontre aléatoire des gamètes, amplifie considérablement le brassage génétique dû à la méiose. Chaque

organisme représente ainsi une association unique du gène de l'espèce n'ayant jamais existé et ne se reformera plus dans l'avenir. Chaque individu est unique du point de vue génotype. Cela justifie l'expression « Unicité des individus ».

### Sous-concept 3 : Diversité génétique d'une population

#### Pré-évaluation :

Qu'est-ce qu'une population ?

Que signifie polymorphisme ?

#### Situation problème :

Les populations naturelles sont composées d'organismes génétiquement différents pour un grand nombre de gènes. Les différences génétiques entre individus, autrement dit le polymorphisme génétique des populations, sont alors conçues comme un patrimoine, un capital adaptatif, un gage de survie de l'espèce aux variations de l'environnement selon le principe darwinien de la « survie du plus apte » ; ce qui suppose évidemment l'existence préalable de telles différences génétiques entre individus. La génétique des populations se propose d'abord d'évaluer l'importance de cette diversité génétique.

Comment se manifeste la diversité génétique au sein d'une population ?

Comment la diversité génétique évolue d'une population à l'autre ?

#### Activité 1 : Polymorphisme au sein d'une population.

On croise deux lignées pures de drosophiles différentes par deux caractères. (Document 1).

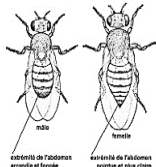
➔ Le matériel de Morgan : des drosophiles  
«*Drosophila melanogaster*»  
Pourquoi des drosophiles ?

- Peu nuisible ; se nourrit des champignons qui se développent sur les fruits.
- Prolifique ; des centaines d'individus aux 15 jours.
- Peu de chromosomes ce qui fait moins de matériel à étudier (8).
- On peut facilement reconnaître les sexes.
- Chromosomes géants visibles au microscope optique : on peut suivre leur mouvement ainsi que celui des gènes qu'ils portent au microscope.

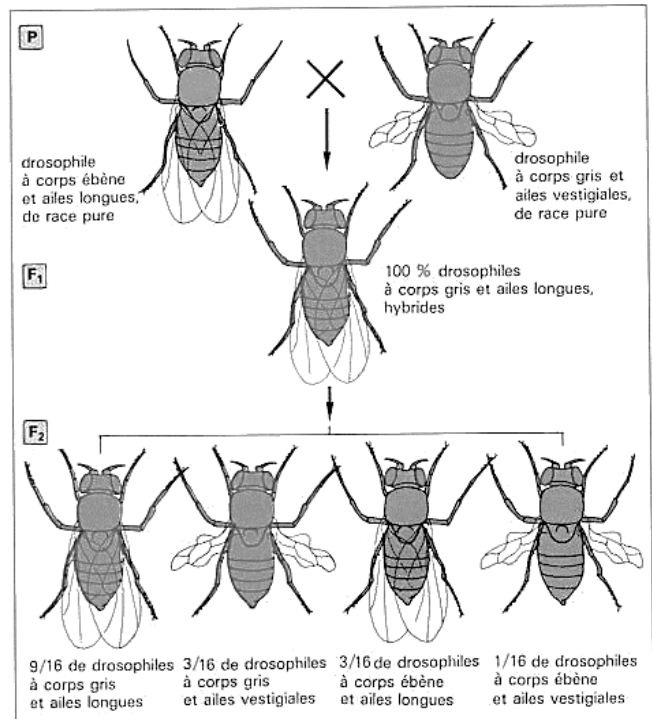


#### Source

La détermination du sexe ressemble à celle des humains : (3) paires autosomes + (1) paire hétérosome XX ou XY



#### Source



Document 1

#### Consigne :

1. Cette expérience s'intéresse à combien de générations ?
2. Les parents diffèrent par combien de caractères ?
3. Quels sont les génotypes et les phénotypes des parents et de la F1.
4. Comparer la F1 et la F2 et tirer une conclusion.
5. Pourquoi dit-on que la F2 est polymorphe ?

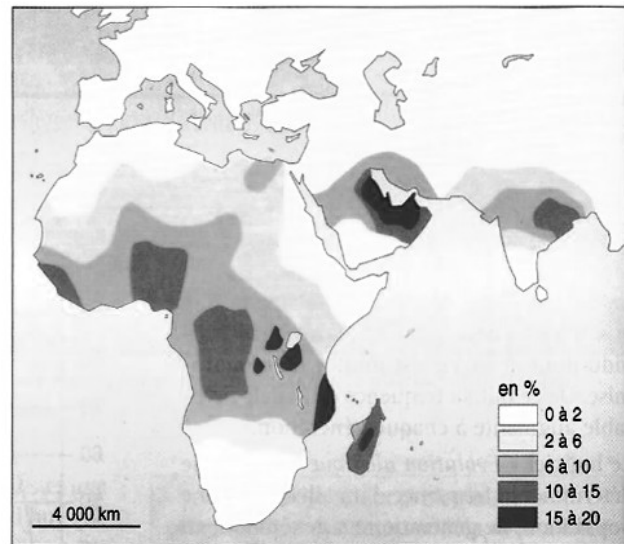
## Activité 2 : Influence de la sélection naturelle sur la variation des fréquences alléliques.

La diversité entre individus d'une espèce ou d'une population peut provenir de leur diversité génétique mais aussi de la diversité des milieux au sein desquels s'expriment les gènes. Pour tout gène, la diversité génétique d'une population est appréhendée par sa composition génétique. Celle-ci est, définie à trois niveaux, celui des phénotypes, avec les fréquences phénotypiques, celui des génotypes, avec les fréquences génotypiques, celui des allèles du gène, avec les fréquences alléliques. La proportion d'un allèle peut varier au sein d'une population et dans les populations dérivantes. Le document 2 représente la distribution de la drépanocytose et du paludisme.

- La **drépanocytose** est une maladie génétique récessive. L'allèle à l'origine de cette maladie est l'allèle  $\beta_s$  du gène codant pour la chaîne  $\beta$  de l'hémoglobine. La maladie se traduit par une déformation des globules rouges en faucille accompagnée d'une anémie\* sévère. Diverses infections et des occlusions vasculaires sont les complications les plus fréquentes : l'espérance de vie des malades est diminuée (beaucoup meurent jeunes).

Les personnes hétérozygotes ( $\beta_s/\beta_A$ ) produisent à la fois de l'hémoglobine S et de l'hémoglobine A (normale), mais ne sont pas malades.

- Dans certains pays, la fréquence de l'allèle  $\beta_s$  dépasse 15 %, la proportion d'hétérozygotes pouvant représenter plus de 25 % de la population (et même jusqu'à 40 % dans certaines régions d'Afrique).

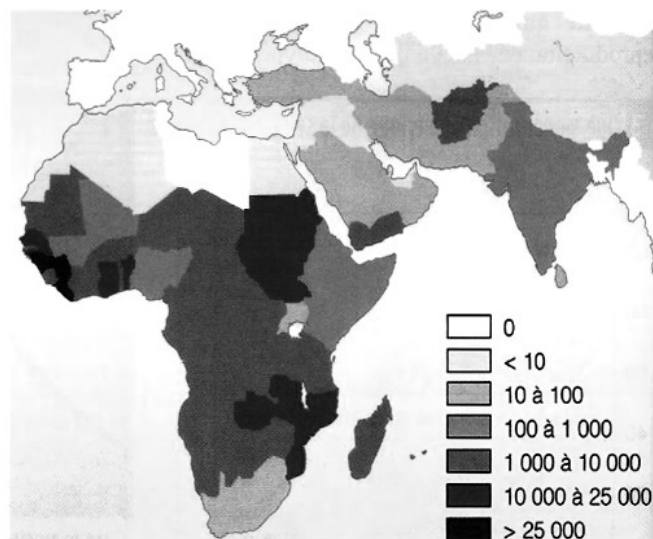
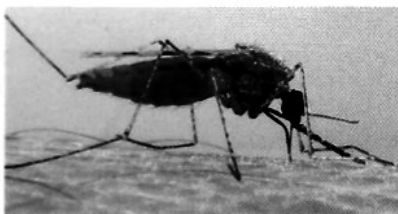


Fréquence de l'allèle  $\beta_s$ .

A

Le **paludisme** est une maladie due à un parasite intracellulaire (le *Plasmodium*) qui se développe dans les globules rouges du sang. Ce parasite unicellulaire accomplit une partie de son cycle de vie dans certaines espèces de moustiques (les anophèles) qui vivent dans les régions intertropicales, chaudes et humides. C'est par une piqûre d'anophèle que le parasite peut être introduit dans le sang humain.

Le paludisme est l'un des principaux fléaux mondiaux, tuant chaque année entre 1,5 et 2,5 millions de personnes, dont un million d'enfants de moins de 5 ans.



Nombre de cas de paludisme pour 100 000 habitants (source : OMS).

B

Document 2

### Consigne ;

1. Comparer la carte de distribution de la drépanocytose à celle du paludisme ?
2. Quel est le continent le plus touché ?
3. Expliquer pourquoi la présence de l'allèle HbS est un avantage dans les régions où sévit le paludisme.

**Activité 3 : Influence des migrations sur la variation des fréquences alléliques.**

Les Hommes sont maintenant sous toutes les latitudes, sous tous les climats. Ils ont conquis aussi bien les régions humides et tropicales que les régions arides sèches ou même les régions polaires. Partout dans le monde, il s'est adapté aux rayonnements solaires et au climat. La couleur de la peau est l'un des éléments le plus visible de cette adaptation. La distinction entre trois grands groupes humains caractérisés principalement par des différences de pigmentation (« races » noire, jaune et blanche) est ancienne. Aucune de ces populations n'est strictement endogame et les échanges génétiques entre populations voisines ont généré de tout temps un véritable continuum. C'est pourquoi le terme de race n'est pas vraiment approprié à la situation génétique des populations humaines.

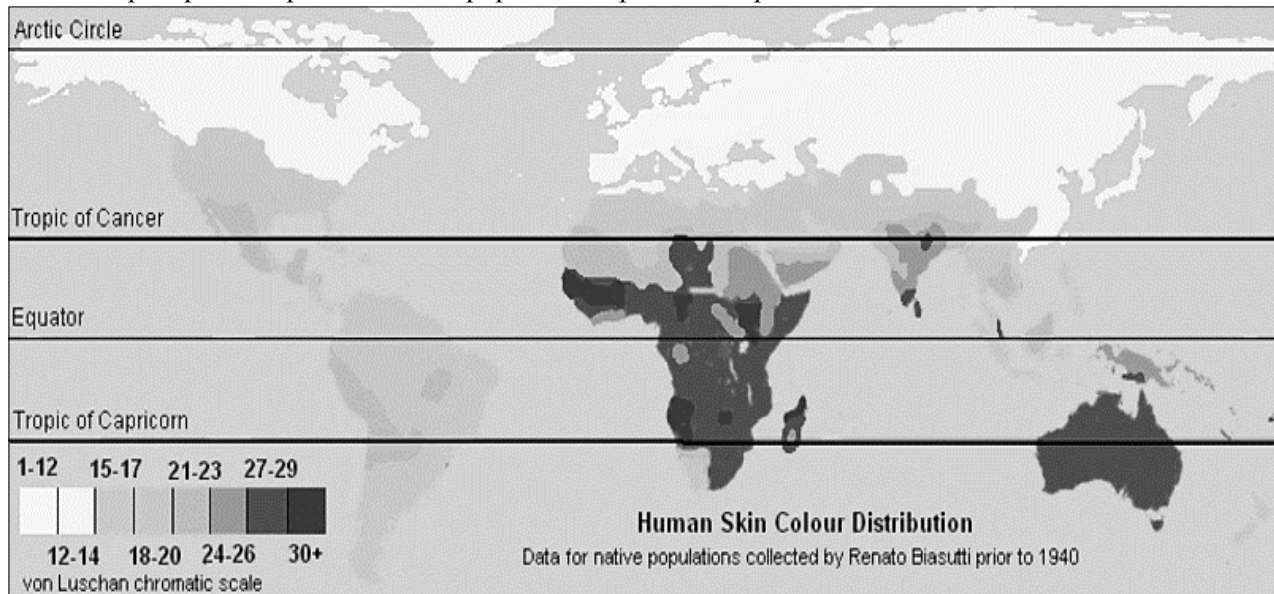
En effet, plus le rayonnement UV est élevé, plus la couleur de la peau de l'Homme est foncée et vice versa. Ainsi un africain a la peau plus ou moins foncée, un irlandais a une peau très claire, un européen du Sud est entre les deux, etc. (Document 3).

On peut distinguer :

Une zone centrale (tropicale) très fortement exposée aux rayonnements UV avec une population à la peau très foncée.

Une zone intermédiaire où les populations ont la peau de plus en plus claire et le plus fort potentiel pour s'assombrir (bronzer) et s'éclaircir suivant les saisons.

Une zone plus près des pôles avec une population à peau claire pour recevoir le maximum de soleil.



Document 3

**Consigne :**

1. Etablir une relation entre la latitude et la variation de la couleur de la peau.
2. Qu'est ce qui est à l'origine de la variation de la couleur de la peau ?
3. Expliquer l'influence des migrations sur la variation des fréquences alléliques.

### **Synthèse générale :**

Tous les individus appartenant à une même espèce possèdent le même nombre de chromosomes et les mêmes gènes, occupant la même position le long de l'ADN. Au cours de l'évolution, des mutations peuvent conduire à l'apparition de différentes versions des gènes : les allèles. Différents brassages au cours de la reproduction sexuée expliquent que chaque individu (hormis les jumeaux vrais) soit génétiquement unique.

#### **1. Diversité génétique au sein d'une population.**

Chez les individus à reproduction sexuée, le brassage génétique qui a lieu pendant la formation de gamètes et la fécondation aboutissent à la diversité génétique au sein des populations. Par conséquent le brassage génétique a pour finalité l'unicité génétique de l'individu.

La présence dans une population à reproduction sexuée, d'individus génétiquement identiques (vrai jumeaux) en est une exception. La variation de phénotype au sein d'une population ou la présence, au sein d'une population, de phénotypes différents est déterminée par la diversité génétique.

Le polymorphisme existe au niveau morphologique et biochimique. Les différents phénotypes sont dus à l'existence d'enzymes différents codés par des allèles différents de la même gène.

#### **2. Influence de la sélection naturelle sur la variation de la fréquence allélique :**

La fréquence allélique ou la proportion d'un allèle dans une population est le rapport du nombre de de cet allèle, sur le nombre d'allèles de l'ensemble des individus de la population pour le gène considéré.

La sélection naturelle est l'avantage pris par certains génotype par diminution relative de la fécondité et ou de l'espérance de vie d'autres génotypes de la population sous l'influence des facteurs du milieu.

#### **3. Influence des migrations sur la variation de fréquence allélique :**

La migration entre population distincte crée un transfert plus ou moins important de gènes entre elles, ce qui modifie les fréquences alléliques et amoindri les différences allélique entre les pools de gènes.

En d'autres termes, on assiste à un mélange de pools de gènes qui a tendance à provoquer ou à entraîner leurs uniformisations. Cette uniformisation est d'autant plus importantes que les populations sont proches géographiquement.

Les migrations peuvent aussi être à l'origine de la création de nouvelles populations. En effet lors de la formation d'une nouvelle population par un petit nombre d'individus constituant la population fondatrice, la totalité des allèles se trouvant dans la population de départ n'est pas présente entièrement dans la population fondatrice. Il y a donc perte de polymorphisme, c'est l'effet fondateur où effet de fondation.

L'histoire de l'humanité nous révèle que des groupes d'individu, pour des raisons diverses (famines, conflits, catastrophe etc...) avaient été amenés à se séparer des populations plus vaste auquel elles appartenaient.

Ceci a marqué l'influence de ces migrations sur la formation génétique de la population. On considère une population de départ ou population mère noté P1, un petit groupe d'individus se sépare de cette population, migre vers un territoire isolé de cellule de P1 et forme une nouvelle population P2.

Le plus petit groupe est appelé groupe fondateur ou population fondatrice. Les allèles présents dans ce groupe, représentent ceux de la population P1. C'est-à-dire à partir du pool génétique de la population P1, deux populations filles P3 et P4 sont créés. A chaque génération, un échantillon d'allèle est transmis au hasard parmi la variation infinie des combinaisons possibles. Cette sélection des allèles au hasard d'une génération à la suivante est appelé « dérive génétique ».

Elle peut être encore définie comme une variation de la fréquence allélique et génotypique d'une génération à la suivante a une petite population. La dérive génétique et l'effet fondateur ne sont importants que si les populations séparées demeurent isolées les unes des autres.

## Sous-concept 4 : Quelques aspects de la génétique humaine.

### Pré-évaluation

Qu'est-ce qu'un arbre généalogique ?

Quelle est son importance ?

### Situation problème :

Le très grand nombre de maladies héréditaires d'une part, la grande rareté de la plupart d'entre elles d'autre part, rendent impossible leur recherche systématique dans l'ensemble d'une population. En revanche, il est possible d'identifier des « familles à risque » qui peuvent alors bénéficier d'une recherche « cible ».

Les techniques modernes du génie génétique ont rendu possible le diagnostic prénatal des anomalies du caryotype ainsi que celui de certaines maladies héréditaires.

Quels sont les modes de transmission des maladies héréditaires ?

Comment réalise-t-on des tests diagnostic ?

### A. Les mécanismes de transmission des gènes.

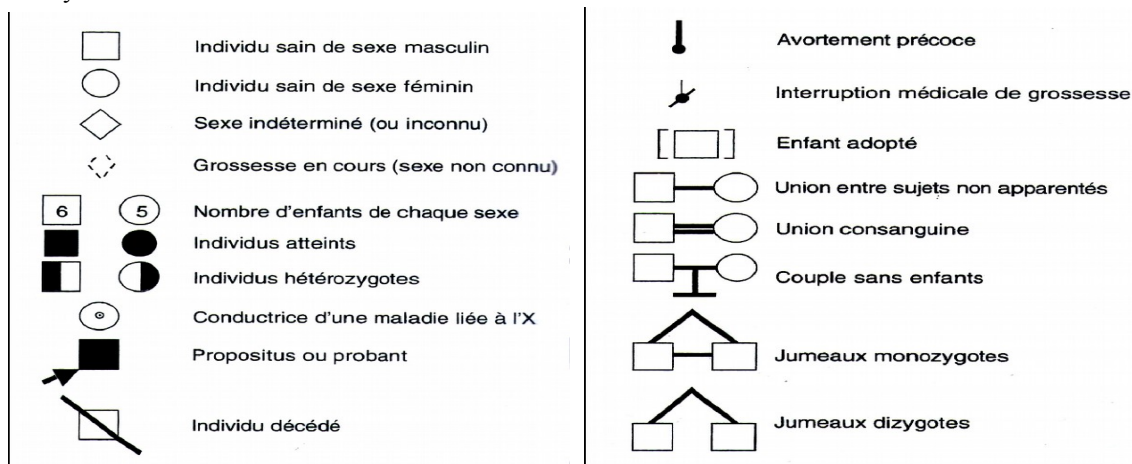
#### Activité 1 : Notion d'arbre généalogique.

La généalogie ou pedigree est l'histoire génétique d'une famille, et le premier membre de la famille qui attire l'attention sur une maladie génétique est appelé : Propositus, Proband, Indicateur ou cas index. L'établissement d'un arbre généalogique de maladie génétique ou à hérédité mendélienne est fondé sur la généalogie de la famille qui vient consulter. Lorsqu'il s'agit de cas familiaux, l'arbre généalogique permettra de définir le mode de transmission de la maladie. En généalogie humaine, les observations peuvent être retracées sur un seul schéma portant différents symboles (Doc. 1).

Chaque génération occupe une ligne horizontale. Les générations successives sont indiquées par les chiffres romains de I à IV ou V, en allant de haut en bas. La génération I représente les ancêtres les plus anciens.

A l'intérieur d'une génération Les individus sont numérotés en continu par des chiffres arabes en commençant par la gauche. Chaque individu est ainsi désigné par la combinaison du numéro de génération et de son propre numéro à l'intérieur de sa génération. Le Propositus est fléché.

L'établissement de l'arbre généalogique utilise les informations obtenues sur le Propositus et sa famille. Ces informations sont : Identité du Propositus, âge, sexe, état de santé, Les parents directs : fratrie, père, mère, Fratrie des grand- père et grand-mère paternels ; Fratrie des grand- père et grand-mère maternels ; Renseignements sur la descendance éventuelle de l'intéressé ; Déroulement de la grossesse concernant le Propositus ; Avortement et mort-nés ayant eu lieu chez la mère.



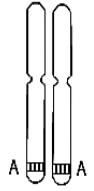
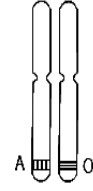
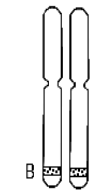
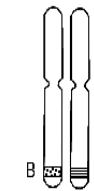
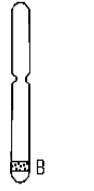
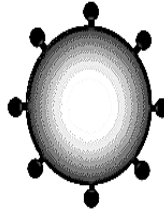
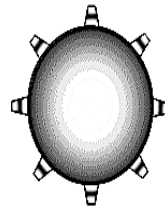
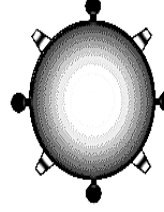
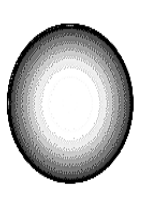
Doc.1

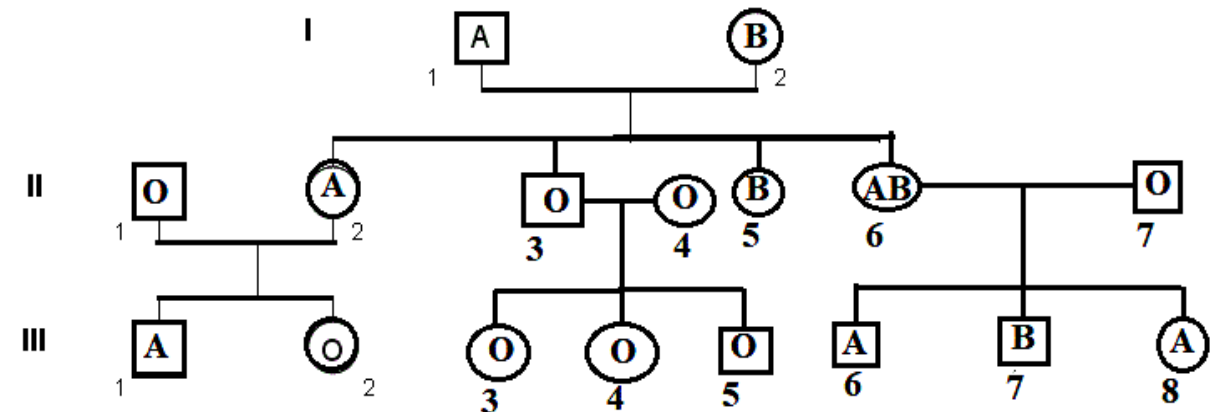
### Consigne : à partir du texte et du document 1 :

Définir un arbre généalogique (ou pédigree) et donner son importance.

**Activité 2 : La transmission par les autosomes : exemple du système ABO.**

Le groupe sanguin est un phénotype d'individus humains correspondant à la présence de différents types de glycoprotéines marqueurs localisés sur la membrane des hématies (agglutinogènes). Dans la vingtaine de principaux groupes sanguins existant, nous allons nous intéresser à celui du système ABO. Dans ce système, il y a 3 allèles A, B et O, correspondant à un gène. Dans une population le brassage entre ces 3 allèles permet d'obtenir 4 phénotypes : [A], [B], [AB] et [O] (Doc.2A). Le document 2B représente la transmission du groupe sanguin dans une famille.

|                                                         |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                    |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| paire de chromosome n°9 et allèles codant le groupe ABO |  |  |   |    |    |  |
| hématies et molécules membranaires marqueuses           |  |  |  |  |  |                                                                                    |
| groupe sanguin de l'individu                            | A                                                                                 | B                                                                                 | AB                                                                                 | O                                                                                   |                                                                                     |                                                                                    |



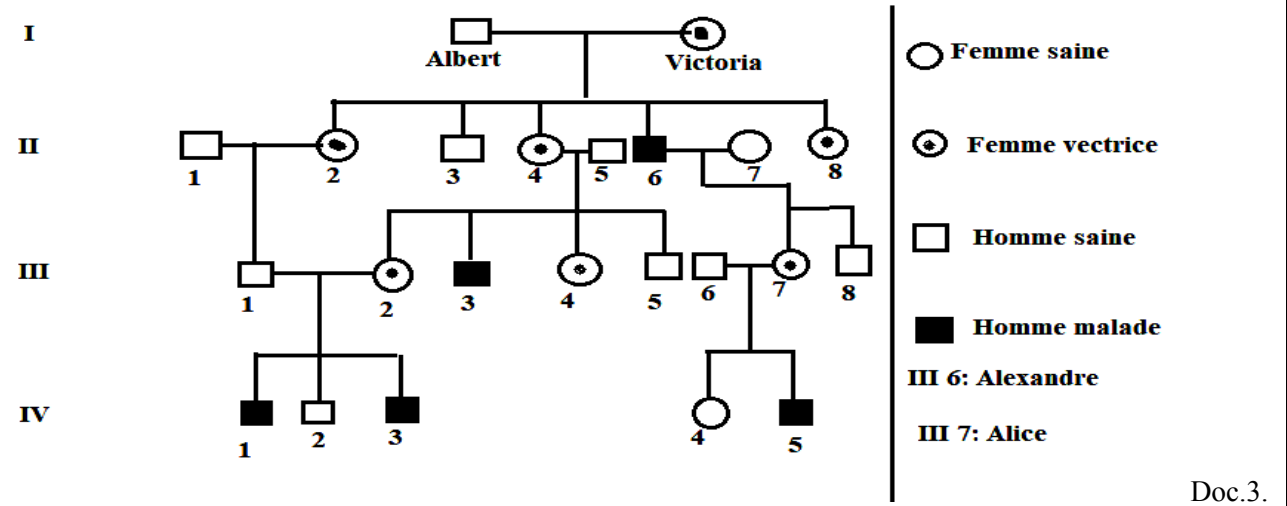
Document 2

**Consigne : à partir du texte et du document 2 :**

1. Préciser quel chromosome porte le gène du système ABO.
2. Déterminer les allèles dominants, récessifs et Co dominants.
3. Déterminer les génotypes des individus I1, I2, II2, II5, II6, III1, III3, III5, III7 et III8.
4. Préciser les résultats statistiques des descendants directs du couple I1 et I2.
5. Préciser la probabilité pour que le couple II1 et II2 ait un enfant de groupe O.
6. Quels sont les caractéristiques de la transmission autosomale ?

**Activité 3 : La transmission par les gonosomes : exemple de l'hémophilie.**

L'hémophilie est une maladie héréditaire qui se traduit par un trouble de coagulation du sang. Il est déterminé par un allèle récessif porté par un chromosome X et se manifeste par des hémorragies qui s'arrêtent difficilement. Le document 3 représente la transmission de l'hémophilie dans la famille de la reine Victoria.



**Consigne : à partir du document 3 :**

1. Préciser le sexe touché par la maladie.
2. L'allèle responsable de la maladie est-il dominant ou récessif ? Justifier.
3. Expliquer que l'allèle responsable de la maladie est porté par un gonosome.
4. Trouver la probabilité pour que l'enfant d'Alice et d'Alexandre soit hémophile.
5. Caractériser la transmission gonosomale.

**B. Applications et implications des connaissances en génétique humaine.**

**Activité 3 : Identification de caryotype d'un individu atteint d'une maladie chromosomique.**

On admet qu'une anomalie chromosomique (plus ou moins importante) s'observe chez environ 1% des nouveau-nés vivants. Parmi ces anomalies, on peut citer : le **syndrome de Down** (doc. 3C et 3D) ;

**Le syndrome de Klinefelter** (doc.3B) : qui affecte les Hommes et se manifeste par : atrophie des testicules (stérilité), retard mental parfois un développement anormal des seins.

**Le syndrome de Turner** : chez les femmes (un seul chromosome X), qui se manifeste par : une petite taille (1,5m), faible développement des caractères sexuels secondaires, atrophie des ovaires (stérilité).

Le document 3 représente trois caryotypes humains et le document 4 explique l'obtention d'aberration chromosomique.

**FEMME**

**HOMME**

**A**

**B**

**Trisomie 21 ou syndrome de Down**

© AboutKidsHealth.ca

**Trisomie 21 ou syndrome de Down**

petite stature  
brachycéphalie(c'est à-dire une tête large et courte)  
cou court  
fentes mongoloïdes des yeux  
nez plat petites oreilles présentant de curieux replis  
palais étroit mains courtes

**Document.3**

**Parents**

**Gamètes**

**Fécondation**

**Enfant trisomique**

**Parents**

**Gamètes**

**Fécondation**

**Enfant**

a: XXX b: X c: XXY d: Y

**Document 4**

**Consigne : à partir du texte et des documents 3 et 4 :**

1. Comparer les caryotypes A, B et C.
2. Préciser les caryotypes anormaux et leurs conséquences.
3. Expliquer l'obtention de caryotypes anormaux.

#### Activité 4 : Diagnostic prénatal.

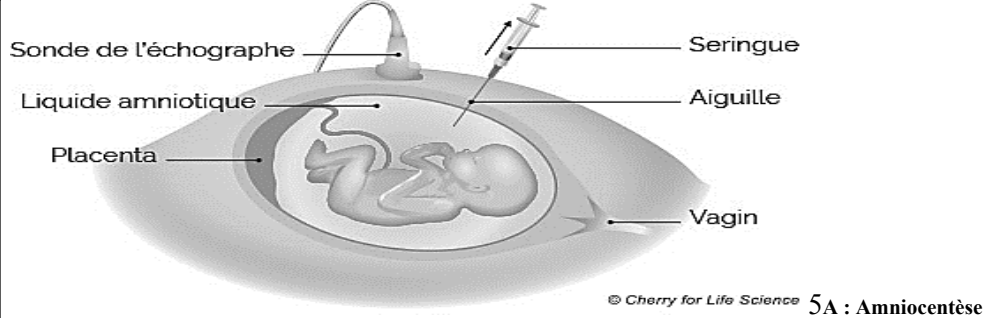
La recherche d'anomalie chromosomique représente la grande majorité des demandes d'examen prénatal en vue d'un diagnostic (90 à 95%).

La réalisation du caryotype d'un fœtus exige que l'on dispose de cellules fœtales. Celles-ci sont obtenues :

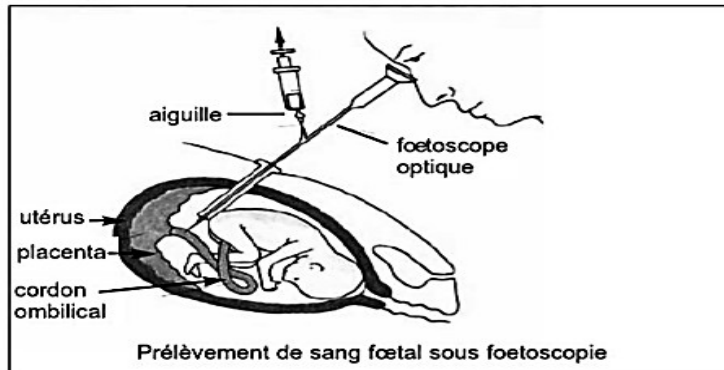
Soit par prélèvement de liquide amniotique (ou **amniocentèse**) vers la 15<sup>ème</sup> semaine de grossesse, ce liquide contenant en suspension des cellules fœtales détachées de la peau ou des muqueuses. Cette technique est la plus fréquemment utilisée car elle présente moins de risques de déclencher un avortement. (Doc.5A)

Soit par prélèvement de sang fœtal ou **cordocentèse** (Doc.5B).

Soit par prélèvement de villosités chorales ou **choriocentèse** dès la 8<sup>ème</sup> semaine de grossesse. Cette technique présente un intérêt évident car elle permet un diagnostic précoce. (Doc.5C).



**b- Le prélèvement du sang fœtal :**

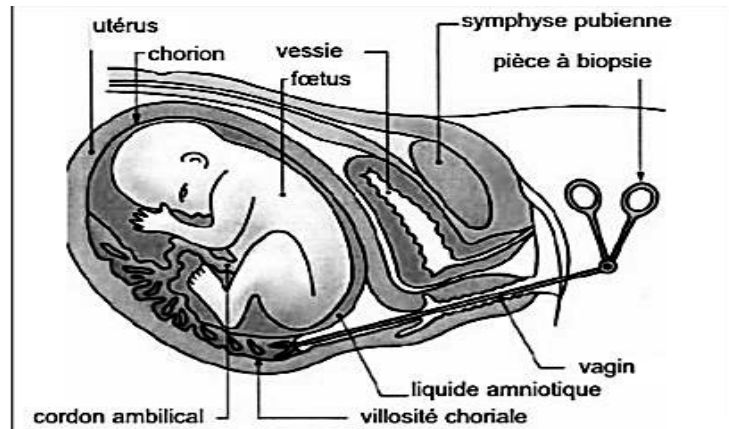


Il a lieu dans le cordon ombilical sous guidage échographique, vers 18 à 20 semaines de grossesse.

B

**c- Le prélèvement des villosités chorales**

Il consiste à prélever des cellules fœtales à un stade encore plus précoce de la grossesse (de la huitième à la dixième semaine) au moyen d'un cathéter d'aspiration ou d'une pince qu'on introduit dans le col de l'utérus.



C

Document 5 : Diagnostic prénatal

**Consigne : à partir du texte et du document 5 :**

1. Citer et expliquer brièvement les techniques de diagnostic prénatal.
2. Expliquer comment ces techniques permettent de diagnostiquer des anomalies chromosomiques.
3. Quel est l'importance du diagnostic prénatal.

**Synthèse générale :**

**1. Hérité non lié au sexe ou autosomale : Le système ABO :**

Le système sanguin ABO est gouverné par trois allèles d'un même gène (A, B et O). Le locus de ce gène se situe sur la paire de chromosomes numéro 9. Le chromosome n°9 n'est pas un chromosome sexuel mais un autosome. Un individu ne possède que deux des trois allèles mentionnés plus haut sur les 2 chromosomes homologues. C'est 3 allèles donne 4 phénotypes : A, B, AB, O. Les allèles A et B sont codominant.

Un Agglutinogène est une glycoprotéine enchâssée dans la membrane des hématies, il définit le groupe sanguin. Il existe 2 sortes d'agglutinogène A, B et 2 sortes d'agglutinine qui sont anti-A et anti-B. Un même sang ne peut continuer à la fois l'agglutinogène et l'agglutinine correspondant. Il existe 4 types de groupe sanguin : A, B, AB, O.

**2. La transmission par les gonosomes : cas de l'hémophilie.**

Les allèles liés à un chromosome sexuel sont plus fréquents dans un sexe et rare dans l'autre sexe. Une représentation des chromosomes sexuels permet de noter une différence entre les chromosomes X et Y. ils possèdent une portion homologue. La transmission des gènes situés sur cette portion est autosomale. Les gènes situés sur la portion propres au chromosome Y sont transmis uniquement aux garçons et ceux situés sur la portion propre au chromosome X comme celui qui gouverne l'hémophilie sont transmis aux filles et aux garçons.

L'hémophilie est une maladie héréditaire déterminée par un allèle récessif porté par un chromosome X. la maladie se manifeste par un trouble de coagulation du sang. Le malade est incapable de synthétiser une des molécules indispensable à la coagulation du sang et normalement présent dans le plasma. Le traitement consiste à transmettre régulièrement ce facteur plasmatique pour diminuer le risque d'hémorragie.

Le gène de l'hémophile h est récessif. Ainsi on note :

Homme normal  $X_H Y$ , Homme hémophile  $X_h Y$

Femme normal  $X_H X_H$  ; Femme vectrice  $X_H X_h$

Femme hémophile  $X_h X_h$  n'existe pas car les œufs donnent des embryons non viables.

**3. Applications et implications des connaissances en génétique humaine.**

Une aberration chromosomique est une anomalie due à l'absence d'un fragment de chromosome ; l'absence d'un ou plusieurs chromosomes, ou à la présence d'un ou plusieurs chromosomes supplémentaires.

La probabilité pour que l'enfant d'un couple soit atteint d'une maladie héréditaire dépend de la nature de la maladie (hérité autosomale ; gonosomale ; dominant ou récessive) et du degré de parenté des conjoints.

Pour déceler les anomalies héréditaires, des recherches spécifiques sont faites par des spécialistes avec l'aide de techniques appropriées : amniocentèse, choriocentèse, cordocentèse...

Les prévisions en génétique humaine sont des probabilités pour que l'enfant qui va naître ait un caractère donné. Ce calcul est possible si le caractère est présent dans la famille concernée.

## Concept général 4 : les mécanismes de l'immunité.

### Sous-concept 1 : le soi et le non-soi.

#### Pré-évaluation

Qu'est-ce que le système immunitaire ?

Qu'est-ce que le non soi ?

#### Situation problème :

L'immunité fait référence aux mécanismes de défense d'un organisme vivant contre des agents étrangers, notamment infectieux, ou contre des agressions internes, notamment transformation tumorale, susceptibles de menacer son bon fonctionnement ou sa survie. Les barrières naturelles assurent les premières lignes de défense de l'organisme contre les agents pathogènes. Lorsqu'ils traversent ces barrières, les agents pathogènes provoquent le déclenchement d'une réaction des agents de défenses de l'organisme (cellules immunitaires).

Comment les cellules immunitaires font la différence entre les agents pathogènes ; les cellules cancéreuses et les cellules normales de l'organisme.

Quels sont les différents types d'agents pathogènes ?

#### Activité 1 : Mise en évidence du soi et du non-soi

##### A) Les greffes

La greffe consiste à prélever un organe, un tissu ou une cellule (le greffon) sur un organisme donneur puis à l'implanter chez un organisme receveur. Le document 1 représente quelques expériences de greffe.

| Caractéristiques du donneur et du receveur   | Schéma de la transplantation                                                                                     | Résultat                    | Appellation de la greffe     |
|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| <b>A</b><br>Même sujet                       |                               | Acceptation de greffe       | Autogreffe                   |
| <b>B</b><br>Espèces différentes              |                               | Rejet de greffe             | Xéno greffe ou hétéro greffe |
| <b>C</b><br>Même espèce individus différents | 1 <sup>ère</sup> greffe :<br> | Rejet de greffe en 12 jours | Allogreffe                   |
|                                              | 2 <sup>ème</sup> greffe :<br> | Rejet de greffe en 4 jours  |                              |
| <b>D</b><br>Même souche ou lignée            |                               | Acceptation de greffe       | Isogreffe ou homogreffe      |
| expériences de greffe chez les animaux       |                                                                                                                  |                             |                              |

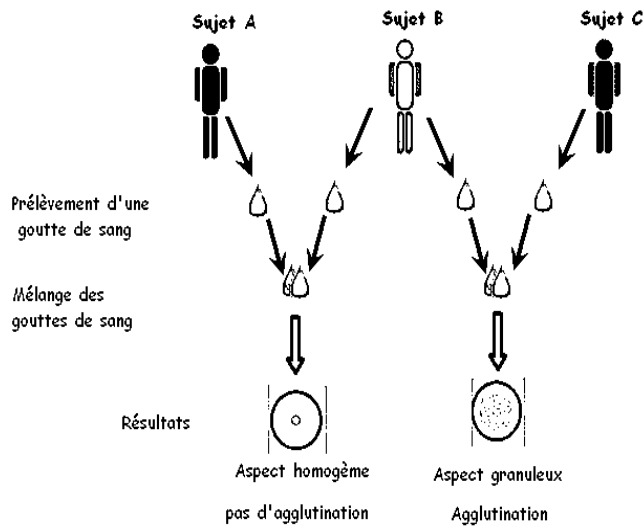
Doc.1

#### Consigne :

1. Analyser et expliquer les résultats de ces greffes.
2. Qu'est ce qui est à l'origine du rejet de greffons ?

3. Indiquer comment doit-on choisir le receveur d'un greffon pour qu'il y ait succès ?

**B) Agglutination des hématies.**



Pour préciser comment l'organisme est capable de reconnaître le soi et le non-soi, on mélange des gouttes de sang de trois sujets A, B et C. (Document 2)

Le sang du sujet A et celui de B sont compatibles, on a donc une tolérance d'où l'absence d'agglutination ; par contre, le sang du sujet B et celui de C sont incompatibles d'où l'agglutination. L'agglutination est une réponse immunitaire qui confirme la présence du non-soi.

De même si on mélange le plasma de A et le sérum de C (ne contenant que les anticorps), on observe une agglutination entre les hématies de A et les anticorps de C.

A la surface des hématies, se trouvent des marqueurs appelés agglutinogènes.

Doc.2

**Consigne :**

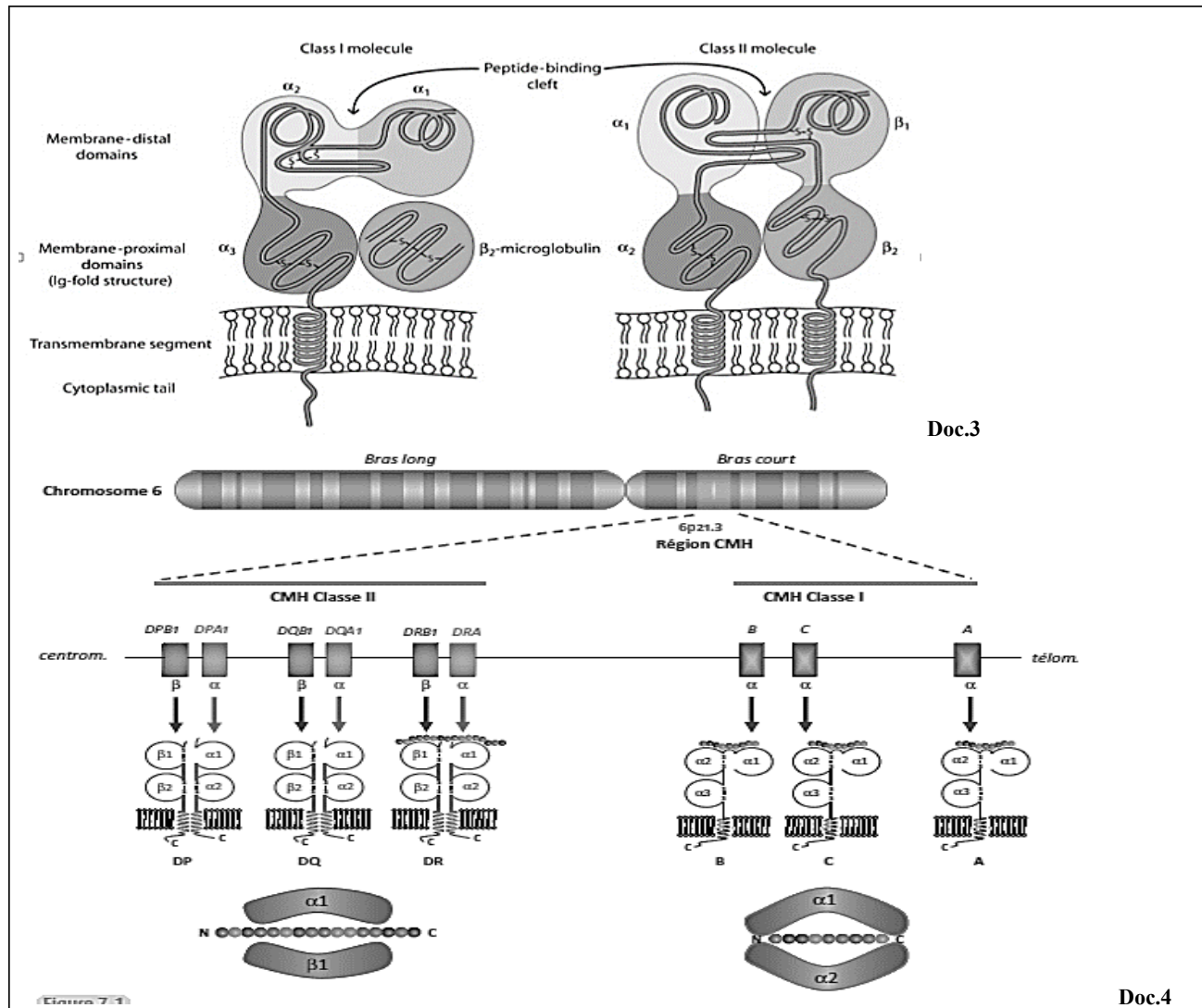
1. Quels sont les marqueurs spécifiques d'une personne de groupe sanguin A ? De groupe sanguin B ?
2. Qu'est-ce que ces marqueurs déclenchent chez un receveur incompatible ?
3. Déterminer les agglutinogènes et les agglutinines pour chaque groupe sanguin du système ABO.

**Activité 2 : Le soi.**

La reconnaissance du soi est due à la présence de molécules particulières appelées marqueurs du soi. Ces molécules sont des glycoprotéines présentes à la surface de toutes les cellules de l'organisme (Doc.3). Ces marqueurs sont regroupés en deux ensembles selon leur localisation cellulaires :

**Les marqueurs majeurs d'histocompatibilité :** Les molécules du complexe majeur d'histocompatibilité CMH sont nommées human leucocyte antigen (HLA) chez l'homme. Le système HLA est formé d'une série de gènes étroitement liés qui codent pour des protéines membranaires (molécules HLA) qui fixent et présentent les peptides antigéniques aux récepteurs des lymphocytes T (TCR). Ainsi le système HLA a un rôle fondamental dans la réponse immunitaire physiologique. Le système HLA de classe I comprend principalement les gènes HLA-A, -B et -C. Le système HLA de classe II est constitué d'un ensemble de familles de gènes dont les principales sont HLA-DP, HLA-DQ et HLA-DR. Pour chacune des familles, il existe des gènes fonctionnels et des gènes non fonctionnels (pseudo-gènes).

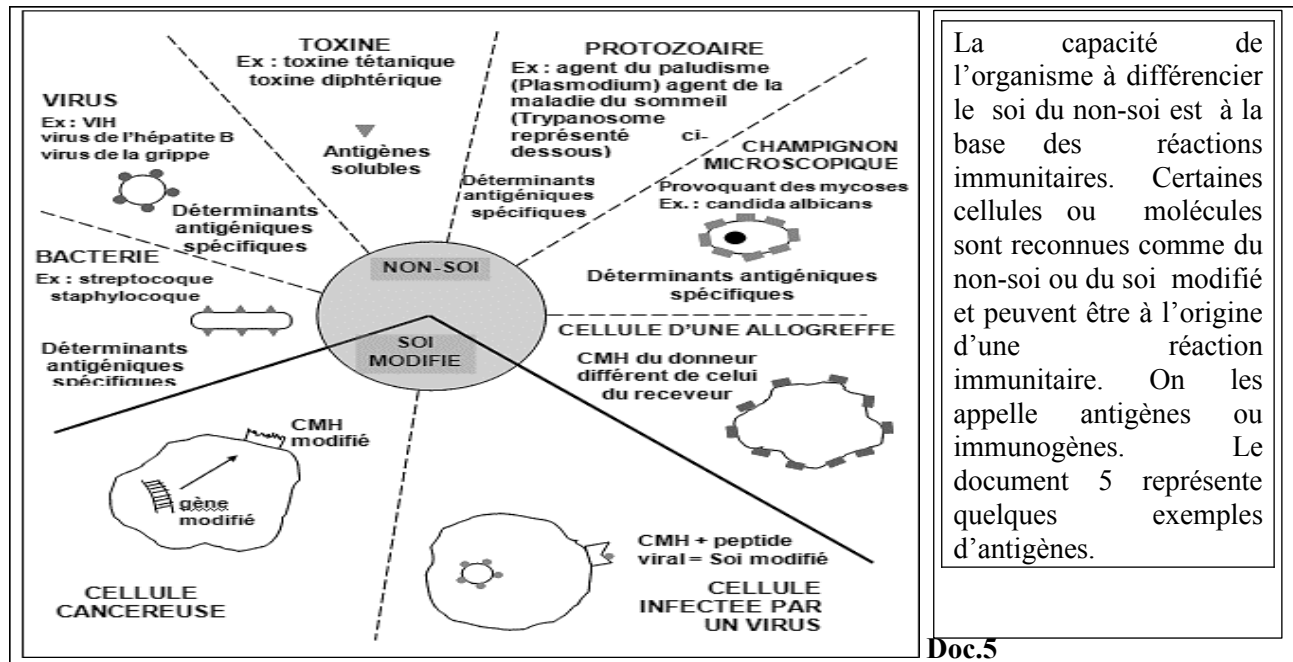
**Les marqueurs mineurs d'histocompatibilité :** situés sur les hématies, sont à l'origine des groupes sanguins.



### Consigne :

1. Définir le soi.
2. Quel est la nature biochimique des molécules du CMH ?
3. Citer et localiser les deux types de marqueurs du soi.
4. Pourquoi les molécules du CMH sont spécifiques à chaque individu ?
5. Citer et localiser les gènes qui codent pour les molécules du CMH.

### Activité 3 : Le non-soi.



**Consigne :**

1. Définir : le non-soi ; un antigène.
2. Quelles les deux origines possibles des antigènes
3. Quelles sont les formes possibles des antigènes ?
4. Comment appelle-t-on les portions responsables de la reconnaissance d'un antigène ?

**Synthèse générale.**

L'immunité fait référence aux mécanismes de défense d'un organisme vivant contre des agents étrangers, notamment infectieux, ou contre des agressions internes, notamment transformation tumorale, susceptibles de menacer son bon fonctionnement ou sa survie. L'ensemble des organes et tissus, cellules et molécules qui concourent à opposer une résistance aux infections est appelé système immunitaire.

**1. Le soi et le non soi.**

L'immunité envers les maladies infectieuses se développe en réponse aux antigènes. Les antigènes peuvent se définir comme des molécules reconnues par le système immunitaire et induisant une réponse immunitaire. L'antigène stimule la production d'anticorps et/ou une réponse cellulaire dirigée spécifiquement contre cet antigène. On peut comparer la réaction entre l'antigène et l'anticorps à celle d'une clé dans une serrure. Elle est spécifique et les anticorps produits contre un antigène donné ne réagissent pas, ou peu, avec les autres antigènes.

L'antigène peut être une substance soluble produite par un microorganisme (par exemple une toxine ou sa forme détoxifiée, l'anatoxine) ou une substance présente à la surface d'une bactérie, d'un virus ou d'une cellule ou dans la paroi cellulaire. La plupart des antigènes sont des protéines, mais il existe des antigènes polysaccharidiques provenant des capsules bactériennes, et des antigènes glycolipidiques.

La partie de l'antigène à laquelle se lie l'anticorps s'appelle déterminant antigénique, site antigénique, ou épitope. Les antigènes contiennent généralement de nombreux déterminants antigéniques qui peuvent être différents les uns des autres ou composés de structures moléculaires répétitives.

Un microorganisme donné peut comporter de nombreux antigènes différents. Les protozoaires, les champignons et les bactéries possèdent plusieurs centaines à plusieurs milliers d'antigènes.

**2. Les marqueurs du soi.**

Les molécules de CMH ont été nommées: Complexe Majeur d'Histocompatibilité par Jean Dausset, en 1952. Historiquement, la découverte de ce système a permis de comprendre les mécanismes de rejet d'une greffe d'organe survenant de façon quasi inévitable entre deux individus non apparentés. Les molécules du complexe majeur d'histocompatibilité CMH sont nommées *human leucocyte antigen* (HLA) chez

l'homme. Le système HLA est formé d'une série de gènes étroitement liés qui codent pour des protéines membranaires (molécules HLA) qui fixent et présentent les peptides antigéniques aux récepteurs des lymphocytes T (TCR). Les molécules HLA de classe I sont constituées de l'association non covalente de deux chaînes : une chaîne lourde transmembranaire  $\alpha$  et d'une chaîne légère non glycosylée, la  $\beta$ 2-microglobuline qui n'est pas implantée dans la membrane cellulaire. L'ensemble de la molécule s'inscrit dans un cylindre de 7 nm de long et 4 à 5 nm de diamètre.

Les molécules HLA de classe II sont des glycoprotéines transmembranaires. Elles ont une structure très proche de celle des molécules HLA de classe I. Elles sont formées de l'association non covalente d'une chaîne  $\alpha$  d'un poids moléculaire de 34kD, et d'une chaîne légère  $\beta$  d'un poids moléculaire de 29kD. Contrairement aux molécules HLA de classe I, les chaînes  $\alpha$  et  $\beta$  sont ici parfaitement homologues, composées, toutes les deux, d'une partie extra-membranaire N-terminale d'environ 190 acides aminés, d'une partie transmembranaire formée d'une vingtaine d'acides aminés, et d'une partie intra-cytoplasmique C-terminale formée de 4-5 acides aminés.

## Sous concept 2 : Les bases de L'immunocompétence

### Pré-évaluation :

Qu'est-ce que le système immunitaire ?

De quoi est constitué le système immunitaire ?

### Situation problème :

Le système immunitaire est constitué d'un ensemble complexe d'organes individualisés et de tissus entre lesquels circulent, de façon constante, des cellules immunocompétentes de l'immunité innée et de l'immunité adaptative. Le système immunitaire joue un rôle essentiel dans la protection de l'organisme contre les agents extérieurs.

Quelles sont les différentes cellules immunitaires ?

Quelle est l'origine des cellules immunitaires et comment sont-elles mise en place ?

### Activité1 : les principales cellules immunitaires.

Le système immunitaire est constitué d'un ensemble complexe d'organes individualisés et de tissus entre lesquels circulent en permanence des cellules de l'immunité innée et de l'immunité adaptative.

Les leucocytes ou globules blanc sont les acteurs principaux des réactions immunitaires. Ils sont divisés en plusieurs groupes selon leurs rôles et leurs formes. On classe habituellement les cellules immunitaires en cellules de l'immunité innée et en cellules de l'immunité adaptative. Les cellules de l'immunité innée sont capables de s'activer rapidement, mais ne mettent pas en place de réponse mémoire. Au contraire, les cellules de l'immunité adaptative s'activent avec un délai plus long, suite à la reconnaissance de leurs antigènes spécifiques, mais sont capables de mettre en place une réponse mémoire. En plus des acteurs de type cellulaire, le système immunitaire comprend de nombreuses molécules solubles présentes dans la circulation, dans les espaces extracellulaires ou associées aux membranes. La figure 1 représente les différentes cellules immunitaires et leurs rôles.

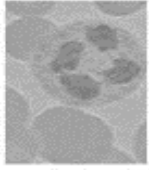
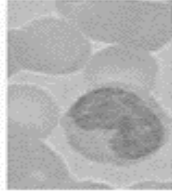
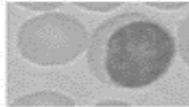
| Type de cellules                                   | Granulocytes                                                                        | Monocytes                                                                           | Lymphocytes (B ou T)                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| caractéristiques                                   |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                                                                      |
| Proportion par rapport à l'ensemble des leucocytes | 40 à 75%                                                                            | 2 à 10%                                                                             | 24 à 40%                                                                                                                             |
| Taille                                             | 12 à 18 µm                                                                          | 20 à 25 µm                                                                          | 8 à 15 µm                                                                                                                            |
| Forme du noyau                                     | Plusieurs lobes                                                                     | Bilobé ou mamelonné                                                                 | Plus ou moins arrondi, volumineux                                                                                                    |
| cytoplasme                                         | Nombreuses granulations dans le cytoplasme                                          | Souvent à bord irrégulier                                                           | Pas de granulations                                                                                                                  |
| Durée de vie                                       | Quelques jours                                                                      | Quelques jours à quelques mois                                                      | Quelques mois à plusieurs années                                                                                                     |
| Aspect en microscopie optique                      |  |  | Impossible de distinguer les LB et LT au MO<br> |
| Localisation possible                              | Sang mais peuvent passer dans les tissus                                            | Sang. Se transforment en macrophage quand ils sortent des vaisseaux sanguins        | Sang et organes lymphoïdes secondaires (rate, ganglions lymphatiques, amygdales, végétations)                                        |
| Rôles                                              | Réalisent la phagocytose (immunité innée)                                           | Joue un rôle dans l'immunité innée                                                  | Participent à l'immunité adaptative                                                                                                  |

Figure 1A

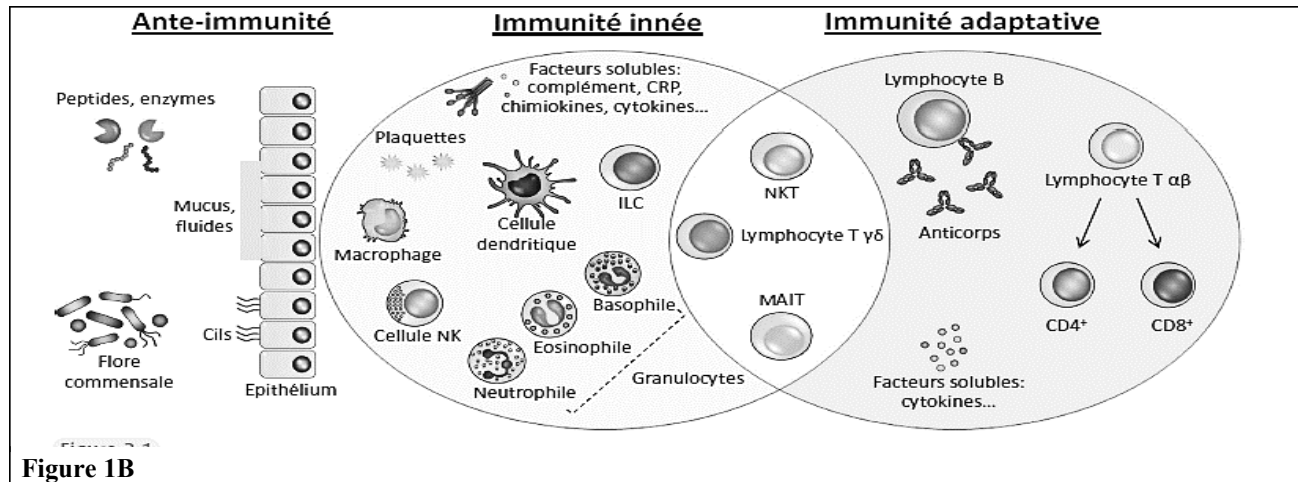


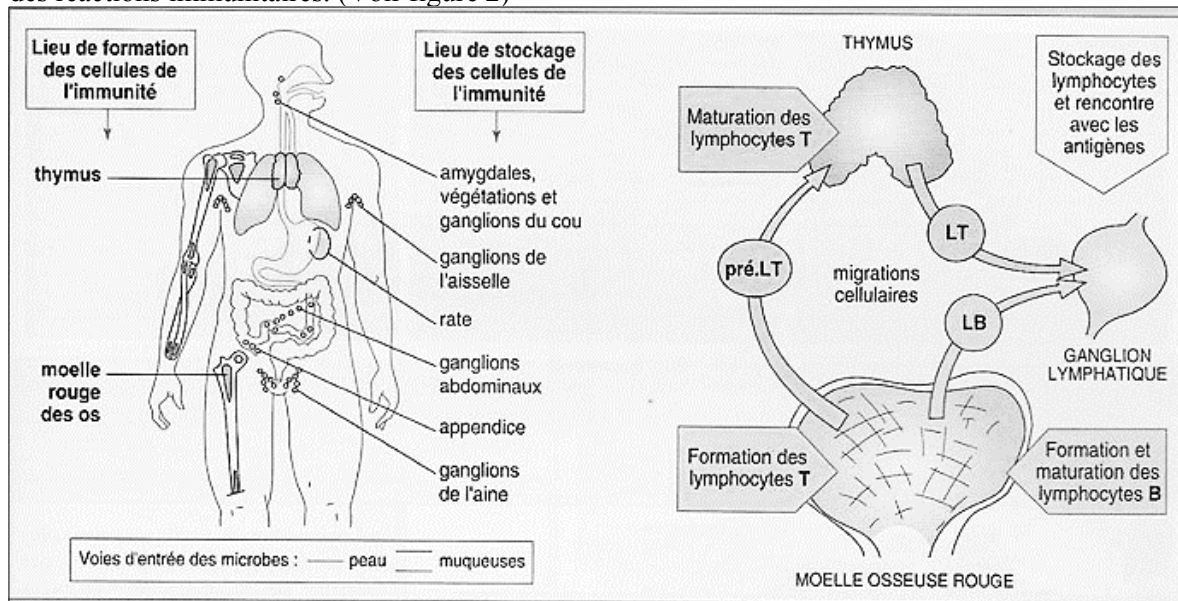
Figure 1B

Consigne :

1. Citer et caractériser les différentes cellules immunitaires et donner leurs rôles.
2. Déterminer le milieu de rencontre de différentes cellules immunitaires.
3. Quelles sont les molécules solubles du système immunitaire ?

### Activité 2 : Origine des cellules immunitaires.

Les leucocytes naissent dans le foie chez le fœtus et dans la moelle osseuse chez l'adulte à partir des cellules souches pluripotentes (cellules souches de la moelle osseuse). Leur différenciation et leur maturation ont lieu dans les organes lymphoïdes centraux : la moelle osseuse et le thymus. Après leur maturation, lymphocytes et macrophages migrent vers les organes lymphoïdes périphériques : rate, ganglions lymphatiques, etc. Ces organes sont les lieux de rencontre avec les antigènes et points de départ des réactions immunitaires. (Voir figure 2)



• Les cellules immunitaires se forment dans la moelle osseuse rouge. Ce tissu, localisé dans les têtes des os longs et dans les os plats (os du bassin, sternum, ...) contient des cellules souches qui se multiplient activement et qui produisent en permanence les différentes catégories de cellules sanguines, dont les lymphocytes.

• Une partie de ces lymphocytes termine son évolution dans la moelle : ce sont les futurs lymphocytes B (ou LB) à l'origine de la production d'anticorps. Les autres lymphocytes migrent dans le thymus où ils achèvent leur maturation : ce sont les lymphocytes T (ou LT). Moelle osseuse et thymus constituent les tissus lymphoïdes centraux.

### 3 Formation et accumulation des cellules immunitaires dans les organes lymphoïdes.

Fig.2

**Consigne :**

1. Déterminer l'origine des cellules immunitaire.
2. Quelles sont les lieux de maturation des cellules immunitaires.

**Activité 3 : les structures de reconnaissance des lymphocytes.**

Les lymphocytes acquièrent leur immunocompétence au cours de leur maturation. Ils expriment à la surface de leur membrane, des récepteurs spécifiques d'un déterminant antigénique donné. (Fig.3C)

Les lymphocytes B représentent environ 5 à 15 % des lymphocytes circulants et sont définis par la présence d'immunoglobulines (Ig) de surface. Ces immunoglobulines, produites par la cellule elle-même, jouent le rôle de récepteur spécifique pour l'antigène (BCR). (Voir Fig.3B)

Chez les LT, la diversité des récepteurs T est aussi importante que celle des anticorps, car leur mécanisme de synthèse est identique.

La partie variable possède une zone de reconnaissance d'un antigène et une zone de reconnaissance du système HLA. Une population de LT ou LB portant le même récepteur spécifique constitue un clone. L'ensemble des récepteurs spécifiques portés par les différents clones des LB et LT constituent le répertoire immunologique de l'individu.

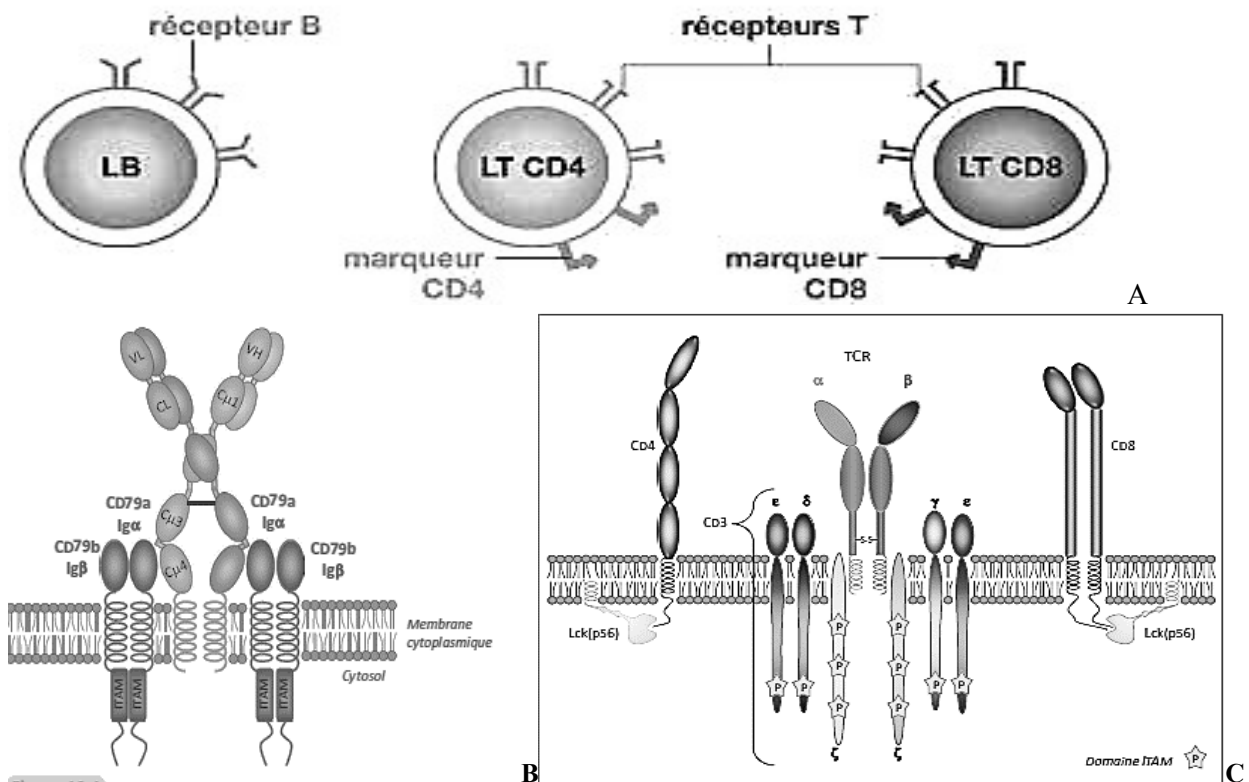


**Figure 3**

**Consigne :**

- 1) Quelle est la nature des structures des reconnaissances des lymphocytes ?
- 2) Comment les appelle-t-on chez les LB et chez les LT ?

**Synthèse générale :**

Le système immunitaire est constitué d'un ensemble complexe d'organes individualisés et de tissus entre lesquels circulent en permanence des cellules de l'immunité innée et de l'immunité adaptative. Cette organisation en réseau de communication confère au système immunitaire trois propriétés essentielles :

- Une importante capacité d'échange d'informations, par contacts membranaires intercellulaires ou par libération de médiateurs solubles. Ces échanges ont lieu entre des acteurs du système immunitaire (par exemple des interactions entre les cellules de l'immunité innée et celles de l'immunité adaptative), mais également avec d'autres systèmes.
- Un bras effecteur performant capable de protéger l'intégrité de l'organisme ;
- Une forte régulation qui est cruciale pour préserver, à tout moment et à tout endroit, l'équilibre du système immunitaire ou homéostasie et garantir une réponse immunitaire adaptée.

La perturbation de l'un de ces systèmes est à l'origine de dérèglements pathologiques comme les déficits immunitaires, les maladies auto-immunes ou les états d'hypersensibilité.

**1. Les cellules et autres acteurs du système immunitaire :**

**Les phagocytes :** ce sont les granulocytes (Neutrophiles, Eosinophiles, Basophiles) les monocytes, les mastocytes, les macrophages, les cellules dendritiques et les cellules NK (Natural killer). Ce sont les cellules de l'immunité innée. Elles assurent la phagocytose.

**Les lymphocytes :** LB, LT4, LT8. Ce sont les cellules de l'immunité acquise.

**Les granulocytes (ou polynucléaires) :**

Les granulocytes se divisent en trois lignées distinctes : neutrophiles, éosinophiles et basophiles.

Les granulocytes neutrophiles sont les plus nombreux dans la circulation sanguine et sont reconnaissables par leur noyau polylobé. Ils jouent un rôle majeur dans la défense antimicrobienne et dans l'inflammation aiguë par leur fonction de cellules phagocytaires et le contenu de leurs granules cytoplasmiques (plus de 100 enzymes différentes).

Sous l'effet de facteurs chimiotactiques, les granulocytes neutrophiles sont les premières cellules de l'immunité innée à être recrutées dans les tissus en cas d'infection bactérienne, où elles y auront une durée de vie très brève.

**Les granulocytes éosinophiles** ont un noyau bilobé et des granulations colorées spécifiquement en rouge orangé par les techniques habituellement utilisées. Ceci est dû au caractère basique des composants cytotoxiques et pro-inflammatoires qu'elles contiennent. Ces cellules sont retrouvées principalement dans les tissus et possèdent un rôle capital dans les défenses antiparasitaires et certaines réactions d'hypersensibilité.

**Les granulocytes basophiles** ont un noyau bilobé peu visible du fait de l'abondance de leurs granulations métachromatiques contenant de l'histamine ainsi que des éléments très acides, cytotoxiques et pro-inflammatoires. Leur équivalent tissulaire est le mastocyte, présent en abondance dans les muqueuses, et ils ont un rôle anti-infectieux.

**Les basophiles et les mastocytes** ont aussi un rôle important dans les hypersensibilités immédiates.

**Les monocytes et les macrophages :**

Les monocytes ont également un cytoplasme granuleux contenant de nombreuses enzymes. Moins nombreux que les granulocytes, ils circulent dans le sang et adhèrent aux parois vasculaires avant de migrer dans les tissus en réponse à certains facteurs chimiotactiques, où ils s'y différencieront en macrophages.

Ce sont des cellules essentiellement phagocytaires, capables de capter des éléments de tailles diverses (antigènes particuliers, macromolécules, agents microbiens, cellules ou débris cellulaires) avant de les détruire puis de les présenter aux cellules de l'immunité adaptative. Ils produisent également de nombreuses

cytokines importantes à toutes les étapes de la réponse immunitaire, y compris dans la phase de réparation tissulaire.

### **Les cellules dendritiques :**

Les cellules dendritiques sont localisées dans de nombreux tissus et organes dans un état immature ayant une importante capacité de capture d'antigènes. À l'inverse, lorsqu'elles quittent les tissus et migrent vers les tissus lymphoïdes, elles subissent un processus de maturation qui leur fait perdre cette capacité au profit de l'acquisition d'une propriété de présentation des antigènes aux lymphocytes

T. Ce sont les Cellules présentatrices d'antigènes (CPA) les plus importantes car elles sont capables d'activer des lymphocytes T naïfs, et jouent ainsi un rôle majeur dans l'initiation de la réponse immunitaire adaptative. Il existe plusieurs types de cellules dendritiques qui possèdent des propriétés différentes.

### **Les lymphocytes NK :**

Les lymphocytes NK ou cellules Natural Killer sont des cellules cytotoxiques localisées dans le sang et les organes lymphoïdes périphériques. Ils reconnaissent et détruisent les cellules infectées, endommagées ou ciblées par des anticorps de type IgG. Ils ont également une grande capacité de sécrétion de cytokines comme l'IFN- $\gamma$ .

### **Les lymphocytes :**

Les lymphocytes B et les lymphocytes T ont une morphologie similaire, avec un rapport nucléocytoplasmique élevé sans granulation. Ils sont capables de reconnaître spécifiquement des antigènes via leurs récepteurs de type BCR ou TCR. Le BCR se lie à l'antigène natif alors que le TCR se lie à des antigènes apprêtés et présentés sous forme de peptide associé aux molécules du CMH.

## **2. Les organes du système immunitaire**

Le système immunitaire est composé d'organes et de tissus dits lymphoïdes dévolus à la production de lymphocytes et aux fonctions immunitaires. Ils sont connectés par les vaisseaux sanguins et lymphatiques.

Le foie fœtal est le premier organe de différenciation des cellules immunitaires, relayé à la naissance par la moelle osseuse. Les Cellules souches lymphoïdes poursuivent leur maturation en lymphocytes B ou T au sein des organes lymphoïdes primaires (ou centraux) où ils acquièrent, entre autres, un récepteur propre à chaque cellule : c'est la constitution des répertoires T et B. Les organes lymphoïdes primaires sont la moelle osseuse, dans laquelle sont par exemple générés les lymphocytes B et les cellules NK, et le thymus, dans lequel sont générés les lymphocytes T.

Les organes lymphoïdes secondaires (ou périphériques) sont peuplés des cellules issues des organes lymphoïdes primaires et sont le lieu des coopérations cellulaires aboutissant à la réponse immunitaire adaptative, c'est-à-dire la présentation et la reconnaissance des antigènes, l'activation, l'expansion clonale et la différenciation des lymphocytes en cellules effectrices. Ces organes sont le lieu de drainage et de concentration d'antigènes présents dans les tissus, la lymphe (ganglions lymphatiques), le sang (rate), ou les muqueuses (tissu lymphoïde associé aux muqueuses, MALT).

## **3. Les structures de reconnaissances des lymphocytes.**

Le BCR et le TCR sont caractérisés par leur diversité, qui résulte de recombinaisons des segments de gènes codant les chaînes lourdes et légères qui les constituent. Le nombre élevé d'antigènes susceptibles d'être rencontrés par l'organisme implique que le génome permette la synthèse d'au moins plusieurs millions de molécules différentes. Cependant, les régions constantes des différentes chaînes lourdes et légères sont invariables. Alors que les régions variables sont différentes d'un récepteur à l'autre et spécifiques chacune d'un épitope antigénique. Plusieurs segments de gènes participent à la constitution des régions variables.

### Sous-concept 3 : Le déroulement de la réponse immunitaire.

#### Pré-évaluation :

Qu'est-ce qu'une réaction immunitaire ?

Comment fonctionne le système immunitaire.

#### Situation problème :

L'organisme possède des mécanismes de défense complexes. Constamment agressé par les microbes présents dans l'environnement, il se défend contre les infections par divers mécanismes spécifiques et non spécifiques qui agissent ensemble ou de façon indépendante. Les réponses immunes mises en place après infection vont bien sûr être différentes et adaptées à la nature du pathogène, et en particulier à son caractère intracellulaire ou extracellulaire. De plus, la réponse immunitaire mise en jeu va être adaptée au niveau d'agression, à savoir le nombre et la virulence des pathogènes.

Comment le système immunitaire arrive à mettre en place une réponse adaptée à l'agression ?

Quels sont les différents mécanismes d'élimination des agents pathogènes ?

#### Activité 1 : Généralité

L'organisme dispose de deux systèmes de défense: l'immunité innée et l'immunité adaptative. L'immunité innée représente la première ligne de défense de l'organisme. Tandis que l'immunité acquise représente quant à elle la deuxième ligne de défense. Contrairement à l'immunité acquise, l'immunité innée se caractérise par sa rapidité et son non spécificité. L'immunité innée fournit une réponse immédiate en attendant que l'immunité acquise devienne opérationnelle.

**Immunité innée :** L'immunité naturelle, connue sous le nom de l'immunité innée, correspond à une réponse constitutive d'action immédiate, non spécifique de l'agent pathogène. En effet, Les cellules et les molécules solubles de l'immunité innée existent soit dans un état fonctionnel avant la rencontre avec les microbes, soit sont rapidement activées par les microbes. Elle repose sur une distinction globale du soi et du non-soi

**Immunité adaptative :** L'immunité adaptative ou acquise est une réponse spécifique de l'antigène du fait que les cellules de l'immunité adaptative, les lymphocytes, portent un seul type de récepteur capable de reconnaître un seul déterminant antigénique/épitope antigénique. Les lymphocytes B peuvent reconnaître les épitopes dans leur forme native alors que les lymphocytes T reconnaissent les épitopes sous forme de peptides et à condition qu'ils soient présentés par des molécules du complexe majeur d'histocompatibilité (CMH). L'immunité adaptative améliore certains mécanismes antimicrobiens de l'immunité innée en les rendant plus puissants.

Tableau 1 : caractéristiques de l'immunité innée et l'immunité acquise

|                                          |                     | Immunité innée                                                                                                                     | Immunité acquise                                                                       |
|------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| • Chronologie                            | Primo-infection     | Réponse rapide: Première barrière contre les pathogènes                                                                            | Deuxième ligne de défense: Temps de latence (env 7 jrs)                                |
|                                          | Infections répétées | Identique à la réponse primaire                                                                                                    | Mémoire immunitaire ; Temps de latence quasi nul                                       |
| • Spécificité                            |                     | Réponse non spécifique                                                                                                             | Réponse spécifique (Ig et TCR)                                                         |
| • Motifs moléculaires reconnus           |                     | Invariables et communs à de nombreux pathogènes                                                                                    | Propres à l'agent infectieux                                                           |
| • Effecteurs cellulaires et moléculaires |                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Complément;</li> <li>• Cellules phagocytaires ;</li> <li>• Certaines cytokines</li> </ul> | CTL (L cytotoxiques) et plasmocytes producteurs d'Ac, avec l'aide des effecteurs innés |

Consigne : à partir du texte et du tableau 1 :

1. Citer les deux types de réponse immunitaires et caractériser-les.

## 2. Quels sont les effecteurs de chaque type d'immunité ?

### Activité 2 : L'immunité innée (ou non spécifique)

Tous les individus normaux possèdent des mécanismes de défense non spécifiques. Ces mécanismes sont fonctionnels dès la naissance, sans nécessiter d'exposition préalable au microorganisme ou à ses antigènes. L'immunité innée repose sur des mécanismes humoraux et cellulaires. La réponse humorale de l'immunité innée est assurée par le complément, les cytokines et les protéines de la phase aiguë de l'inflammation. Alors que la réponse cellulaire de l'immunité naturelle est assurée par les cellules à fonction phagocytaire ou lytique, telles que les polynucléaires, les macrophages et les cellules tueuses naturelles (NK). L'activation de ces cellules constitue une étape très importante lors de la réponse inflammatoire.

**La réaction inflammatoire :** Déclenchée lors de l'effraction d'une barrière naturelle de l'organisme par un corps étranger. C'est une réaction locale qui traduit la mise en œuvre de défense immunitaire de type RINS d'abord avec l'arrivée sur site attaqué des Polynucléaires Neutrophiles, puis celle des macrophages afin d'éviter une invasion générale (puis en cas d'échec on observera la mise en œuvre de RIS, on n'est plus dans ce cas dans la phase d'inflammation mais dans la phase d'infection).

Les schémas A et B de la figure 1 représentent respectivement les étapes de la réaction inflammatoire et de la phagocytose.

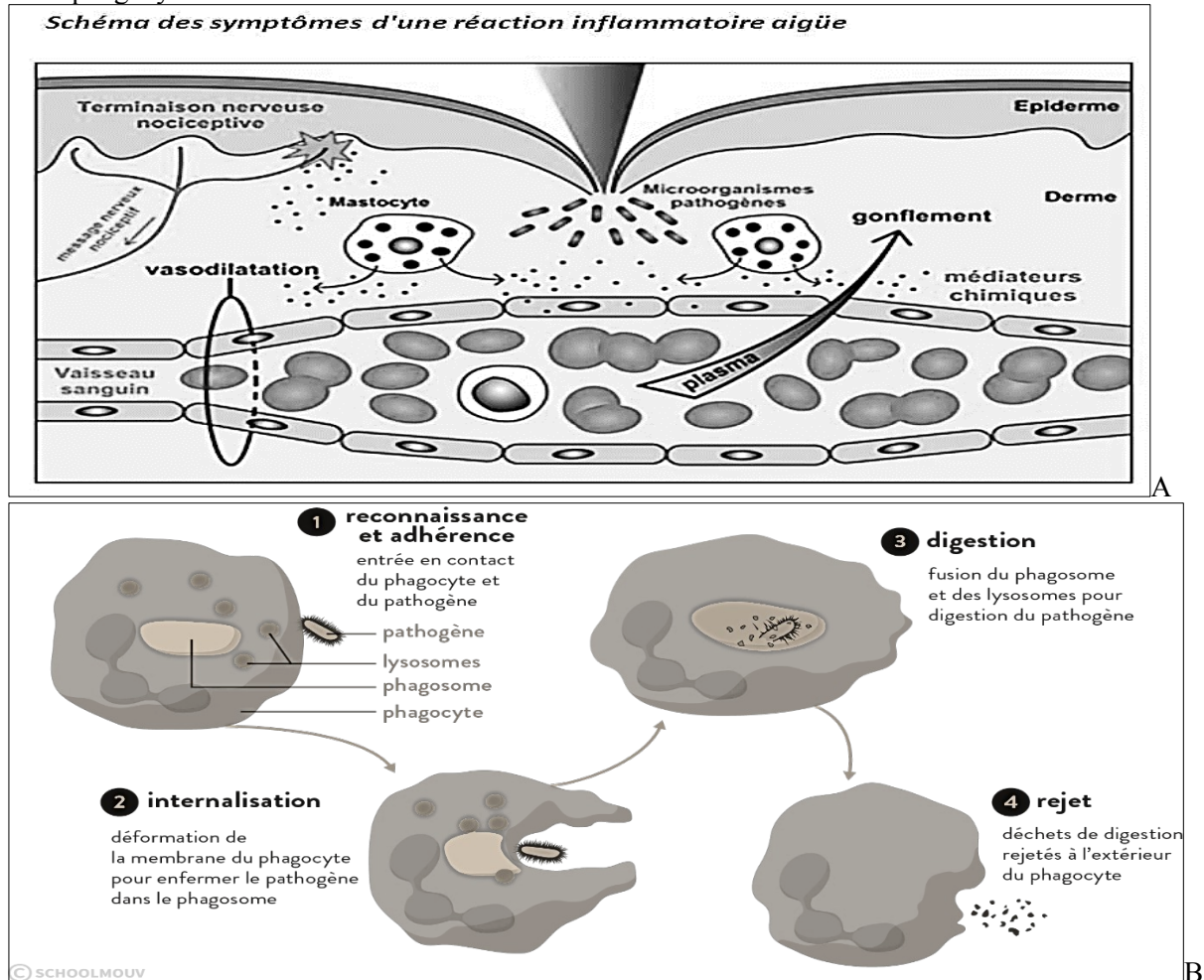


Figure 2

### Consigne :

1. Quelles sont les étapes de la réponse inflammatoire ?
2. Quelle est l'importance de la réponse inflammatoire ?
3. Citer les étapes de la phagocytose.

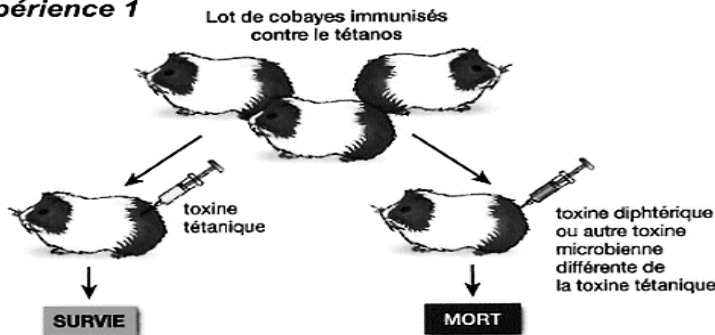
4. Pourquoi les qualifie-t-on de réponses immunitaires non spécifiques.

### Activité 3 : Immunité adaptative ou spécifique.

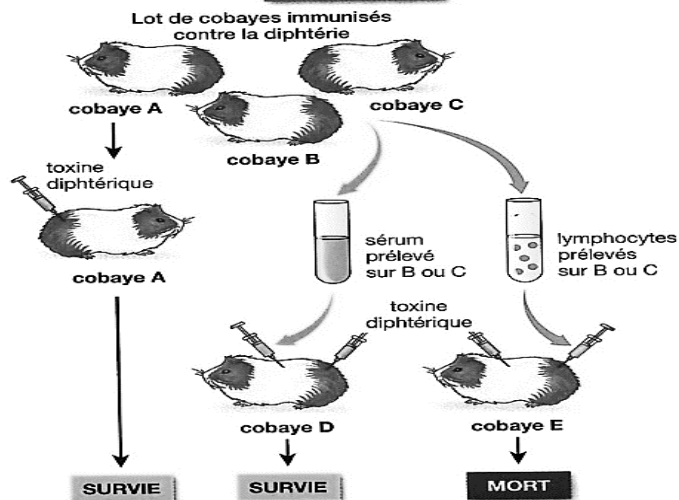
#### A) Support de la réponse immunitaire.

La figure 3 ci-dessous représente quelques expériences.

##### Expérience 1



##### EXPÉRIENCE 2



Les cobayes D et E sont des cobayes non immunisés contre la diphtérie.

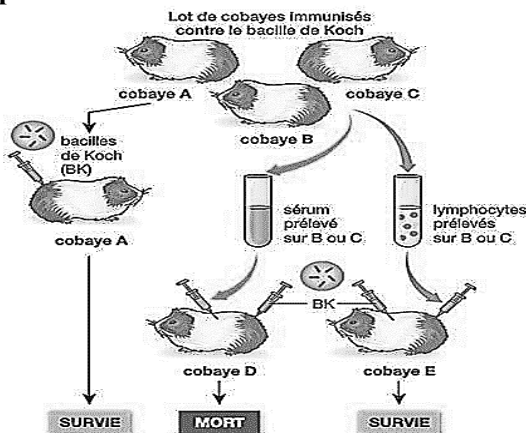
2.2 : l'étude du sérum montre que la protection est due à la présence de protéines : les anticorps ou immunoglobulines.

2.3 : la maladie de Bruton se caractérise par une défense immunitaire très affaiblie et de nombreuses infections bactériennes. Les individus atteints ne fabriquent pas d'anticorps.

Une analyse sanguine montre que la répartition des lymphocytes entre les différentes catégories n'est pas conforme à la normalité : il possède un fort déficit en LB.

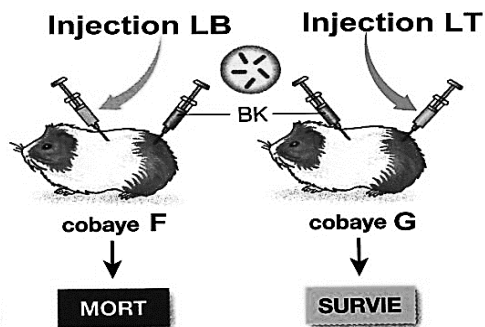
2.1

##### Expérience 3



3. A

#### Injection de lymphocytes provenant d'un cobaye immunisé contre le BK



cobayes non immunisés contre le bacille de Koch.

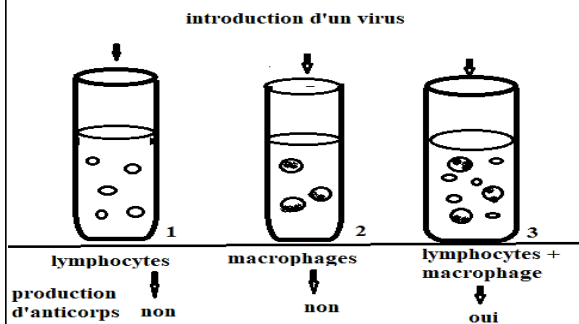
3.B

#### Consigne :

1. Analyser l'expérience 1.
2. Expliquer pourquoi l'immunité adaptative est dite spécifique.
3. A partir de l'analyse des expériences 2 et 3 ; expliquer le support de l'immunité adaptative.
4. Quelles sont les cellules intervenant dans l'immunité adaptative ?

## B) Coopération entre les cellules immunitaires.

### Expérience 1 :



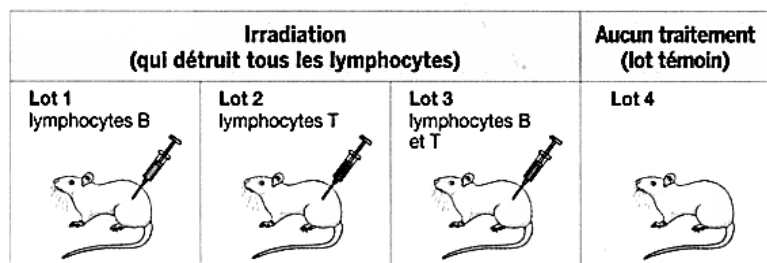
Des cellules de rat en suspension sont mises en contact avec un virus (Ag). La figure 4 représente les résultats de l'expérience après quelques jours.

Fig.4

### Expérience 2 : Expérience de Claman

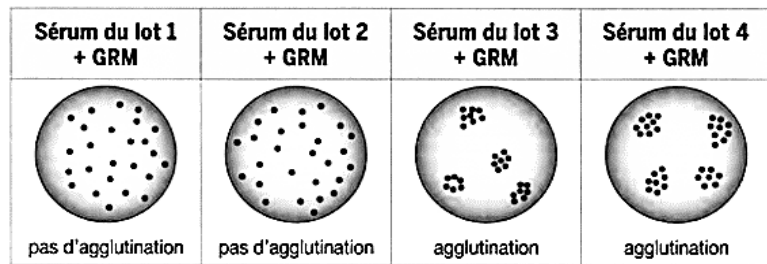
#### ■ PRÉPARATION DES ANIMAUX

- Des lymphocytes, prélevés chez des souris normales, sont placés dans un milieu de culture afin d'être maintenus en vie.
- Chez d'autres souris, appartenant à la même souche que les précédentes, on détruit à la naissance tous les lymphocytes par irradiation.
- Ces souris sont alors réparties en trois lots et reçoivent des injections de cellules immunitaires en culture.



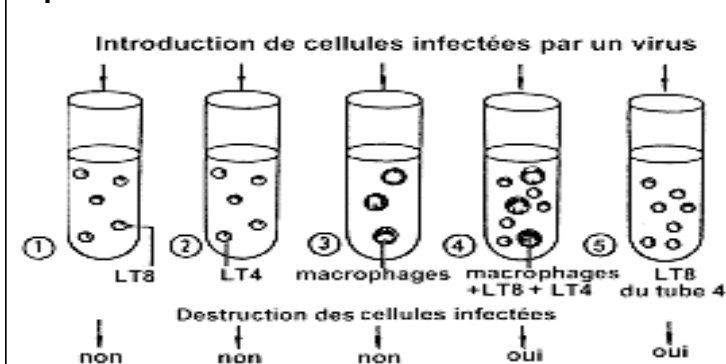
#### ■ CONTRÔLE D'IMMUNISATION

- Les trois lots de souris, ainsi qu'un lot témoin, reçoivent une injection de globules rouges de mouton (GRM) qui jouent ici le rôle d'antigènes.
- Une semaine plus tard, on prélève du sérum chez des souris de chacun des lots et on recherche la présence d'anticorps anti-GRM, donc capables d'agglutiner les GRM.



**Doc. 1** L'expérience de Claman (1966) révèle une condition nécessaire à la production d'anticorps.

### Expérience 3 :



On cherche à préciser les LT responsables de la réponse immunitaire à médiation cellulaire et les cellules impliquées. (Fig.6)

### Consigne :

- Analyser et interpréter les résultats de chaque expérience.
- En déduire les cellules intervenant dans la réponse immunitaire à médiation cellulaire et celles intervenant dans la réponse immunitaire à médiation humorale.

## C) Localisation des lymphocytes.

Les organes et les tissus lymphoïdes correspondent au lieu de résidence des lymphocytes et d'autres cellules du système immunitaire telles que les macrophages et les cellules dendritiques. Ils se distinguent en deux groupes: les organes lymphoïdes centraux et les organes lymphoïdes périphériques. (Figure 7)

**Les organes lymphoïdes centraux :** Ils sont constitués par la moelle osseuse et le thymus chez tous les vertébrés, la bourse de Fabricius chez les oiseaux seulement. Ce sont le lieu d'ontogénèse, de prolifération et de maturation des lymphocytes.

La moelle osseuse constitue le lieu d'ontogénèse et de maturation des lymphocytes B et des autres cellules myéloïdes (granulocytes, polynucléaires, monocytes...), d'ontogénèse uniquement des lymphocytes T. Le thymus est un organe lympho-épithélial situé dans la partie antéro-supérieure du médiastin (cavité thoracique). Il joue un rôle primordial dans la maturation des lymphocytes T.

**Les organes lymphoïdes périphériques :** Ces organes représentent le lieu de concentration des lymphocytes, au niveau desquels s'effectue l'activation de la réponse immunitaire adaptative. Cette activation se traduit par la différenciation des lymphocytes activés en cellules effectrices et cellules mémoire. Parmi les organes lymphoïdes périphériques, on cite les ganglions lymphatiques, la rate et les tissus lymphoïdes associés aux muqueuses (MALT).

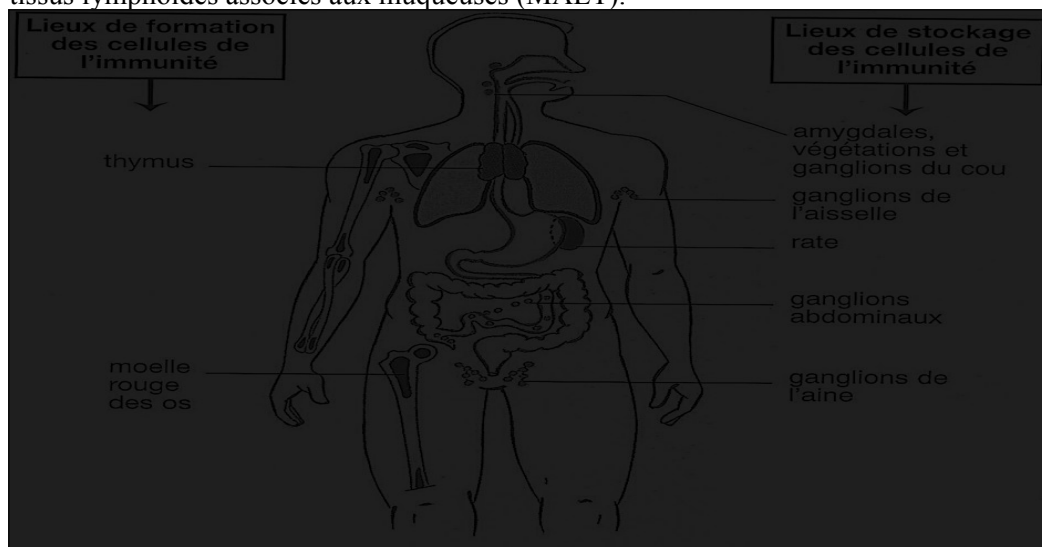


Fig.7

**Consigne :**

1. Identifier et localiser les organes lymphoïdes.
2. Déterminer les rôles des organes lymphoïdes.

**D) Déclenchement de la réponse immunitaire**

La réponse immunitaire, qui se déroule dans les organes lymphoïdes secondaires, est le résultat de la première rencontre entre les lymphocytes naïfs et l'antigène.

Après avoir capturé des antigènes, les cellules dendritiques migrent dans les ganglions lymphatiques pour achever leur maturation, car seules les cellules dendritiques matures présentent efficacement les antigènes aux lymphocytes T. La maturation et la migration des cellules dendritiques sont deux processus qui ont lieu le plus souvent simultanément. Les agents pathogènes envahissent les tissus périphériques alors que les lymphocytes sont concentrés dans les organes lymphoïdes secondaires. Les cellules dendritiques, grâce à leur propriété de migration au cours de la maturation, font le lien entre la périphérie et les organes lymphoïdes secondaires. (Figure 8)

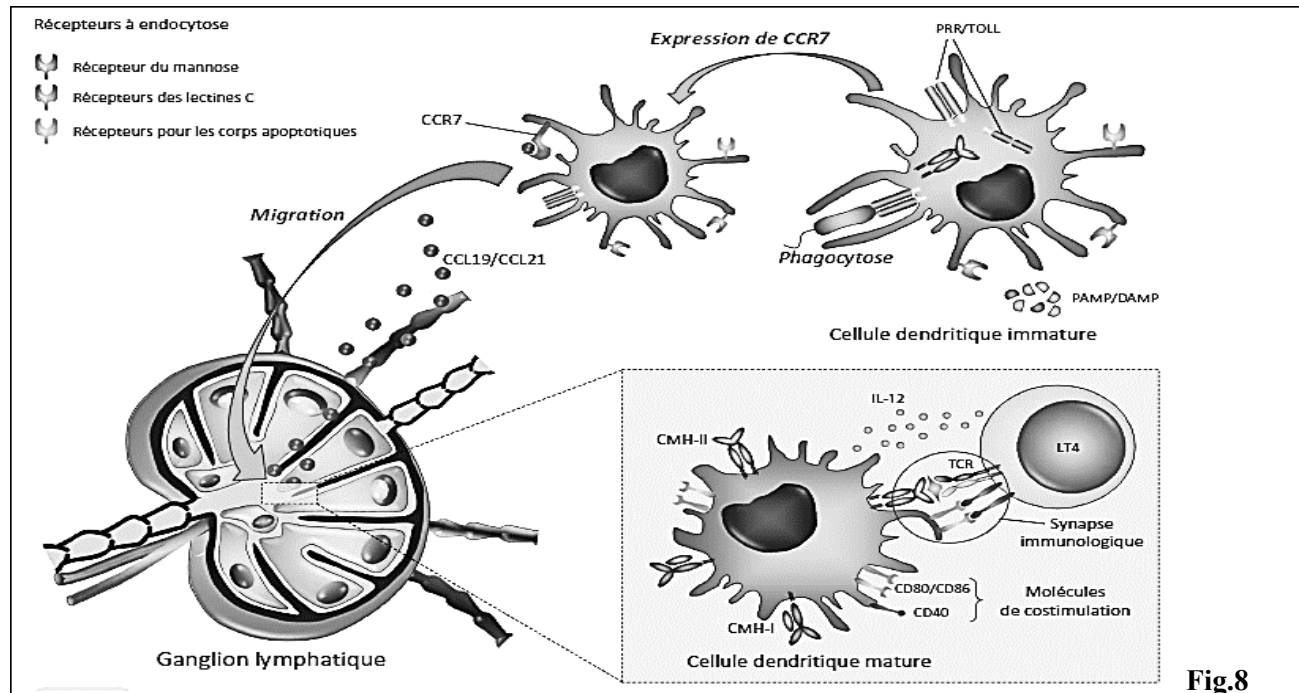
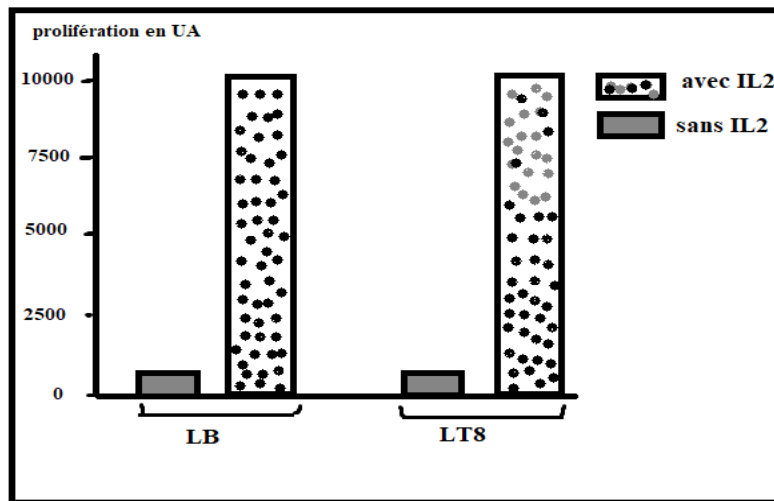


Fig.8

#### E) Expérience sur le rôle des LT4



Les LT4 sélectionnés par la CPA sont activés. Ils se différencient en LT4 auxiliaires ou LT helpers (LTH) qui sécrètent des messagers chimiques : des interleukines IL2.

On met en culture des LB et LT en présence ou en absence d'IL2. Au bout de trois jours, on évalue la prolifération des lymphocytes dans chacun des milieux de cultures. (Fig.9)

Fig.9

#### Consigne :

1. Préciser le mécanisme responsable du déclenchement de l'immunité adaptative.
2. Quelle relation existe entre l'immunité innée et l'immunité adaptative.
3. Préciser à l'aide de l'analyse de la figure 9 le rôle de l'interleukine 2.
4. Pourquoi dit-on que les LT4 sont au centre la réponse immunitaire adaptative.

#### Activité 4 : Etapes de la réponse immunitaire adaptative.

##### A) Réponse immunitaire adaptative à médiation cellulaire.

Le terme d'immunité à médiation cellulaire est un terme générique pour désigner les réponses immunitaires qui peuvent être transférées à un receveur non immunisé par les cellules lymphoïdes, et non pas par les anticorps. Les fonctions suppressives et cytotoxiques sont assurées essentiellement par les cellules T exprimant l'antigène de surface CD8. Ces cellules circulent dans le sang et dans les vaisseaux lymphatiques et migrent également dans l'espace extracellulaire. (Figure10)

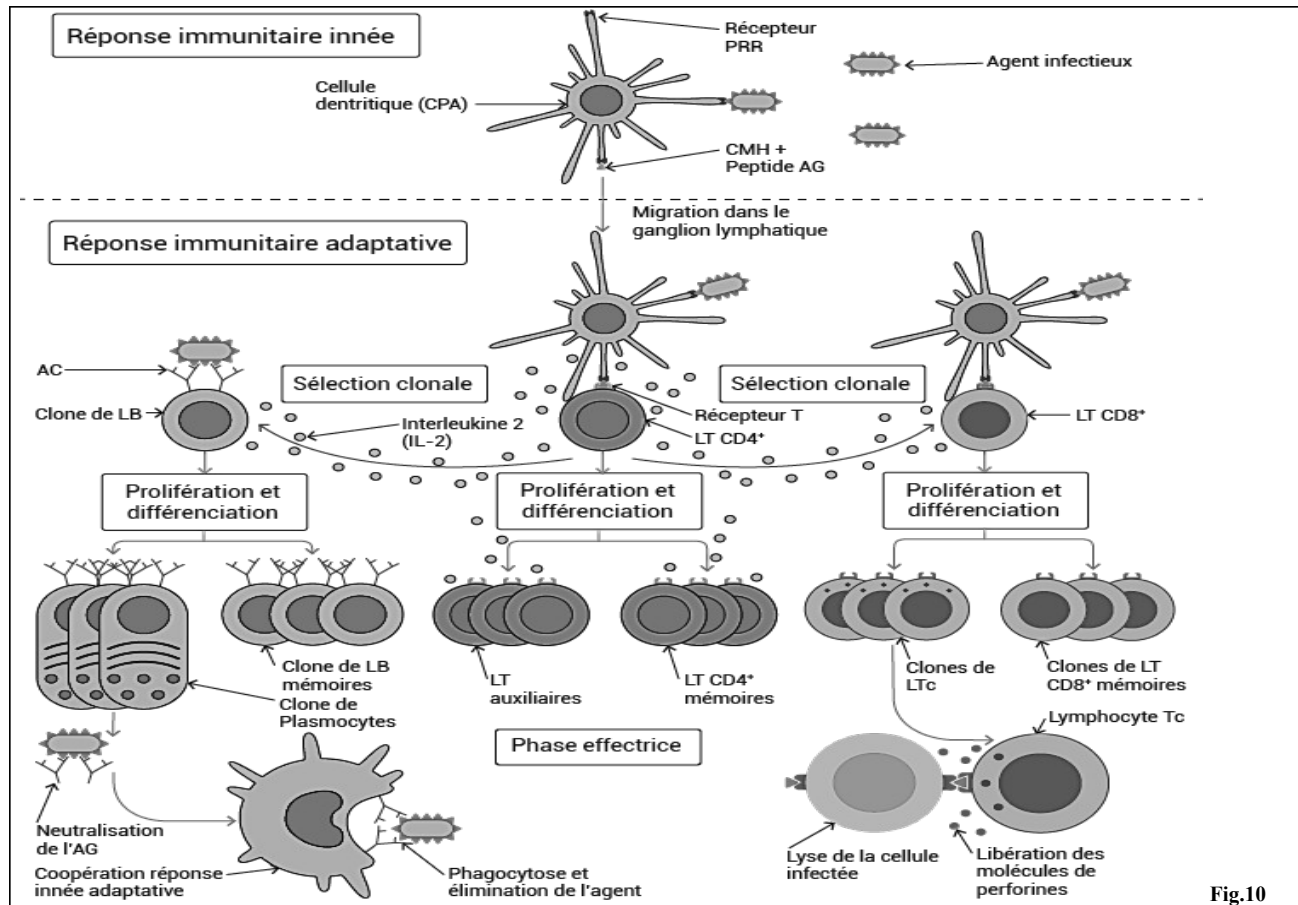


Fig.10

**Consigne : à partir du texte et de la figure 10 :**

1. Citer et caractériser les étapes de la réponse immunitaire à médiation cellulaire.
2. Quels sont les effecteurs de cette immunité et leur mode d'action.

### B) Réponse immunitaire à médiation humorale

L'immunité à médiation humorale est liée aux lymphocytes B (ou cellules B) et aux cellules qui en dérivent directement, les plasmocytes. Les plasmocytes produisent les immunoglobulines (anticorps).

La figure 11 représente les différents types d'immunoglobulines et les rôles.

|                           | IgG                      | IgM                                 | IgA                          | IgD                                 | IgE                   |
|---------------------------|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| PM                        | 150 000                  | 900 000                             | 160-400 000                  | 170 000                             | 190 000               |
| Ch lourde                 | $\gamma$                 | $\mu$                               | $\alpha$                     | $\delta$                            | $\epsilon$            |
| Ch légère                 | $\kappa$ ou $\lambda$    | $\kappa$ ou $\lambda$               | $\kappa$ ou $\lambda$        | $\kappa$ ou $\lambda$               | $\kappa$ ou $\lambda$ |
| Ss classes                | $\gamma$ 1-2-3-4         | $\mu$ 1-2                           | $\alpha$ 1-2                 | -                                   | -                     |
| Taux sérique (g/l)        | 8-12                     | 0,5-2                               | 1,5-4                        | 0,03-0,4                            | 0,0001                |
| $\frac{1}{2}$ vie (jours) | 21                       | 5                                   | 7                            | 3                                   | 2                     |
| Valence                   | 2                        | 10                                  | 2-4                          | 2                                   | 2                     |
| Fixation complément       | +                        | +                                   | -                            | -                                   | -                     |
| Caractères particuliers   | Support principal des Ac | Support des immunisations initiales | Ig des liquides de sécrétion | Propres à la surface des cellules B | Réactions allergiques |

11.a

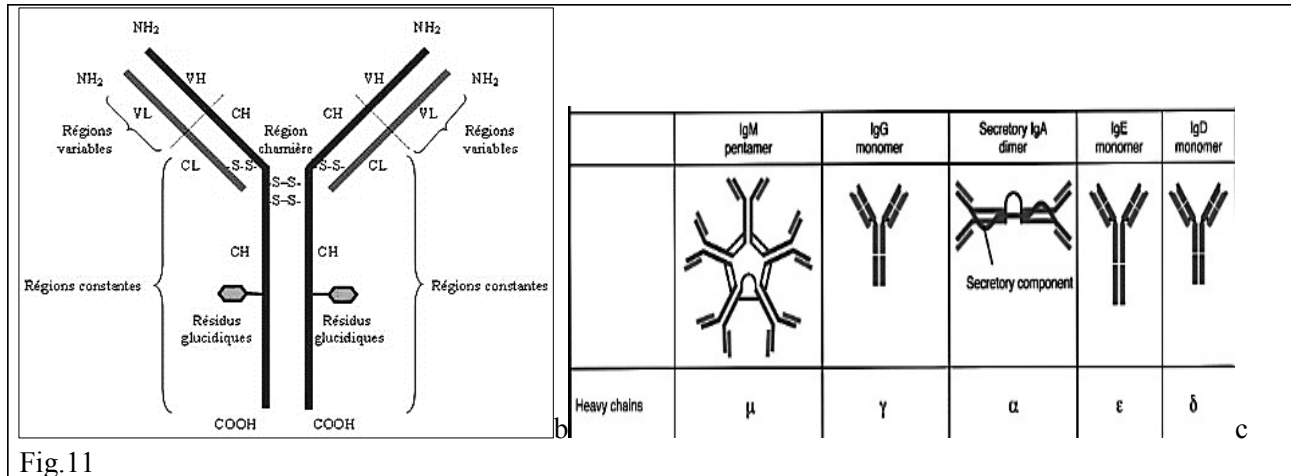


Fig.11

**Consigne : à partir du texte et des figures 10 et 11 :**

1. Citer et expliquer les étapes de la réponse immunitaire adaptative à médiation humorale.
2. Quels sont les effecteurs de cette immunité ?
3. Comment les LB reconnaissent l'antigène ?
4. Décrire les immunoglobulines (Ig).
5. Citer les différents types d'Ig.

### Synthèse générale.

L'organisme possède des mécanismes de défense complexes. Constamment agressé par les microbes présents dans l'environnement, il se défend contre les infections par divers mécanismes spécifiques et non spécifiques qui agissent ensemble ou de façon indépendante.

#### 1. L'immunité innée ou non spécifique.

La réponse immunitaire innée est la première réponse mise en place par l'organisme suite à une agression (invasion microbienne, lésion tissulaire, brûlure physique ou chimique...). Elle permet une réponse rapide et efficace sur un grand nombre de pathogènes. De plus, elle joue un rôle majeur dans la mise en place des réponses immunitaires adaptatives et les processus de réparation tissulaire/cicatrisation.

Cette réponse innée prend place immédiatement au lieu de l'agression aussi bien dans les tissus que dans le sang pour une efficacité optimale. Contrairement à l'immunité adaptative, la réponse innée n'est pas spécifique d'un antigène précis, et n'est pas douée de mémoire.

La majorité des cellules de l'immunité innée sont d'origine myéloïde. Il s'agit des polynucléaires ou granulocytes des cellules d'origine lymphoïde comme les cellules Natural Killer (NK), et des phagocytes mononuclées (monocytes, macrophages, et cellules dendritiques).

#### 2. L'immunité spécifique ou adaptative.

A la différence des mécanismes de défense non spécifiques, les systèmes de défense spécifiques ne sont pas entièrement fonctionnels à la naissance et il leur faut du temps pour se développer après exposition à l'agent infectieux ou à ses antigènes. L'immunité spécifique peut s'acquérir naturellement par l'infection ou artificiellement par la vaccination. Il se divise en deux composantes : l'une faisant intervenir les anticorps (immunité à médiation humorale) et l'autre des cellules (immunité à médiation cellulaire).

##### a) Immunité adaptative à médiation humorale.

Les Lymphocytes B sont localisés dans les follicules primaires des organes lymphoïdes secondaires. Ils n'ont pas accès direct aux antigènes. Ces derniers leur parviennent soit par la lymphe issue du tissu infecté soit par les cellules dendritiques. En effet, les cellules dendritiques provenant du lieu de l'infection pour présenter l'antigène aux lymphocytes T, sont chargées à leur surface de nombreux Ag natifs issus des micro-organismes. L'activation des lymphocytes B peut se faire de différentes manières suivant l'implication des lymphocytes T.

En effet le clone de LT4 sélectionnés par la CPA est activé et se multiplie activement par mitose.

Certaines d de ces cellules deviennent des LT4 mémoires qui ont une durée de vie longue. D'autres se différencient en LT4 auxiliaires (LTh : LT helpers) qui sécrètent de l'interleukine 2.

Parallèlement aux LT4, les LB sélectionnés (spécifique de l'antigène en question), sous l'effet de l'IL2 sécrétée par les LTh se multiplient activement par mitose. Certains de ces cellules deviennent des LB mémoire à durée de vie longue. Les autres se différencient en plasmocytes, cellules effectrices qui sécrètent les anticorps spécifiques de l'antigène. Ces anticorps libérés dans le sang neutralisent les antigènes en se liant à ces derniers pour former un complexe immun. Ce complexe se fixe sur les phagocytes qui assurent leurs phagocytoses. Ainsi l'antigène est éliminé de l'organisme.

#### **b) L'immunité à médiation cellulaire.**

Lors de la réaction inflammatoire aiguë, caractéristique de l'immunité innée, des cellules présentatrices de l'antigène, comme les cellules dendritiques, phagocytent des molécules du virus et présentent des antigènes viraux au sein de leur CMH (complexe majeur d'histocompatibilité).

Ces cellules présentatrices de l'antigène migrent des tissus où elles ont rencontré le virus vers les organes lymphoïdes, où se trouvent les lymphocytes T CD8+ (ou LT CD8+). Les différents clones de LT CD8+ présentent un même récepteur membranaire CD8 et des récepteurs membranaires T (ou TCR), variables selon les clones. Chaque récepteur T n'est capable de reconnaître qu'un seul antigène et un très grand nombre de récepteurs T différents existent. L'ensemble des récepteurs T est capable de reconnaître l'ensemble des antigènes existant. Ainsi, lorsqu'un virus est présent dans l'organisme, les peptides antigéniques viraux présentés par les cellules présentatrices de l'antigène sont reconnus par un récepteur T spécifique. Cette étape de sélection clonale consiste en l'activation d'un clone de LT CD8+ dont le récepteur T est spécifique de l'antigène viral. Les LT CD8+ ainsi activés se multiplient puis se différencient en cellules effectrices : les LT cytotoxiques. Comme celle des plasmocytes, la formation des LT cytotoxiques spécifiques d'un virus donné nécessite la présence des LT auxiliaires.

La présentation de l'antigène viral par les cellules présentatrices de l'antigène permet la sélection des LT CD4+ spécifiques de l'antigène. Les LT CD4+ ainsi activés se multiplient puis se différencient en LT auxiliaires. Les LT CD4+ activés sécrètent de l'interleukine 2, une molécule capable de stimuler la multiplication et la différenciation de ces mêmes LT CD4+. L'interleukine 2 est également capable d'activer la multiplication des LT CD8+ et la différenciation de ces LT CD8+ en LT cytotoxiques, à condition que ces LT CD8+ et les LT CD4+ sécrétant l'interleukine 2 présentent la même spécificité pour l'antigène, c'est-à-dire qu'ils possèdent le même récepteur T activé par le même antigène viral. Les LT cytotoxiques ainsi formés sont capables de reconnaître spécifiquement les cellules de l'organisme infectées par le virus et de sécréter des molécules entraînant la destruction de ces cellules infectées, éliminant ainsi le virus de l'organisme.

## Sous-concept 4 : Le dysfonctionnement et les déficiences du système immunitaire.

### Pré-évaluation :

Qu'est-ce que l'immunodéficience ?

Donner un exemple de maladie immunodéficiente.

### Situation problème :

L'organisme détecte en permanence la présence d'antigène grâce à son système immunitaire.

Des immunodéficiences innées ou acquises peuvent affecter le système immunitaire : production déficiente des cellules immunitaires par les cellules de la moelle osseuse, infections des lymphocytes T par le SIDA.

Le système immunitaire peut être objet de dérèglements difficiles à soigner et dont les conséquences peuvent être une allergie, une maladie auto-immune, etc.

Quel est le mécanisme de chacune des formes de dérèglement du système immunitaire ?

Comment le VIH entraîne-t-il l'affaiblissement du système immunitaire ?

### A. Origine des déficits immunitaires.

#### Activité 1 : les déficits immunitaires primitifs ou congénitaux

Une des fonctions les plus importantes du système immunitaire est de protéger l'organisme en créant des obstacles contre une infection. Si ce système fait défaut, on parle de déficit immunitaire. Lorsque le déficit immunitaire est provoqué par un défaut de cellules immunitaires, le déficit est dit primitif (DIP).

Il existe un grand nombre de DIP, regroupés en 5 grandes catégories en fonction de l'atteinte qui prédomine (Doc.1).

### Déficits immunitaires

**Primitifs (héréditaires):**  
Nourrisson+++

- Déficits humoraux (B)
- Déficits cellulaires (T)
- Déficits combinés (B+T)
- Déficits de la phagocytose
- Déficit en complément

**Secondaires (acquis):**  
À tt âge

- SIDA+++
- Hémopathies malignes
- Vieillesse
- Malnutrition
- Traitement immunosuppresseur

Doc.1

Consigne :

1. Expliquer la conséquence de chacun de ces déficits.
2. Quelle est l'origine des DIP ?
3. Quel est l'âge susceptible d'apparition des DIP ?

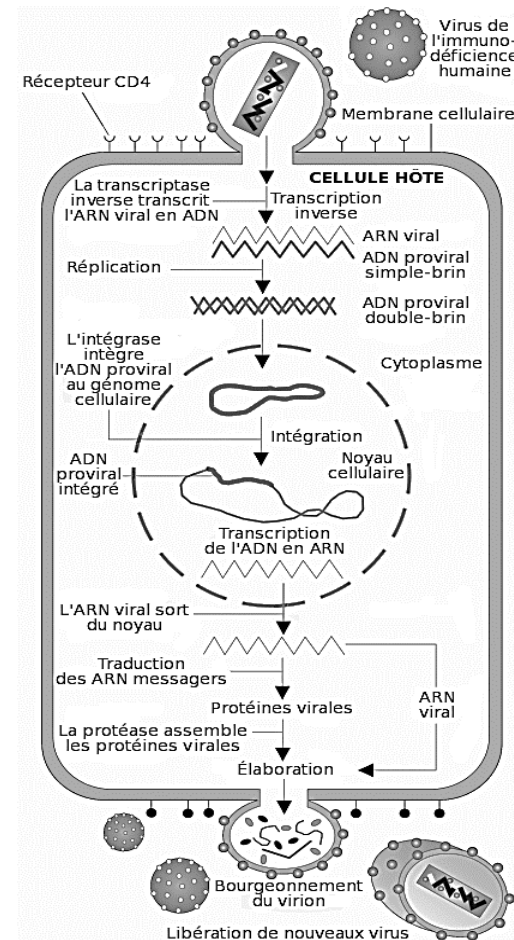
## Activité 2 : Les déficits immunitaires secondaires ou acquises : le SIDA

Le SIDA est une maladie qui touche le système immunitaire.

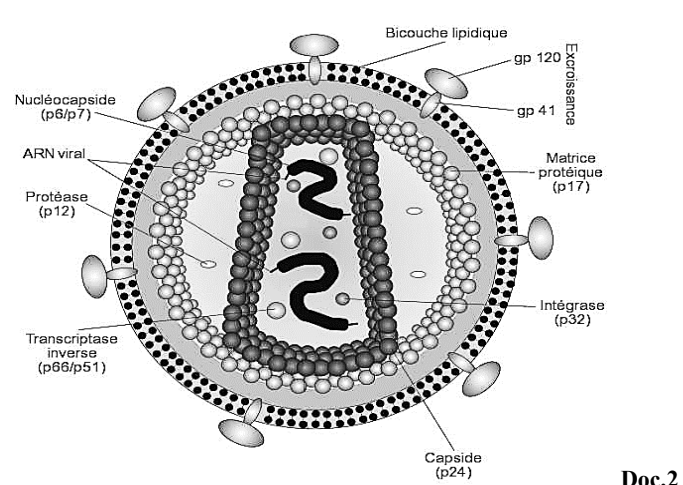
Le VIH agent pathogène du SIDA est un rétrovirus qui a été isolé le 20 Mai 1983 à l'institut Pasteur. Il s'agit d'un virus à ARN enveloppé, qui appartient à la famille des lentivirus. (Doc.2).

Le virus VIH infecte principalement les lymphocytes T CD4<sup>+</sup>. Il peut aussi infecter d'autres cellules exprimant la molécule CD4 à une moindre intensité : les cellules de la lignée monocyttaire (monocytes mais surtout macrophages...), et dans une moindre mesure les cellules dendritiques, et certains thymocytes. De la contamination au SIDA déclaré, on distingue trois phases marquées par l'évolution des paramètres immunitaires, taux d'anticorps et de lymphocytes (Doc.3). Lors des deux premières, les symptômes sont discrets, voire absents. Le syndrome d'immunodéficience apparaît au cours de la troisième.

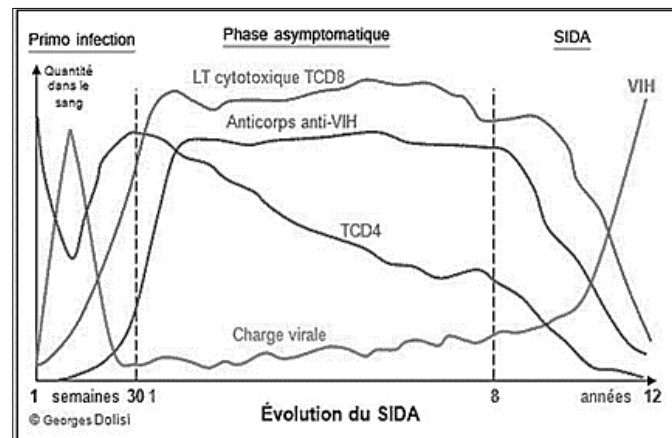
Le document 4 représente les étapes de la contamination d'une cellule par le VIH (cycle viral).



Doc.4



Doc.2



Doc.3

Consigne : à partir de l'analyse du texte et des documents :

1. Décrire le VIH.
2. Pourquoi le VIH ne parasite que les LT4 et les macrophages ?
3. Définir un rétrovirus.
4. Quels sont les caractéristiques de la troisième phase de l'évolution du SIDA ?
5. Expliquer le cycle viral du VIH.
6. Comment le VIH arrive-t-elle à affaiblir le système immunitaire ?

### Activité 3 : Les mécanismes de l'hypersensibilité.

L'hypersensibilité est une réponse immunitaire excessive et indésirable vis-à-vis d'un antigène qui ne s'accompagne d'aucune manifestation chez des sujets normaux. L'allergie est une réponse immunitaire spécifique anormale et excessive vis-à-vis d'un antigène de l'environnement appelé allergène.

L'allergie se déclare en présence d'un allergène. L'allergène est bien toléré par la plupart des gens, mais il peut provoquer une réaction allergique chez une personne dite sensibilisée. Les allergènes tels que les poussières, le pollen et autres particules sont véhiculées par l'air. Les symptômes se situent dans les zones corporelles exposées à l'air (yeux, muqueuses du nez, peau...). En plus des allergènes ambiants, les réactions peuvent également résulter des aliments, des médicaments, des venins d'insectes, etc.

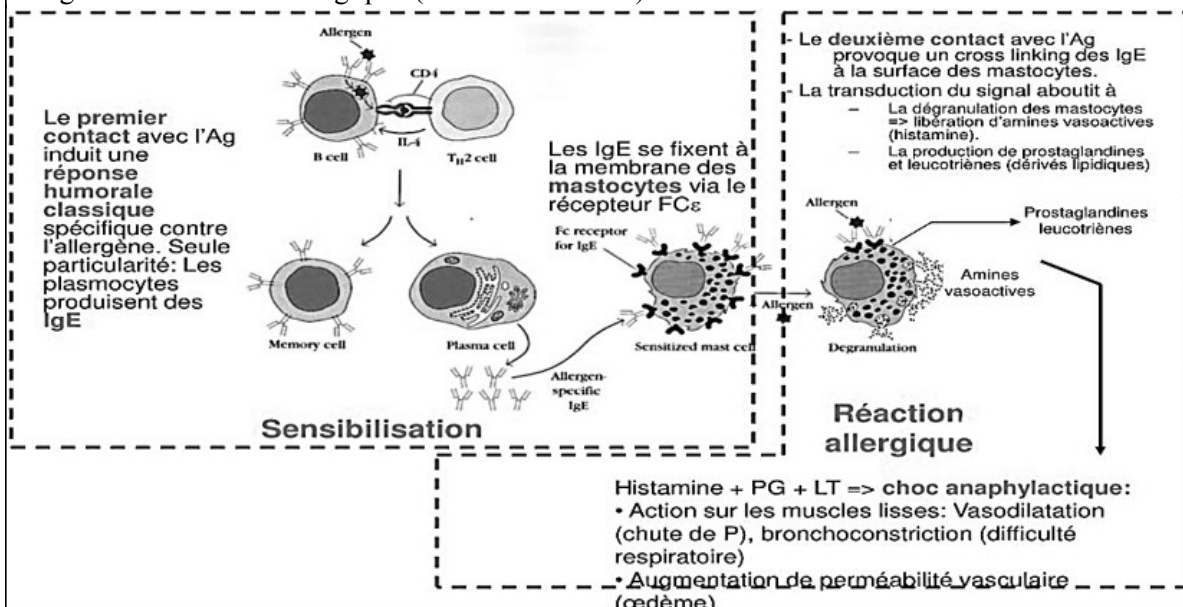
Le venin injecté sous la peau et certains médicaments peuvent produire une réaction allergique systématique appelée choc anaphylactique, réaction allergique extrême, brutale pouvant conduire à la mort.

Parmi les cinq classes d'Ig, on note un excès d'IgE chez les personnes atteintes d'allergie.

Comme dans toutes les réponses d'hypersensibilité immunologique allergique, il est classiquement décrit deux phases immunologiques successives dans l'hypersensibilité allergique immédiate.

Une première phase, dite de sensibilisation, intervient après contact avec la source allergénique. Elle correspond à une réaction immunitaire classique. Les IgE sécrétés par les plasmocytes se fixent sur les mastocytes et les granulocytes basophiles. Ce premier contact n'entraîne pas de signes cliniques.

La deuxième phase, dite effectrice, correspond au stade immunologique où les cellules effectrices intervenant dans l'allergie sont activables rapidement par l'allergène. Elle intervient lorsque l'allergène, à l'occasion d'une nouvelle exposition, se lie aux IgE spécifiques préalablement synthétisées à la surface des mastocytes ou basophiles. Cette liaison entraîne une cascade d'activation intracellulaire ayant comme premier effet la libération très rapide (« immédiate » en l'espace de quelques minutes) du contenu des granules sécrétoires des mastocytes ou des basophiles (histamine, sérotonine, prostaglandine, etc.) qui est à l'origine de la réaction allergique. (Voir document 5).



Doc.5

#### Consigne :

1. Quel est l'agent responsable d'une allergie ?
2. Décrire le mécanisme de la réaction.
3. Quels sont les cellules et les anticorps intervenant dans la réaction d'hypersensibilité ?

**Activité 4 : Quelques maladies auto-immunes.**

L'auto-immunité résulte de la rupture de tolérance aux antigènes du soi. Le développement de l'auto-immunité dépend de gènes de susceptibilité comme le suggère l'existence de maladies auto-immunes familiales. La majorité des maladies auto-immunes sont polygéniques et associées à de multiples loci de susceptibilité, qui individuellement ne confèrent qu'un très faible sur risque d'auto-immunité. La combinaison des différents facteurs de susceptibilité, dans un environnement particulier, pourra en revanche, conduire au développement de pathologies auto-immunes patentes.

Les réactions auto-immunes apparaissent chez des sujets prédisposés génétiquement exposés à divers facteurs environnementaux dont certaines infections. Différents mécanismes des réponses immunitaires classiques sont impliqués dans les phénomènes d'induction de l'auto-immunité, ainsi que dans la production d'effecteurs qui mènent aux lésions cellulaires ou tissulaires. Les mécanismes physiopathologiques impliqués sont étudiés et expliqués par de nombreux modèles expérimentaux, et leur meilleure connaissance est à la base des traitements actuels visant à diminuer l'activation immunitaire. Les explorations de l'auto-immunité dites « de routine » sont basées essentiellement sur la recherche d'auto-anticorps circulants et sur l'étude, dans les biopsies tissulaires accessibles (peau, rein, foie), de l'infiltrat cellulaire, des dépôts d'immunoglobulines et des dépôts de complément. Le tableau 1 représente quelques maladies auto-immunes.

| Maladie                                                 | Prédisposition/<br>déclenchement                                                                        | Atteinte tissulaire                                    | Mécanismes<br>primaires                            | Mécanismes<br>secondaires                                         | Antigènes cibles/<br>auto-anticorps les plus<br>fréquents                                                               |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lupus érythémateux systémique                           | Maladie génétique multifactorielle                                                                      | Systémique                                             | Auto-anticorps, augmentation Interférons de type I | Formation et dépôts de complexes immuns, activation du complément | Constituants des noyaux, dont l'ADN double brin                                                                         |
| Polyarthrite rhumatoïde                                 | Maladie génétique multifactorielle HLA DR1/DR4                                                          | Prédominant aux articulations, possiblement systémique | Médiation cellulaire, formation de granulomes      | Inflammation systémique                                           | Antigènes non connus (collagène II ?)<br>Auto-anticorps : facteur rhumatoïde (FR), anticorps protéines citrullinées     |
| Thyroïdite auto-immune : maladie d'Hashimoto            | Maladie génétique multifactorielle DR3                                                                  | Microsomes thyroïdiens, hypothyroïdie                  | Production d'auto-anticorps                        | Infiltration lymphocytaire T                                      | Thyropéroxydase, thyroglobuline                                                                                         |
| Hyperthyroïdie auto-immune<br>Maladie de Graves Basedow |                                                                                                         | Récepteur de la TSH, hyperthyroïdie                    | Production d'auto-anticorps                        |                                                                   | Auto-anticorps antirécepteur de la TSH stimulants<br>Thyropéroxydase (thyroglobuline)                                   |
| Diabète de type 1                                       | Maladie génétique multifactorielle (HLA DR3/DR4)<br>Infections virales (entérovirus, <i>Coxsackie</i> ) | Cellules $\beta$ des îlots de Langerhans               | Médiation cellulaire                               | Production d'auto-anticorps                                       | Cellules $\beta$ des îlots de Langerhans : pro-insuline, insuline, antigènes GAD, IA-2, ZnT8                            |
| Maladie coeliaque                                       | HLA DQ2 DQ8<br>Ingestion de gluten                                                                      | Villosités intestinales                                | Prolifération intravillositaire de lymphocytes T   | Production d'auto-anticorps                                       | Peptides désamidés de la gliadine/anticorps antitransglutaminase tissulaire (IgA $\pm$ IgG) (anticorps anti-endomysium) |
| Myasthénie                                              | Maladie génétique multifactorielle<br>Association à un thymome                                          | Synapses neuromusculaires                              | Production d'auto-anticorps                        | Activation du complément<br>Rôle des lymphocytes T ?              | IgG antirécepteur de l'acétylcholine<br>Anticorps anti-Musk, anti-titine                                                |

**Tableau 1.**
**Consigne :**

- 1) Pourquoi ces maladies sont-elles appelées auto-immunes ?
- 2) Quelles sont les causes de ces maladies ?
- 3) Parmi ces maladies, citer celles qui sont caractérisées par une réaction à médiation cellulaires et celles à médiation humorale.
- 4) Définir une maladie auto-immune.

**Synthèse générale :**

**1. SIDA et déficit immunitaire.**

La transmission du virus VIH se fait par voie sexuelle, sanguine et de la mère à l'enfant, proportionnellement à la charge virale du liquide contaminant.

Le virus cible les cellules exprimant la molécule CD4 en utilisant cette molécule comme porte d'entrée. La lymphopénie T CD4 + aboutit à un état d'immunodépression cellulaire et humorale. Il existe une réponse lymphocytaire B contre le VIH qui conduit à la production d'anticorps utiles pour le diagnostic mais peu efficaces contre l'infection car peu neutralisants.

La pression de sélection imposée par les lymphocytes T CD8 + cytotoxiques conduit à l'apparition de virus mutants qui échappent aux réponses spécifiques T et B. La perte de lymphocytes T CD4 + au niveau intestinal joue un rôle majeur dans la pathogénèse de l'infection. Les capacités de production thymique diminuent progressivement au cours de l'infection naturelle. Les tentatives de vaccination sont pour l'instant inefficaces.

**2. Les maladies auto-immunes.**

L'auto-immunité résulte de défauts dans la mise en place ou le maintien de la tolérance au soi du système immunitaire. Chez les autres animaux et chez l'Homme, la rupture de tolérance au soi conduit à l'activation de lymphocytes T et B auto-réactifs, entraînant la production de cellules effectrices ou d'auto-anticorps reconnaissant des constituants de l'hôte et responsables de lésions cellulaires et tissulaires qui dans certains cas peuvent aboutir à une symptomatologie clinique responsable de maladies auto-immunes. Les maladies auto-immunes sont fréquentes (prévalence, toutes confondues : 5 %) et représentent une cause importante de mortalité dans les pays développés. Elles sont très hétérogènes et sont classées en deux groupes :

Les maladies spécifiques d'organes dans lesquelles les anticorps ou les lymphocytes T sont dirigés contre des antigènes restreints à une distribution tissulaire ou à un organe (diabète de type 1, thyroïdite de Hashimoto).

Les maladies non spécifiques d'organe, dites maladies auto-immunes systémiques, où la distribution des autoantigènes cibles est ubiquitaire et où la formation de complexes immuns circulants, notamment contribue au développement d'une maladie systémique avec des atteintes diffuses et polymorphes de différents organes au cours du temps (exemple : le lupus érythémateux systémique). Ce sont des maladies multifactorielles (terrain génétique prédisposant, facteurs environnementaux, facteurs hormonaux) mais d'étiologie inconnue dans la majorité des cas.

**3. L'hypersensibilité**

On utilise le terme d'hypersensibilité quand la réponse immunitaire revêt une forme exagérée ou inappropriée entraînant des lésions tissulaires.

L'hypersensibilité immédiate, dite de type I dans la classification de Gell et Coombs, correspond aux réactions aux allergènes (allergies) dépendantes des IgE.

La phase de sensibilisation correspond à la synthèse d'IgE spécifiques et est cliniquement muette.

La cellule effectrice principale est le mastocyte, portant des FcεRI fixant les IgE par leur fragment Fc.

Au cours de la phase effectrice, lors d'un nouveau contact avec l'allergène, les IgE reconnaissent et lient les épitopes correspondants par leurs Fab, s'agrègent (pontage) et induisent un signal transmis et amplifié par les sous-unités du FcεRI. La dégranulation mastocytaire est à l'origine de symptômes immédiats potentiellement sévères (anaphylaxie). Cette dégranulation est suivie par la libération de médiateurs lipidiques et par une néo synthèse protéique responsable de l'induction des phases tardives de l'hypersensibilité, de l'inflammation chronique et du remodelage tissulaire. L'allergie fait suite à une anomalie ou une rupture de la tolérance naturelle vis-à-vis d'un antigène exogène. Les modifications

récentes de l'exposome et son impact sur le microbiote sont les principaux facteurs intervenant dans l'augmentation des maladies allergiques ces dernières années.

## Sous-concept 5 : Les aides à la réponse immunitaire.

### Pré-évaluation :

Qu'est-ce qu'un vaccin ?

Quelle est l'importance de la vaccination ?

### Situation problème :

Depuis l'Antiquité, on a remarqué que les survivants d'une épidémie pouvaient être protégés contre l'épidémie suivante de la même maladie. Guérir d'une maladie permet donc d'être protégé contre celle-ci des années durant. En effet, la réaction immunitaire primaire s'accompagne de la formation de cellules immunitaires mémoires à longue durée de vie : il s'agit des lymphocytes T et B mémoires. Le développement des vaccins contre des infections a été l'un des grands succès de l'immunologie. Il a permis l'éradication à l'échelle mondiale de la variole grâce à un programme mondial de vaccination.

Comment fonctionnent les vaccins ?

Quels sont les principaux moyens d'aides à réponse immunitaire ?

### Activité 1 : L'asepsie et l'antisepsie.

L'asepsie et l'antisepsie, termes souvent confondus se complètent efficacement lors de soins.

**L'asepsie** : (étymologie grecque : sepsis, "envahissement microbien" et a privatif, "absence de") consiste à accomplir une tâche donnée sans apporter de micro-organismes (bactéries, virus, champignons) au patient (ou à l'objet de sa tâche). Elle repose sur l'utilisation de matériel stérile, de tenue stérile, de couvre-chef étanche, de gants stériles, de masque anti-projection, de micro-filtres à air (filtres à très haute efficacité ou THE) et de système de renouvellement de l'air, sans oublier les règles comportementales.

Les procédés employés sont appelés des techniques aseptiques.

**L'antisepsie** : c'est l'utilisation d'un produit (antiseptique) choisi judicieusement pour neutraliser les micro-organismes présents sur une zone de peau ou de muqueuse, qu'elle soit saine ou lésée.

Son effet est temporaire, son emploi plus préventif que curatif.

Les antiseptiques sont destinés aux tissus vivants (peau, muqueuse).

Ces produits agissent de façon momentanée, ils ne protègent pas contre une nouvelle contamination ni la prolifération naturelle (mitose, réplication). Ils doivent donc être réappliqués régulièrement.

### Consigne :

1. Quelle différence fais-tu entre ces deux techniques ?
2. Laquelle des deux techniques est utilisée pour soigner les plaies ?

### Activité 2 : la vaccination

#### A. Principe de la vaccination.

Le Document 1 représente les différents types de vaccins.

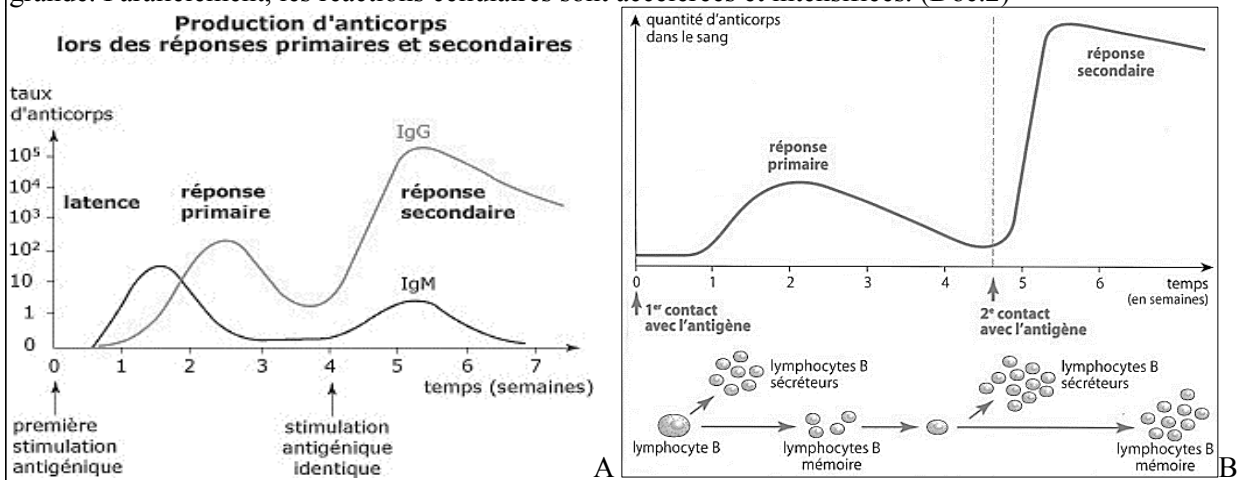
|                     |                             |                    |                                                                |
|---------------------|-----------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------|
| Vaccins entiers     | Bactériens                  | Vivants (atténués) | BCG                                                            |
|                     |                             | Tués (inactivés)   | Coqueluche (vaccin à germes entiers)                           |
|                     | Viraux                      | Vivants (atténués) | Rougeole, Oreillons, Rubéole, Fièvre jaune                     |
|                     |                             | Tués (inactivés)   | Polio injectable, Grippe, Hépatite A, Rage                     |
| Vaccins sous-unités | Anatoxines                  |                    | Diphtérique, Tétanique                                         |
|                     | Polysaccharides capsulaires |                    | Haemophilus influenzae b, Pneumocoque, Méningocoque, Typhoïde, |
|                     | Recombinants                |                    | Hépatite B                                                     |
|                     | Antigènes divers            |                    | Coqueluche (vaccin acellulaire)                                |

Doc.1

La vaccination est le processus consistant à stimuler les réponses immunitaires adaptatives protectrices contre des micro-organismes en exposant l'individu à des formes non pathogènes ou à des composants des micro-organismes. La substance active d'un vaccin est un immunogène. La vaccination peut être prophylactique, et donc préventive de l'infection, ou thérapeutique pour le traitement de patients infectés chroniquement, atteints de cancers de pathologies auto-immunes ou infectieuses. Elle génère non seulement une protection individuelle mais également une protection collective en limitant la dissémination des agents infectieux. Le but des vaccins est d'obtenir une réponse protectrice, basée sur la mémoire immunologique, reposant sur la production d'anticorps et de lymphocytes effecteurs.

### B. Caractéristiques de la vaccination.

Lors de la première exposition à un antigène vaccinal, la réponse immunitaire est lente, peu spécifique, s'exprimant initialement par la production d'IgM. Lors de nouveaux contacts avec l'antigène, comme dans le cadre des rappels vaccinaux, le délai de réponse se raccourcit et les anticorps atteignent des titres beaucoup plus élevés. Il s'agit alors essentiellement d'anticorps IgG dont la spécificité est beaucoup plus grande. Parallèlement, les réactions cellulaires sont accélérées et intensifiées. (Doc.2)



Document 2

### Consigne :

1. Citer et caractériser les différents types de vaccin.
2. Comparer les réponses primaire et secondaire suite à l'infection par un même agent pathogène.
3. Quel est le principe de base de la vaccination ?
4. Quel est le principal support de la mémoire immunitaire ?

### Activité 3 : la sérothérapie.

L'immunisation passive ou sérothérapie est l'administration d'anticorps préformés (en général Ig G) par voie intraveineuse ou voie intramusculaire. Ces anticorps peuvent provenir d'individus ayant une en anticorps élevée contre des agents pathogènes particuliers et ils sont utilisés pour apporter une protection rapide dans certaines maladies telles que la diphtérie ou le tétanos ou dans le cas d'une exposition accidentelle à certains agents pathogènes comme le virus de l'hépatite B. c'est une immunisation non durable qui disparaît lorsque les anticorps administrés sont métabolisés.

La sérovaccination associe la vaccination et la sérothérapie ; la sérothérapie installe une immunité immédiate et de courte durée relayée plus tardivement par une immunité de longue durée provoquée par la vaccination (utilisée en particulier dans le tétanos).

### Consigne :

1. Quelle est le principe de base de la sérothérapie ?
2. Pourquoi appelle-t-on la sérothérapie, immunisation passive.
3. Comparer la vaccination et la sérothérapie.

4. Pourquoi dans le cas de la sérovaccination on associe sérothérapie et vaccination ?

**Activité 4 : D'autres techniques.**

**A) La greffe de moelle osseuse.**

La transplantation de moelle osseuse est une greffe consistant à transférer la moelle osseuse d'un individu à un autre souffrant d'une pathologie de sa moelle. Elle est parfois la seule voie de guérison. Si le traitement par une transplantation de moelle osseuse est choisi, il faut trouver un donneur compatible avec le malade.

Comme pour toutes les allogreffes, la compatibilité entre le donneur et le receveur est un problème important à résoudre : afin d'augmenter au maximum les chances de succès de la greffe. (fig.3)



Document 3.

**B) La radiothérapie.**

C'est un traitement locorégional des cancers. Elle consiste à utiliser des rayonnements pour détruire les cellules cancéreuses en bloquant leur capacité à se multiplier. L'irradiation a pour but de détruire les cellules cancéreuses tout en préservant le mieux possible les tissus sains et les organes avoisinants.

**C) La chimiothérapie.**

La chimiothérapie désigne l'utilisation d'agents chimiques (toxiques) pour traiter des maladies cancéreuses. C'est un traitement toxique pour les cellules tumorales mais aussi pour les cellules saines avoisinantes, ce qui peut engendrer des effets secondaires (nausées, vomissements, diarrhées, etc.).

L'antibiothérapie est un traitement par antibiotiques. Les antibiotiques sont des substances chimiques élaborées par des microorganismes capables d'inhiber la multiplication (action bactériostatique) ou de tuer (action bactéricide) d'autres microorganismes.

**Consigne :**

1. Pourquoi prescrit-on aux « enfants bulles » un traitement de greffe de moelle osseuse ?
2. Préciser les avantages et les inconvénients de la radiothérapie et l'antibiothérapie.

## **Synthèse générale.**

### **1. La vaccination.**

La première rencontre du système immunitaire avec un agent pathogène déclenche une réponse immunitaire dite « primaire » qui consiste en la mise en place de cellules effectrices (plasmocytes sécréteurs d'anticorps, lymphocytes T auxiliaires, lymphocytes T cytotoxiques) spécifiques de cet agent. Lors d'un contact ultérieur avec le même agent infectieux, la réponse immunitaire dite « secondaire » est plus rapide et quantitativement plus importante. En effet, la réaction immunitaire primaire s'accompagne de la formation de cellules immunitaires mémoires à longue durée de vie : il s'agit des lymphocytes T et B mémoires et des plasmocytes mémoires. Les études ont montré que certaines cellules immunitaires, dont certains lymphocytes B et T, peuvent vivre très longtemps, au moins une dizaine d'années, dans l'organisme. Ainsi, lors d'un contact ultérieur avec l'agent infectieux, les LT et LB mémoires réagissent beaucoup plus vite à l'agent infectieux en proliférant et en se différenciant beaucoup plus rapidement que les LT et LB naïfs, qui n'ont jamais été activés par l'agent infectieux. L'existence de cette réaction secondaire intense et rapide nécessite que les LT et LB mémoires réagissent à des antigènes proches de ceux les ayant activés la première fois.

Le principe du vaccin utilise cette mémoire immunitaire : le patient est exposé à un pathogène modifié et non dangereux (pathogène tué, inactivé ou morceau de pathogène) mais immunogène, c'est-à-dire entraînant une réaction immunitaire suffisante pour former des LB et des LT mémoires.

Il est souvent nécessaire d'effectuer des rappels de vaccination pour entretenir cette mémoire immunitaire.

Ainsi, par la vaccination, le patient qui n'a pas développé la maladie causée par l'agent infectieux possède un phénotype immunitaire qui lui permet lors d'un contact ultérieur avec l'agent infectieux de déclencher une réponse immunitaire secondaire, suffisamment rapide et intense, pour lui éviter de tomber malade.

### **2. La sérothérapie.**

La sérothérapie est une technique de transfert passif de l'immunité humorale, visant à conférer une protection immédiate, mais transitoire, en attendant de la mise en place d'une immunité acquise d'origine vaccinale. Les préparations utilisées pour la sérothérapie sont enrichies en anticorps dirigés contre un agent pathogène particulier. Elles sont obtenues à partir de séra provenant d'animaux ou d'individus hyperimmunisés contre le pathogène en question (inoculation de préparation bactérienne ou de toxines inactivées). Ces préparations diffèrent donc des Ig polyvalentes préparées à partir de plasma humain provenant de donneurs non hyperimmunisés. Dans les deux cas, ces préparations sont dites poly clonales car elles sont constituées d'un mélange d'anticorps différents.

La sérothérapie par anticorps d'origine animale peut de manière exceptionnelle provoquer des accidents de type anaphylactique. L'utilisation d'anticorps purifiés (et non de sérum) a permis d'améliorer la tolérance à ces préparations. Les immunoglobulines équine anti-venin de vipère sont ainsi toujours utilisées.

L'utilisation d'immunoglobulines spécifiques purifiées d'origine humaine a réduit considérablement la fréquence des accidents allergiques provoqués par les immunoglobulines d'origine animale. On dispose ainsi d'immunoglobulines spécifiques humaines anti-VHB, anti rage et anti-tétanos pour ces dernières). Les immunoglobulines spécifiques sont généralement administrées par voie intramusculaire.

### **3. Greffe de la moelle osseuse :**

Cette technique est basée sur la transplantation des cellules de la moelle osseuse du donneur sain à une personne immunodéficiente parce sa production de cellule immunitaire est très insuffisante. Cette greffe est une reconstitution immunologique. Il est important que le receveur et le donneur appartiennent au même groupe tissulaire pour éviter le rejet du greffon. Cette greffe se fait généralement entre frère et sœur

histocompatible (même CMH). La greffe de la moelle osseuse est recommandée chez les malades atteints de leucémie.

## Concept général 5 : Relations de l'organisme avec le milieu extérieur

### Sous-concept 1 : Le fonctionnement des neurones

#### Pré-évaluation :

Qu'est-ce qu'un nerf ?

Comment est organisé un nerf et comment fonctionne-t-il ?

#### Situation problème :

Le système nerveux est organisé en système nerveux central ou névraxe (l'encéphale et la moelle épinière) et le système nerveux périphérique (les nerfs).

Le névraxe reçoit un message efférent, traite l'information et envoie un message afférent par les nerfs.

Quelle est la nature du message nerveux ?

Comment est-il conduit ?

#### Activité 1 : Nerf et neurone

Les schémas A et B de la figure 1 représentent la structure d'une cellule nerveuse (neurone) et d'un nerf.

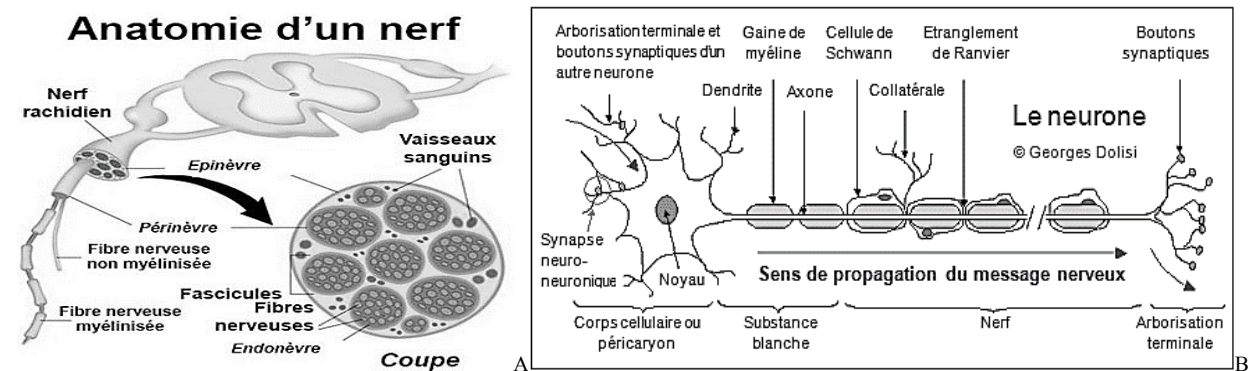


Figure 1

#### Consigne :

1. Décrire un nerf.
2. Quelles sont les différentes parties d'un neurone ?

#### Activité 2 : Le potentiel de repos.

##### A) Mise en évidence

**Expérience 1 :** on utilise pour ce dispositif une fibre nerveuse de calmar (axone) dont le diamètre permet de placer les électrodes réceptrices de part et d'autre de la membrane plasmique de la fibre nerveuse et sa robustesse la rend apte à l'étude in vitro. En l'absence de stimulation, il existe une différence de potentiel ou **ddp** entre les deux faces de la membrane plasmique. La face interne est négative par rapport à la face externe. Cette tension électrique est appelée potentiel membranaire ou potentiel de repos.

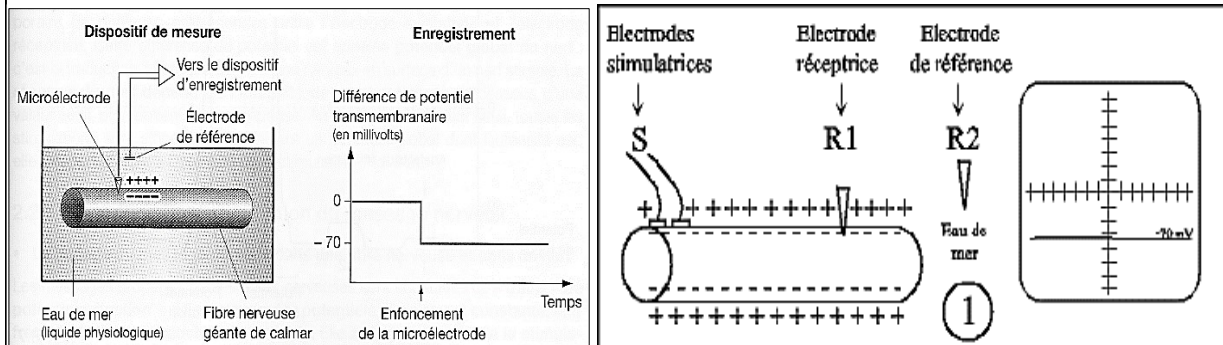


Figure 2

**Consigne :**

- 1) Déterminer la différence de charge entre l'intérieur et l'extérieur de la fibre nerveuse.
- 2) Quelle est la valeur de cette ddp ?
- 3) Préciser la charge à l'intérieur et à l'extérieur de la membrane plasmique au repos.
- 4) Quelle serait la valeur de la ddp si l'intérieur et l'extérieur de la fibre avaient la même charge ?

**B) Origine du potentiel de repos.**

Comme toutes les cellules de l'organisme, le neurone possède une composition chimique intracellulaire différente de celle du milieu extracellulaire. Cette répartition inégale des ions s'explique par le fonctionnement des canaux protéiques membranaires (canaux à  $\text{Na}^+$  ;  $\text{K}^+$  et pompe à  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ).

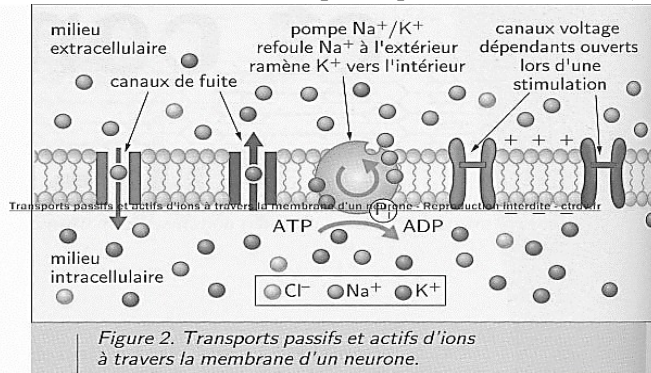


Figure 2. Transports passifs et actifs d'ions à travers la membrane d'un neurone.

| Ions          | Milieu extracellulaire | Milieu intracellulaire |
|---------------|------------------------|------------------------|
| $\text{Na}^+$ | 140                    | 14                     |
| $\text{K}^+$  | 5                      | 140                    |

Figure 3

**Consigne :**

- 1) Déterminer pour chaque ion, le milieu où il est concentré.
- 2) Expliquer cette différence de concentration à travers la membrane plasmique du neurone.

**Activité 3 : le potentiel d'action (PA)**

**A) Origine du potentiel d'action**

Le document ci-dessous représente le dispositif d'enregistrement du PA et son résultat.

Dispositif d'enregistrement du message nerveux

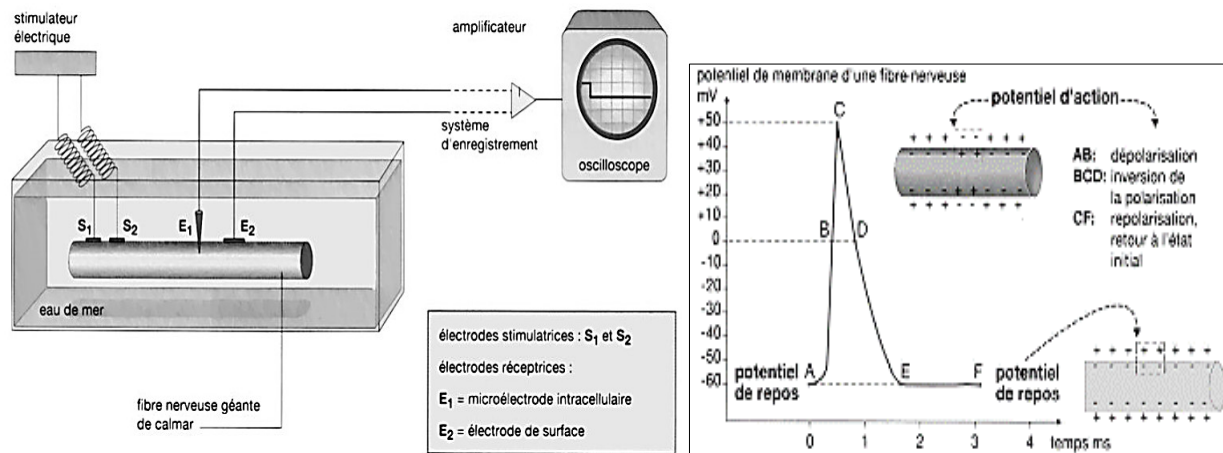


Figure 4

**Consigne :**

- 1) Quel constat fais-tu entre ce dispositif et celui du potentiel de repos ?
- 2) Quels sont les différentes phases de la courbe représentant le PA ?
- 3) Que deviennent les charges électriques en un point donné du PA ?

## B) Mécanismes ioniques à l'origine du PA

Le message nerveux se propage sous forme de potentiel d'action. En effet une stimulation efficace au niveau de la membrane entraîne l'ouverture des canaux  $\text{Na}^+$  voltages dépendants. L'entrée massive des ions  $\text{Na}^+$  provoque une dépolarisation. La figure 5 représente les mécanismes ioniques à l'origine du PA.

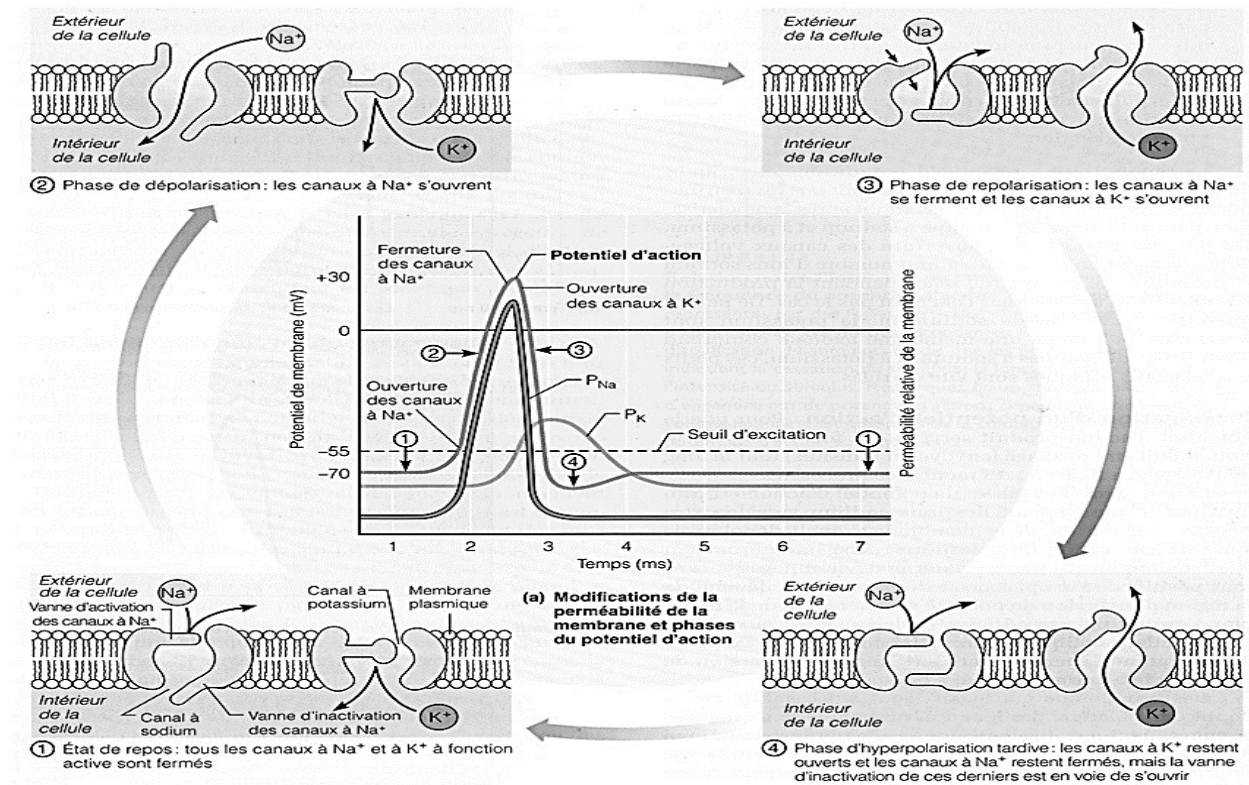


Figure 5

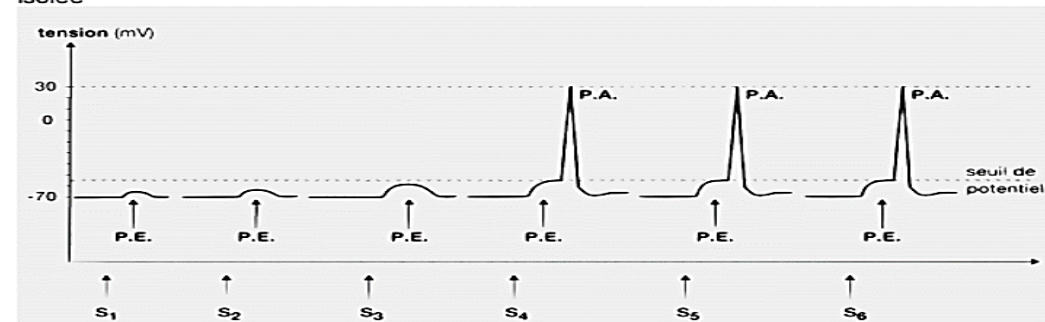
### Consigne :

- 1) Comment fonctionne les pompes ioniques  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  d'une fibre au repos et pendant la génération d'un potentiel d'action.
- 2) Expliquer les mouvements d'ions pendant les différentes phases du PA.

## C) Les conditions de la genèse d'un potentiel d'action

Le document 6 traduit la réponse d'une fibre nerveuse à des stimulations isolées d'intensités croissantes.

Déclenchement des potentiels d'action en réponse à des stimulations isolées sur une fibre isolée



Doc.6

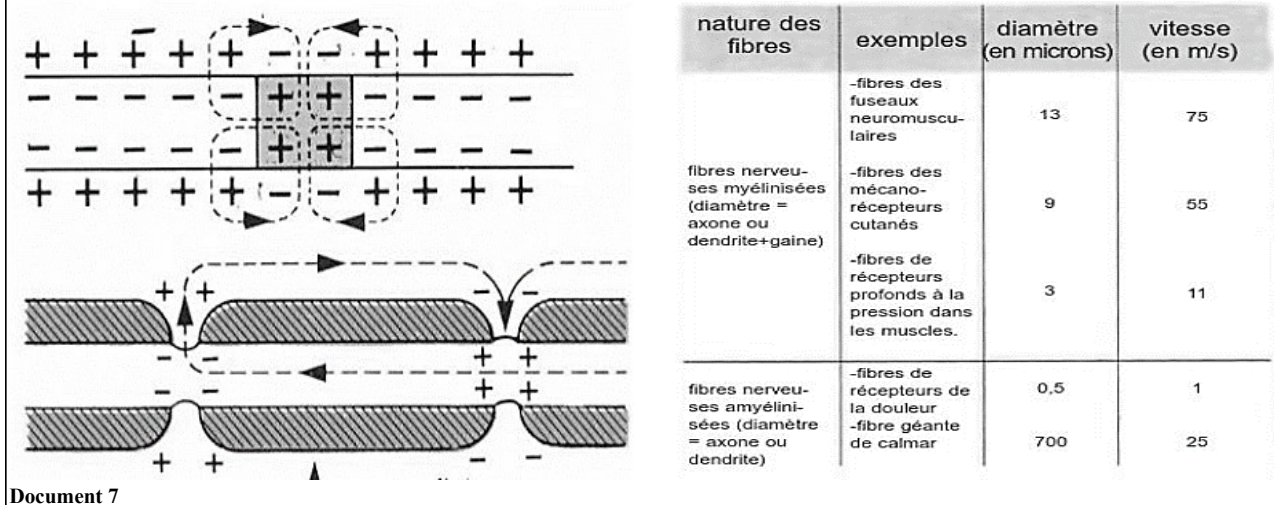
Le potentiel électrique (PE) est une légère dépolarisation de la fibre en réponse à la stimulation électrique. Ce potentiel est proportionnel à l'intensité du stimulus.

**Consigne :**

- 1) Comment évolue l'amplitude du PE ?
- 2) Quelle relation existe-t-il entre le PE et le PA ?
- 3) Déterminer la stimulation minimale capable d'engendrer un PA et nommer-le.
- 4) Lesquelles des stimulations n'engendrent pas de PA ?
- 5) Quelle loi concernant la propagation du PA se dégage de l'étude de ce graphe ? Expliquer.

**Activité 4 : la propagation du message nerveux sur une fibre isolée.**

La vitesse de propagation du PA est variable d'une fibre nerveuse à une autre en fonction du diamètre ou selon que la fibre soit myélinisée ou non. (Voir Doc 7).



Document 7

**Consigne**

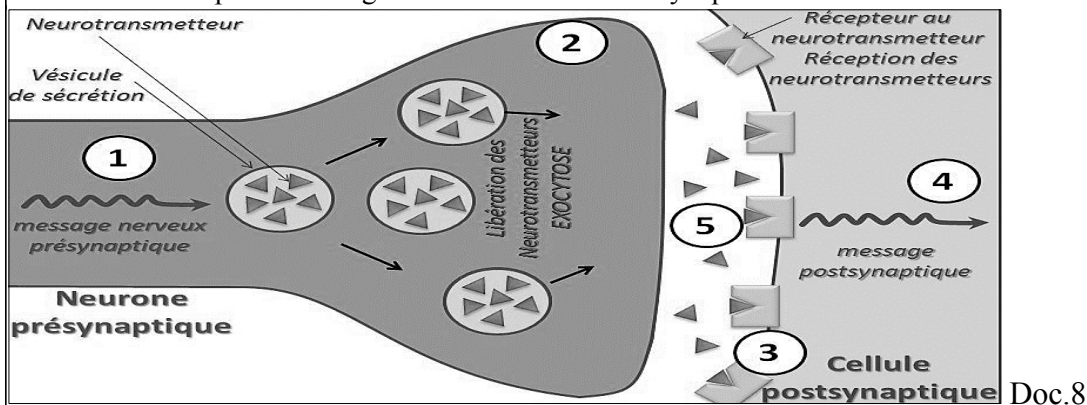
- 1) Décrire la propagation du PA le long des types de fibres nerveuses.
- 2) Comment varie la vitesse de propagation du PA en fonction du diamètre de la fibre.

**Activité 5 : le fonctionnement des synapses.**

**A) Organisation de la synapse.**

Une synapse est le point de jonction entre deux neurones (synapse neuro-neuronique) ou entre un neurone et une fibre musculaire (synapse neuromusculaire).

Le document 8 représente l'organisation de base d'une synapse entre deux neurones.



Doc.8

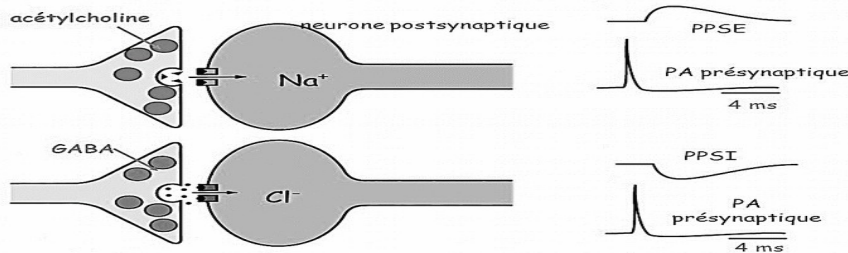
**Consigne :**

- 1) Identifier les différents éléments d'une synapse à partir de l'analyse du document 8.
- 2) Quelle est la conséquence de l'arrivée du PA sur le neurone post-synaptique ?

### B) Réaction du neurone post-synaptique

Selon le type de synapse, la combinaison entre le neurotransmetteur et le récepteur se traduit par une d'polarisation ou une hyperpolarisation de la membrane post-synaptique.

Lorsque cette combinaison entraine une dépolarisation, on parle de potentiel post-synaptique excitateur (PPSE) : la synapse est dite excitatrice. Lorsqu'elle entraine une hyperpolarisation, on parle de potentiel post-synaptique inhibiteur (PPSI) : la synapse est dite inhibitrice.



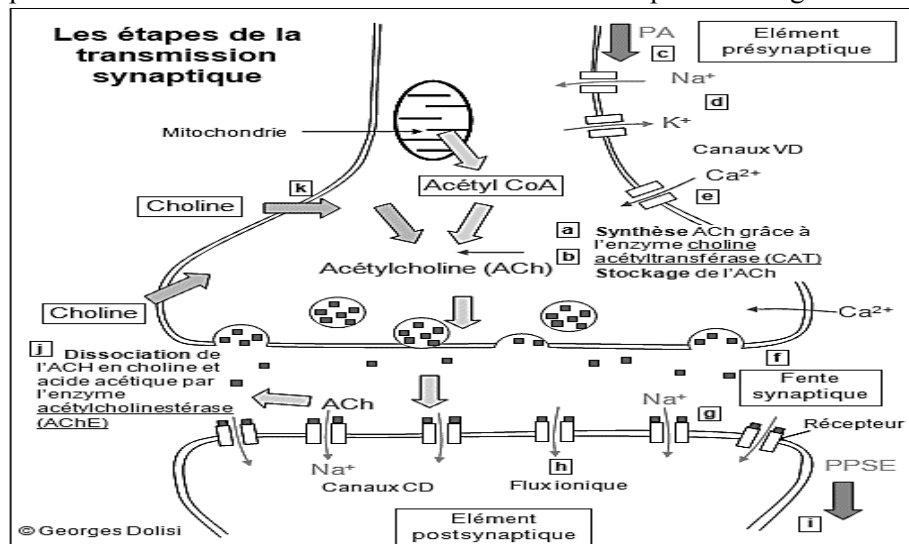
Doc.9

#### Consigne :

- 1) Expliquer comment la fixation du neurotransmetteur déclenche un PPSE ou un PPSI.
- 2) Identifier les deux types de synapse.

### C) La transmission synaptique.

Au niveau d'une synapse, la transmission du message se fait uniquement dans un seul sens. En effet le neurone pré-synaptique possède des vésicules qui contiennent les neurotransmetteurs et la membrane post-synaptique possède les récepteurs spécifiques à ces neurotransmetteurs. L'arrivée du PA au niveau de la synapse entraine l'entrée d'ions  $\text{Ca}^{2+}$  qui activent les vésicules à neurotransmetteurs. Le contenu de ces dernières est déversé dans la fente synaptique. Le neurotransmetteur ainsi libéré se fixe sur les récepteurs et permet l'ouverture des canaux à  $\text{Na}^{+}$  ou  $\text{Cl}^{-}$  chimio-dépendants et génère ainsi un PPSE ou un PPSI.



Doc.10

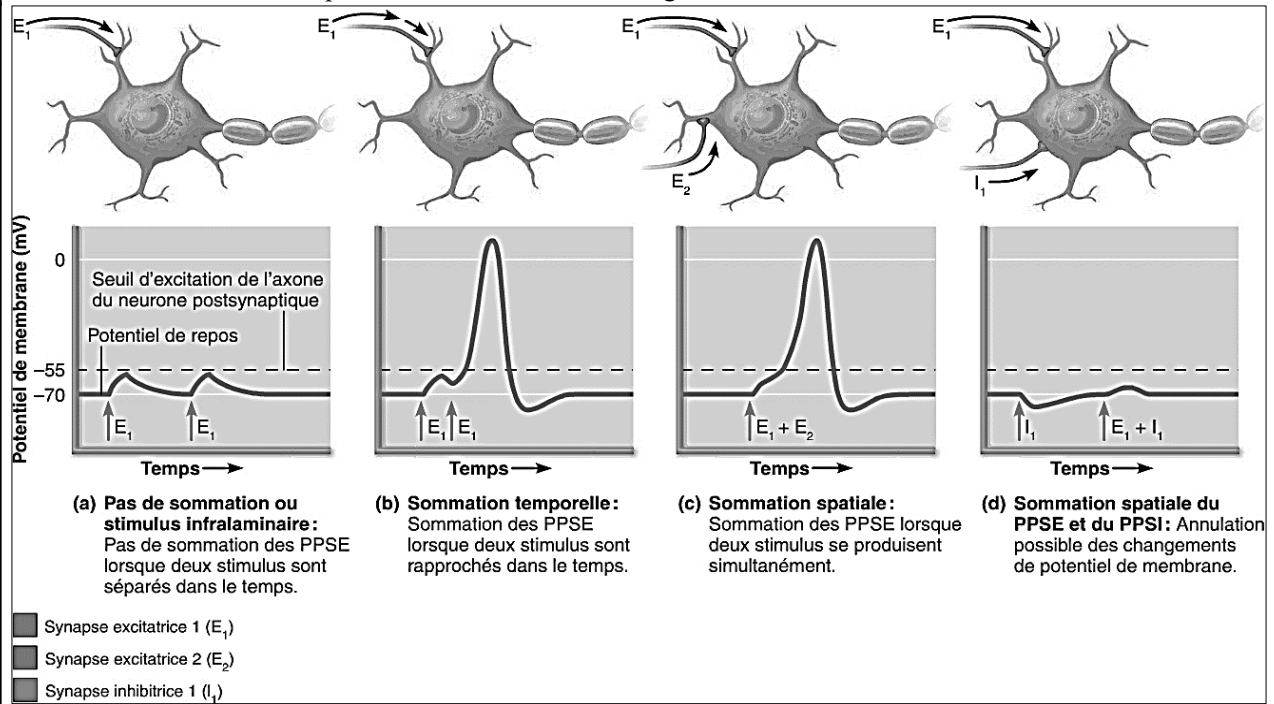
#### Consigne :

- 1) Quel est la nature du message transmis au niveau d'une synapse ?
- 2) Déterminer les étapes de la transmission du message nerveux au niveau d'une synapse ?
- 3) Pourquoi la transmission synaptique n'est possible que dans un seul sens ?

#### D) Conditions de la génération d'un PPSE.

L'arrivée d'un seul PA n'est pas nécessaire pour générer un PPSE.

Le document ci-dessous représente les conditions de la génération d'un PPSE.



#### Consigne :

- 1) Pourquoi il n'y a pas génération de PPSE en (a) et (d) ?
- 2) Pourquoi il y a génération de PPSE en (b) et (c) ?
- 3) En déduire les conditions de la génération d'un PPSE.

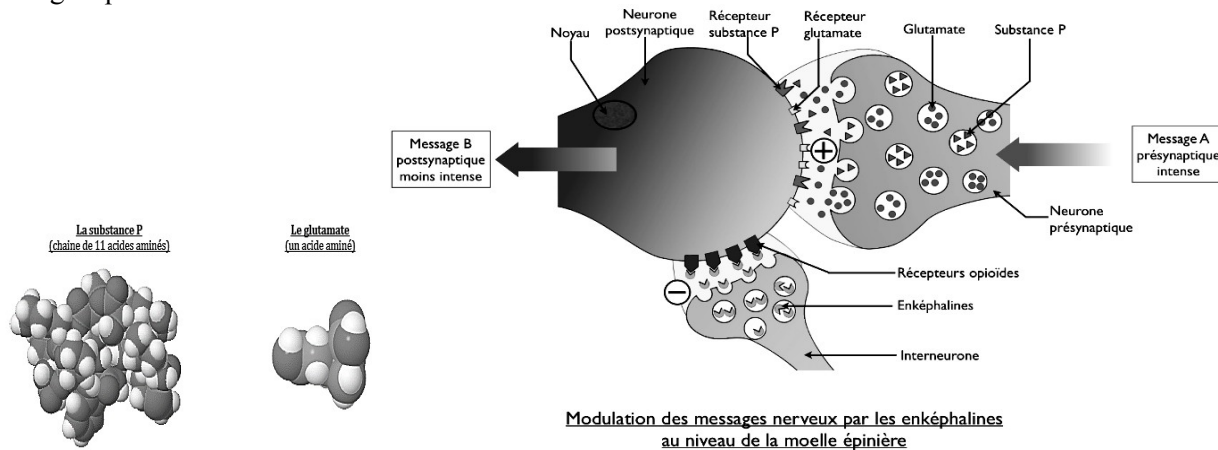
#### Activité 6 : Actions de certaines substances sur la transmission du message nerveux.

La douleur constitue une sensation désagréable chez l'Homme et peut être d'origine physique (lésion, blessure par exemple) ou psychique. Elle trouve son origine au niveau du système nerveux central (cerveau) et met jeu un relais synaptique au niveau de la moelle épinière. La plus part du temps, un neurone ne sécrète qu'un seul type de neurotransmetteur. Dans le cas des neurones de la chaîne nociceptive deux neurotransmetteurs sont libérés par le même neurone (on parle de neurotransmetteurs à petite molécule).

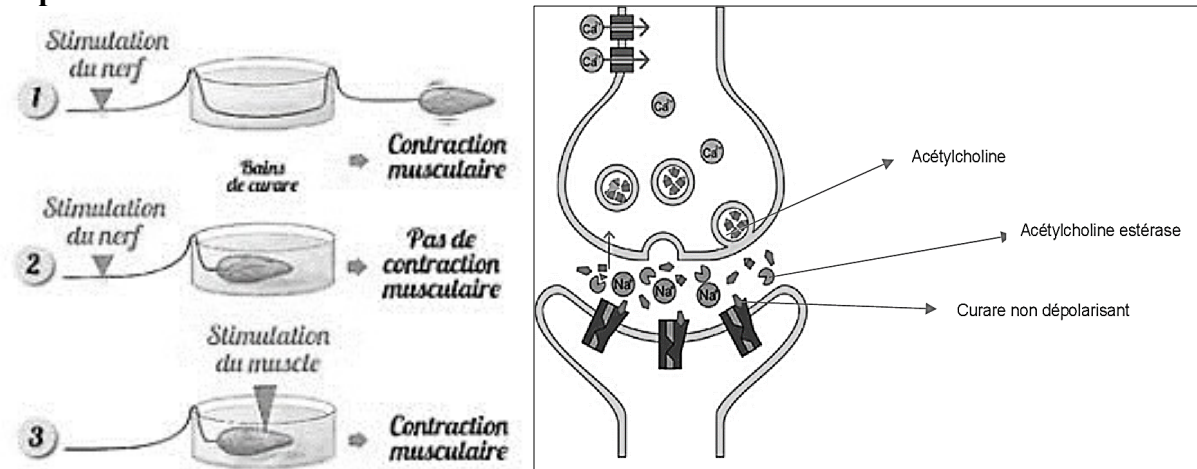
La substance P et le glutamate sont des neurotransmetteurs excitateurs qui permettent la propagation du message nerveux douloureux jusqu'au cerveau et ainsi permettent à la sensation de douleur de devenir consciente. Ces deux neurotransmetteurs se fixent chacun sur un récepteur spécifique sur le neurone postsynaptique. Dans une situation physiologique normale, seul le glutamate est libéré, un potentiel de faible amplitude et de courte durée est généré au niveau du neurone post-synaptique. Dans une situation douloureuse, la substance P est libérée en même temps que le glutamate, cette double libération va permettre (par l'activation d'un autre récepteur) de produire un potentiel de fort amplitude dans le neurone post-synaptique et ainsi générer un message douloureux intense. La transmission des messages nerveux peut être modulée par des peptides tels que les enképhalines ou morphines endogènes (endomorphines), qui agissent à différents niveaux du système nerveux central. Les neurones de la moelle épinière sur lesquels agisse la substance P et le glutamate possèdent également des récepteurs particuliers : les récepteurs opioïdes.

Ces récepteurs sont des protéines réceptrices qui sont spécifiques de molécules dérivées de l'opium (d'où leur nom) telles que les enképhalines ou la morphine.

Les enképhalines sont des molécules secrétées naturellement par l'organisme, elles sont qualifiées de morphines endogènes car elles atténuent l'intensité du message nerveux véhiculé jusqu'au cerveau et diminuent donc fortement la sensation de douleur. Les enképhalines sont secrétées par des inter-neurons spécialisés qui établissent des contacts synaptiques avec les neurones nociceptifs médullaires (de la moelle épinière) localisés dans la corne dorsale. Elles vont se fixer sur des récepteurs spécifiques localisés dans la membrane des neurones postsynaptiques. Elles inhibent (inhiber : empêcher ou ralentir un processus physiologique) ainsi la transmission des messages nociceptifs vers le cerveau. Lorsque les substances P et le glutamate se fixe sur ces neurones post-synaptiques (sur des récepteurs qui leur sont propres) la fréquence des potentiels d'action en direction du cerveau sont moins importants car les neurones nociceptifs médullaires sont moins excitable suite à l'action des enképhalines : la sensation de douleur est alors plus faible car la transmission du message douloureux a été atténuée. Les enképhalines ont une action analgésique.



### Expérience : mode d'action du curare.



À l'origine, le curare est un puissant poison extrait de certaines lianes, utilisé par les Indiens d'Amazonie pour chasser en induisant leurs pointes de flèches de cette substance pour paralyser leurs proies. Une fois injecté dans la circulation sanguine qui le disperse dans tout l'organisme, le curare est en effet capable de paralyser de nombreux muscles, dont les muscles respiratoires, entraînant la mort par asphyxie de l'animal ou de la personne empoisonnée en l'absence d'assistance de ventilation. Il supprime entre autres tous les réflexes myotatiques tels que le réflexe achilléen.

### Consigne :

- 1) Comparer l'action de la substance P à celle de l'enképhaline.
- 2) La morphine et l'opium sont des drogues opiacées utilisées en médecine. Dans quel cas ?
- 3) Analyser les résultats de l'expérience.

- 4) Expliquer l'action du curare.

### **Synthèse générale.**

Chez les Métazoaires, la communication intercellulaire est un élément essentiel au maintien de l'intégrité de l'organisme. Trois grands systèmes ont évolué en ce sens : paracrine, endocrine et nerveux, ayant chacun leur spécificité. Communiquer entre deux éléments nécessite trois étapes fondamentales :

Coder l'information à partir d'éléments d'un code (ex : alphabet).

Transmettre l'information (ex : langage, téléphone, écriture, etc.).

Décoder et « interpréter » l'information (ex : réponse à une question, etc.).

Les systèmes de communication intercellulaire utilisés par les neurones permettent de « porter » l'information au plus près de la cellule cible. Par comparaison au système endocrine, il est ainsi plus économique en molécules médiatrices libérées. Cependant, comme tous les systèmes de communication, il est sensible aux perturbations éventuelles (drogues et transmission synaptique ; sclérose en plaque et conduction le long de l'axone, etc.).

#### **Potentiel de repos d'un neurone :**

Toutes les membranes biologiques « stockent » de l'énergie sous la forme d'une ddp transmembranaire (ou potentiel de repos). Certaines de ces membranes utilisent cette énergie potentielle pour créer des potentiels d'action, d'autres pour générer des transports moléculaires transmembranaires.

Au repos ou en l'absence de toute stimulation, il existe une différence de potentiel de  $-70\text{mV}$  entre la surface membranaire externe électropositive et la surface interne électronégative. Cette différence de potentiel est liée à une perméabilité complexe des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  responsable de cette polarité membranaire.

En effet, les ions  $\text{Na}^+$  sont concentrés dans le milieu extracellulaire alors que les ions  $\text{K}^+$  sont plus concentrés dans le milieu intracellulaire. La loi de diffusion permet une entrée passive des ions  $\text{Na}^+$  et une sortie passive des ions  $\text{K}^+$  à travers les canaux ioniques de nature protéique. Spontanément ces différences de potentiel dans les deux milieux des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  devraient disparaître à cause de l'équilibre chimique qui consiste à avoir autant d'ions de même nature de part et d'autre de la membrane.

Mais cet équilibre ne sera jamais atteint dans une cellule vivante et la polarité membranaire sera maintenue pour 2 raisons :

\* La sortie passive des ions  $\text{K}^+$  est plus importante que l'entrée des ions  $\text{Na}^+$ .

\* Les pompes à  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  font entrer moins d'ions  $\text{K}^+$  et expulsent plus d'ions  $\text{Na}^+$ . Ce transfert se fait suivant un transfert actif car elle exige pour cela de l'énergie sous forme de l'ATP.

En conclusion le potentiel de repos est lié à la polarité membranaire. Il n'est pas le propre des neurones, il est enregistré sur la membrane de toutes cellules vivantes.

#### **Potentiel d'action :**

Suite à un stimulus efficace d'une cellule nerveuse, le potentiel de repos de la fibre nerveuse est modifié. Cette modification se fait en quatre principales étapes ou phases :

Tout commence par l'artefact de stimulation qui permet de déterminer le moment précis de la stimulation.

Puis la période de latence, qui est le temps nécessaire au potentiel d'action pour parcourir la distance comprise entre le point excité et le point d'enregistrement.

Phase de dépolarisation : elle est rapide et allant à une inversion de la polarité (l'intérieur de la cellule devient positif).

Phase de repolarisation : elle est plus lente et permet le retour au potentiel de repos et l'intérieur de la cellule devient peu à peu négatif.

Phase d'hyperpolarisation : phase durant laquelle la ddp membranaire devient légèrement inférieure à celle du potentiel de repos ( $-70\text{mV}$ ) à cause d'une sortie importante d'ion  $\text{K}^+$ .

Retour au potentiel de repos : La polarité membranaire redevient normale (potentiel de repos).

**La loi du tout ou rien :** pour un neurone, le potentiel d'action n'apparaît que lorsque la stimulation provoque une dépolarisation membranaire au moins égale au seuil de dépolarisation. Une fois atteint le

potentiel d'action aura toujours la même amplitude même si les stimulations deviennent plus fortes. Elle obéit donc à cette loi.

**L'effet de recrutement :** le nerf, formé de plusieurs fibres, n'obéit pas à la loi du tout ou rien. Une fois le seuil atteint, l'amplitude du potentiel d'action sera en fonction de l'intensité de la stimulation d'une part, et du nombre de fibres nerveuses atteintes d'autre part. Elle atteindra le maximum lorsque toutes les fibres nerveuses seront atteintes par la stimulation.

**Loi du seuil ou sommation :** en dessous du seuil, il n'y a pas de réponse. En augmentant l'intensité, on obtient des réponses du nerf de plus en plus importantes. A partir d'une certaine intensité, l'importance de la réponse ne varie plus quelle que soit l'intensité.

### **La propagation du potentiel d'action**

La propagation d'un potentiel d'action est le résultat d'une succession de dépolarisation. Si cette dépolarisation est suffisante et si la zone voisine est excitable, un nouveau potentiel d'action identique au précédent est engendré. La propagation est dite saltatoire si la propagation du message nerveux se fait d'un étranglement à un autre au niveau d'une fibre nerveuse à myéline. La propagation est dite conductrice si elle se fait de proche en proche le long d'une fibre nerveuse sans myéline. La propagation saltatoire est plus rapide que la propagation conductrice.

La vitesse du message nerveux varie en fonction :

Du Diamètre de la fibre : plus il est grand plus la vitesse est grande

De la Température : à 37°C la vitesse est plus grande

De la Nature de la fibre : avec myéline est plus rapide que sans myéline.

De L'état de la fibre : une fibre lésée, ligaturée ou anesthésiée ne conduit pas l'influx nerveux.

### **Fonctionnement des synapses :**

La synapse est la zone de contact entre l'arborisation terminale d'un neurone et une autre cellule (cellules musculaires, cellules glandulaires).

Elle permet la transmission de la communication nerveuse dans un seul sens de l'élément pré-synaptique vers l'élément post-synaptique.

La transmission d'un message nerveux se fait de la manière suivante :

Le potentiel d'action se propage le long de l'axone jusqu'à l'arborisation terminale ; L'afflux de  $\text{Ca}^{2+}$  provoque une mobilisation des vésicules à acétylcholine et leurs fusions avec la membrane pré-synaptique ; Le neurotransmetteur traverse la fente synaptique et atteint la membrane postsynaptique ; Le neurotransmetteur se combine à des récepteurs spécifiques situés sur la membrane postsynaptique ; La perméabilité de la membrane postsynaptique est modifiée et un influx nerveux commence à se propager sur le neurone postsynaptique ; le neurotransmetteur quitte la synapse en étant, soit dégradé par une enzyme, soit récupérer dans la terminaison pré-synaptique. **Création du potentiel post-synaptique**

L'association « neurotransmetteur – récepteur » peut selon la synapse provoquée, soit une dépolarisation, soit une hyperpolarisation de la membrane post-synaptique.

**Si le neurotransmetteur est excitateur.** Il y a naissance d'un potentiel post-synaptique excitateur (P.P.S.E) et la « synapse est excitatrice ». Les récepteurs post-synaptiques sont des canaux à  $\text{Na}^+$ .

**Si le neurotransmetteur est inhibiteur :** Il y a naissance d'un potentiel post-synaptique inhibitrice (P.P.S.I) et la « synapse est inhibitrice ». Par exemple les synapses à GABA (médiateur chimique inhibiteur). Les récepteurs post-synaptiques sont soit des canaux à  $\text{Cl}^-$  soit des canaux à  $\text{K}^+$ . La sortie des ions  $\text{K}^+$  provoque une hyperpolarisation (surcroît des charges négatives) dans le milieu intracellulaire.

## **Sous-concept 2 : Les activités cérébrales et la motricité volontaire**

### **Pré-évaluation**

Quelle différence existe-t-il entre un mouvement volontaire et un mouvement involontaire ?

Quelle est la particularité d'un mouvement volontaire ?

### **Situation problème :**

L'exécution de mouvements intentionnels et finalisés (mouvements volontaires) dépend du système nerveux central qui intègre les informations sensorielles, programme le mouvement (synchronisation,...) et transmet les ordres de contraction au muscle.

Quels sont les structures responsables des mouvements volontaires ?

Comment s'effectue la commande d'un mouvement volontaire ?

### **Activité 1 : définition d'un mouvement volontaire.**

Le mouvement volontaire se distingue du mouvement réflexe ou d'un mouvement automatique par le fait qu'il est largement perfectible par l'apprentissage. La locomotion et le contrôle de la posture sont des mouvements volontaires. Ils sont commandés par le cortex cérébral. Le cerveau est donc le centre nerveux qui commande les mouvements volontaires. Il représente aussi le lieu d'arrivée et de traitement de l'influx nerveux provenant des organes de sens. Chez l'Homme, certains gestes sont souvent précédés de mouvements automatiques (le désir de boire de l'eau nécessite de prendre un verre, le remplir puis porter à la bouche).

### **Consigne : à partir du texte et de vos propres connaissances :**

- 1) Citer quelques mouvements involontaires.
- 2) Quel différence fait tu entre un mouvement volontaire et un mouvement involontaire ?
- 3) Citer quelques caractéristiques d'un mouvement volontaire.

### **Activité 2 : les centres nerveux responsables d'un mouvement volontaire.**

#### **A) Quelques investigations**

**La tomographie par émission de positons (TEP)** est une technique d'imagerie fonctionnelle quantitative et dynamique développée en service de médecine nucléaire et dans un cadre expérimental. Le principe général de l'imagerie TEP repose sur l'utilisation de traceurs radio marqués par un isotope émetteur de positons (rayonnement  $\beta^+$ ) et celle de caméras dédiées. Les images obtenues offrent une restitution en trois dimensions, in vivo et de manière non invasive, de la distribution volumique du signal radioactif au sein de l'organisme.

**La scintigraphie pour un débit sanguin cérébral** : est un examen qui permet de visualiser la circulation du sang dans le cerveau qui est accru dans une zone d'activité intense.

**L'électroencéphalographie** : est un examen qui permet de mesurer l'activité électrique du cerveau et l'électroencéphalogramme désigne la transcription de l'enregistrement sous forme d'un tracé.

**L'imagerie par résonance magnétique (IRM)** permet d'étudier le fonctionnement du cerveau en localisant les zones activées lors d'une tâche précise.

#### **B) Les aires corticales.**

Le cortex moteur désigne une région à la surface du cerveau responsable de la motricité dans chaque hémisphère. Chaque cortex moteur est constitué d'une aire motrice primaire, qui commande directement les mouvements et une aire pré-motrice qui joue un rôle dans la planification de l'exécution d'un mouvement.

#### **Les aires primaires :**

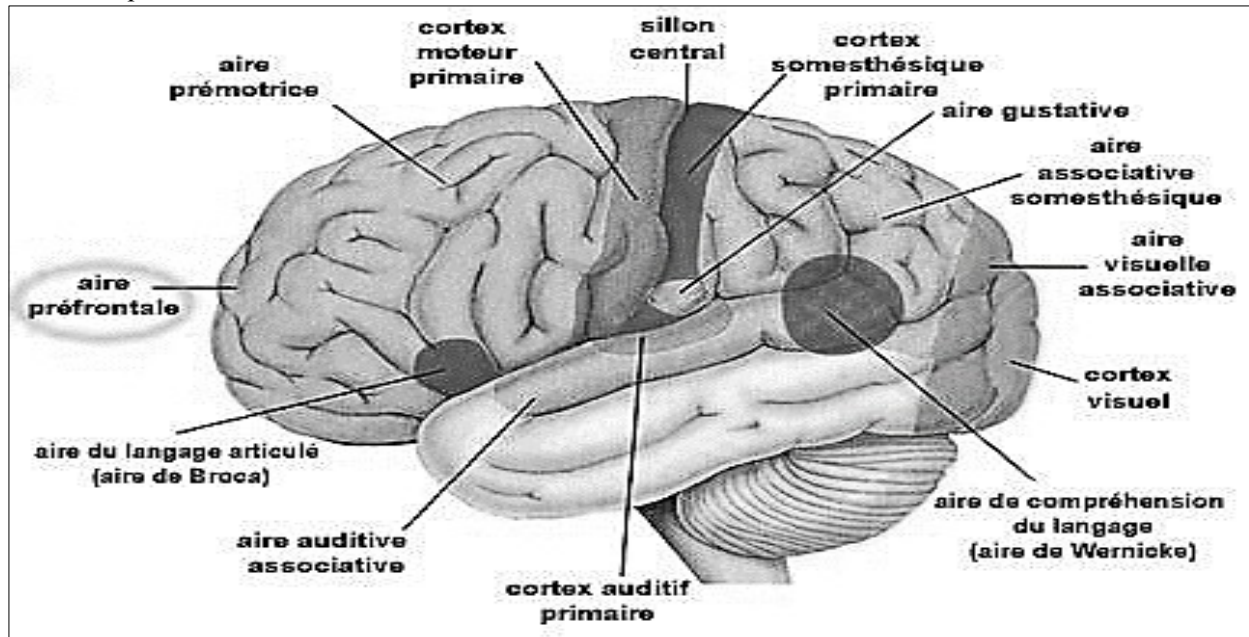
Chez les mammifères, des aires étendues du cortex commandent les fonctions primaires.

En arrière de la zone motrice, l'aire somatosensorielle primaire reçoit les signaux en provenance des différents organes de sens, des articulations et des muscles.

A chaque région du corps correspond une région du cortex primaire moteur et somatosensoriel. (Voir figure)

#### **Les aires secondaires et aires d'associations :**

A côté ou autour de chaque aire sensorielle primaire se trouve son aire secondaire, puis les aires associatives et finalement les aires motrices. Chaque aire secondaire établit de nombreux liens avec son homologue de l'autre hémisphère du cerveau, avec tous les autres aires secondaires de son propre côté et avec les aires associatives. Ces dernières semblent avoir pour rôle de traiter l'information sensorielle et d'intégrer les divers types de données en un tout porteur de sens. Elles sont interconnectées et communiquent avec les aires motrices.



**Consigne : à partir du texte et du document :**

- 1) Définir une aire corticale.
- 2) Grouper les différentes aires, en aires motrice ; sensibles et associatives et décrire leurs rôles.
- 3) Compléter le tableau suivant à partir de l'analyse du document.

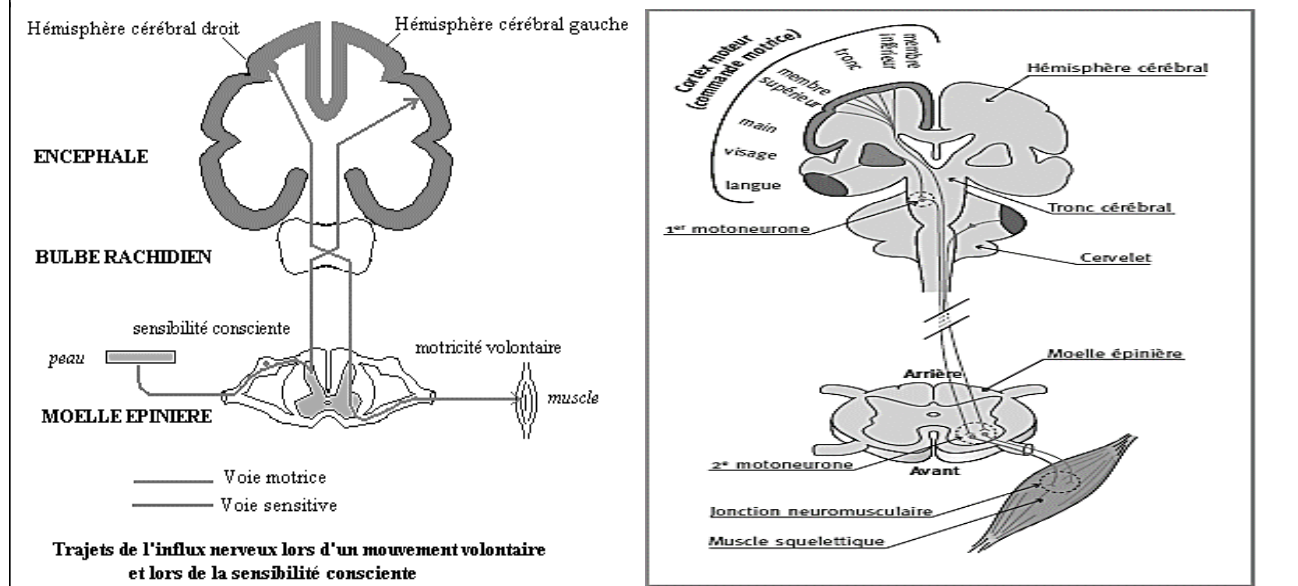
| Aire corticale              | Effet de la lésion |
|-----------------------------|--------------------|
| Aire visuelle primaire      |                    |
| Aire d'association visuelle |                    |
| Aire motrice                |                    |
| Aire auditive primaire      |                    |
| Aire motrice du Broca       |                    |
| Aire gustative              |                    |

### Activité 3 : Trajet de l'influx nerveux dans un mouvement volontaire.

Les muscles striés squelettiques assurent, sous le contrôle du système nerveux, la motricité (locomotion, posture, mimique...). Les messages sensitifs et moteurs sont transmis sous forme d'influx nerveux. Ils sont produits par les organes de sens et par les aires motrices des hémisphères cérébraux.

Quel que soit le type d'activité motrice, il intervient toujours un centre nerveux situé dans la substance grise, des conducteurs ou fibres nerveuse, des effecteurs et éventuellement des récepteurs. L'influx nerveux prend naissance au niveau du cerveau et passe par le bulbe rachidien pour atteindre la moelle épinière. De la moelle épinière il emprunte des motoneurones vers les nerfs périphériques qui établissent une synapse avec les muscles à la jonction neuromusculaire. Grâce à leurs propriétés (excitabilité, contractilité, élasticité,...), les muscles sont capables de générer une force. Les voies motrices sont croisées (l'aire

motrice de l'hémisphère gauche commande les muscles du côté droit et vice versa). Les voies sensibles sont aussi croisées.

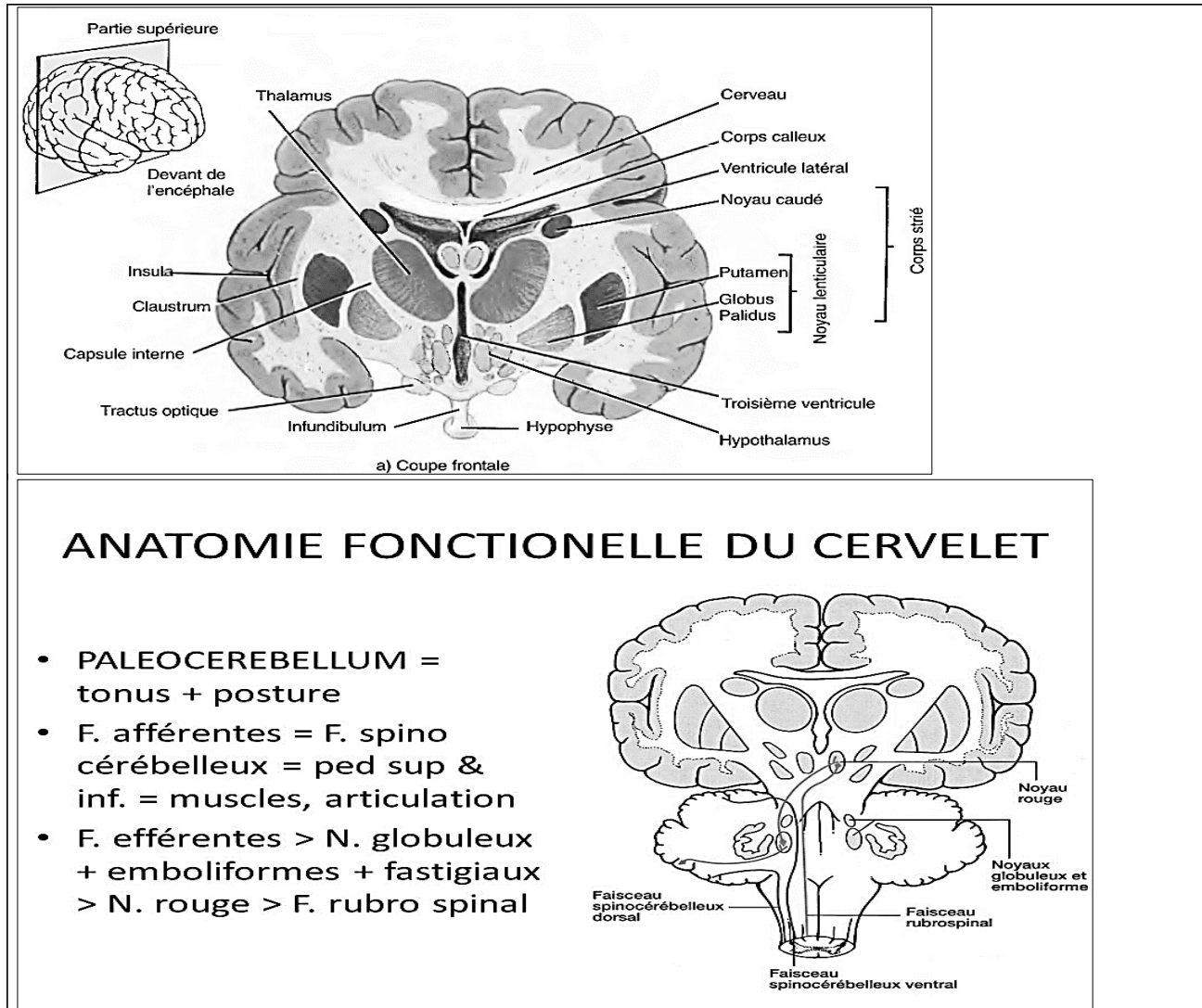


**Consigne : à partir du texte et du document :**

- 1) Décrire en quelques lignes le trajet de l'influx moteur dans le mouvement volontaire.
- 2) Expliquer pourquoi une lésion cérébrale d'un hémisphère entraîne une paralysie dans le côté opposé ?
- 3) Identifier l'organe récepteur et l'organe effecteur dans le schéma A.

#### **Activité 4 : les structures encéphaliques qui contrôlent la motricité.**

**Le cervelet :** situé en arrière du cerveau, c'est un centre de contrôle important des fonctions motrices. Il coordonne les mouvements et la posture et est impliqué dans la programmation des mouvements. Les ordres moteurs en provenance du cerveau sont modérés par le cervelet. Si ce dernier n'existait pas, les mouvements seraient ceux des personnes atteintes d'ataxie cérébelleuse : des mouvements anarchiques, saccadés, perturbés par des mouvements incontrôlés. Les noyaux gris centraux : sont des structures télencéphaliques considérées comme la principale composante du système extrapyramidal qui entre dans le contrôle du mouvement. Ces noyaux sont au nombre de trois : le noyau caudé, le putamen et le pallidum ou globus pallidus. En plus de ces trois structures les noyaux de Luys et de locus de Niger font partie du même système et ceci est dû à la liaison anatomique et fonctionnelle de ces deux structures avec les noyaux gris centraux. (Voir figure).



**Consigne : à partir du texte et du document :**

- 1) Déterminer le rôle du cervelet dans les mouvements volontaires.
- 2) Citer les structures encéphaliques impliquées dans le contrôle du mouvement volontaire.
- 3) Peut-on séparer le rôle de chacun des centres impliqués dans le mouvement dirigé des autres ? justifier.

### **Synthèse générale :**

#### **1. Le système nerveux**

Ensemble de cellules, les neurones, qui transmettent l'information nerveuse dans l'organisme. Chez les vertébrés, on distingue :

**Le système nerveux central** comprend deux centres nerveux : l'encéphale et la moelle épinière. Ces centres nerveux sont reliés entre eux par des faisceaux de fibres. Il contrôle l'ensemble du système nerveux ;

**Le système nerveux périphérique** qui est formé de nerfs reliant la périphérie de l'organisme et le système nerveux central.

## **2. Mouvement volontaire :**

Le mouvement volontaire contrairement au mouvement involontaire nécessite l'intervention du cerveau pour son exécution. Sa réalisation jusqu'à exécution met en jeu des mécanismes de contrôle par le système nerveux central. L'organe du mouvement est le muscle strié squelettique qui est relié aux os par des tendons. Il diffère donc du mouvement involontaire qui est un acte réflexe automatique nécessitant la présence d'un stimulus extérieur pour son déclenchement.

## **3. Commande de la motricité volontaire**

Cette commande est assurée par le cerveau qui regroupe des milliards de neurones dont les trois quarts sont contenus dans le cortex cérébral.

Au niveau du cerveau, les neurones sont regroupés en aires et en noyau. Dans le cortex cérébral, deux (2) aires interviennent dans la commande des mouvements volontaires.

### **a) L'aire de projection motrice :**

La lésion étendue du cortex de la circonvolution frontal ascendante entraîne une hémiplégie (paralysie des muscles situés dans une moitié du corps). C'est donc dans cette région de l'hémisphère que se situe l'aire motrice principale. Une stimulation dans l'hémisphère cérébral gauche d'un point précis de cette aire provoque un message moteur qui entraîne la contraction du muscle correspondant situé dans la moitié droite. L'obtention de la contraction des muscles du côté droit du corps lorsque la stimulation est portée sur l'hémisphère gauche, montre que les voies nerveuses sont croisées.

### **b) L'aire pré-motrice :**

La lésion de la région du cortex du lobe frontal situé en avant de l'aire motrice principale, n'entraîne pas la paralysie des muscles. Mais provoque plutôt des troubles dans la réalisation des mouvements.

### **c) Les aires corticales sensitives :**

Les différentes voies nerveuses afférentes qui y aboutissent sont au nombre de deux : l'aire sensitive de projection et l'aire d'association.

Elles sont complémentaires et forment l'aire de sensibilité générale.

## **4. Trajet de l'influx nerveux dans un mouvement volontaire**

Le message nerveux moteur sort des aires corticales motrices par des voies nerveuses. Les voies doivent aboutir dans la moelle épinière où sont les motoneurones de la commande de la contraction musculaire. C'est aussi la moelle épinière qui assure la transmission, aux muscles, des commandes motrices élaborées par le centre encéphalique. Les voies nerveuses sont de deux sortes :

### **a) Les voies directes :**

Sont directement connectées aux aires motrices. Elles constituent la voie pyramidale avec peu de relais synaptiques qui interviennent dans la commande des mouvements fins et précis.

### **b) Les voies indirectes :**

La connexion avec les aires corticales motrices est indirecte. Elles constituent la voie extrapyramidale avec de nombreux relais synaptiques qui sont plus lents que les premières.

Elles interviennent dans la commande des mouvements d'ensembles et le contrôle des postures.

La voie pyramidale est directement connectée aux motoneurones médullaires qui sont reliés aux muscles alors que la voie extrapyramidale ne peut atteindre les mêmes motoneurones qu'après des relais synaptique dans la base de l'encéphale.

**Remarque :**

Le contrôle des mouvements rapides est assuré par le cervelet, celui des mouvements lents et réguliers est assuré par les noyaux gris sous-corticaux. La précision du mouvement est déterminée par le nombre de fibres musculaires par unité motrice (10 à 200 fibres) pour la contraction des muscles impliqués dans la commande motrice.

**Sous-concept 3 : Quelques aspects du fonctionnement du muscle strié squelettique.**

**Pré-évaluation :**

Quels sont les différents types de muscle ?

Quel est le rôle principal des muscles squelettiques ?

**Situation problème :**

Pour réaliser leurs mouvements, les animaux possèdent divers types de tissus musculaires aussi bien impliqués dans la locomotion (muscles squelettiques), la digestion (muscles lisses) que dans la propulsion du sang (muscle cardiaque). La contraction du muscle implique une consommation d'énergie (sous forme d'ATP).

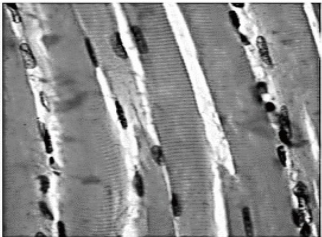
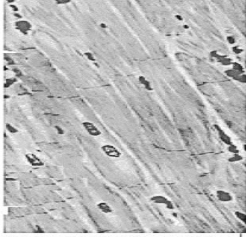
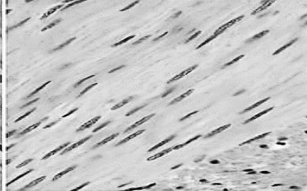
Quel est le mécanisme de la contraction musculaire ?

Comment est organisé un muscle ?

Quels sont les mécanismes énergétiques et biochimiques de la contraction musculaire ?

**Activité 1 : La constitution d'un muscle strié squelettique.**

Le muscle est l'organe effecteur du mouvement. On distingue trois types de muscles : voir Doc.1

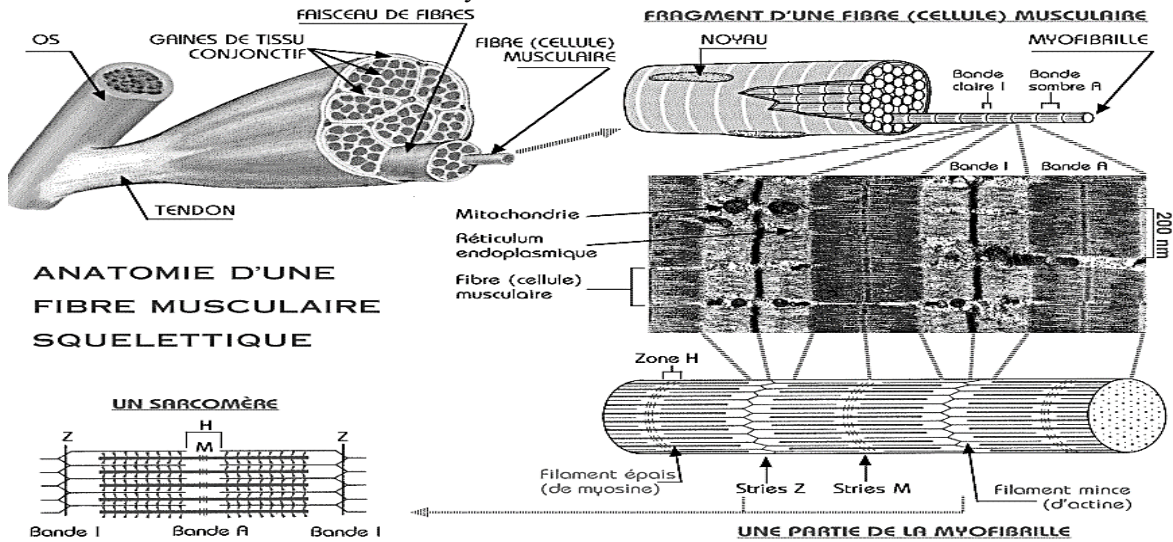
|                              | Muscle squelettique                                                                 | Muscle cardiaque                                                                     | Muscle lisse                                                                                                       |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Localisation                 | Recouvre le Squelette osseux et s'y attache                                         | Coeur                                                                                | Dans les parois des organes viscéraux (estomac, vessie, utérus), les voies respiratoires et les vaisseaux sanguins |
| Volontaire ou involontaire ? | Volontaire                                                                          | Involontaire                                                                         | Involontaire                                                                                                       |
| Apparence                    |  |  |                               |
| Strié                        | Oui                                                                                 | Oui                                                                                  | Non                                                                                                                |
| Contraction                  | Peut se contracter rapidement mais se fatigue facilement                            | Se contracte à un rythme relativement constant                                       | Contractions lentes et continues (ne se fatigue pas)                                                               |

Doc. 1

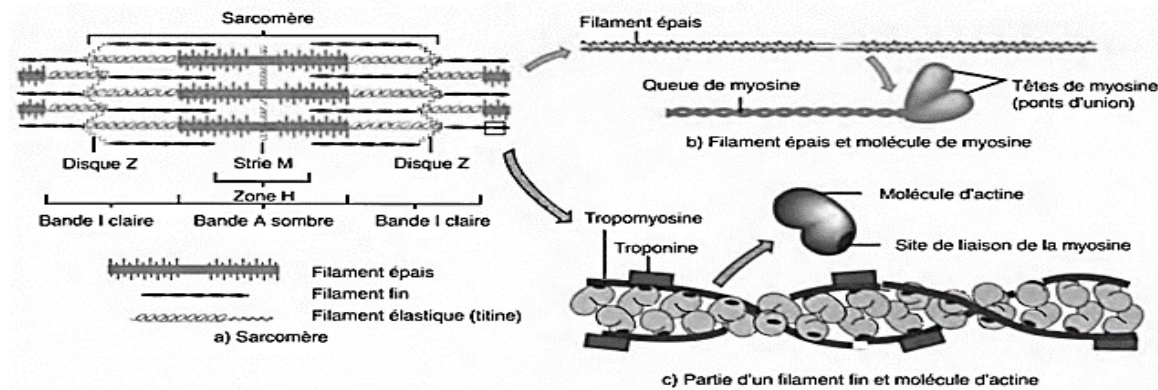
**A) Structure d'un muscle strié squelettique.**

Le muscle squelettique se compose de plusieurs milliers de cellules contractiles individuelles (fibres maintenues ensemble par des tissus conjonctifs. Ainsi les cellules sont regroupées en faisceaux puis les faisceaux en muscle. Chaque structure est enveloppée par une gaine conjonctive. On distingue ainsi de la périphérie vers le centre : l'épimysium, le périmysium, l'endomysium. La dernière enveloppe est celle qui entoure chaque fibre musculaire : sarcolemme. L'élément de base du tissu musculaire squelettique est la fibre musculaire striée. C'est une cellule géante multi nucléée qui peut atteindre 5 cm de long et environ 0.1 mm d'épaisseur. Les composants essentiels de toutes fibres musculaires sont des structures filamenteuses, appelées myofibrilles, qui traversent les fibres parallèlement dans le sens de la longueur et son responsables

des contractions. Le sarcomère ; unité contractile du muscle est composé de deux myofilaments différents, le filament d'actine et le filament de myosine.



Doc.2



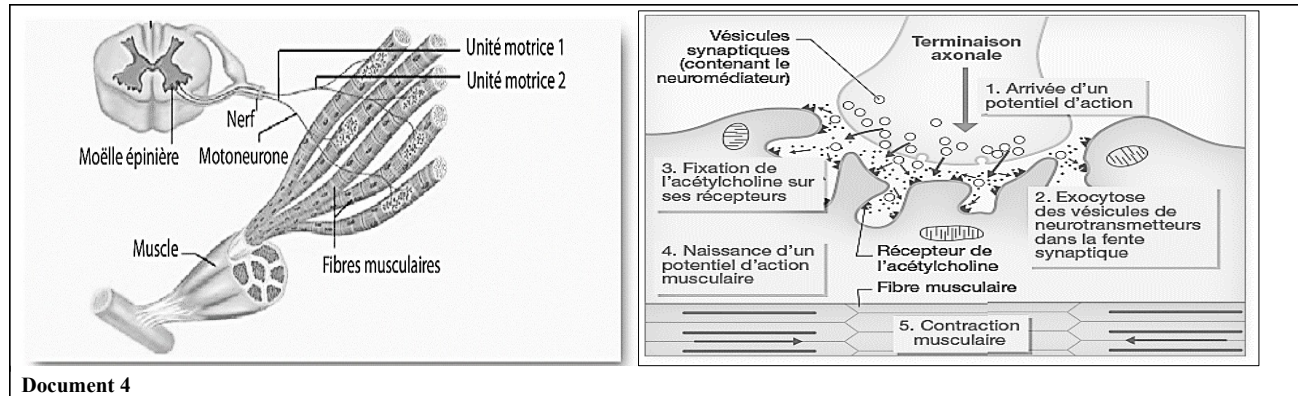
Doc.3

**Consigne : à partir du texte et des documents 2 et 3:**

1. Explique pourquoi le biceps humain est qualifié de muscle strié squelettique.
2. Décrire un sarcomère et comparer ses différents aspects pendant la contraction et le relâchement.

### B) Innervation des fibres musculaires.

L'ensemble formé par un neurone et les fibres musculaires qu'elle commande forme une unité motrice. Les fibres d'une même unité motrice sont dispersées dans le muscle. Le mode stimulation des fibres par les motoneurones participe à l'orientation typologique de la fibre musculaire. La zone où le nerf réalise une synapse avec une fibre musculaire est appelée plaque motrice. Elle permet au nerf de contrôler l'état d'excitation du muscle grâce à des neurotransmetteurs.

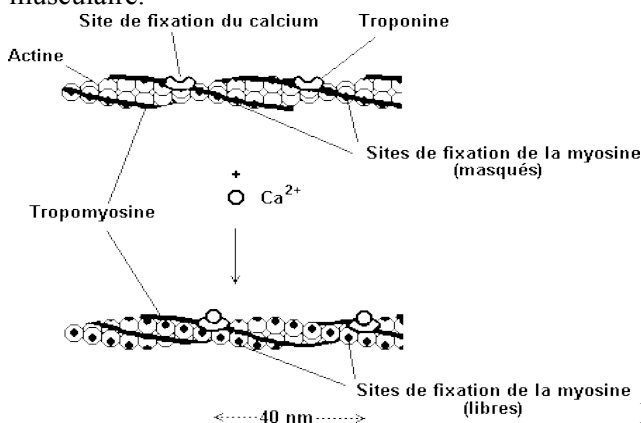


**Consigne :**

1. Définir une unité motrice.
2. Expliquer la transmission neuromusculaire.

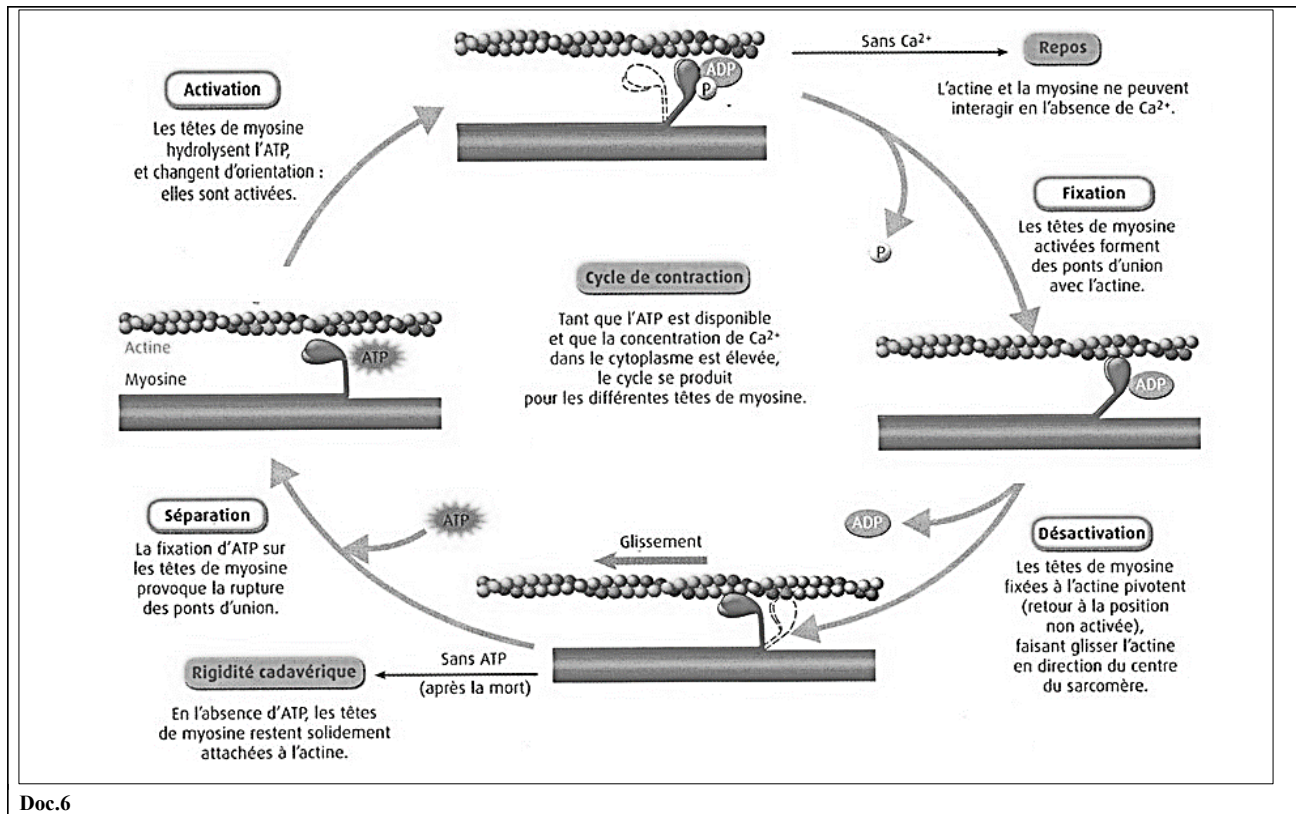
**Activité 2 : phénomènes moléculaires liés à la contraction musculaire.**

Les filaments fins sont composés de plusieurs molécules globulaires sphériques d'actine et de 2 protéines : la tropomyosine et la troponine. Les filaments épais sont composés de deux filaments entre lacés de myosine dont une extrémité forme une tête globulaire appelée tête de myosine. L'arrivée d'un train de PA et la dépolarisation du sarcolemme entraîne une cascade d'événements entraînant la contraction musculaire.



**Document 3 :** Lorsque le muscle est au repos, la tropomyosine (liée à la troponine) cache le site de fixation de la tête de myosine sur l'actine. Les ions calcium libres dans le sarcoplasme musculaire, se fixent sur la troponine qui change de conformation et déplace la tropomyosine, Cela libère le site de fixation de myosine.

Doc.5



Doc.6

**Consigne :**

1. Qu'est-ce qui est à l'origine de la dépolarisation du sarcolemme ?
2. Expliquer le rôle des ions  $\text{Ca}^{2+}$  et celui de l'ATP dans la contraction musculaire.
3. A quoi correspond la contraction musculaire ?

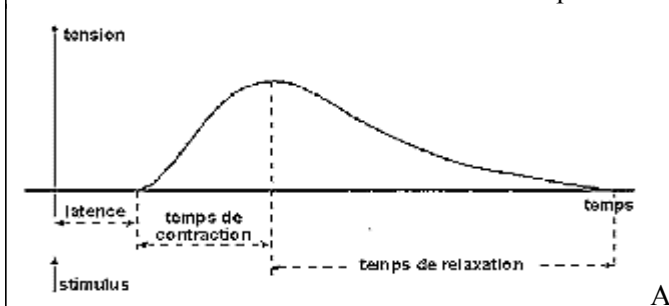
**Activité 3 : aspects mécaniques et énergétique de la contraction musculaire.**

Toutes les contractions ne se manifestent pas par un raccourcissement des muscles. On distingue :

- Contractions isotoniques : le muscle se raccourcit mais la tension ne varie pas. (Ex : pliage des genoux).
- Contraction isométrique : ne se raccourcit pas, mais la tension augmente. Ex : tenir un seau et le remplir sous le robinet.

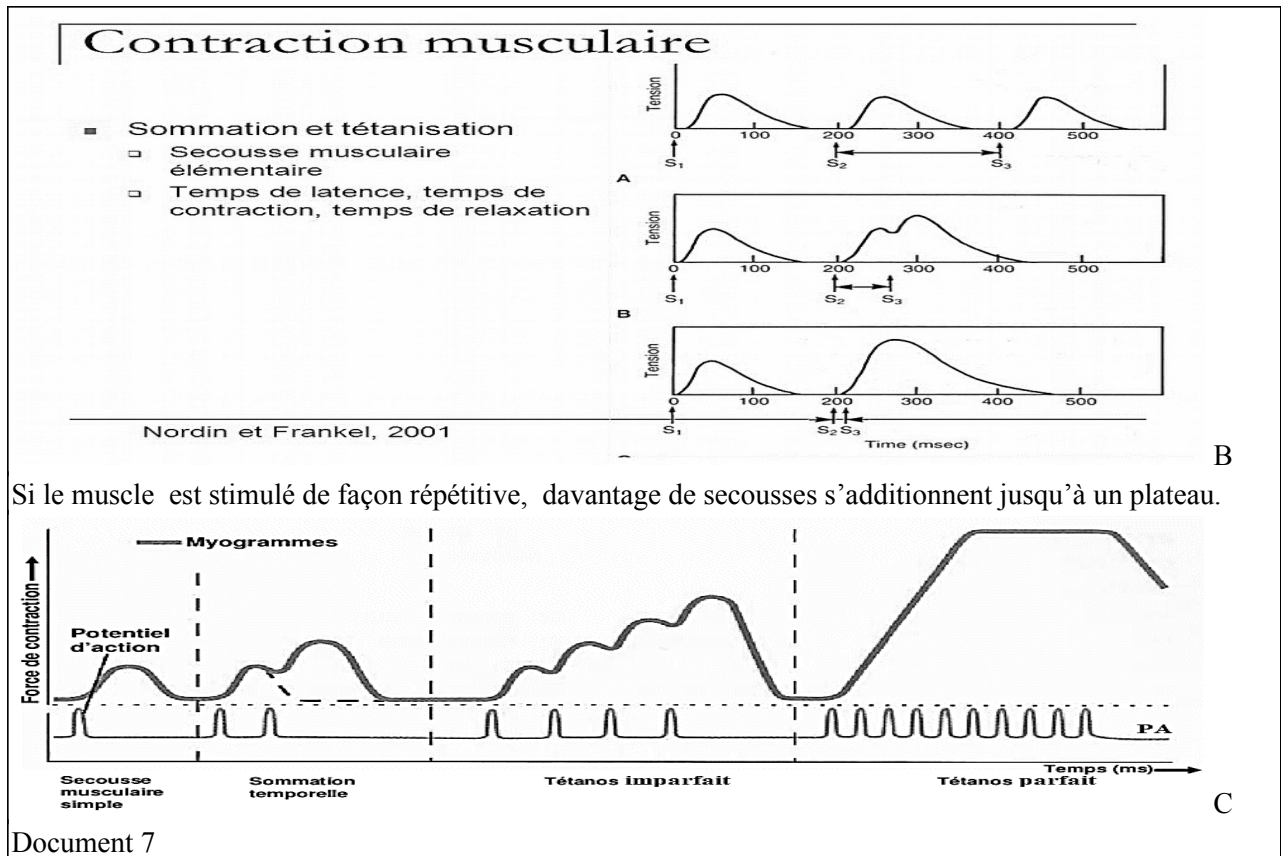
**A) Myographie et contraction musculaire.**

**Secousse :** Une secousse musculaire est une réponse mécanique d'un muscle à une stimulation unique.



**Tétanos :**

Un autre PA peut survenir avant la fin d'une secousse, alors une autre secousse s'ajoute à la précédente.

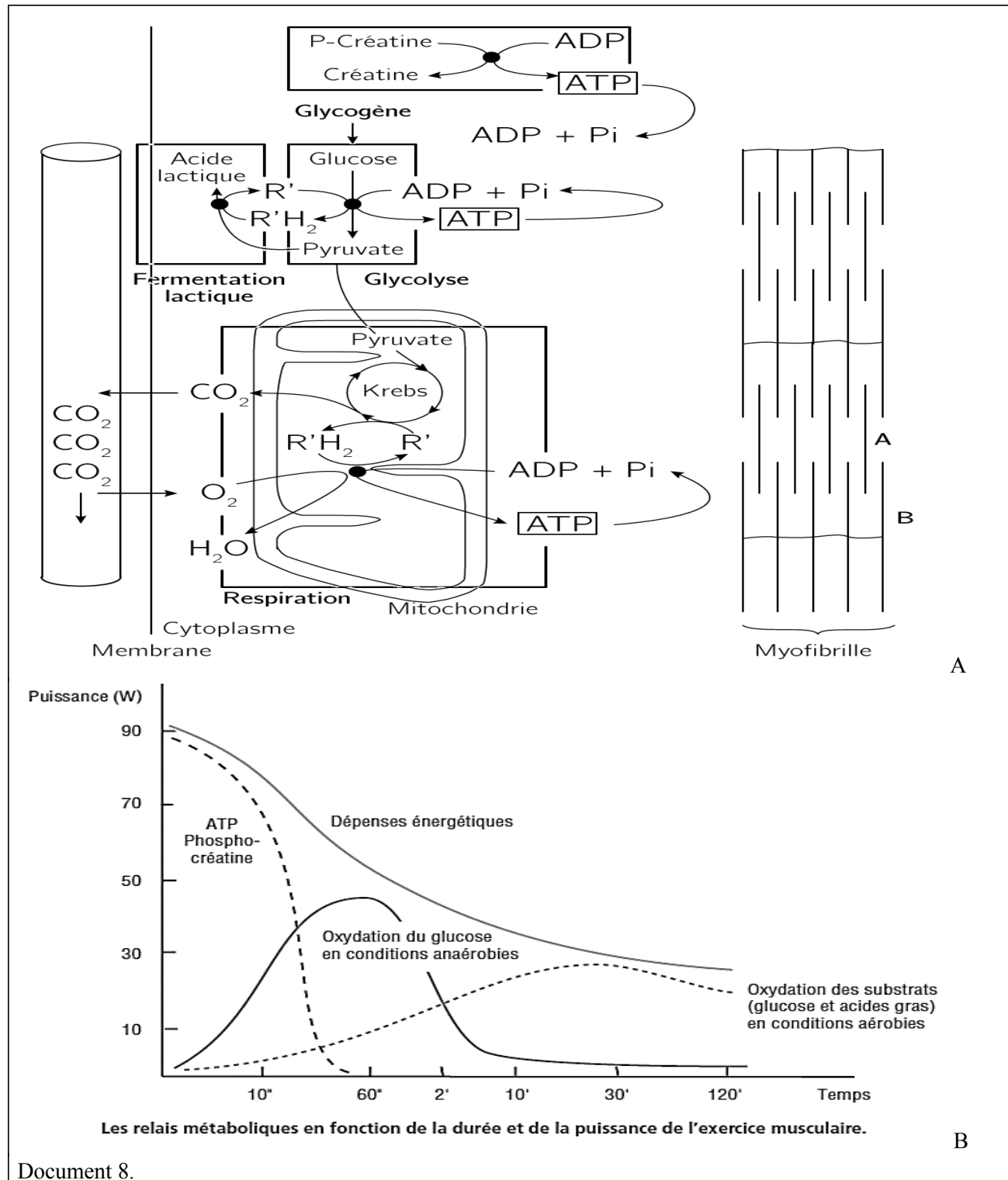


**Consigne :**

1. Identifier les différentes phases d'une secousse musculaire.
2. Analyser les schémas B et C du document 7.
3. Comparer un téτανos parfait et un téτανos imparfait.
4. Dégager les propriétés du muscle.

**B) Aspects énergétiques de la contraction musculaire.**

La contraction d'un muscle nécessite de l'énergie provenant de l'hydrolyse de molécules d'ATP qui sont les seules sources d'énergie des myocytes. Les réserves d'ATP sont très faibles et ne pourraient tenir que 4 à 6 sec de contraction, cela nécessite la régénération de l'ATP au fur et à mesure de son utilisation. Les voies de régénération de l'ATP sont représentées par le document 8.



Document 8.

**Consigne :**

1. Déterminer l'importance de l'ATP dans la contraction musculaire.
2. Identifier et expliquer les voies de régénération de l'ATP lors d'une épreuve musculaire.

**C) Les différents types de fibres musculaires.**

Notre organisme comporte deux types de fibres musculaires squelettiques différentes :

**Les fibres de types 1** : à contraction lente et à faible force de contraction (faible nombre de myofibrilles), mais très endurantes. Ces fibres utilisent préférentiellement le métabolisme aérobie (respiration). Elles sont sollicitées dans les activités d'endurance (marathon, ski de fond...), et le maintien de la posture.

**Les fibres de type II** : elles sont extrêmement rapides et puissantes, mais très fatigables. Ces fibres utilisent préférentiellement le métabolisme anaérobie (notamment la fermentation lactique). Elles sont sollicitées lors d'efforts puissants et courts (frapper dans une balle de baseball...).

| Les différents types de fibre musculaires |                        | Fibre de type I | Fibre de type II |
|-------------------------------------------|------------------------|-----------------|------------------|
| Caractéristiques métaboliques             | Vitesse de contraction | Lente           | Rapide           |
|                                           | Endurance              | Forte           | Faible           |
|                                           | Métabolisme anaérobie  | +               | +++              |
|                                           | Métabolisme aérobie    | +++             | -                |
| Caractéristiques structurales             | Couleur des fibres     | Rouge           | Blanche          |
|                                           | Nombre de capillaires  | +++             | +                |
|                                           | Mitochondries          | +++             | +                |
|                                           | Diamètre des fibres    | Petit           | Grand            |

**Consigne : à partir du texte et du tableau :**

1. Déterminer pourquoi la fibre de type I est qualifiée de rouge et le type II de fibre blanche.
2. Laquelle des deux fibres nécessite un apport d'oxygène pour son métabolisme ?
3. Quelle différence fais-tu entre ces deux types de fibres musculaires ?

**Synthèse générale :**

### 1. Structure du muscle squelettique.

Le muscle squelettique est un organe spécialisé dans le développement d'une force sous le contrôle du système nerveux. La cellule musculaire est une fibre (A) dont le diamètre varie en moyenne de 10 à 100µm et dont la longueur peut atteindre 20 cm. Les « fibres » de viande, reconnaissables à l'œil nu, sont en fait des faisceaux de fibres (A, environ 0,1-1 mm de diamètre). La fibre musculaire (cellule) est limitée par une membrane cellulaire appelée le sarcolemme; elle renferme les myofibrilles. Les myofibrilles sont entourées par le sarcoplasme (cytoplasme) qui contient plusieurs noyaux cellulaires, des mitochondries (appelées aussi sarcosomes), des lysosomes, des vacuoles lipidiques, des inclusions de glycogène, etc. Le sarcoplasme contient également du glycogène, des enzymes glycolytiques, de la créatine phosphate et des acides aminés, toutes ces substances pouvant être libérées. Une fibre musculaire renferme plusieurs centaines de myofibrilles dont chacune se divise en compartiments de 2,5µm environ, délimités chacun par 2 disques Z et appelés sarcomères. Leur longueur est grossièrement de 1,5 à 3,0µm et dépend de la pré-charge du muscle.

### 2. La réception du message nerveux :

Le message nerveux transite au niveau de la jonction neuromusculaire qui est constituée de la juxtaposition des membranes plasmiques de la terminaison nerveuse d'une part et d'une section particulière du sarcolemme appelée plaque motrice, d'autre part.

### 3. Le couplage excitation-contraction

Au niveau de la plaque motrice, l'acétylcholine libérée par le motoneurone se fixe sur des récepteurs postsynaptiques, entraînant la formation d'un potentiel de plaque motrice (PPM).

À distance de la plaque motrice, ce PPM entraîne la formation d'un potentiel d'action qui se propage tout au long du sarcolemme puis des tubules transverses. La dépolarisation du tubule

induit l'ouverture de canaux calciques et l'activation de la triadine. La triadine agit sur un récepteur à la ryanodine du réticulum sarcoplasmique et induit l'ouverture d'une protéine canal laissant sortir le calcium réticulaire vers le cytoplasme. C'est ce calcium qui ensuite initie les mouvements des myofibrilles.

#### **4. Les mécanismes cellulaires de la contraction**

Le sarcoplasme contient les myofibrilles nécessaires à la réalisation de la contraction de la fibre musculaire : filaments fins (actine F) et filaments épais (myosine).

Le calcium libéré dans le cytoplasme se fixe sur la troponine, modifie la conformation de la tropomyosine et entraîne la libération des sites de fixation de la myosine présents sur la molécule d'actine. La myosine se fixe à l'actine puis la tête de la myosine pivote et provoque un glissement des filaments les uns par rapport aux autres et donc un raccourcissement du sarcomère. L'énergie nécessaire à ce déplacement provient d'une partie de l'hydrolyse d'un ATP (réalisée au cours de la phase précédente). La rupture de la liaison actine-myosine se fait lors de la fixation d'un nouvel ATP qui est ensuite hydrolysé pour que l'angle tête-queue retrouve sa valeur initiale. La tête de myosine peut alors se fixer sur un autre site de liaison situé plus loin sur le filament d'actine et un nouveau cycle peut commencer.

Le relâchement final n'intervient que lorsqu'il n'y a plus de calcium au niveau cytoplasmique.

#### **5. Sources d'énergie de la contraction musculaire**

L'énergie chimique de l'adénosine triphosphate (ATP) est directement utilisée pour la contraction musculaire.

Cependant les réserves d'ATP de la cellule musculaire ne sont pas importantes puisqu'elles ne permettent d'effectuer que 10-20 m seulement au cours d'une course de 100 m. L'ATP nécessaire pour la course doit donc être régénéré, de manière à ce que la concentration intracellulaire d'ATP demeure constante, même si la consommation augmente.

Les processus suivants sont utilisés pour la régénération de l'ATP :

**L'hydrolyse de la créatine phosphate** : est une source d'énergie rapidement disponible, mais elle est limitée,

**La glycolyse anaérobie** : par exemple la dégradation du glycogène ou du glucose en acide lactique,

**La phosphorylation oxydative** : provient de la combustion du glucose en présence d'O<sub>2</sub>, ce qui donne du CO<sub>2</sub> et de l'eau ; cette réaction libératrice de beaucoup d'ATP ne dépend pas uniquement de l'O<sub>2</sub>, c'est en effet un procédé relativement lent.

## Concept général 6 : Régulation hormonale et nerveuse.

### Sous concept 1 : La régulation du taux d'hormones sexuelles

#### Pré-évaluation :

Qu'est-ce qu'une hormone ?

Quel est le rôle des hormones reproductrices ?

#### Situation problème :

A la puberté, l'organisme subit des transformations à la fois morphologiques et physiologiques. Les gonades commencent à produire les gamètes et sécrètent les hormones sexuelles qui font apparaître et maintiennent les caractères sexuelles secondaires. Le fonctionnement de ces gonades est aussi sous contrôle du système nerveux.

Comment les activités testiculaire et ovarienne sont contrôlées par le système nerveux ?

Quelles sont les applications de la physiologie des appareils génitaux dans le contrôle de la procréation ?

#### Activité 1 : L'activité testiculaire et son contrôle hormonal.

Les testicules sont responsables de la fonction de reproduction chez l'organisme mâle à partir de la puberté. Les deux fonctions essentielles des testicules sont la fabrication de spermatozoïdes et la production d'hormone mâle (dont la testostérone). Le fonctionnement du testicule est sous contrôle hormonal (du système hypothalamo-hypophysaire). Pour comprendre leur fonctionnement et leur régulation, des expériences réalisées et leurs résultats sont consignés dans les tableaux ci-après. Et le document 1 représente le contrôle de leur fonctionnement.

#### Expérience 1 : rôles des testicules et de la testostérone.

| Expériences |                                                                     | Résultats                                                                              |
|-------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| A           | Ablation des testicules chez un individu pubère.                    | Pas de production de spermatozoïdes<br>Régression des caractères sexuels secondaires.  |
| B           | Injection de testostérone après ablation des testicules.            | Restauration des caractères sexuels secondaires.                                       |
| C           | Destruction des cellules de Leydig chez un individu pubère.         | Pas de production de spermatozoïdes<br>Régression des caractères sexuels secondaires.  |
| D           | Injection de testostérone après destruction des cellules de Leydig. | Restauration des caractères sexuels secondaires et de la production de spermatozoïdes. |

#### Expérience 2 : Rôles de l'hypothalamus et de l'hypophyse.

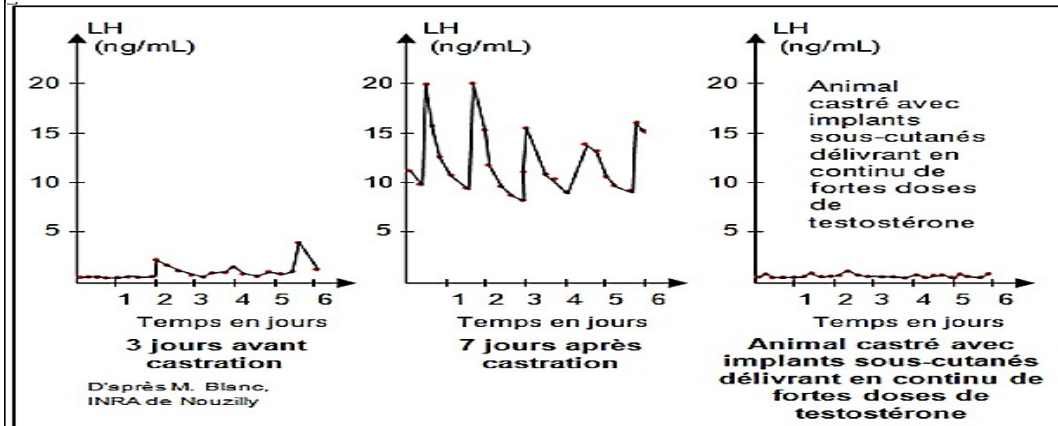
L'atrophie des testicules est associée à des signes cliniques variés : stérilité, absence ou faible développement des caractères sexuels secondaires. Ces cas sont souvent dus à un déficit d'origine hypophysaire. Des expériences réalisées et leurs résultats sont présentés ci-dessous.

| Expériences |                                                        | Résultats                                                        |                 |
|-------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------|
| A           | Ablation de l'hypophyse                                | Arrêt complet du fonctionnement des testicules.                  |                 |
| B           | Injection de FSH et de LH à un animal hypophysectomisé | Reprise de la spermatogénèse et de la sécrétion de testostérone. |                 |
| C           | Injection de LH à un animal impubère.                  | Cellules germinales                                              | Au repos        |
|             |                                                        | Cellules de Sertoli                                              | Peu développées |
|             |                                                        | Cellules de Leydig                                               | Activées        |
|             |                                                        | Caractères sexuels secondaires.                                  | Développées     |
| D           | Injection de FSH à un animal impubère.                 | Cellules germinales                                              | Activées        |
|             |                                                        | Cellules de Sertoli                                              | Développées     |
|             |                                                        | Cellules de Leydig                                               | Inactivées      |

|          |                                                          |                                                        |          |
|----------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------|
|          |                                                          | Caractères sexuels secondaires.                        | Absentes |
| <b>E</b> | Destruction de certains amas de neurones hypothalamiques | Arrêt de la sécrétion de FSH et de LH par l'hypophyse. |          |
| <b>F</b> | Stimulation électrique de ces mêmes amas de neurones     | Augmentation brusque de la libération de FSH et de LH. |          |
| <b>G</b> | Hypophyse déconnectée de l'hypothalamus.                 | Arrêt de la sécrétion de FSH et de LH par l'hypophyse. |          |

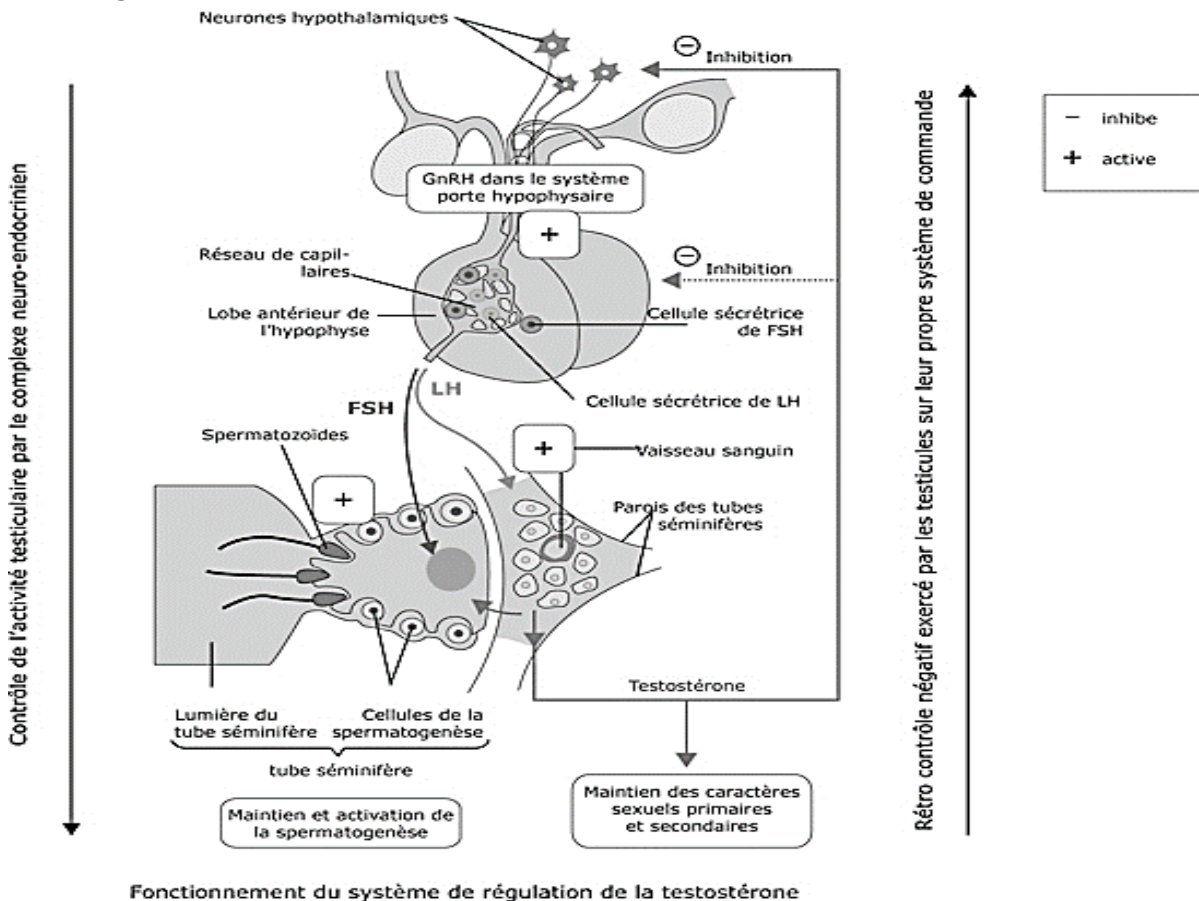
### Expérience 3 : Rétrocontrôle.

On remarque que lors d'une castration les taux sanguins de LH et de FSH sont modifiés.



Doc.1

### Schéma général



Doc.2

**Consigne :**

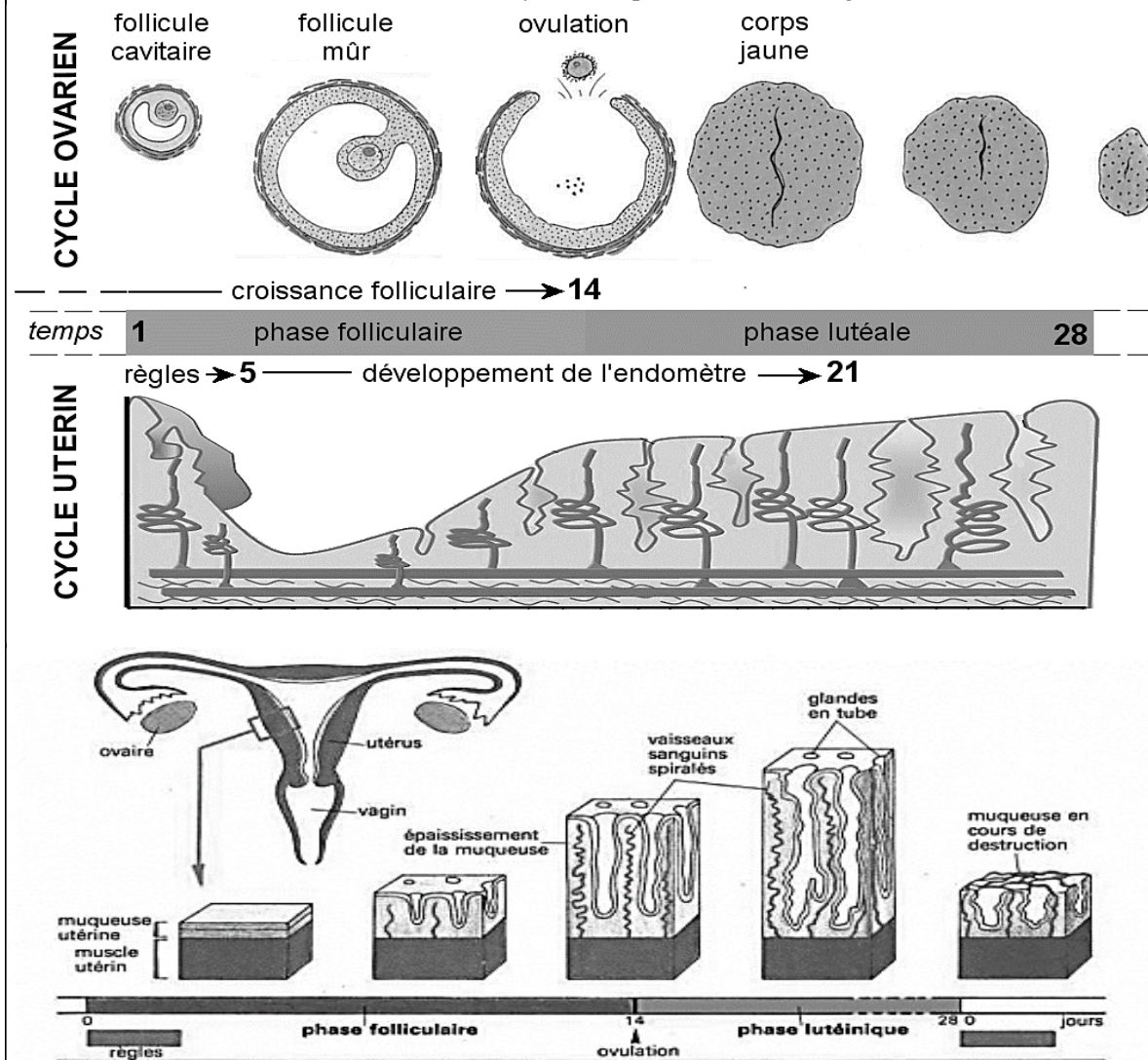
1. Tirer une conclusion de chaque expérience.
2. Décrire la régulation du fonctionnement des testicules.

**Activité 2 : les cycles sexuels chez la femme.**

L'ovaire est un tissu hétérogène composé de follicules et de corps jaune. Les follicules sont différents par les tailles et leurs structures. Au fur et à mesure de leur évolution, ils grandissent et possèdent un grand nombre de cellules folliculaires entourant une cavité. Logé dans le follicule, l'ovocyte II sera libéré au moment de l'ovulation. Après l'ovulation, le reste du follicule se transforme en corps jaune qui va régresser s'il n'y a pas eu de fécondation. Le document 3 représente les étapes du fonctionnement des ovaires.

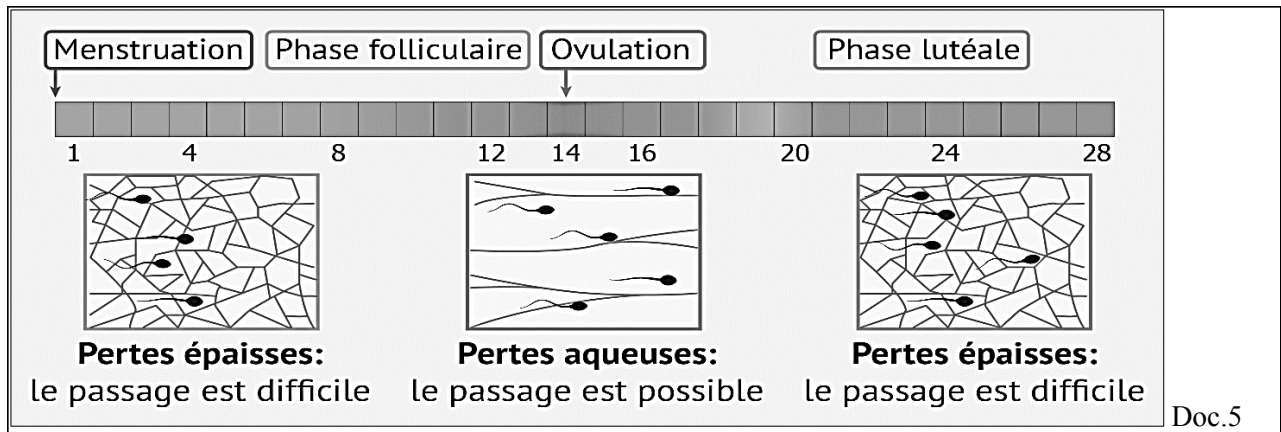
Le tissu utérin varie au cours du cycle sexuel. Lors de la première phase, l'endomètre s'épaissit ; puis il change de forme lors de la phase lutéale : il se creuse de nombreuses cavités qui serviront à la nidation d'un éventuel embryon. En absence de fécondation, la muqueuse se détruit et est à l'origine des pertes de sang correspondant aux menstruations ou règles.

La muqueuse utérine sécrète la glaire cervicale. Celle-ci change d'aspect au cours du cycle : plus épaisse en début un moment de l'ovulation et enfin de cycle, elle présente un maillage moins serré.



Doc.3

Doc.4



**Consigne : à partir du texte et des documents :**

1. Citer les phases du cycle sexuel chez la femme.
2. Préciser la durée moyenne d'un cycle et celles de chaque phase.
3. Identifier le phénomène marquant la limite entre deux cycles successifs et celui qui permet de diviser le cycle en phases distinctes.
4. Caractériser chaque phase.
5. Préciser la partie de l'utérus concerné par ces modifications.
6. Décrire l'évolution de la sécrétion de glaire cervicale.
7. Préciser les rôles physiologiques de la glaire cervicale.

### Activité 3 : La régulation des cycles sexuels chez la femme.

Les hormones sécrétées par les ovaires au cours du cycle sont : des œstrogènes fabriqués par les follicules et la progestérone produite par le corps jaune. (Voir Doc. 6)

#### A) Action des ovaires sur l'utérus :

Après ablation des ovaires, le cycle utérin se trouve supprimé alors que l'ablation de l'utérus n'empêche pas le fonctionnement du cycle ovarien.

L'injection contrôlée d'œstradiol et de progestérone (qui sont des hormones sécrétées par les ovaires) après ovariectomie, rétablit le cycle utérin.

#### B) Action de l'hypothalamus et de l'hypophyse dans le contrôle des cycles

L'adénohypophyse sécrète les gonadostimulines qui sont : la FSH (hormone folliculostimulante) et la LH (hormone lutéinisante). Leur taux plasmatique présente des variations cycliques.

L'hypothalamus produit une neurohormone : la GnRH (hormone gonadolibérine) qui agit sur l'adénohypophyse.

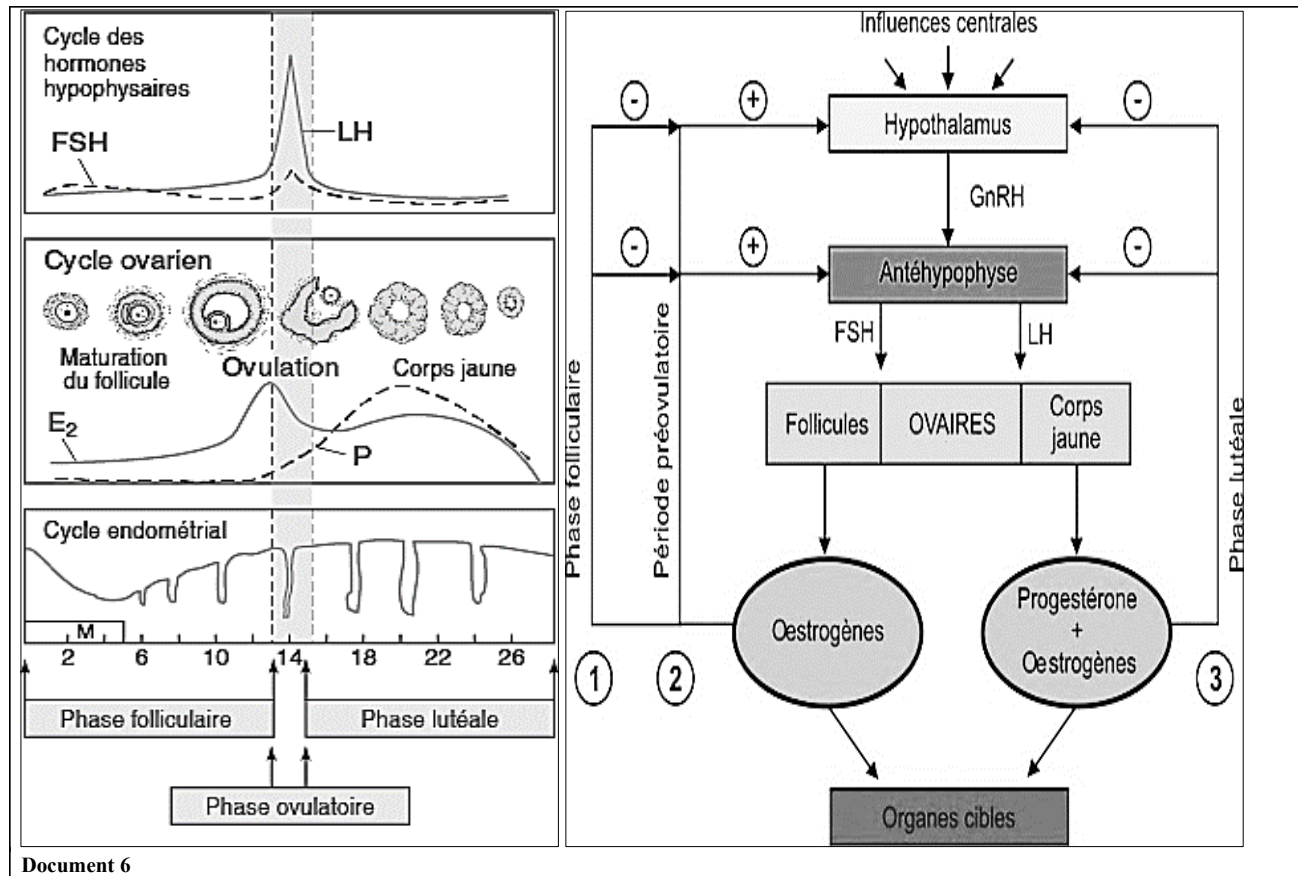
L'ablation de l'adénohypophyse entraîne une atrophie des ovaires et la disparition des cycles ovariens et utérins. Après hypophysectomie, l'injection de gonadostimuline restaure le développement des ovaires et la reprise des cycles.

Une lésion de l'hypothalamus entraîne une chute de la sécrétion de gonadostimuline et l'arrêt des cycles.

L'injection intraveineuse de GnRH corrige les effets provoqués par cette lésion.

#### C) Rétrocontrôles.

L'ablation des ovaires chez une rate entraîne une sécrétion anormalement élevée de FSH et de LH. Une injection d'œstrogène entraîne un retour à une sécrétion normale de gonadostimulines.



**Consigne : à partir du et du document :**

1. Déterminer les relations entre les ovaires et l'utérus.
2. Préciser les structures de l'ovaire qui sécrètent les hormones et l'action de ces derniers sur l'utérus.
3. Déterminer les relations entre l'hypothalamus, l'hypophyse les ovaires et l'utérus.
4. Préciser les rôles du GnRH, la FSH et la LH.
5. Préciser les différents rétrocontrôles entre les ovaires, l'hypophyse et l'hypothalamus et leurs conditions.

#### Activité 6 : La maîtrise de la procréation.

Les relations amoureuses entre deux individus de sexe différents aboutissent le plus souvent à des relations sexuelles. Ces relations sexuelles entraînent naturellement le transfert de gamètes d'un individu à l'autre et dont une possibilité de fécondation si les partenaires n'ont pas pris de précaution volontaire pour l'éviter.

Plusieurs techniques et méthodes permettent aux couples de contrôler la procréation.

Des méthodes contraceptives, utilisant les connaissances relatives à la procréation permettent de choisir le moment approprié pour avoir un enfant.

- La contraception hormonale féminine s'appuie sur les connaissances de la régulation hormonale chez la femme. Les pilules œstro-progestatives modifient les variations cycliques des hormones hypophysaires en supprimant le pic de LH, empêchant ainsi l'ovulation. Les pilules progestatives possèdent un effet sur l'endomètre, le rendant impropre à la nidation.
- D'autres méthodes contraceptives sont basées essentiellement sur la rencontre des gamètes agissant comme des barrières, elles empêchent la fécondation.



**Consigne : à partir du texte et du document 7 :**

Préciser les différentes méthodes de contraception.

### Activité 7 : les principales causes de stérilité

Les causes de la stérilité sont multiples.

#### Chez l'homme :

Certaines investigations ont montré les cas de spermes vides de spermatozoïdes qui ont pour raisons des lésions hypophysaires, des infections, des obstructions congénitales. On note dans d'autres cas, une quantité minime de spermatozoïdes dans le sperme (oligospermie) ou aussi des cas où les spermatozoïdes sont en nombre élevé mais avec des difficultés de mouvement.

#### Chez la femme :

Le cas le plus fréquent est l'obstruction des trompes. Elle peut être aussi liée au commandement hypothalamo-hypophysaire avec troubles de l'ovulation et insuffisance lutéale. On observe également des cas où l'ascension des spermatozoïdes se fait mal si la glaire cervicale est absente, infectée ou hostile aux spermatozoïdes.

**Consigne : à partir de ce texte :**

Préciser les principales causes de stérilité dans un couple.

**Synthèse générale :**

**1. Rôle de l'hypophyse sur l'activité testiculaire**

L'antéhypophyse sécrète des gonadostimulines (car elles stimulent le fonctionnement des gonades) qui sont la FSH et la LH. La FSH : active la spermatogenèse par l'intermédiaire des cellules de Sertoli. Les cellules de Sertoli en retour, contrôlent la production de FSH grâce à une hormone appelée « inhibine », c'est le feedback négatif. La LH stimule les cellules de Leydig et contrôle la production de testostérone à taux plasmatique constant. La LH est indispensable à la production de testostérone. La LH et la FSH sont donc nécessaires au bon déroulement de la spermatogenèse.

**2. Rôle de l'hypothalamus et rétroaction exercée par la testostérone :**

La production de FSH et de LH dépend donc d'une hormone hypothalamique, la GnRH dont la sécrétion est pulsatile. La sécrétion de LH et de FSH est aussi pulsatile. Ce caractère pulsatile de la sécrétion de GnRH, puis de FSH et de LH, s'explique par sa production par des amas de neurones hypothalamiques dont l'activité est rythmique. L'hypophyse est donc sous le contrôle de l'hypothalamus. La testostérone exerce donc une action inhibitrice sur le fonctionnement du complexe hypothalamo-hypophysaire.

**3. La régulation des cycles sexuels chez la femme.**

Dans l'espèce humaine, le cycle menstruel dure environ 28 jours, il débute le premier jour des règles et se caractérise par un événement majeur : l'ovulation qui a lieu vers la moitié du cycle.

**a. Le cycle ovarien**

On distingue deux grandes phases lors de ce cycle : la phase folliculaire et la phase lutéale.

La phase folliculaire (ou phase pré-ovulatoire) est caractérisée par une maturation folliculaire avec une reprise de l'ovogenèse et par une sécrétion d'œstrogènes par les cellules thécales.

L'ovulation est la phase de libération de l'ovocyte II (métaphase de deuxième division de méiose) ; elle se produit sous l'influence de la forte décharge de LH. La phase lutéale (ou post-ovulatoire) se caractérise par une transformation du follicule déhiscent en corps jaune dont la sécrétion principale est la progestérone.

**b. Le cycle utérin**

Le cycle utérin débute par une phase de desquamation responsable de la menstruation. Dès la fin des règles, la muqueuse utérine augmente d'épaisseur, se vascularise et se creuse de nombreuses cryptes ; c'est essentiellement l'œstradiol qui stimule ces transformations. Lors de la phase lutéale, il y a un développement glandulaire et une diminution de l'activité contractile ; ces modifications sont dues à la progestérone.

**c. Le cycle de la glaire cervicale**

La glaire (ou mucus) cervicale est sécrétée par les cellules glandulaires du col utérin. Sa production est faible au début du cycle, puis devient progressivement abondante dans la deuxième moitié de la phase pré-ovulatoire. La production régresse rapidement pendant la phase post-ovulatoire. Les propriétés physiques de la glaire évoluent au cours du cycle : au moment de l'ovulation, elle devient plus riche en eau, plus alcaline et plus filante. Ces modifications permettent de créer un milieu favorable au passage et à la survie des spermatozoïdes lors de la période ovulatoire.

**4. Maîtrise de la procréation**

L'évolution démographique a conduit à la mise en place d'un contrôle des naissances. Les problèmes de stérilité ou d'hypofertilité des couples ont conduit à des recherches de moyens de traitement de la stérilité. On distingue plusieurs types de pilule : les pilules combinées normo dosées, les pilules séquentielles, les micropilules. La contraception par voie orale empêche soit la fertilisation en perturbant la rencontre des gamètes ou en bloquant l'ovulation, soit la nidation, soit associé tous ses effets. La pilule a pour tâche de rendre la glaire cervicale infranchissable pour les spermatozoïdes en restaurant le maillage.



## Sous concept 2 : La régulation de la glycémie.

### Pré-évaluation :

Qu'est-ce que la glycémie ?

Quelles sont les conséquences d'une perturbation de la glycémie ?

### Situation problème :

Le glucose est la molécule privilégiée des cellules de l'organisme. Il est fourni pendant la phase d'absorption, au cours de laquelle les nutriments issus de la digestion pénètrent dans le sang à partir du tube digestif. Le sang approvisionne en permanence en glucose les cellules de l'organisme qui utilisent pour leur fonctionnement. Pour assurer son bon fonctionnement, l'organisme doit être capable de contrôler certains paramètres dont la glycémie.

Comment la glycémie se maintient-elle constante alors que les apports alimentaires sont discontinus ?

Quels sont les organes qui interviennent dans la régulation de la glycémie ?

Quelle relation existe-t-il entre glycémie et diabète ?

### Activité 1 : La glycémie

La glycémie est définie comme le taux de glucose sanguin. Elle est proche de  $1\text{g.l}^{-1}$  (soit  $5\text{mM.l}^{-1}$ ).

Si ce taux est inférieur à  $0,6\text{g/l}$ , on est en hypoglycémie. Elle se caractérise par une fatigue, des sueurs et une pâleur du visage ; elle s'accompagne parfois d'une perte de connaissance.

Si ce taux est supérieur à  $1,26\text{g/l}$ , on parle d'hyperglycémie. Le sujet ressent une soif intense, la présence de sucre dans l'urine (glycosurie) peut entraîner des troubles rénaux. Les urines et le sang sont plus « sucrés » et les bactéries s'y développent activement. Les défenses immunitaires sont amoindries et des risques cardiovasculaires peuvent subvenir. Ces troubles caractérisent le diabète.

Pour un bon fonctionnement de l'organisme, la glycémie doit donc toujours avoir la même constante physiologique ( $1\text{g/l}$ ) : c'est l'homéostat glycémique. Cela implique l'existence d'un système de régulation. Chez un sujet en bonne santé, chaque repas est suivi d'une augmentation de la glycémie, qui ne dépasse pas  $1,6\text{g/l}$ , et un retour à la normale en moins de deux heures après le repas. Chez un sujet en jeûne prolongé, la glycémie ne varie pas pendant plusieurs jours. On peut donc conclure qu'il existe un système de régulation. Le glucose est tantôt stocké, tantôt libéré pour maintenir cette « constance » de la glycémie.

### Consigne : à partir du texte :

- Déterminer la valeur moyenne de la glycémie chez un sujet normal.
- Expliquer les causes de la variation de la glycémie au cours de la journée.
- Expliquer pourquoi l'hypoglycémie peut provoquer des pertes de connaissances.

### Activité 2 : Le rôle du foie dans la régulation de la glycémie.

Des expériences ont été réalisées pour comprendre le rôle du foie dans la régulation de la glycémie.

#### Expérience 1 : Expérience « du foie lavé ».

Claude Bernard explique qu'en faisant passer un courant d'eau dans les vaisseaux hépatiques (foie) d'un animal aussitôt après la mort, on débarrasse le foie de son sucre mais quelques heures après, le même foie se charge à nouveau de sucre.

#### Expérience 2 : Ablation du foie.

Après l'ablation du foie chez un animal, les résultats sont consignés dans le tableau suivant.

| Temps après l'ablation (min) | 0 | 15   | 30   | 45  | 60  | 75   | 90         |
|------------------------------|---|------|------|-----|-----|------|------------|
| Glycémie                     | 1 | 0,88 | 0,76 | 0,7 | 0,6 | 0,55 | 0,5 (mort) |

### Consigne :

- Analyser les résultats de ces expériences.
- Préciser le rôle du foie dans la régulation de la glycémie.

### Activité 3 : Stockage et libération du glucose par les organes.

En cas d'hyperglycémie, le glucose est stocké dans plusieurs organes. Il se retrouve essentiellement :

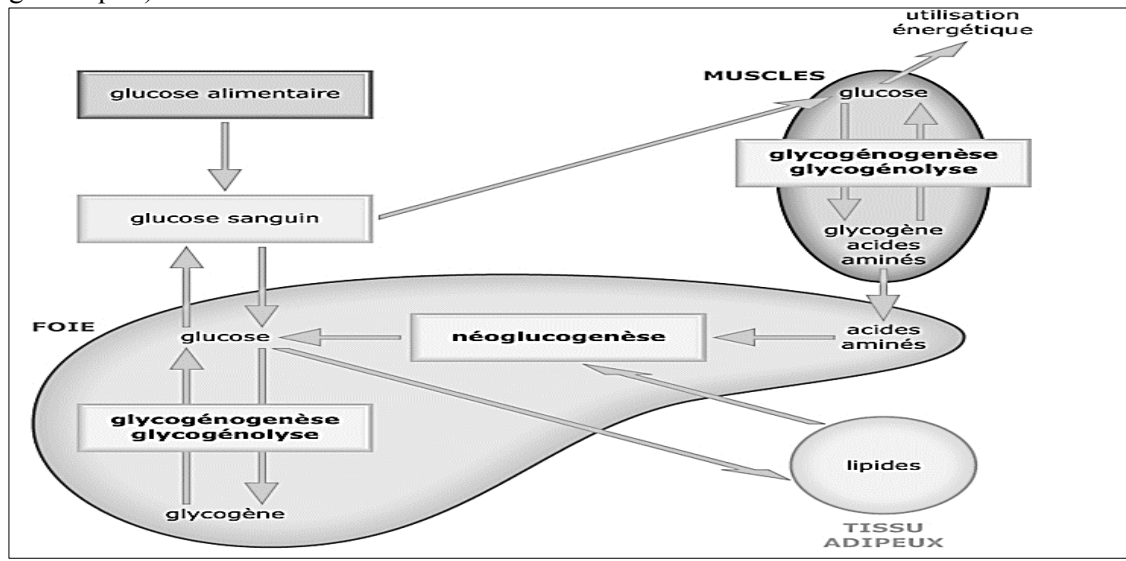
- Dans les muscles sous forme de glycogène ;
- Dans le tissu adipeux, transformé en lipide.
- Dans le foie sous forme de glycogène qui sera restitué suivant les besoins de l'organisme.

Les deux premiers ne restituent jamais de glucose au sang.

Lorsque le glucose est plus abondant dans l'organisme, par exemple après un repas, il est stocké sous forme de glycogène suivant la réaction :  $nC_6H_{12}O_6 \longrightarrow (C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O$ . C'est la **glycogénogenèse**.

En cas d'hypoglycémie, par exemple, après un jeûne prolongé, le glycogène hépatique est hydrolysé en glucose suivant la réaction :  $(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \longrightarrow nC_6H_{12}O_6$ . C'est la **glycogénolyse**.

En cas de jeûne prolongé, les réserves glucidiques sont insuffisantes pour faire face aux besoins de l'organisme. Le foie réalise alors la néoglucogenèse (synthèse de glucose à partir de substances non glucidiques)



Doc.1

**Consigne : à partir texte et du document 1 :**

1. Déterminer les organes de stockage du glucose et préciser l'organe qui restitue le glucose au sang.
2. Quelles sont les formes et les conditions du stockage du glucose ?

### Activité 4 : Rôle du pancréas dans la régulation de la glycémie.

#### A) Mise en évidence

Le pancréas est une glande qui joue un rôle important dans la régulation de la glycémie.

Différentes expériences démontrent le rôle du pancréas.

- **L'ablation totale du pancréas (pancréatectomie) :** des troubles digestifs surviennent rapidement du fait de l'absence d'enzymes digestives pancréatiques et on constate une augmentation très rapide de la glycémie aboutissant à la glycosurie.
- **Grefe de pancréas :** après pancréatectomie chez un animal, si l'on greffe un fragment de pancréas en un point quelconque du corps, les troubles digestifs persistent, mais la glycémie revient à la normale. Or le seul lien entre le greffon et l'organisme est le sang.
- **Injections d'extraits pancréatiques :** si l'on fait séjourner des fragments de pancréas dans un liquide physiologique, que l'on broie, filtre et que l'on injecte ce filtrat à un animal sans pancréas, on observe qu'il y a correction de la glycémie, mais que les troubles digestifs persistent.

**Consigne :**

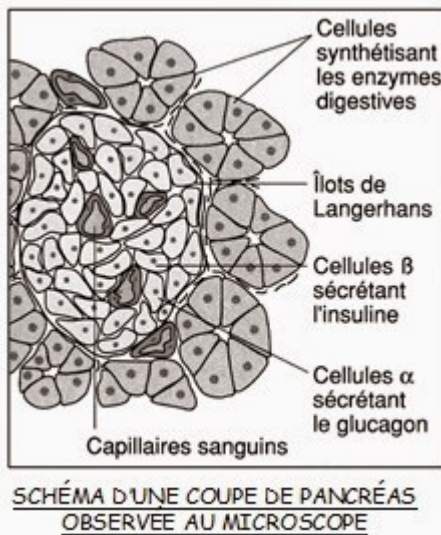
Analyser ces résultats et tirer une conclusion.

**B) Rôles des hormones pancréatiques dans la régulation de la glycémie.**

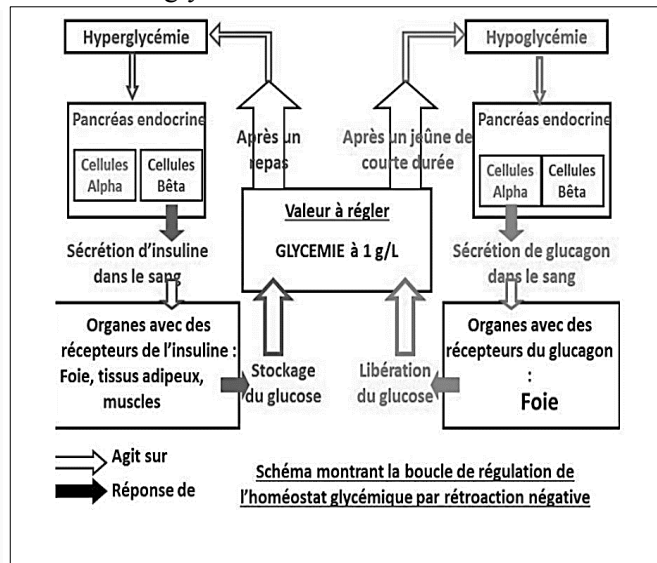
Le pancréas a une structure double (doc .2). Pour assurer ses deux fonctions, le pancréas utilise les deux structures qui le constituent :

- **Les acini (pancréas exocrine) :** (99%), ils sécrètent les enzymes digestives du suc pancréatique.
- **Les îlots de Langerhans (pancréas endocrine) :** (1%), formés de deux types de cellules groupées autour des vaisseaux sanguins : les cellules  $\alpha$  situées à la périphérie des îlots qui sécrètent le glucagon (hormone) et les cellules  $\beta$  situées au centre des îlots qui sécrètent l'insuline (hormone).

Le document 3 représente la régulation hormonale de la glycémie.



Doc. 2



Doc.3

**Consigne : à partir du texte et des documents 2 et 3 :**

1. Préciser la structure du pancréas qui intervient dans la régulation de la glycémie.
2. Déterminer les hormones pancréatiques intervenant dans la régulation de la glycémie et leurs rôles.
3. Expliquer comment le pancréas intervient en cas d'hyperglycémie et en cas d'hypoglycémie.

**Activité 5 : caractéristique et causes des diabètes.**

Les diabètes sont des maladies qui se manifestent toujours par une hyperglycémie (**glycémie** > 1,26g/l pendant un jeûne et > 2g/l en un autre moment quelconque). Il existe plusieurs phénotypes de diabètes suivant la gravité, l'expression de la maladie et l'âge d'apparition. On distingue deux types principaux de diabètes :

○ **Le diabète de type I :**

C'est le plus rare et le plus grave, il peut survenir dès le plus jeune âge. Il se caractérise par une absence ou peu de cellules  $\beta$ , s'accompagnant d'une sécrétion d'insuline très faible. On parle de diabète insulino-dépendant ou diabète maigre. Cette forme de diabète a souvent une origine génétique (héréditaire), mais il peut être dû aussi à des facteurs environnementaux. Certains aliments ou certains virus pourraient être en cause dans le déclenchement de la maladie.

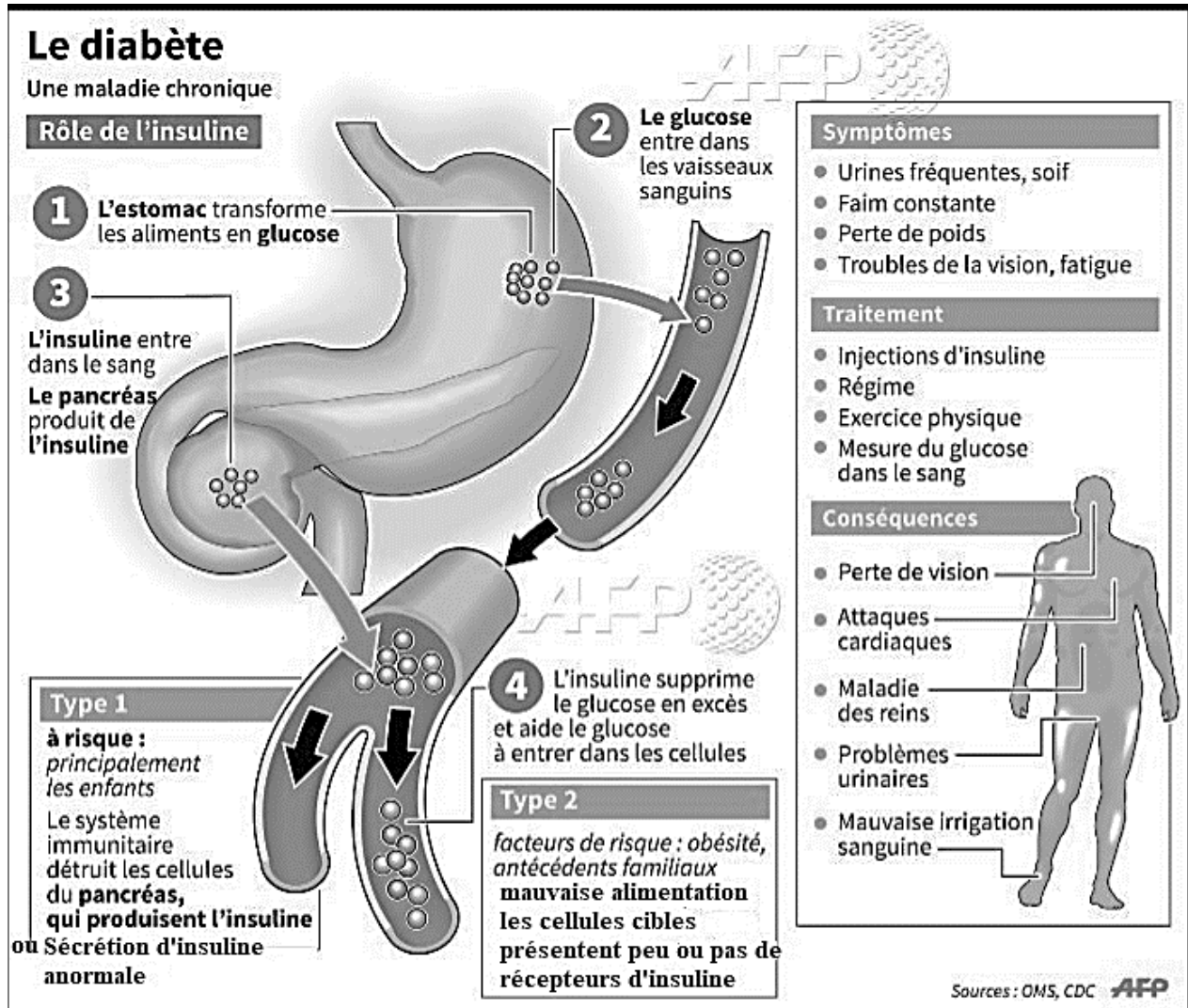
Un sujet peut avoir des cellules  $\beta$  et sécréter une insuline anormale (non reconnue par les récepteurs des cellules cibles). Ce diabète est aussi un diabète insulino-dépendant.

○ **Le diabète de type II :**

C'est le diabète le plus fréquent (80%). Il atteint surtout les personnes d'âge mûr.

Les cellules  $\beta$  sont normales, la sécrétion d'insuline aussi, mais les cellules cibles (muscles, tissu adipeux et foie) ont peu ou pas de récepteurs à l'insuline : le captage du glucose est moindre, entraînant une hyperglycémie. On parle de **diabète insulino-résistant** ou « diabète gras ». Seul un régime pauvre en glucose peut le corriger.

L'hérédité peut favoriser son apparition (certains groupes ethniques y sont plus sujets que d'autres). Mais c'est avant tout une mauvaise alimentation et une activité physique insuffisante qui sont la cause. L'obésité est aussi le principal facteur de risque de ce type de diabète. (Voir document 4)



Document 4

**Consigne : à partir du texte et du document 4 :**

1. Préciser quand dit-on qu'un sujet est diabétique.
2. Expliquer pourquoi le diabète de type 1 est qualifié d'insulinodépendant et le type 2 d'insulino-résistant.
3. Déterminer pour lequel des deux diabètes la prédisposition génétique est plus élevée.
4. Expliquer comment peut-on prévenir le diabète de type 2.

### Synthèse générale :

#### 1) La glycémie :

La glycémie est le taux de glucose dans le sang ou plus exactement dans le plasma sanguin. La glycémie est très finement régulée. Les valeurs de la glycémie varient selon l'état nutritionnel et le stress. En particulier la différence entre la glycémie à jeun et la glycémie post-repas est importante. Sa valeur moyenne est de 1g/l.

Dans l'organisme, le glucose est stocké sous forme de glycogène dans le tissu musculaire et le tissu hépatique, et sous forme de triglycérides dans le tissu adipeux.

Les réserves hépatique étant réduite, la néoglucogenèse permet de couvrir les besoins des cellules gluco-dépendants durant une dizaine d'heures.

#### 2) Action du foie :

Le foie est un organe de stockage et de déstockage du glucose en vue du maintien de la constante glycémique. La glycogénogenèse est le stockage de glucose sous forme de glycogène dans le foie.

Lorsque le foie est saturé en glycogène, le surplus de glucose sanguin est emmagasiné dans les muscles striés et dans les tissus adipeux. Ces derniers ne fournissent pas de glucose au milieu intérieur, mais fournissent au foie les précurseurs nécessaires (glycérol, lactate, pyruvate, acides aminés ...) à la néoglucogenèse.

Le glycogène musculaire est directement utilisé par le muscle lui-même. C'est une réserve privée. Celui du foie est commun à tout l'organisme. Le foie par glycogénolyse et grâce à la présence de la glucophosphatase est « le seul organe capable de libérer du glucose dans le milieu intérieur ».

#### 3) Action du pancréas

En cas d'hyperglycémie : les cellules  $\beta$  captent la variation et secrètent une hormone hypoglycémiante « l'insuline » qui agit sur les cellules cibles. En effet l'insuline favorise la pénétration du glucose et sa consommation dans les cellules, stimule la synthèse du glycogène (glycogénogenèse) et des graisses.

D'hypoglycémie : les cellules  $\alpha$  captent la variation et secrètent une hormone hyperglycémiante, le glucagon qui agit sur les cellules cibles. Ces derniers sont essentiellement les cellules hépatiques. Le glucagon stimule la glycogénolyse et la néoglucogenèse.

#### 4) Glycémie et diabète

Le diabète est une maladie chronique très grave qui résulte d'une hyperglycémie. Il peut prendre différentes formes en fonction de son origine.

**Le diabète de type I** : également appelé diabète juvénile, il a la particularité qu'il ne peut pas se prévenir.

Origine : Les lymphocytes, au début de la maladie, envahissent les îlots de Langerhans et détruisent les cellules  $\beta$ , c'est une maladie auto-immune. Au final les malades ne secrètent plus assez d'insuline, ils ne proviennent plus à corriger l'hyperglycémie. On parle aussi de diabète insulino-dépendant « DID ».

Il est traité par l'insulinothérapie. Cela consiste à une injection intramusculaire d'insuline plusieurs fois par jour pour contrer l'hyperglycémie.

**Le diabète de type II** : Il représente près de 90 % des diabétiques. Il se déclenche tardivement chez des individus âgés de plus de 50 ans.

Origine : Le pancréas ne fonctionne pas correctement et ne fabrique pas assez d'insuline. L'insuline aussi produite n'est pas utilisée par les muscles car ils deviennent résistants. On parle de diabète non

insulino-dépendant « DNID ». Il n'est pas traité par l'insuline. Son traitement est complexe et a besoin d'un arsenal complet de médicaments thérapeutique.

### Sous concept 3 : L'activité cardiaque et la régulation de la pression artérielle.

#### Pré-évaluation :

Quel est le rôle du cœur ?

Qu'est-ce que la pression artérielle ?

#### Situation problème :

La section accidentelle d'une artère déclenche une hémorragie caractéristique, le sang s'écoule par jets saccadés. Cette observation révèle que le sang circule sous pression notable dans le système artériel et que cette pression varie rythmiquement. Cette pression sanguine dépend étroitement de l'activité cardiaque.

Comment mesurer cette pression ?

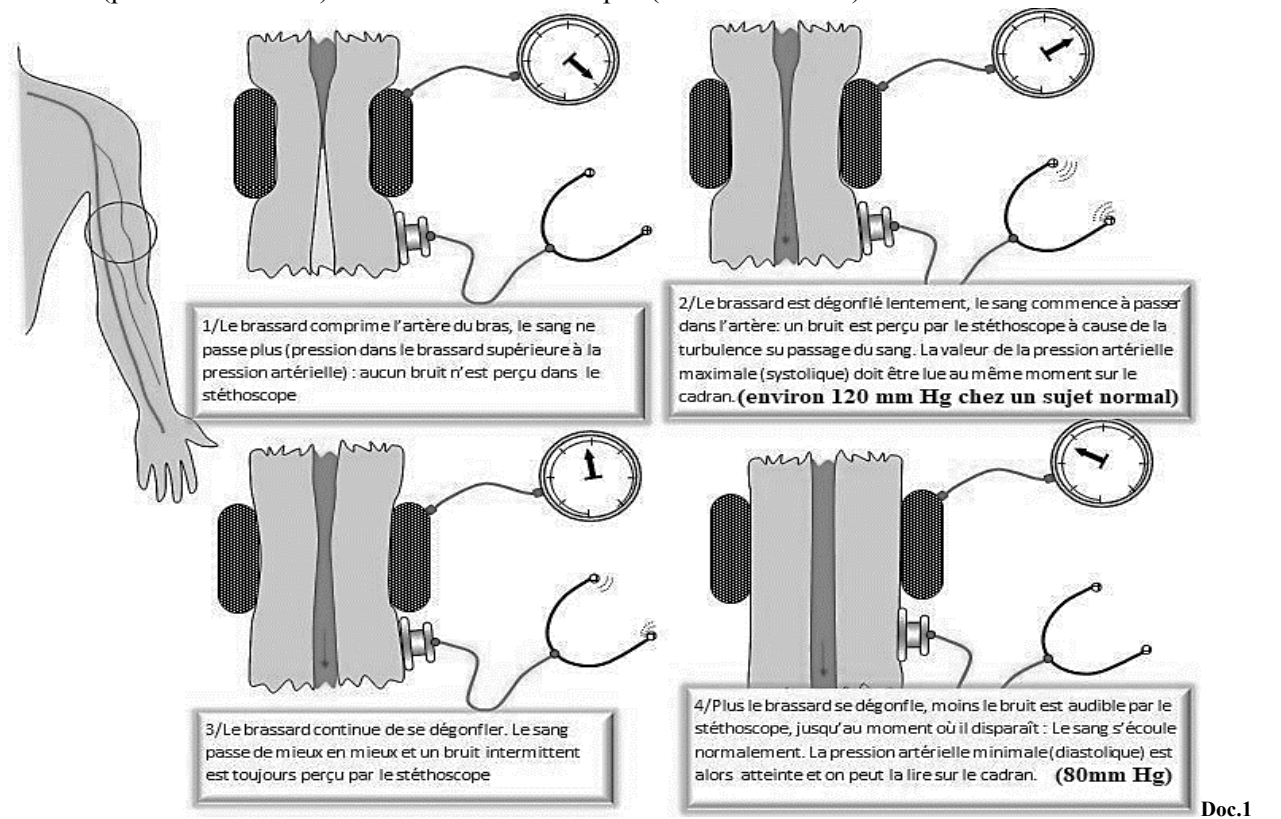
Une régulation satisfaisante de la pression artérielle suppose donc un contrôle par les centres nerveux et le système hormonal. Comment est assuré ce contrôle ?

#### Activité 1 : La pression artérielle, une variable physiologique réglée.

##### A) Mesure de la pression artérielle.

Les contractions rythmiques du muscle cardiaque assurent la propulsion du sang dans l'appareil circulatoire et sont à l'origine de la pression artérielle (pression que le sang exerce sur la paroi des artères).

L'appareil utilisé par le médecin pour « prendre la tension » s'appelle sphygmomanomètre. La prise de la tension (pression artérielle) se fait en différentes étapes (voir document 1)



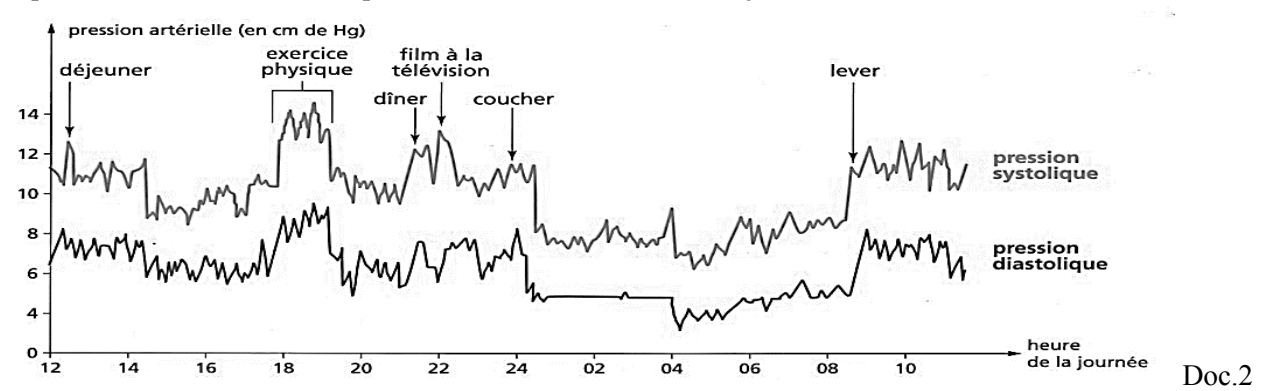
#### Consigne :

- 1) Définir : pression artérielle, pression systolique et pression diastolique.
- 2) Déterminer les éléments physiologiques responsables de la pression artérielle.

- 3) Quelles sont les valeurs normales de la pression diastolique et systolique ?
- 4) Trouver la relation entre la pression artérielle et le débit sanguin.

**B) Variation de la pression artérielle.**

La pression artérielle est variable au cours de la journée, mais toutes perturbations sont rapidement corrigées ce qui confirme la présence d'un système de régulation. On parle d'hypertension artérielle (HTA) si la pression artérielle est supérieure à **140-90 mm Hg**. C'est l'une des maladies les plus répandues dans le monde et constitue l'un des trois facteurs majeurs du risque cardiovasculaire. L'hypotension artérielle (**pression systolique < 100 mm Hg**) n'est pas une maladie mais le symptôme d'autres troubles : problème neurologique, déshydratation, effets secondaires d'un médicament ou de drogues, etc. Le document 2 représente les variations de la pression artérielle au cours de la journée et suivant les activités.



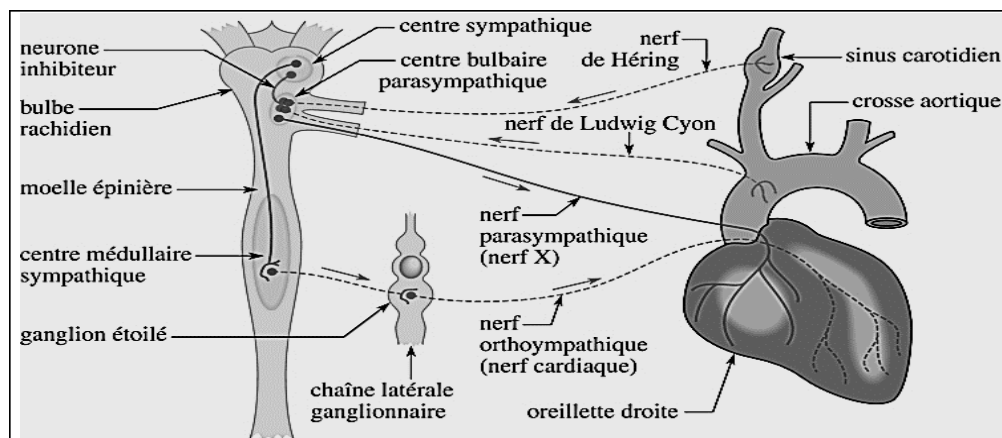
**Consigne :**

1. Nommer quelques activités journalières à l'origine de la variation de la pression artérielle.
2. Pourquoi la pression artérielle doit être maintenue à une valeur consigne ?

**Activité 2 : la régulation nerveuse de la pression artérielle.**

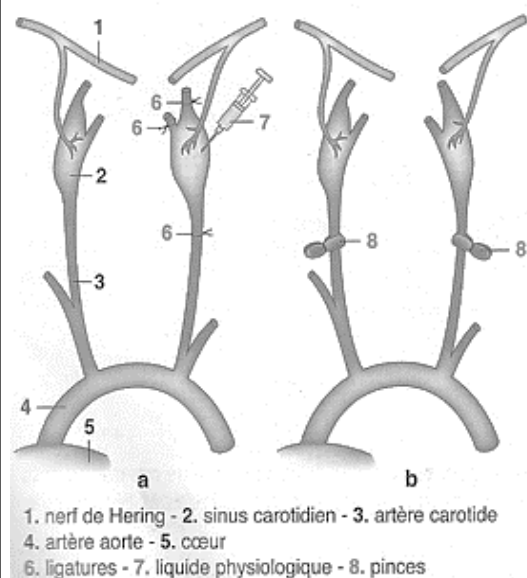
Les facteurs qui déterminent la pression artérielle sont : le débit cardiaque, la résistance périphérique, l'élasticité des parois des grosses artères, le volume sanguin (ou volémie).

L'appareil circulatoire comme l'ensemble des viscères, est soumis à des contrôles assurés par le système neuro-végétatif (Doc. 3). Ce dernier est organisé en deux ensembles antagonistes : le système sympathique et le système parasympathique. Chaque système possède ses voies nerveuses, ses centres et intègre les informations fournies par un certain nombre de récepteurs sensoriels renseignant notamment sur les variations de la pression artérielle en certains « points stratégiques » du système circulatoire. Les systèmes sympathique et parasympathique réagissent aux informations sensorielles de façon coordonnée et rétablissent une pression normale en modifiant de façon appropriée l'activité cardiaque d'une part, et la vasomotricité périphérique d'autre part.



Doc.3

Pour comprendre le l'innervation du cœur, on réalise des séries d'expériences.



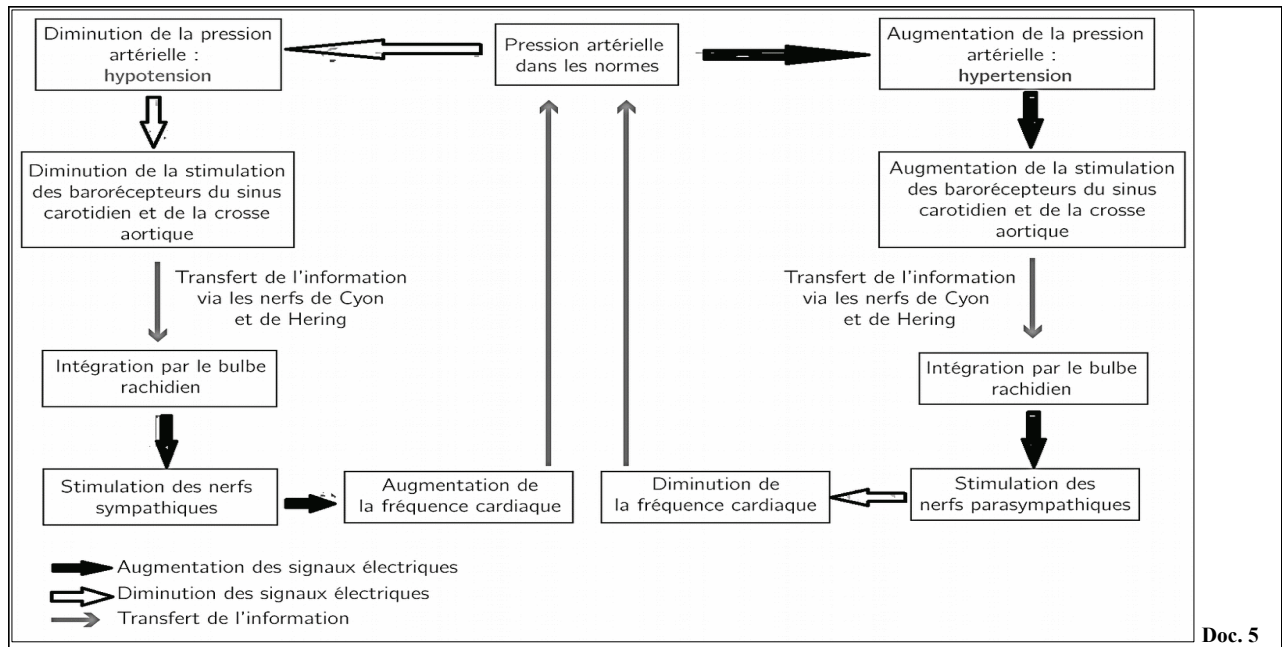
#### Expériences anciennes réalisées chez un animal anesthésié

- **Expérience a** : un sinus carotidien est isolé par des ligatures (6) ; on y augmente la pression en injectant du liquide physiologique (7).
- **Expérience b** : les carotides droite et gauche sont pincées (8), ce qui crée une hypotension au niveau des sinus. En effet, dans cette artère, le sang circule du bas vers le haut.
- **Expérience c** : les nerfs de Hering sont sectionnés.

|                                   | Expérience a   | Expérience b | Expérience c |
|-----------------------------------|----------------|--------------|--------------|
| Pression dans le sinus carotidien | hypertension   | hypotension  | normale      |
| Activité du nerf de Hering        | augmentée      | diminuée     | nulle        |
| Fréquence cardiaque               | ralentissement | accélération | accélération |
| Pression artérielle générale      | diminue        | augmente     | augmente     |

Doc.4

Le document 5 représente le schéma général de la régulation nerveuse de la pression artérielle.



**Consigne : à partir de l'analyse des expériences et documents :**

1. Préciser les centres intégrateurs, les voies et l'effecteur de la régulation nerveuse de la pression artérielle.
2. Quelles informations peut-on tirer concernant les nerfs qui innervent le cœur ?
3. Expliquer comment la pression artérielle normale est établie après une perturbation ?

### Activité 3 : La régulation hormonale de la pression artérielle.

Le contrôle nerveux de la pression artérielle est complété par de complexes mécanismes hormonaux.

Le rein contrôle la sortie d'eau hors de l'organisme ; comme cette eau provient du plasma sanguin, l'élimination urinaire (diurèse) tend à baisser la volémie. L'activité rénale peut donc contribuer à régler la pression artérielle : c'est ainsi qu'une augmentation de la diurèse tend à faire baisser la pression artérielle.

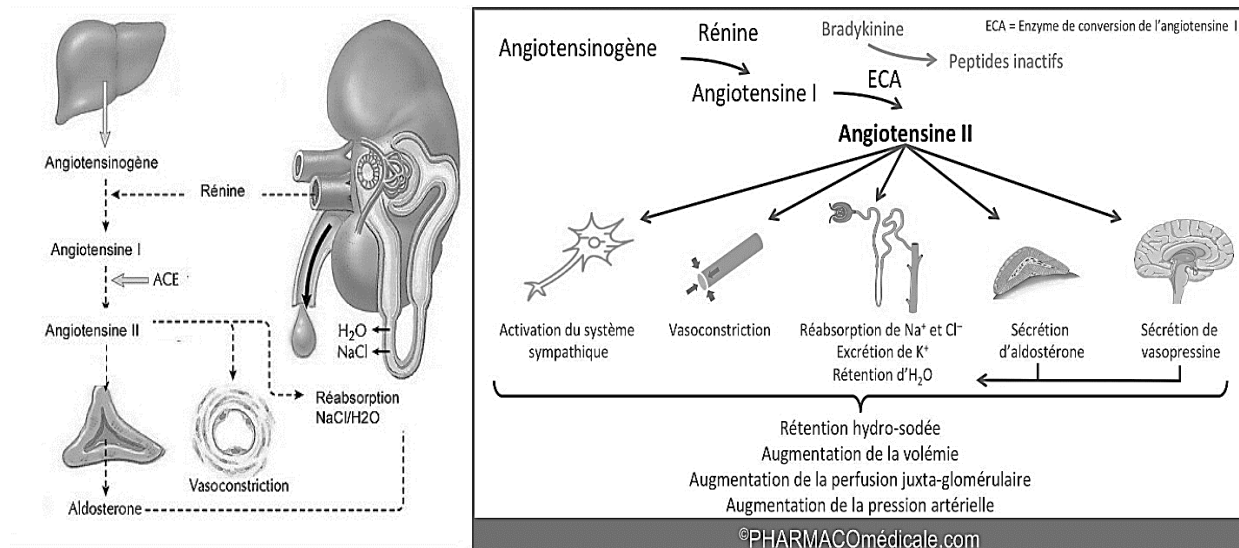
Outre le système de filtration du plasma, le rein possède des groupes de cellules très spécialisées qui sont notamment stimulées par une baisse de la pression sanguine à leur niveau (ou par une fuite importante de  $\text{Na}^+$  dans l'urine). Elles déversent alors dans le sang une enzyme, la rénine, qui catalyse la transformation d'une protéine en permanence dans le plasma, l'angiotensinogène, en hormone très active, l'angiotensine. La concentration en angiotensine est ainsi liée à la rénine. Cette hormone est un puissant vasoconstricteur qui élève donc la pression artérielle générale.

L'angiotensine a également un effet indirect sur la pression artérielle : elle stimule la sécrétion d'une autre hormone, l'aldostérone, produite par les glandes des corticosurrénales. Cette hormone diminue la fuite de  $\text{Na}^+$  au niveau des reins entraînant une baisse de la diurèse. Cette hormone détermine la sensation de soif au niveau de l'hypothalamus, ainsi augmenter la volémie et donc tend à augmenter la pression artérielle.

L'élimination directe de l'eau est directement contrôlée par une hormone déversée dans le sang au niveau de la neurohypophyse et produite par des neurones hypothalamiques (la vasopressine ou hormone antidiurétique : ADH). Une augmentation de la concentration de cette hormone fait chuter la diurèse. La sécrétion d'ADH est stimulée fortement par une hypovolémie ou par une hypotension. A l'inverse, l'hyper volémie ou l'hypertension modèrent sa sécrétion.

Les glandes médullosurrénales sécrètent deux hormones chimiques voisines : l'adrénaline et la noradrénaline. Leurs effets physiologiques sont complexes. L'adrénaline est cardiostimulante et déclenche la vasoconstriction des vaisseaux de la peau et des viscères (redistribuant le sang vers le cœur et les muscles),

Elle prépare l'organisme à l'effort. La noradrénaline a surtout un effet vasoconstricteur. Ces deux substances sont donc hypertensives. (Voir Doc.6)



### Document 6

#### Consigne :

1. Expliquer comment l'ADH intervient dans la régulation de la pression artérielle.
2. Quel est l'action de l'aldostérone sur les reins ?

3. Expliquer le rôle du système rénine-angiotensine dans la régulation de la pression artérielle.

### **Synthèse générale :**

#### **La pression artérielle :**

La pression artérielle est la pression exercée par le sang sur les parois des artères. On le définit aussi comme étant un paramètre physiologique représentant la pression du sang dans le système circulatoire. La valeur de la pression artérielle dépend de la vitesse d'écoulement du sang qui dépend elle-même de la résistance des vaisseaux. Elle varie chez l'Homme en fonction de l'âge, de l'état de santé, des activités physiques, de l'état émotionnel et de la position du corps.

Elle oscille chez un adulte, à chaque battement, entre deux (2) valeurs de référence. Les valeurs de la pression artérielle sont indiquées par deux nombres noté « A/B mm Hg » avec :

A = pression artérielle systolique

B = pression artérielle diastolique

Son unité de mesure est le millimètre de mercure (mm Hg). On peut mesurer la pression artérielle à l'aide d'un Sphygmomanomètre, d'un stéthoscope ou d'un tensiomètre.

Une valeur maximale ou pression artérielle systolique : 140 mm Hg de mesure qui est la conséquence de la contraction du ventriculaire cardiaque ou systole.

Une valeur minimale ou pression artérielle diastolique : 90 mm Hg de mesure qui correspond à la phase de relaxation ventriculaire cardiaque ou diastole.

La pression artérielle est dite normale chez un adulte en bonne santé lorsqu'elle est inférieure à 140/90 mm Hg et supérieure à 100/70 mm Hg.

#### **Régulation de la pression artérielle :**

La pression artérielle est un paramètre physiologique important dont la régulation nécessite l'intervention des capteurs disséminés dans l'organisme. Ces capteurs sont sensibles soit directement aux variations de la pression artérielle (barorécepteurs), soit à la variation d'autres paramètres liés à cette pression (pression osmotique agissant sur des osmorécepteurs, variations de la volémie détectées par des volorécepteurs).

Ces informations sont intégrées par des centres nerveux hypothalamiques, bulbaires et médullaires qui adaptent leurs activités respectives en fonction des messages reçus. Ces informations modifient également l'activité du rein (sécrétion de rénine).

Les organes effecteurs susceptibles d'agir sur la pression artérielle (pompe cardiaque, artères à paroi musculaire, reins) reçoivent en permanence des consignes nerveuses (message sympathique ou parasympathique) et hormonales (vasopressine, aldostérone, adrénaline) : ce contrôle complexe du débit cardiaque, de la vasomotricité et de la volémie assurent le maintien de la pression artérielle à une proche de la valeur de référence.

Les mécanismes nerveux et hormonaux, parfaitement intégrés, constituent un système de régulation par rétroaction négative.

La régulation de la pression artérielle est une régulation neuro-hormonale intégrée, au cours de laquelle les effecteurs tels que le cœur, les artères, les artéioles et les reins, reçoivent en permanence des messages nerveux et hormonaux à l'origine du contrôle du débit cardiaque, du volume du sang, du calibre des vaisseaux et en définitive du maintien de la pression artérielle entre ses limites de référence.

## **Concept général 7 : Biotechnologies et l'amélioration des espèces.**

### **Sous- concept 1 : Définition et applications des biotechnologies.**

#### **Pré-évaluation :**

Qu'est-ce qu'un microbe ?

Comment utilise-t-on les microorganismes dans l'industrie alimentaire ?

#### **Situation problème :**

Les méthodes biotechnologiques sont toutes celles visant à : «L'application pratique de l'ensemble de nos connaissances en biologie, microbiologie ou biologie moléculaire à l'accroissement des potentialités des animaux et des végétaux ou à l'accroissement de leur résistance aux agressions du milieu où ils vivent». Car les biotechnologies sont rarement issues d'une seule discipline ou d'une seule découverte mais, au contraire, de l'application simultanée de ces découvertes en vue de résoudre un problème précis.

Qu'est-ce que la biotechnologie ; et quels sont les techniques et les matériels utilisés ?

Dans quels domaines utilise-t-on la biotechnologie ?

#### **A. Définition et principes du génie génétique.**

##### **Activité 1 ; Définition.**

La biotechnologie comme « l'application des principes scientifiques et de l'ingénierie à la transformation de matériaux par des agents biologiques pour produire des biens et services

La biotechnologie, ou « technologie de bioconversion » comme son nom l'indique, résulte d'un mariage entre la science des êtres vivants (la biologie) et un ensemble de techniques nouvelles issues d'autres disciplines telles que la microbiologie, la biochimie, la biophysique, la génétique, la biologie moléculaire, la botanique, l'écologie, la zoologie, la médecine, la pharmacie, la physique, l'électronique, l'informatique, le génie génétique, etc. Il s'agit un domaine d'activités qui consiste à caractériser et utiliser dans des applications variées, des molécules ou organismes vivants montrant des propriétés particulières et étonnantes. Elles sont telles, qu'elles présentent un intérêt indéniable pour l'homme. Par abus de langage, on la restreint souvent au domaine du génie génétique et aux technologies issues de la transgénèse, permettant en particulier d'intervenir sur le patrimoine génétique des espèces pour le décrypter ou le modifier.

La biotechnologie moderne peut se définir comme un point de rencontre de plusieurs spécialités (biologie, génétique, biochimie, microbiologie...) pour permettre des applications diverses : agriculture et sécurité alimentaire, industries, santé humaine et animale, produits de diagnostics, énergie, médicaments, préservation et conservation de l'environnement, la génomique (étude de la carte génétique), la bioélectronique et les bio capteurs, pour ne citer que les domaines les plus importants. Ce secteur économique s'est considérablement développé depuis le début des années 1960 et est aujourd'hui intégré à part entière dans le tissu industriel mondial avec un chiffre d'affaires annuel dépassant 120 milliards de dollars US.

les biotechnologies :

Ensemble des techniques faisant appel aux cellules vivantes dans le but de rendre possible ou de faciliter la synthèse ou la transformation d'un produit.



le génie génétique :

Ensemble des techniques tirant profit de l'universalité du code génétique et permettant de commander à un organisme vivant d'exécuter un programme génétique provenant d'un autre organisme.



**Consigne :**

1. Définir biotechnologies.
2. Citer quelques disciplines impliquées dans les biotechnologies.
3. Quel est l'importance des biotechnologies ?
4. Quelle différence fais-tu entre génie génétique et biotechnologie ?

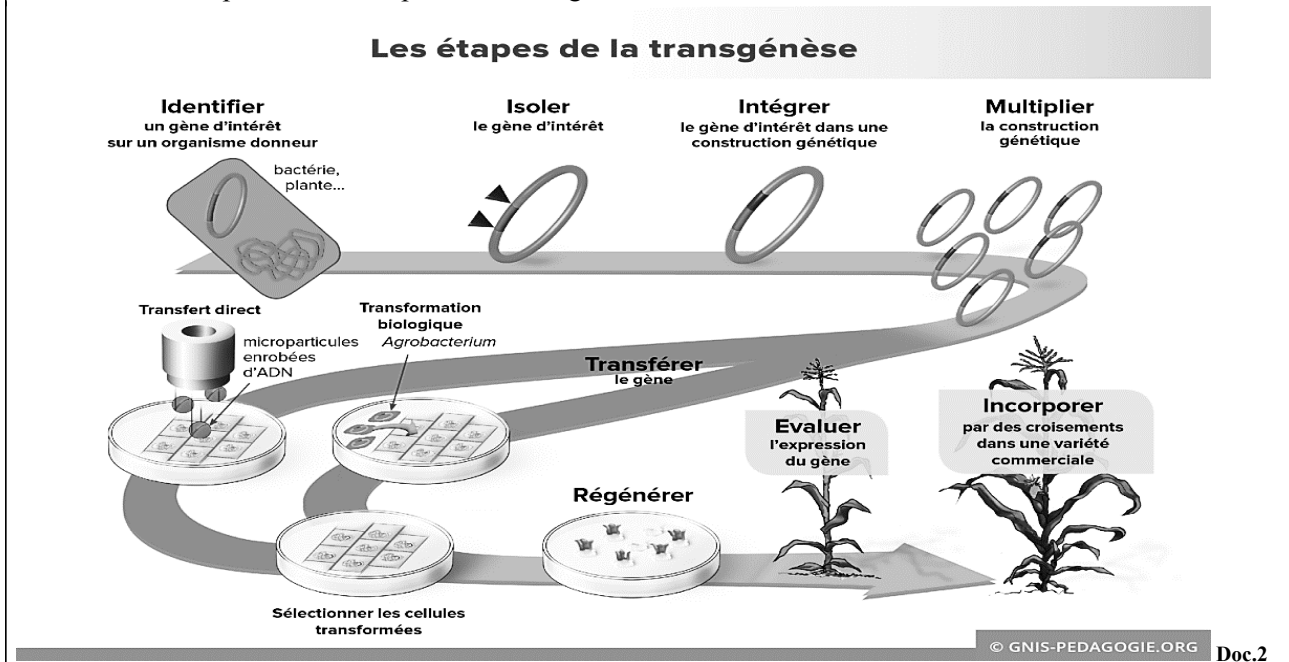
doc.1

## Activité 2 : Le transfert d'un gène (la transgénèse).

Un gène d'intérêt (transgène) prélevé dans une cellule peut être transféré dans une cellule d'un autre organisme. Le transgène peut, dans la cellule hôte, se dupliquer à chaque division cellulaire et s'exprimer, tout comme les autres gènes. Cette technique permet l'apparition d'une nouvelle caractéristique chez le receveur, mise en place par le gène en question. On parle ainsi d'organismes génétiquement modifiés (OGM).

Ces transformations génétiques visent plusieurs objectifs : Rendre certaines variétés végétales tolérantes aux herbicides ; rendre certaines variétés végétales résistantes aux insectes et aux maladies ; améliorer la croissance et le développement chez certains animaux et végétaux ; procurer une résistance aux conditions environnementales extrêmes ; améliorer la santé animale ; améliorer la qualité des aliments.

Le document 2 représente les étapes de la transgénèse.



**Consigne :** A partir du texte et du document 2 :

1. Définir la transgénèse et donner son importance.
2. Déterminer les matériels utilisés dans la transgénèse.
3. Expliquer la réalisation d'organisme génétiquement modifié.

### B. Les applications de la biotechnologie.

Les biotechnologies, par elles-mêmes, se retrouvent intégrées, généralement à des stades de recherche et développement (R&D), dans des secteurs industriels bien définis comme la pharmacie, les industries agro-alimentaires, l'environnement, le développement durable etc. Devant cette diversité, la Communauté Européenne a élaboré une classification très « colorée » des biotechnologies :

**Les biotechnologies jaunes** se rapportent à toutes les applications liées à la protection de l'environnement et au traitement ou à l'élimination de pollution.

Les biotechnologies vertes regroupent les technologies utilisant des plantes et leurs cellules pour produire et transformer des produits alimentaires, des biomatériaux et de l'énergie.

Les biotechnologies bleues développent des produits en liaison avec la biodiversité marine : santé, cosmétique, aquaculture, agro-alimentaire.

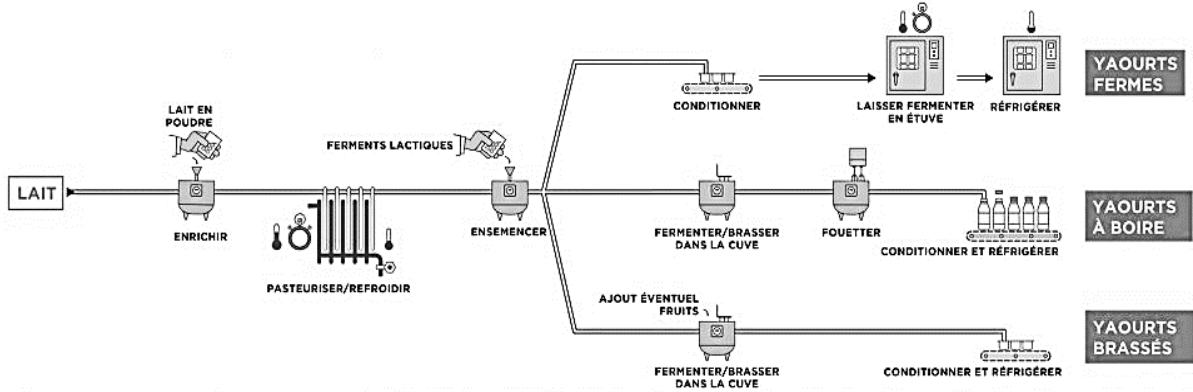
Les biotechnologies blanches regroupent les applications industrielles, par l'emploi de systèmes biologiques comme alternative aux procédés chimiques classiques.

Les biotechnologies rouges touchent le domaine de la santé, en particulier l'industrie pharmaceutique dont une grande partie de la recherche actuelle repose sur les biotechnologies.

### Activité 3 : Les applications dans le domaine alimentaire.

#### i. La fabrication du yaourt.

Le yaourt est un produit laitier coagulé obtenu par fermentation du lait par des bactéries lactiques. Pour obtenir l'appellation yaourt, le produit doit être fermenté par deux souches de bactéries lactiques : Lactobacillus et Streptococcus.



Doc.3

#### ii. Fabrication du pain.

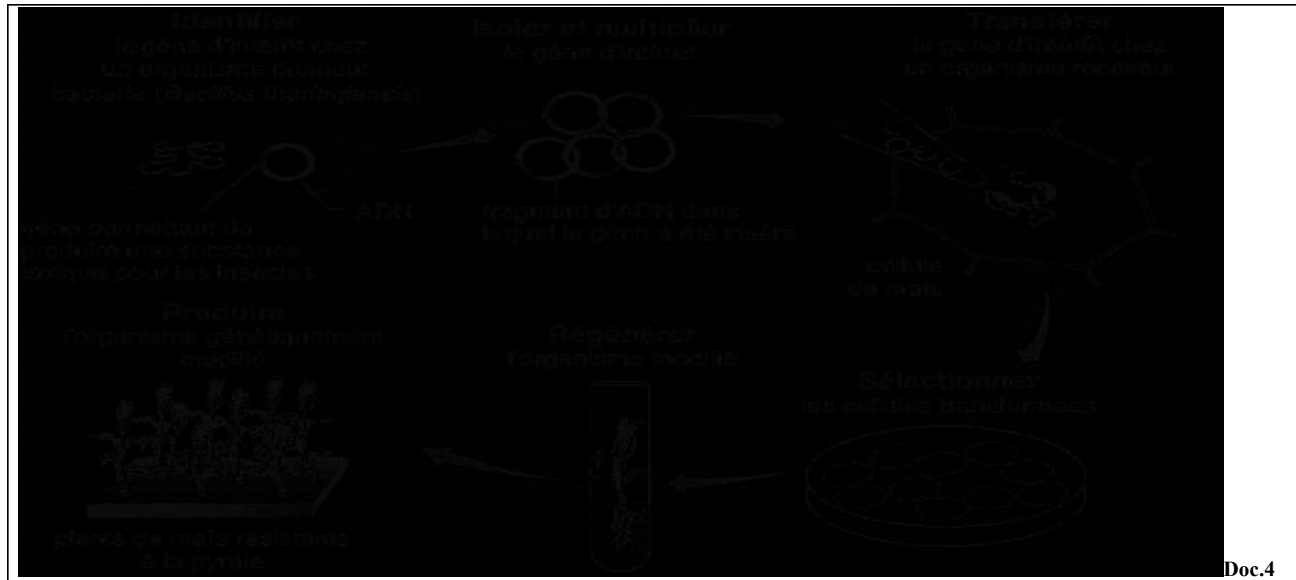
Dans un milieu anaérobie, les levures dégradent le glucose en éthanol et en gaz carbonique. C'est le processus de fermentation alcoolique. L'éthanol s'évapore mais le CO<sub>2</sub> reste. Ce dernier étant emprisonné dans la pâte du pain le fait gonfler.

#### Consigne :

1. Quels sont les agents impliqués dans la fabrication de ces aliments ?
2. Nommer le point commun aux deux techniques de fabrication.

### Activité 4 : Applications en agronomie

Selon les promoteurs des biotechnologies, ces dernières peuvent ou pourraient contribuer à diminuer les émissions de nombreux polluants ou gaz à effet de serre, mieux protéger les ressources en eau, cultiver sur des sols pollués ou irriguer avec de l'eau salée, diminuer l'usage d'engrais et pesticides en rendant des plantes capables de produire leur propre « bio pesticide » et capter dans l'air l'azote dont elles ont besoin. Le document 4 résume une technique de transfert de gène responsable de la synthèse d'un insecticide.



Doc.4

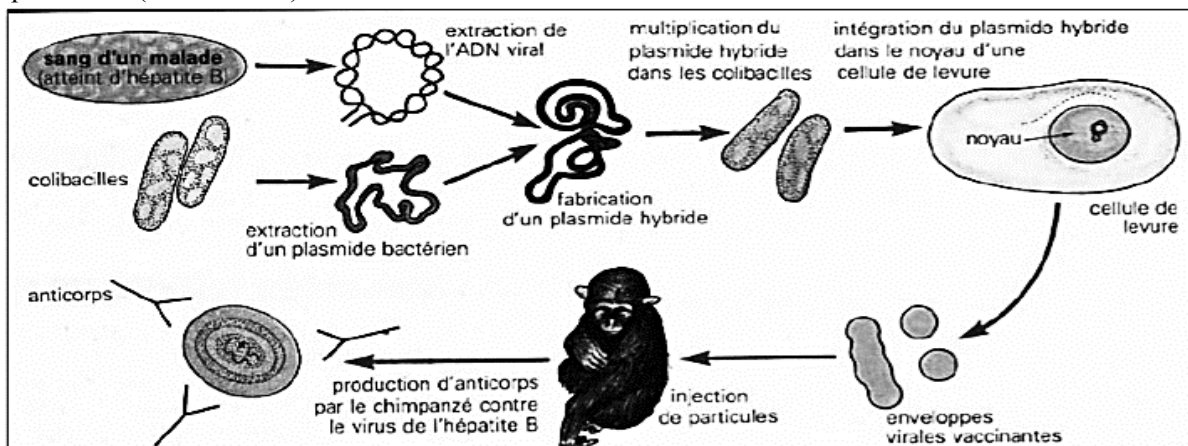
**Consigne : à partir du document 4 :**

1. Définir un insecticide.
2. Pourquoi désire-t-on que le pied de maïs transgénique produise un insecticide ?
3. Comment expliquer que le maïs transgénique produise un insecticide d'origine bactérienne ?
4. Quelle est la propriété du code génétique exploité dans cette technique ? Justifier.
5. Préciser : le gène transféré, l'origine du gène et l'organisme génétiquement modifié.

**Activité 5 : Application dans le domaine de la santé.**

**i. Fabrication du vaccin contre l'hépatite B.**

De nos jours, le vaccin contre l'hépatite B est fabriqué par génie génétique. Un bout d'ADN qui contient l'information nécessaire à l'élaboration d'une protéine du virus est retiré du génotype du virus de l'hépatite B. le fragment d'ADN est inséré dans un plasmide. Durant l'étape suivante, des cellules de levure vont prendre en charge la production de protéines virales. Celles-ci seront ensuite purifiées et appliquées en tant que vaccin (Document 5).

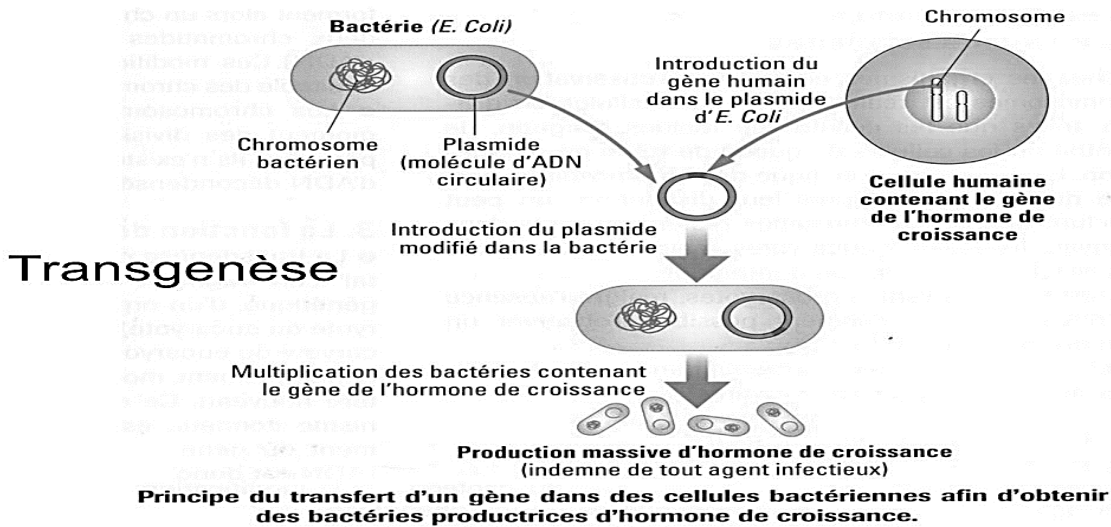


Doc.5

**ii. La fabrication d'hormone de croissance.**

Chez l'Homme, l'hormone de croissance est une protéine produite par l'hypophyse. Pour traiter le retard de croissance des enfants qui manquent de cette hormone, on ne peut qu'utiliser l'hormone de croissance

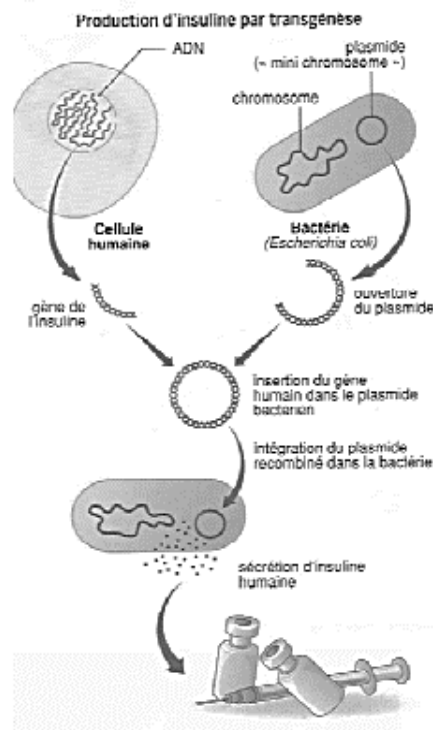
humaine (GH). Autrefois extraite d'hypophyse de cadavre, cette hormone n'a pu être obtenue en quantité suffisante qu'à partir du moment où on a su la produire par transgénèse (Document 6).



### iii. La fabrication d'insuline.

L'insuline est une hormone sécrétée par les îlots pancréatiques. C'est l'hormone hypoglycémisante. Lorsqu'elle est sécrétée en quantité insuffisante ou qu'elle est anormale, le sujet est atteint de diabète de type 1. Cette maladie ne peut être corrigée qu'en injectant de l'insuline normale. Le document 7 représente les étapes de fabrication de l'insuline.

**Document 1 production d'insuline par transgénèse**



Jusqu'en 1982, l'insuline utilisée par les diabétiques pour se soigner (injections quotidiennes) était extraite du pancréas d'animaux (insuline de porc ou de bœuf, proche de celle de l'homme et purifiée).

La plupart des diabétiques utilise maintenant de l'insuline humaine produite par transgénèse (première molécule produite par génie génétique). Des bactéries génétiquement modifiées productrices d'insuline humaine sont cultivées dans de grands bioréacteurs. Cultivées dans de bonnes conditions, les bactéries se reproduisent toutes les 40 minutes.

De grandes quantités d'insuline sont ainsi produites, ce qui représente un avantage économique.

SVT 2<sup>nd</sup>e Hatier 2010

**Document 7**

**Consigne :**

1. Comment obtient-on le gène à transférer dans chaque cas ?
2. Pour chaque cas, identifier : le greffon, le porte-greffon, la cellule hôte et l'intérêt de la technique.
3. On peut constater que les bactéries utilisent le gène humain. Préciser la propriété de l'ADN mise en évidence.

## **Synthèse générale.**

### **1. Définition :**

Il s'agit un domaine d'activités qui consiste à caractériser et utiliser dans des applications variées, des molécules ou organismes vivants montrant des propriétés particulières et étonnantes. Elles sont telles, qu'elles présentent un intérêt indéniable pour l'homme.

Le préfixe « BIO » implique l'étude du monde vivant aussi bien en amont, en parallèle et en aval d'un procédé industriel ou artisanal.

Le terme « TECHNOLOGIES » implique le développement, le perfectionnement et l'utilisation de méthodes et outils spécifiques d'un domaine.

Les biotechnologies font donc appel à des compétences (savoirs, savoir-faire et savoir-être) que l'on retrouve dans des domaines bien spécifiques de la biologie comme la microbiologie, la biochimie, la biologie moléculaire et cellulaire. Celles-ci sont complétées par des compétences technologiques et techniques constituant ainsi un domaine passionnant à l'interface des connaissances fondamentales et des sciences de l'ingénieur.

### **2. Principe :**

Les exemples sont nombreux, en voici quelques-uns parmi les plus significatifs :

Les enzymes sont de prodigieux accélérateurs et sont capables d'augmenter la vitesse d'une réaction de plusieurs millions de fois. Elles existent en nombre varié, agissant dans des conditions peu consommatrices d'énergie et de façon hautement spécifique. Elles sont tellement efficaces qu'elles sont qualifiées, avec sympathie, de « gloutonnes » !

La capacité de transformation de différents substrats par des micro-organismes est déjà très largement utilisée en agro-alimentaire mais celle-ci a des potentialités tellement vastes, variées et non polluantes que de plus en plus de procédés y ont recours dans un objectif de développement durable. Ainsi des bactéries sont utilisées pour éliminer les nitrites et nitrates dans l'eau, les fusariotoxines dans les silos d'ensilage ou pour rendre la production de papiers ou de fibres de chanvre moins polluante.

De même, l'accès à l'information génétique portée par l'Acide désoxyribonucléique (ADN), annonce des perspectives immenses dans le domaine de la santé avec, entre autres, la production de médicaments innovants ou de la police scientifique, comme certaines séries TV le reprennent.

### **3. Des applications anciennes et modernes**

Il existe donc une biotechnologie « historique », utilisée, sans être connue, depuis l'antiquité, caractérisée depuis et intégrée à des domaines d'activité (agro-alimentaire, environnement, etc.) Bien définis actuellement (production de fromages, vinification, de compost, etc.).

Celle-ci est complétée par une biotechnologie « moderne » qui s'appuie sur les avancées scientifiques de ces dernières décennies comme la biologie moléculaire qui commence à donner des applications technologiques dans des domaines très variés (thérapie génique et lutte contre les maladies génétiques).

Les fermentations alcooliques, lactiques... retrouvées dans la production de produits agro-alimentaires comme le vin, le pain, les fromages ou autres comme la bio-fertilisation des sols, la méthanisation ou la production de biocarburants de troisième génération (algocarburant très énergétique).

Les enzymes (protéases, lipases ...) Utilisées dans les lessives (regardez la composition sur le paquet !), les détergents ou pour produire spécifiquement des médicaments.

Les empreintes génétiques utilisées en police scientifique ou la thérapie génique qui commencent à permettre des perspectives de guérison de certaines maladies génétiques (mucoviscidose, syndrome d'immunodéficience sévère chronique ...).

Les biotechnologies, par elles-mêmes, se retrouvent intégrées, généralement à des stades de recherche et développement (R&D), dans des secteurs industriels bien définis comme la pharmacie, les industries agroalimentaires, l'environnement, le développement durable etc. Devant cette diversité, la Communauté Européenne a élaboré une classification très « colorée » des biotechnologies :

Les **biotechnologies jaunes** : se rapportent à toutes les applications liées à la protection de l'environnement et au traitement ou à l'élimination de pollution.

Les **biotechnologies vertes** : regroupent les technologies utilisant des plantes et leurs cellules pour produire et transformer des produits alimentaires, des biomatériaux et de l'énergie.

Les **biotechnologies bleues** : développent des produits en liaison avec la biodiversité marine : santé, cosmétique, aquaculture, agro-alimentaire.

Les **biotechnologies blanches** : regroupent les applications industrielles, par l'emploi de systèmes biologiques comme alternative aux procédés chimiques classiques. Les premières utilisations sont dans les secteurs des polymères, des carburants, des dissolvants, de la construction, du textile, et de tous les produits à dominante chimique.

Les **biotechnologies rouges** : touchent le domaine de la santé, en particulier l'industrie pharmaceutique dont une grande partie de la recherche actuelle repose sur les biotechnologies.

#### **4. Construction d'une culture scientifique alternative :**

La nouvelle série STL Sciences physiques et chimiques en laboratoires (SPC) et biotechnologies se caractérise aussi par un enseignement intégré de Chimie, Biochimie et Sciences du vivant (CBSV) qui permet d'installer une culture fondée sur une approche concrète et transdisciplinaire, concernant les systèmes vivants aux différentes échelles. Il s'agit ainsi par cet enseignement innovant de faire ressortir les connexions entre trois champs disciplinaires, supports des biotechnologies et d'une physique-chimie appliquée.

La spécialité Sciences et Technologies de Laboratoire (STL) Biotechnologies privilégie l'acquisition de connaissances du vivant et l'acquisition de compétences biotechnologiques permettant à l'élève de se construire une culture scientifique particulière axée sur la maîtrise conjointe de compétences fondamentales et technologiques. Elle présente un enseignement spécifique de biotechnologies. Celui-ci prend appui sur les disciplines fondamentales qui alimentent le champ des biotechnologies modernes ainsi que sur un équipement destiné à acquérir les références méthodologiques majeures et les savoir-faire de base pour privilégier le développement critique et la réflexion logique. Cet enseignement repose principalement sur des activités technologiques structurantes.

## Sous- concept 2 : L'amélioration des espèces.

### Pré-évaluation :

Qu'est-ce qu'un caractère intéressant ?

Que veut dire « améliorer une espèce » ?

### Situation problème.

Dès la domestication des plantes et l'émergence de l'agriculture au Néolithique, les méthodes employées par l'Homme pour améliorer les espèces végétales ont connu une évolution permanente conjointement aux techniques agricoles. L'agriculture et l'élevage ont recours à un ensemble de pratiques visant à améliorer quantitativement et qualitativement les productions.

Comment sélectionner les espèces performantes ?

Comment améliorer les espèces par l'apport des biotechnologies ?

### Activité 1 : les caractères qualitatifs et quantitatifs des espèces.

Une espèce est un groupe d'individus ayant des caractères morphologiques, physiologiques et chromosomiques semblables, pouvant se reproduire entre eux et dont les descendants sont fertiles.

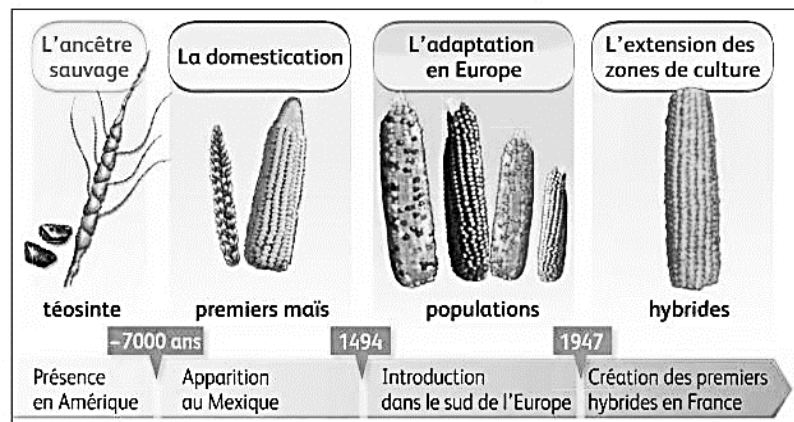
En agriculture, l'amélioration génétique des races animales et des variétés végétales a pour but de rendre les organismes plus intéressants en permettant d'augmenter la productivité, leur résistance aux maladies et aux ravageurs, leur capacité de reproduction et d'adaptation, et d'améliorer leur goût et leurs qualités nutritionnelles. L'évolution des techniques et des connaissances actuelles ont permis aux sélectionneurs d'accroître leur efficacité, de gagner du temps, sur les cycles végétatifs et de disposer d'outils de mesure et d'analyse au champ et au laboratoire pour confirmer leurs choix. Le document 1 représente le cas du maïs.

#### Doc. 1 Du téosinte aux variétés hybrides de maïs

► Le maïs actuellement cultivé dans le monde entier provient d'une **plante ancestrale** : le **téosinte**, originaire du continent américain.

► Durant des centaines d'années, les hommes ont joué le

rôle de la sélection naturelle : ils conservaient les individus les plus gros, ce qui a permis une **évolution agronome** de l'espèce de manière empirique. Après la découverte de la génétique, des croisements ont été réalisés.



|                                | Téosinte | Maïs cultivé |
|--------------------------------|----------|--------------|
| Longueur de l'épi              | 5 cm     | 30 cm        |
| Masse moyenne d'un grain       | 2,5 g    | 0,3 g        |
| Nombre moyen de grains par épi | 40       | 500          |

► Caractères des épis de téosinte et de maïs.

**1. Observer.** Caractériser l'évolution du téosinte au maïs cultivé jusqu'en 1947.

► Les différents épis des variétés apparentées au maïs actuel.

### Consigne :

1. Comparer le téosinte et le maïs cultivé.
2. Quelle technique a permis l'obtention du maïs à partir de la variété sauvage (téosinte) ?
3. Dans quel intérêt on améliore les races animales et les variétés végétales ?

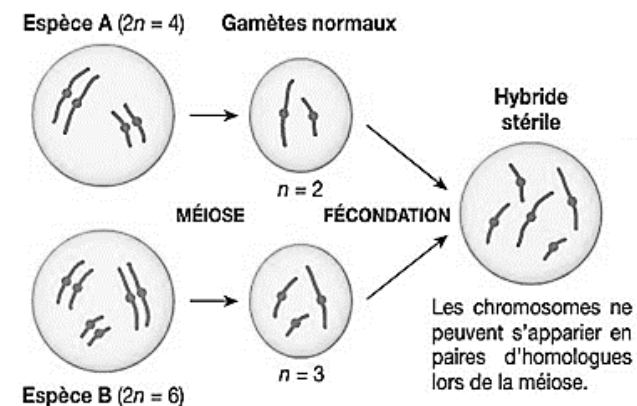
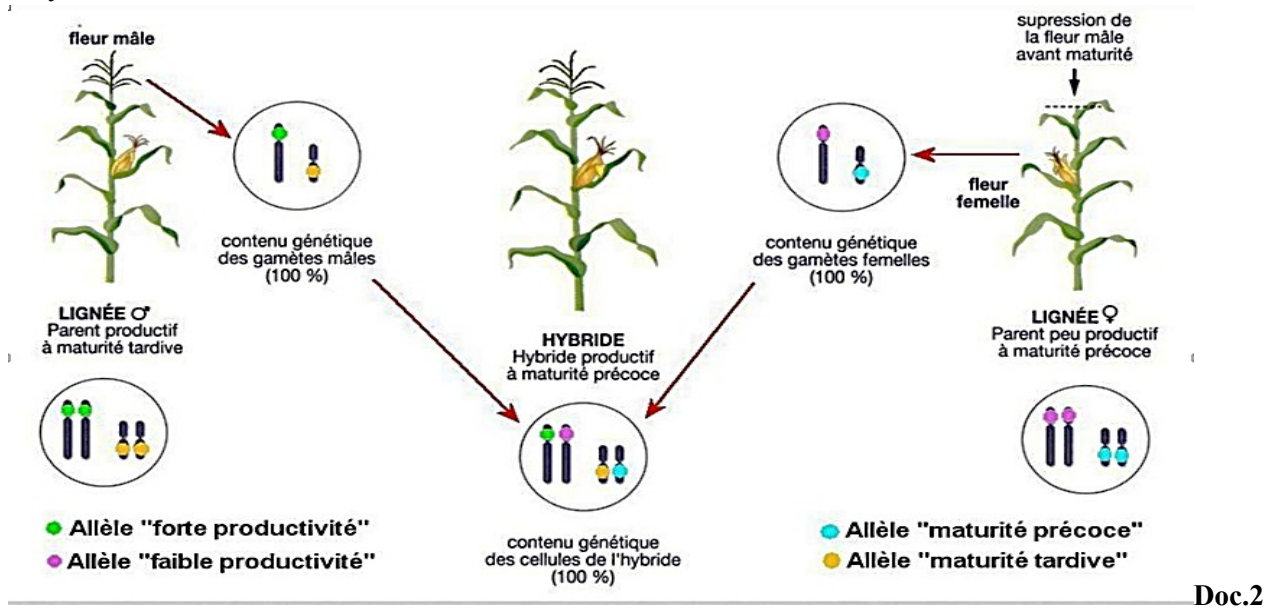
## Activité 2 : Les techniques d'amélioration des espèces.

Afin d'ajuster les caractéristiques des animaux et des végétaux cultivés à ses besoins, l'Homme pratique quelques techniques qui sont entre autres : des sélections, des hybridations de plantes qu'ils jugent les meilleurs.

### A) L'hybridation.

Il est possible de croiser deux races pures ou variétés pures différentes dans le but d'obtenir des hybrides dont les caractéristiques seront supérieures à celles des parents : c'est l'effet d'hétérosis appelé également « vigueur hybride », d'autant plus important que les parents soient génétiquement éloignés.

Chez les animaux, le croisement s'effectue par insémination artificielle ou par transfert d'embryons, et par hybridation chez les végétaux. Ce croisement est suivi d'une sélection et nécessite de disposer d'un grand nombre d'espèce animale ou de variété végétale différentes à croiser. Le document 2 représente un exemple d'hybridation chez le maïs



### Consigne :

1. Définir hybridation
2. Expliquer la technique d'hybridation chez le maïs.
3. Expliquer pourquoi certains hybrides sont stériles.
4. Quel est l'intérêt de l'hybridation ?

## B) La sélection

La sélection est utilisée dans l'amélioration génétique des plantes et des animaux. Dans la population, on sélectionne certains individus en fonction des caractères intéressants qu'ils présentent et on les fait se reproduire pour former la génération suivante. Ceci permet d'augmenter le nombre de descendants porteurs des caractères intéressants, à condition que ceux-ci possèdent une forte héritabilité.

Il existe différents types de sélection :

**La sélection massale** : on choisit les plantes qui semblent plus intéressantes dans une population puis on utilise leurs graines comme semence pour la culture suivante.

**La sélection récurrente** : les plantes de la génération de départ sont sélectionnées sur leur valeur propre puis multipliées par autofécondation.

**La sélection généalogique** : les plantes issues du croisement de deux plantes présentent une forte variabilité de phénotype. Elles sont autofécondées afin de produire des plantes au sein desquelles le sélectionneur choisit les meilleurs individus.

### L'exemple du maïs :

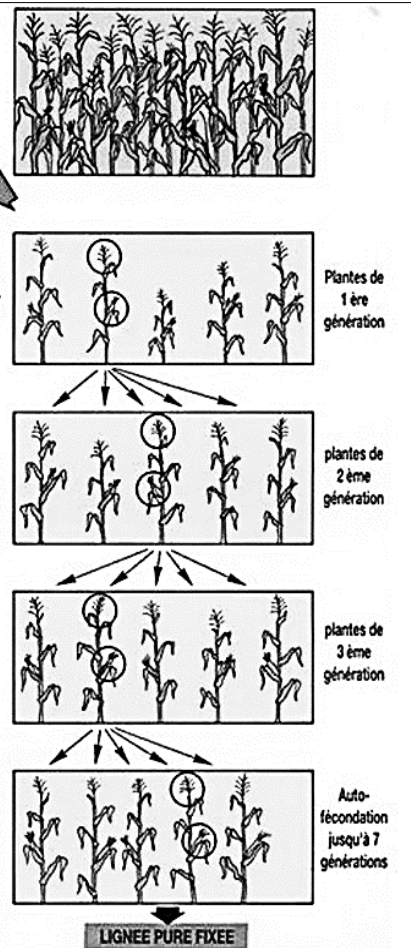
L'obtention d'une lignée pure  
à utiliser pour la production  
de d'une variété d'hybride.

① SÉLECTION DE DÉPART DANS :  
- du matériel F<sub>2</sub> suite à  
un croisement de départ  
- une population

② FABRICATION  
des lignées  
par  
autofécondation

TESTS D'APTITUDE  
À LA  
COMBINAISON

Source : GNIS



Doc.4

**Consigne : à partir du texte et du document 4 ;**

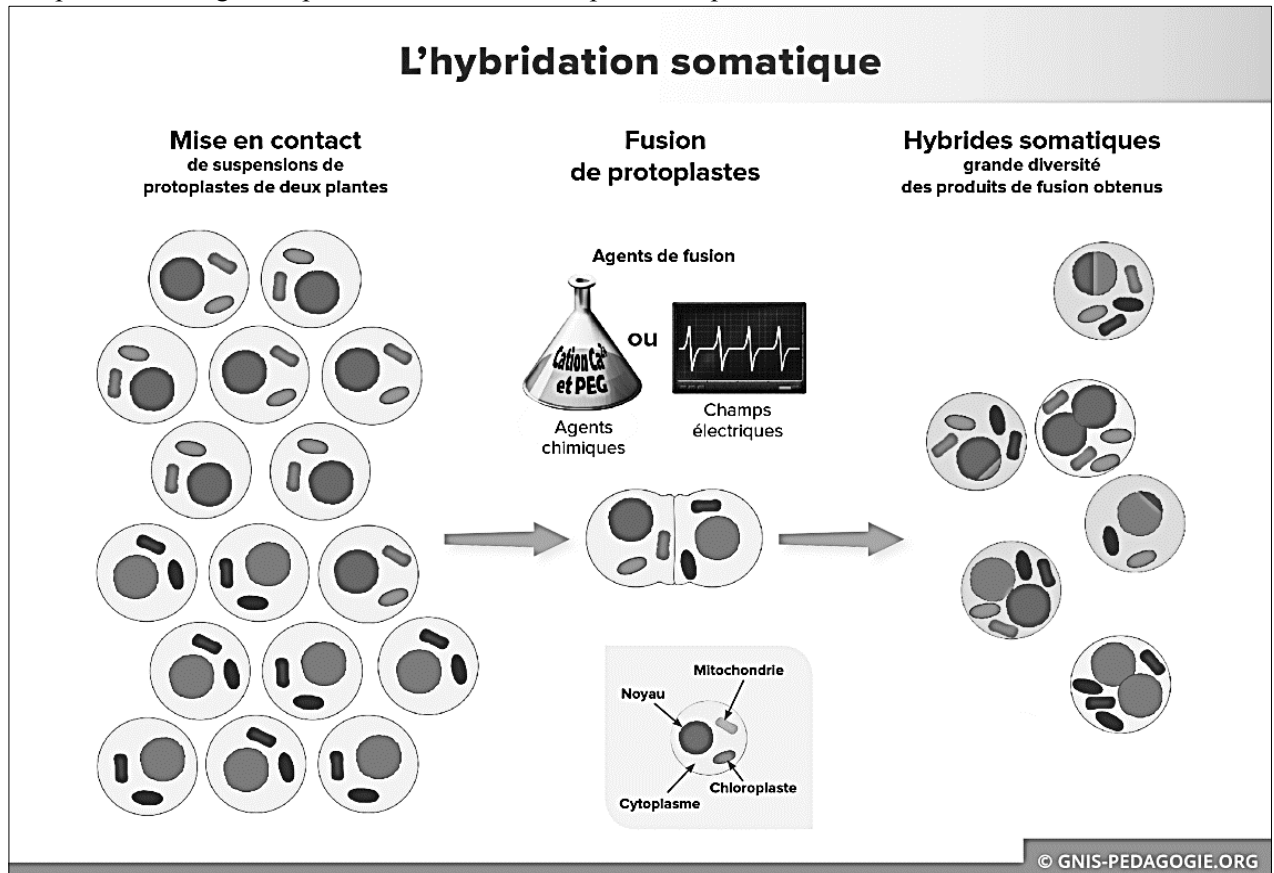
1. Citer les différents types de sélection.
2. Comparer la sélection massale et la sélection généalogique.
3. Laquelle des techniques de sélection est plus performante pour l'amélioration des espèces ? Justifier.
4. Quelles sont les conséquences de la sélection sur le plan écologique ? Expliquer.

### Activité 3 : L'apport des biotechnologies

#### A) La fusion de protoplastes.

Le terme protoplaste désigne une cellule végétale débarrassée de sa membrane cellulosique, elle apparaît sous forme d'une cellule sphérique, limitée par sa membrane plasmique. C'est une forme de modification génétique qui permet, chez les végétaux de fusionner deux espèces différentes pour former un nouvel hybride ou hybride somatique, héritant des propriétés génétiques des deux espèces d'origine. (Document 5).

La propriété la plus importante des protoplastes est leur capacité à fusionner entre eux lorsqu'ils sont placés dans un milieu approprié. Cette technique permet de surmonter les barrières liées à la reproduction sexuée et de créer de nouvelles combinaisons entre noyau et cytoplasme. Le but de telles expériences est de créer des plantes à très grande productivité, combinant plusieurs qualités.



Doc.5

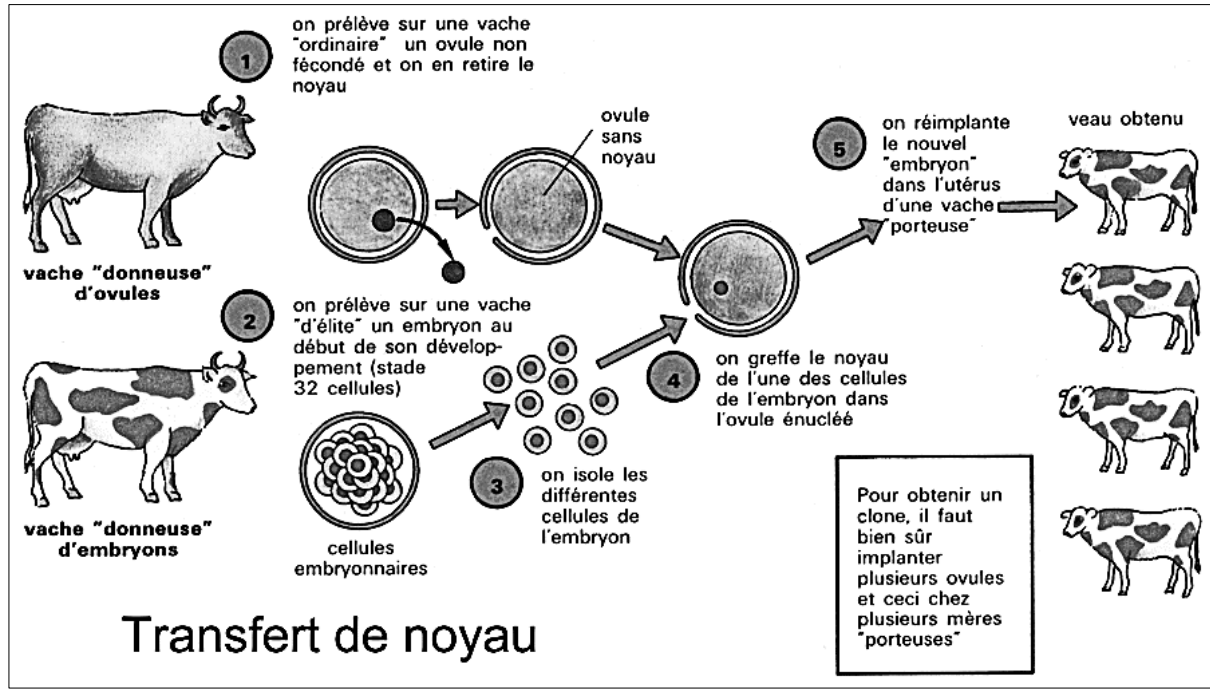
**Consigne : à partir du texte et du document 4 :**

1. Définir un protoplaste et préciser sa propriété importante.
2. Expliquer la technique de la fusion somatique.
3. Déterminer l'avantage génétique et économique de la fusion somatique.

## B) Le clonage.

Le clonage consiste à reproduire à l'identique des organismes vivants afin d'obtenir des individus génétiquement identiques. Il peut se faire à partir d'une seule cellule ou à partir d'un fragment de tissu ou d'organe (le cas du bouturage chez les végétaux).

Il permet la production, à faible coût, de grande quantité d'individus présentant des caractéristiques intéressantes, avec un gain de temps, car la reproduction sexuée classique peut être longue pour certains organismes. Le document 5 représente un exemple de clonage chez les vaches.



**Consigne : à partir du texte et du document 5 :**

1. Définir le clonage.
2. Explique les étapes du clonage chez les vaches.
3. Quel est l'intérêt de cette technique ?
4. Quel est son impact sur la biodiversité ?
5. Quel est l'impact des biotechnologies sur l'amélioration des espèces ?

### Synthèse générale :

#### 1. Définition :

L'expression 'Amélioration des plantes' doit se comprendre comme la science et l'art de la création de nouvelles populations, appelées variétés, répondant de mieux en mieux aux besoins de l'homme. Cette science accroît les connaissances en génétique des plantes et impulse du progrès génétique pour améliorer les principaux caractères des espèces d'intérêt agronomique dans des conditions de culture données, les caractères étant évalués dans des dispositifs d'expérimentation multi-sites. Les principales espèces illustrant le propos de l'auteur sont blé, maïs et plantes fourragères, espèces dont l'auteur est un éminent spécialiste ; d'autres espèces sont aussi citées en exemple lorsque le thème abordé s'y prête.

L'amélioration des espèces et les connaissances biologiques ont évolué parallèlement, de façon synergique. L'amélioration des semences a constitué une inspiration et un stimulus pour la découverte des mécanismes de l'hérédité (Mendel,) et de l'évolution (Darwin).

Les progrès conceptuels (cf. lois de ségrégation des caractères) et techniques (mutagenèse, colchicine, ADN recombinant) ont été progressivement incorporés dans les méthodes de sélection.

Les problèmes posés par la sélection de caractères quantitatifs ont stimulé le développement de nouveaux outils statistiques (Fischer, Snedecor).

Ces progrès techniques ont permis un accroissement sensible du rendement des plantes cultivées dans les pays riches. Cette augmentation de rendement est cependant liée à un modèle d'organisation sociale et à des systèmes agraires particuliers, et leur transposition telle quelle à d'autres sociétés présente des inconvénients et des risques identifiables.

## **2. La sélection :**

La sélection est utilisée dans l'amélioration génétique des plantes et des animaux. Dans la population, on sélectionne certains individus en fonction des caractères intéressants qu'ils présentent et on les fait se reproduire pour former la génération suivante. Ceci permet d'augmenter le nombre de descendants porteurs des caractères intéressants, à condition que ceux-ci possèdent une forte héritabilité.

Il existe différents types de sélection :

**La sélection massale :** on choisit les plantes qui semblent plus intéressantes dans une population puis on utilise leurs graines comme semence pour la culture suivante.

**La sélection récurrente :** les plantes de la génération de départ sont sélectionnées sur leur valeur propre puis multipliées par autofécondation.

**La sélection généalogique :** les plantes issues du croisement de deux plantes présentent une forte variabilité de phénotype. Elles sont autofécondées afin de produire des plantes au sein desquelles le sélectionneur choisit les meilleurs individus.

## **3. La fusion de protoplastes :**

Le terme protoplaste désigne une cellule végétale débarrassée de sa membrane cellulosique, elle apparaît sous forme d'une cellule sphérique, limitée par sa membrane plasmique. C'est une forme de modification génétique qui permet, chez les végétaux de fusionner deux espèces différentes pour former un nouvel hybride ou hybride somatique, héritant des propriétés génétiques des deux espèces d'origine.

La propriété la plus importante des protoplastes est leur capacité à fusionner entre eux lorsqu'ils sont placés dans un milieu approprié. Cette technique permet de surmonter les barrières liées à la reproduction sexuée et de créer de nouvelles combinaisons entre noyau et cytoplasme. Le but de telles expériences est de créer des plantes à très grande productivité, combinant plusieurs qualités.

# Géologie

## **Concept général 1 : L'évolution de la Terre et du monde vivant**

### **Sous-concept 1 : L'histoire de la Terre et des êtres vivants.**

#### **Pré-évaluation :**

Comment s'est formée la Terre ?

Quels sont les premiers êtres vivants apparus sur Terre ?

#### **Situation Problème :**

La Terre est la seule planète du système solaire à posséder de l'eau liquide en abondance, ainsi qu'une atmosphère riche en dioxygène. Ces propriétés de la Terre (présence d'eau et d'oxygène, température moyenne de 15°C) font de la Terre la seule planète du système solaire à abriter la vie. Il existe sur Terre plusieurs formes vivantes (animaux, végétaux, procaryote...) ce qu'on appelle la biodiversité.

Quelle est l'origine et l'histoire de la Terre ?

Quelle est l'origine de la vie et de la biodiversité ?

#### **Activité 1 : Origine de la Terre**

Selon la théorie du Big-Bang, l'univers est né à partir d'une énorme explosion il y a 15 Ga. Au moment de l'explosion, l'univers était infiniment petit, chaud et dense. Une fois l'explosion produite, l'univers s'étend rapidement et devient petit à petit moins chaud et moins dense. Dans la lutte acharnée, les particules de matière vont donner naissance aux galaxies, aux planètes et aux êtres vivants. Il existe ainsi plusieurs milliards de galaxies qui tournent sur elles-mêmes. Notre galaxie (la Voie Lactée) regroupe le soleil et toutes les étoiles visibles à l'œil nu depuis la Terre.

Le système solaire est composé du Soleil autour duquel gravitent 8 planètes, dont la Terre. En plus du Soleil (situé au centre), il est composé de quatre planètes rocheuses, dites telluriques (Mercure, Vénus, Terre et Mars) et de quatre planètes gazeuses géantes (Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune). (Figure 1)

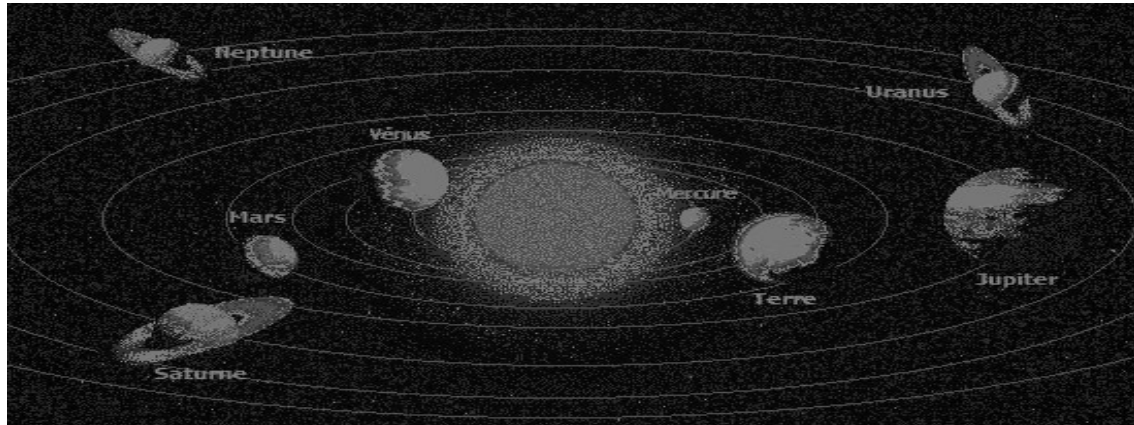


**Figure 1 : le système solaire**  
Il y a 5 milliards d'années, le système solaire

n'existait pas. A la périphérie de notre galaxie, la voie lactée, il n'y avait qu'un vaste nuage de gaz et de poussières. A l'origine de ce nuage : l'explosion d'une supernova.

Ce nuage de poussière est appelé nuage moléculaire. Ce nuage est immense, plusieurs centaines d'années-lumière (quelques milliards de km de diamètre). Il est formé de débris d'étoiles ayant appartenu à un univers primitif, étoiles qui auraient explosé après avoir consommé toute leur énergie. Lors de l'explosion, les particules (dont des éléments lourds : fer, nickel, aluminium, silicone...) qui constituaient ces étoiles ont été vaporisées à travers toute la galaxie. Puis, sous l'effet d'une force, la gravité, ces particules se sont rassemblées pour former des étoiles et des planètes. Sous l'effet des forces gravitationnelles, les particules du nuage moléculaire se sont agglomérées, puis, pendant une dizaine de millions d'années, le nuage s'est comprimé lentement sous l'effet de sa propre gravité, provoquant l'accroissement de sa vitesse de rotation.

La Terre, seule planète du système solaire possédant de l'eau dans les trois états de la matière : solide (glace), liquide (eau), gazeux (vapeur d'eau). Elle s'est formée il y a 4,6 Ga comme les autres planètes du système solaire par l'agglomération (accrétion) des restes de poussières et de gaz qui n'ont pas servi à la formation du soleil. La température de cette Terre primitive est d'environ 4700°C (chaleur due aux collisions). Cette Terre est donc formée de matière en fusion. Petit à petit, la Terre se refroidit, les éléments les plus légers remontant vers la surface et les plus lourds (fer) s'enfonçant pour former un noyau. La solidification du noyau interne de la Terre aurait commencé il y a 3,5 milliards d'années. (Figure 2)

Le matériau terrestre initial est constitué de fer à plus de 85% sous forme métallique réduite, et à moins de 15% sous forme métallique oxydée (ces proportions ont été obtenues à partir de l'analyse des chondrites).

### **A La formation des enveloppes terrestres.**

Comme les autres planètes du système solaire, la Terre s'est formée il y a 4,57 Ga (milliards d'années) par **accrétion**, c'est-à-dire par agglomération de gaz, poussières et objets de toutes tailles présents dans l'environnement du Soleil. La jeune Terre attirant tous les objets passant à proximité est alors soumise à un véritable bombardement. Ces collisions parfois gigantesques dégagent une chaleur telle que la planète est en fusion.

Progressivement, l'intensité du bombardement va diminuer tandis que la planète va subir une **différenciation**, c'est-à-dire une organisation en enveloppes liée à la migration des éléments suivant leur densité. Le noyau terrestre (contenant les éléments les plus denses) est surmonté par le manteau, les éléments les moins denses migrant vers sa périphérie. Parallèlement, la Terre se refroidit : une croûte solide s'installe, entourée d'une atmosphère.

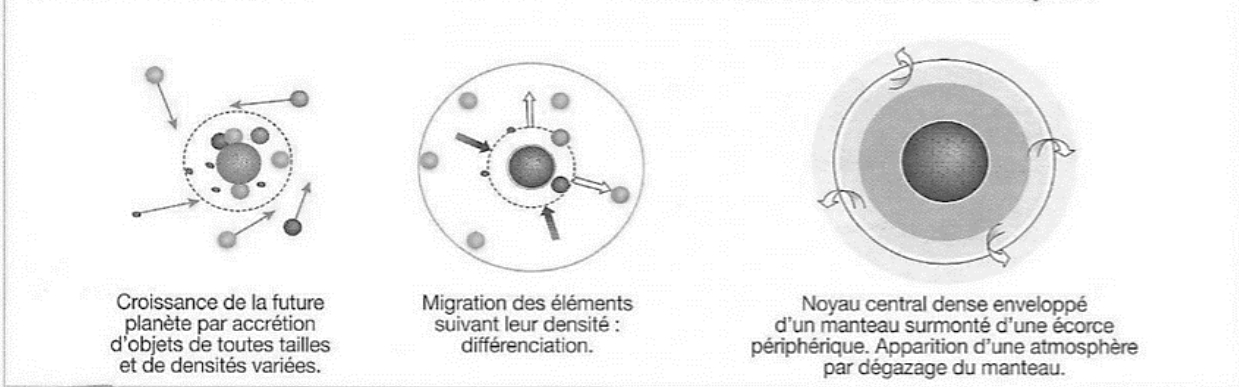


Figure 2

**Consigne : à partir du teste et des documents :**

1. Déterminer l'âge de l'univers et le phénomène à l'origine de sa formation.
2. Donner l'âge de la Terre et situer-la dans l'univers.
3. Citer les éléments intervenant dans la formation de la Terre.
4. Décrire les étapes de la formation de la Terre.

### Activité 2 : Evolution de la Terre.

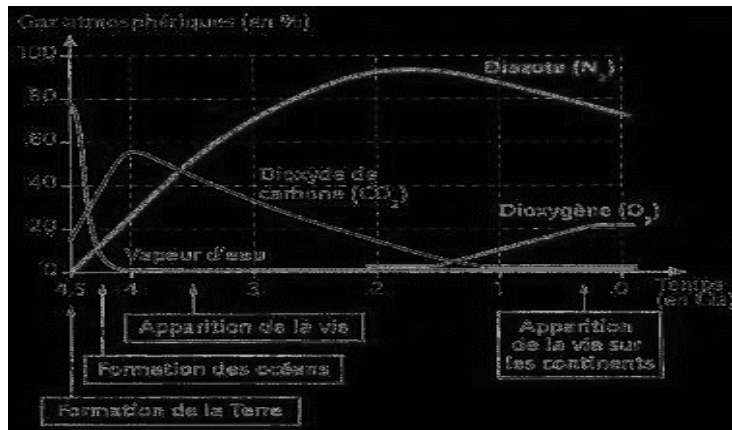


Figure 3

Au début, la Terre n'avait pas d'atmosphère. Celui-ci se forme pendant les 100 premiers millions d'années par dégazage du manteau. En ce moment, la Terre était recouverte de volcans qui ont commencé à expulser des gaz de l'intérieur de la Terre, et surtout de la vapeur d'eau. La composition de cette atmosphère primitive est très différente de celle de l'atmosphère actuelle : c'est celle des gaz rejetés par les volcans actuels. (Figure 3).

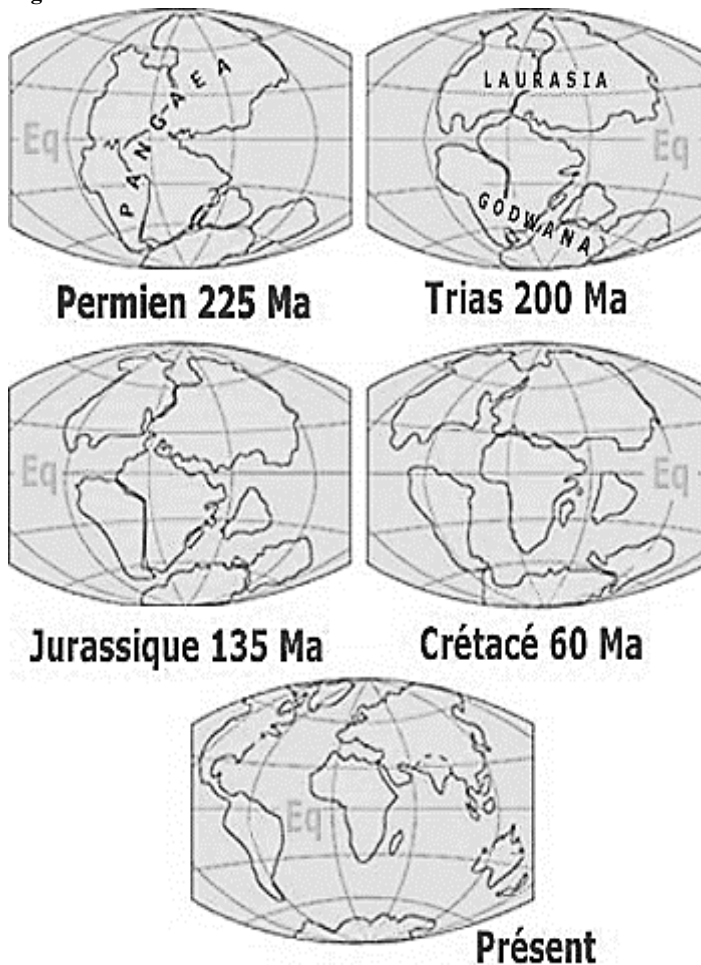


Figure 4

A la suite de cet important dégazage, la Terre se refroidi lentement, la vapeur d'eau de l'atmosphère primitive se condense ; des pluies diluviennes se sont abattues sur la Terre en formant l'océan primitif.

La production des continents résulte de l'activité magmatique intense, de l'érosion partielle et de l'accumulation des sédiments dans des bassins. Les noyaux continentaux ainsi formés à dépassent les 30% du volume actuel des masses continentales. Après les premiers noyaux continentaux à l'Archéen, le volume de la croûte continentale a augmenté progressivement tout au long du Protérozoïque qui a une durée de près de 2.000 Ma. À la fin du Protérozoïque, le volume des masses continentales avait atteint celui que nous connaissons aujourd'hui. Cette évolution résulte d'un ensemble de phénomènes géologiques durant trois grands cycles orogéniques. Depuis leurs apparitions, les continents ont subi des changements de positions. En plus de ces changements de positions, la tectonique de plaques a entraîné d'autres modifications (ouverture ou fermeture des océans, formations de chaînes de montagnes, etc.). (Figure 4)

### Consigne :

1. Comparer la composition de l'atmosphère primitive et celle de l'atmosphère actuelle.
2. Expliquer la formation de l'atmosphère primitive.
3. Comment se sont formés les océans primitifs ?
4. Quelle est l'origine des premiers continents ?
5. Décrire l'évolution morphologique des continents depuis le Permien.

### Activité 3 : Origine de la vie sur Terre.

Les océans occupent aujourd'hui 71% de la surface de la Terre, d'où son appellation « la planète bleue ». Vues les conditions sur Terre il y a 3,8 Ga (Température de l'eau : 80°C ; absence d'O<sub>2</sub> ; les rayonnements ultraviolets intenses interdisant la vie sur les continents et dans les eaux peu profondes) ; Les premiers êtres vivants comparables à des bactéries actuelles sont apparus dans les océans il y a environ 3,8 Ga. L'origine de la vie est encore un phénomène toujours mystérieux pour les scientifiques. L'atmosphère primitive était probablement riche en méthane, ammoniac, CO<sub>2</sub> et d'autres gaz encore abondants de nos jours sur d'autres planètes du système solaire. Des chimistes ont reconstitué expérimentalement ces conditions primordiales en laboratoire. Si ces gaz sont mélangés dans un flacon avec de l'eau et si on ajoute de l'énergie sous forme de décharges électriques, des substances organiques se forment spontanément y compris les acides aminés et des éléments entrants dans la composition des acides. Il est probable que quelque chose de similaire s'est produite sur la Terre primitive nucléiques (synthèses abiotiques). Les étendues d'eau à la surface de la Terre formaient une sorte de « soupe primitive » de composés organiques précurseurs de la vie à partir desquels sont formés les premiers êtres vivants. (Figure. 5)



Fig.5

Actuellement, dans les sources chaudes (geysers de Yellowstone aux USA par exemple) des bactéries vivent à une température de 90°C.

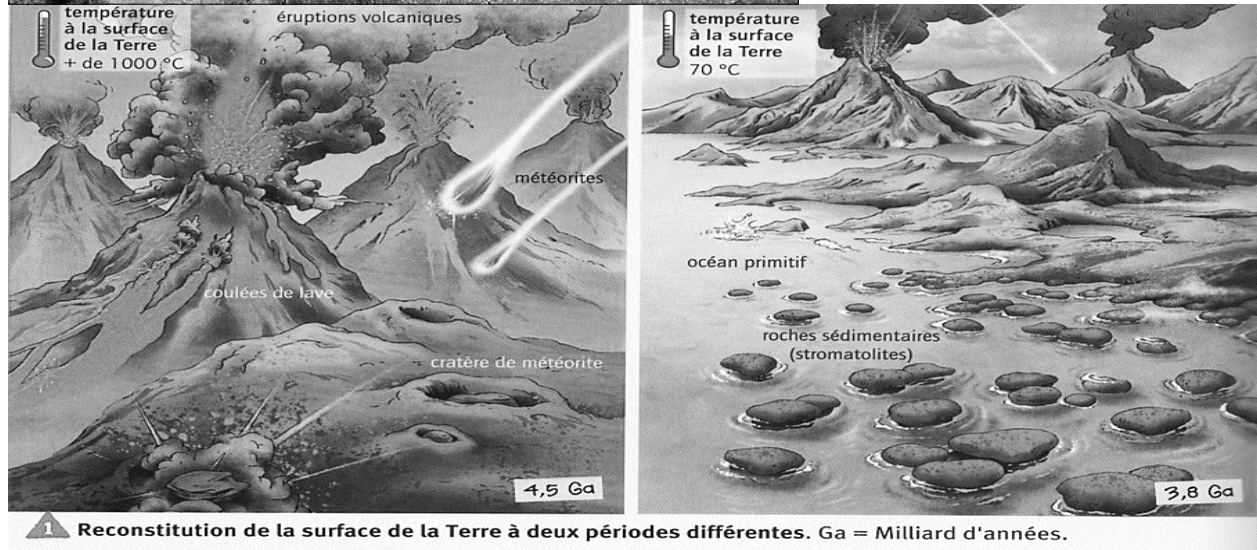


Fig.6

### Consigne :

1. Citer les conditions d'apparition de la vie sur Terre.
2. Quels sont les premiers êtres vivants apparus sur Terre et quand sont-ils apparus ?
3. Expliquer l'expression synthèse abiotique.
4. Où sont apparus les premiers êtres vivants ?

### Activité 4 : évolution de la vie sur Terre.

Les formations rocheuses de l'Archéen ont fourni la preuve directe sur les premières traces de vie il y a 3,5Ga. Elles contiennent des roches carbonatées formées de feuillets superposées et se développant en forme de dômes ou de chou-fleur appelés stromatolithes. Il s'agit de constructions fossiles qui résultent de l'activité biologique des algues bleues appelés cyanobactéries. L'apparition des cyanobactéries est une révolution biologique. Ces êtres vivants fabriquent leur matière organique en utilisant l'énergie solaire. Ce phénomène appelée photosynthèse s'accompagne d'une absorption de  $\text{CO}_2$  et un dégagement d' $\text{O}_2$ . Pendant très longtemps cet oxygène va rester piégé dans les océans. De l'oxygène libre dans l'atmosphère n'apparaît que vers -2Ga. Une nouvelle fonction la respiration devient possible. Par la suite, la couche d'ozone ( $\text{O}_3$ ) se forme dans la haute atmosphère à partir de l'oxygène ; elle protège des rayonnements ultra-violet nocifs et permet à la vie de s'installer sur les continents.

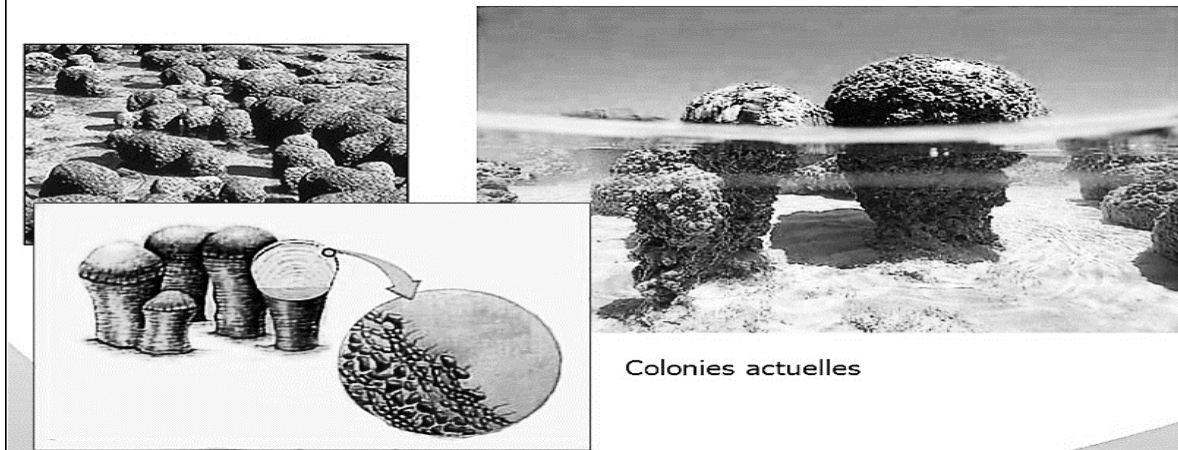


Fig.7

Il y a de très nombreux êtres vivants différents les uns des autres sur Terre, c'est ce que l'on appelle la Biodiversité. Les conditions de vie de ces êtres vivants sont intimement liées aux facteurs de leurs milieux de vie. Pourtant, on peut observer des points communs entre eux, comme la présence de cellules. La cellule est l'unité structurale et physiologique des êtres vivants à l'exception des virus.

Les événements géologiques ayant affecté la surface de la Terre (déplacement des continents, formation des chaînes de montagnes, fluctuations du climat, chute sur Terre de météorites géantes...) ont modifiés les milieux et les peuplements ont changé. Depuis son apparition, la vie n'a cessé d'évoluer ; de nouvelles formes apparaissent, d'autres disparaissent. Vers la fin du Précambrien, début des peuplements dans les océans, plusieurs groupes d'invertébrés évolués encore dépourvus de squelette ou de carapace tels que les annélides, les cnidaires et les arthropodes font leurs apparitions (c'est l'explosion du cambrien). La plupart des groupes actuels étaient présents à cette époque ; d'autres ont disparus depuis. Les algues et les lichens, à cette époque, bordaient les océans. La figure 8 représente l'histoire de la vie sur Terre.

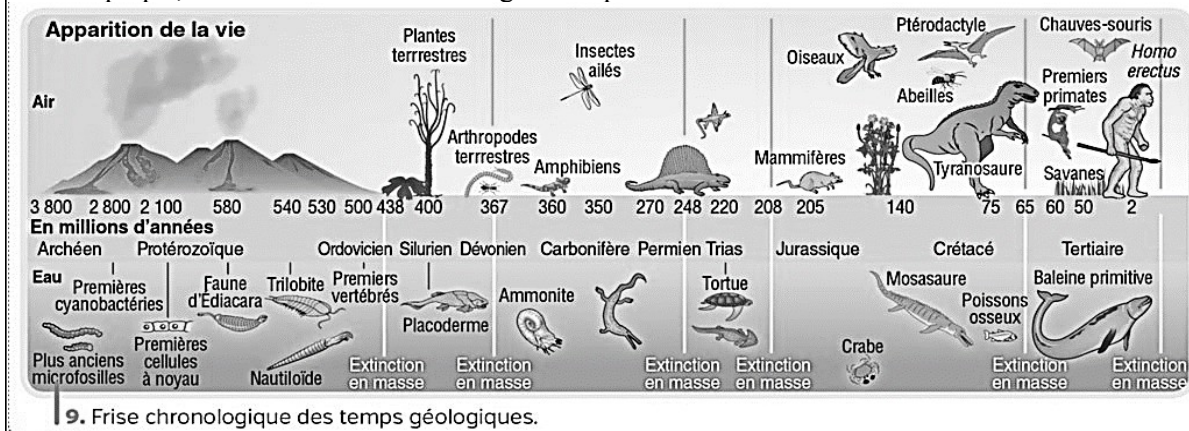


Fig.8

Consigne : à partir de l'analyse du texte et du document :

1. Préciser le rôle des cyanobactéries dans l'évolution de l'atmosphère.
2. Déterminer l'ordre d'apparition des vertébrés.
3. Quel est l'évènement ayant favorisé la colonisation des continents ?
4. Citer chez les animaux et les végétaux, deux caractères à développer pour coloniser les continents.

#### Activité 5 : Les crises biologiques.

Parfois les modifications de la faune et de la flore ont été définitives suite à des extinctions massives d'espèces et l'apparition de nouvelles espèces. Ces extinctions massives ainsi que les grands événements géologiques ont été utilisés pour subdiviser les temps géologiques en ères et en périodes plus courtes. On retrouve les traces géologiques et paléontologiques d'une soixantaine de crises d'extinction. Cinq crises ont joué un rôle déterminant dans l'histoire de la vie, de la biodiversité et sur les répartitions actuelles du vivant, avec certes des « perdants » mais aussi des « gagnants ».

Notre planète a donc eu de temps de vivre d'étonnants changements (5). Parmi ceux-ci, la suite des fossiles montre bien de rares et brutales disparitions d'un très grand nombre d'espèces différentes : il a donc existé des événements exceptionnels à l'origine de crises qui diminuent la diversité des espèces (la biodiversité).

Ces crises sont des extinctions en masse, et elles sont suivies de périodes de rapide formation, diversification et multiplication de nouvelles espèces (périodes de radiations). Les archives fossiles racontent donc un scénario invariable: progressivement, depuis plus de 3,5 milliards d'années, des espèces apparaissent, se développent puis disparaissent. De nombreuses hypothèses ont été avancées pour expliquer ces crises, mais les plus crédibles restent celle selon laquelle la Terre aurait connu des cataclysmes comme la chute de météorites géantes, les volcanismes intenses, les refroidissements climatiques (figure 9).

| Extinction                        | Espèces touchées                                                                                                                                               | Causes probables                                                                                                                       |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| - 445 MA<br>(fin de l'Ordovicien) | 1/3 des espèces d'animaux marins disparaissent, dont de nombreuses espèces de trilobites.                                                                      | Refroidissement important du climat (glaciation) ?                                                                                     |
| - 360 MA<br>(fin du Dévonien)     | Les espèces de poissons marins et les coraux sont très fortement réduites. Une seule famille de trilobites échappe à l'extinction.                             | Impact d'une météorite ?                                                                                                               |
| - 248 MA<br>(fin du Permien)      | La plus grande extinction que la Terre ait connue: 90% des espèces marines disparaissent ainsi que 75 % des espèces terrestres.                                | Volcanisme exceptionnel ?<br>Modification du climat causé par la réunion de toutes les masses continentales ?<br>Impact de météorite ? |
| - 206 MA<br>(fin du Trias)        | De nombreuses espèces marines disparaissent.                                                                                                                   | Impact d'une météorite ?                                                                                                               |
| - 65 MA<br>(fin du crétacé)       | Extinction célèbre: les dinosaures disparaissent, mais aussi le plancton marin, les ammonites et presque toutes les espèces qui vivaient sur les fonds marins. | Volcanisme exceptionnel et impact d'une météorite de 10 km de diamètre                                                                 |

Fig.9

#### Consigne :

1. Définir une crise biologique.
2. Quelles les causes probables des crises biologiques ?
3. Parmi les cinq grandes crises, laquelle a eu un grand impact sur la biodiversité.
4. Citer quelques espèces qui ont disparu pendant la crise du crétacé.

#### Activité 6 : Parenté entre les êtres vivants.

### A) Unité du monde vivant.

Les espèces vivantes possèdent une origine commune. Celle-ci se traduit par des ressemblances aux niveaux cellulaires, moléculaires et fonctionnel. La cellule constitue le point commun à tous les êtres vivants.

Parmi les points communs entre unicellulaires et bactéries, il en est un qui doit vous rappeler quelque chose: les gènes. Leur étude a permis de découvrir de nouveaux points communs à tous les êtres vivants. Ainsi, tous les animaux, tous les végétaux, toutes les bactéries et même d'autres groupes d'êtres vivants plus ou moins microscopiques aux noms imprononçables ont des gènes faits de la même molécule: l'ADN. Mais il y a plus extraordinaire encore. À partir des années 2000, de nouvelles techniques ont permis de "lire" les gènes sur l'ADN, et de les comparer entre espèces différentes. On a alors découvert que les êtres vivants possèdent en commun un très grand nombre de gènes, et que plus les êtres vivants se ressemblent plus leurs gènes sont voisins. L'ensemble des points communs (anatomie, fossiles, cellules, molécules, fonctionnement, ADN, gènes, développement....) indique donc clairement une origine commune pour l'ensemble des êtres vivants.

| Espèces                             | chimpanzé | souris | chien | poulet | mouche du vinaigre | vers de terre | Oursin |
|-------------------------------------|-----------|--------|-------|--------|--------------------|---------------|--------|
| % de gènes communs avec les humains | 99%       | 99%    | 75%   | 70%    | 66%                | 36%           | 28%    |

Non seulement de nombreux gènes sont identiques entre espèces différentes, mais l'organisation et le fonctionnement des gènes sont souvent identiques: les gènes qui contrôlent le développement des embryons de souris sont les mêmes, organisés de la même façon que ceux qui fonctionnent chez les humains. Plus étonnant, on retrouve ces gènes chez les mouches! De plus, l'étude des gènes a permis de découvrir les traces des histoires évolutives des espèces et de la façon dont se produit l'évolution.

#### Consigne :

1. Pourquoi dit-on que les êtres vivants ont une origine commune ?
2. Parmi les espèces citées dans le tableau, lequel est plus proche de l'Homme ? Justifier.

### B) Parenté au niveau d'un même groupe : les vertébrés

Les vertébrés actuels présentent des ressemblances moléculaires, anatomiques, et morphologiques chez l'adulte et à l'état embryonnaire. Ces ressemblances sont exploitées pour établir des relations de parenté qui existent entre eux.

L'étude de la formation et du développement des embryons de vertébrés montre que les premières étapes de ces processus sont très semblables chez les différentes espèces (Fi.10). Par exemple, tous les vertébrés ont des vaisseaux sanguins qui forment plusieurs arcs de part et d'autre de la tête. Ces arcs sont toujours présents chez les animaux à branchies adultes alors qu'ils sont ensuite profondément modifiés chez les autres vertébrés.

A l'état adulte, les vertébrés possèdent un plan d'organisation commun ; c'est-à-dire que l'on retrouve chez tous des axes de polarité (axe antéro-postérieur, axe dorso-ventral, axe droite-gauche). Le plan d'organisation se retrouve dans la disposition des organes par rapport aux différents axes : la colonne vertébrale et le système nerveux sont dorsaux, l'appareil digestif est ventral et tous les trois présentent une polarité antéro-postérieure. Les poumons, les reins les gonades sont pairs et présentent une disposition droite gauche. Les membres antérieurs des tétrapodes sont organisés en segments : avant-bras, bras, main. Ses structures sont homologues (Fig.11). Cela suggère qu'elles sont héritées d'un ancêtre commun. On parle d'analogie si les structures assurent les mêmes fonctions mais ne sont pas héritées d'un ancêtre commun.

L'amnios est une membrane qui entoure la cavité amniotique qui est remplie de liquide. Chez l'homme, la cavité amniotique est appelée poche des eaux. Si on s'intéresse à sa présence ou à son absence chez les vertébrés, on peut faire les observations suivantes :

Il est absent chez les poissons et les batraciens qui sont donc des anamniotes.

Il est présent chez les reptiles, les oiseaux et les mammifères qui sont donc des amniotes.

L'apparition de l'amnios est une modification capitale dans le processus de développement embryonnaire chez les vertébrés. En effet, chez les anamniotes, la reproduction doit se faire obligatoirement dans l'eau. En revanche, l'amniote permet à l'embryon de se développer en dehors du milieu aquatique. L'amnios étant une innovation génétique, les amniotes constituent un clade (ensemble d'êtres vivants apparentés possédant en commun une innovation génétique).

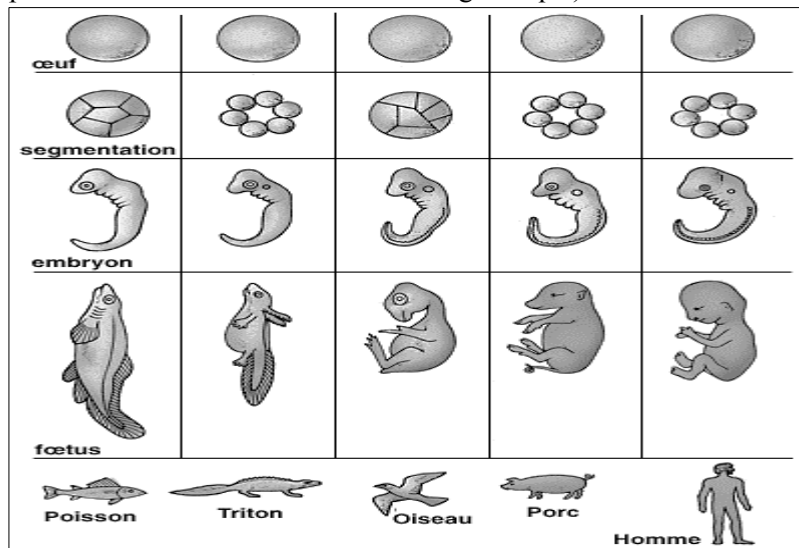


Fig.10

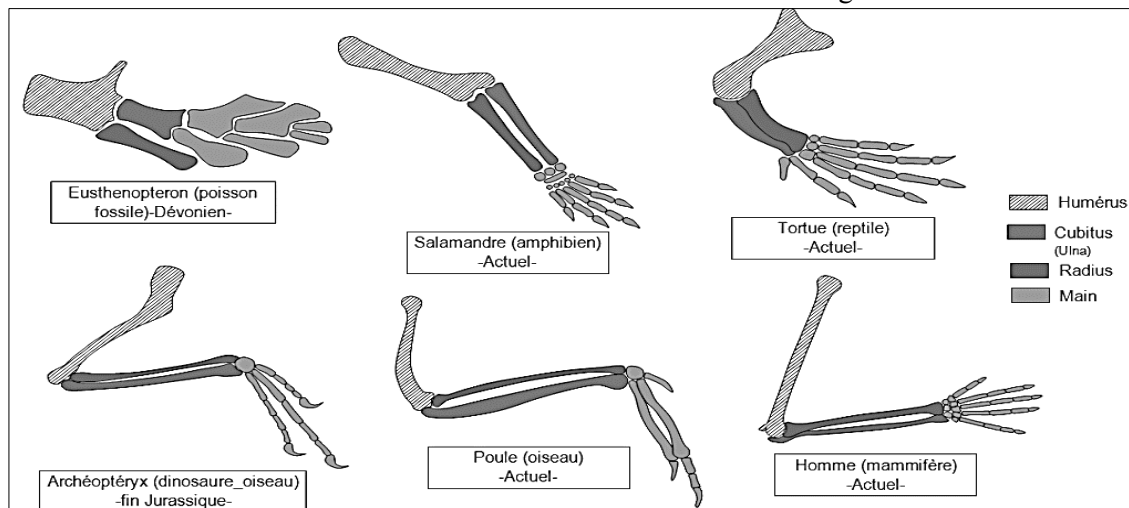


Fig.11

Consigne :

1. Quels sont les critères qui nous permettent d'établir des parentés entre les vertébrés ?
2. Définir : caractères homologues et caractères analogues.
3. Citer quelques caractères homologues chez les vertébrés.
4. Quelle est l'importance de l'amnios chez les vertébrés qui en possèdent ?
5. Tirer une conclusion générale de l'analyse du texte et des documents.

### Activité 7 : Arbre phylogénique.

L'étude des structures anatomiques des êtres vivants actuels et fossiles (ainsi que la détermination de l'âge des fossiles) ainsi que de leurs gènes a permis d'établir l'existence du processus d'évolution qui relie toutes les formes de vie terrestre à un ancêtre commun.

Le concept de dernier ancêtre commun à deux lignées d'êtres vivants (DAC) correspond à l'espèce la plus récente, toujours hypothétique, que ces deux lignées partagent comme ancêtre commun. Le DAC et tous ses descendants forment un groupe monophylétique ou clade qui permet de retracer l'évolution des remonter le temps dans l'arbre du vivant, jusqu'au dernier ancêtre commun universel (DACU).

Un arbre phylogénique est un schéma représentatif des relations de parentés entre différentes espèces. Il montre qui est proche de qui mais pas qui descend de qui. Il montre le degré de parenté entre espèces différentes (présence de caractères homologues). Un caractère est un élément de la description du phénotype ou de génotype pour lequel il y a homologie. Quand on polarise un caractère, on le définit en tant que primitif (ancestral) ou dérivé en fonction du groupe d'êtres vivants que l'on veut classer. Les caractères ancestraux sont ceux partagés par tous, les caractères dérivés sont ceux qui isolent tel ou tel individu des autres.

Pour construire un arbre phylogénique :

On élabore une matrice de caractère avec un échantillon d'espèces données et un certain nombre de caractères choisis. Par convention on note par « 0 » un caractère ancestral et par « 1 » un caractère dérivé.

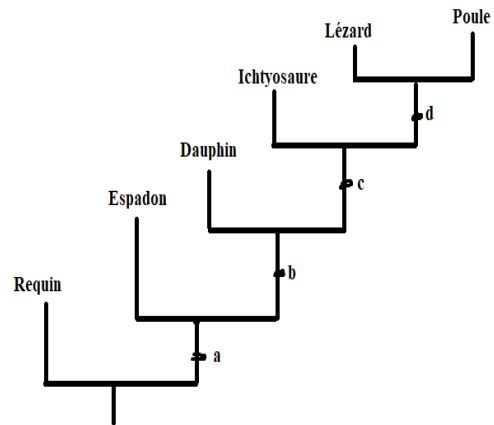
Ensuite à l'aide de cette matrice, on élabore tous les arbres possibles. Et on place les innovations.

En appliquant le principe de parcimonie, on élit un ; c'est-à-dire l'arbre qui nécessite le moins d'innovations.

Le tableau ci-dessous représente une matrice de caractère.

| Caractères<br>Espèces | Squelette osseux<br>(a) | Amnios<br>(b) | Vertèbres<br>cervicales à quille<br>ventrale<br>(c) | 2 fosses<br>temporales<br>(d) |
|-----------------------|-------------------------|---------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------|
| Requin                | 0                       | 0             | 0                                                   | 0                             |
| Espadon               | 1                       | 0             | 0                                                   | 0                             |
| Dauphin               | 1                       | 1             | 0                                                   | 0                             |
| Ichtyosaure           | 1                       | 1             | 1                                                   | 0                             |
| Lézard                | 1                       | 1             | 1                                                   | 1                             |
| Poule                 | 1                       | 1             | 1                                                   | 1                             |

(1): caractère présent (dérivé)  
(0): caractère absent (ancestral)



### Consigne : à partir du texte et du schéma :

1. Définir un arbre phylogénique et donner son importance.
2. A quel état se trouve l'amnios chez le Dauphin et chez le requin ?
3. Combien d'innovations étaient nécessaires pour construire l'arbre 1 ?
4. Trouver quatre autres arbres à partir de la même matrice et placer les innovations sur chaque arbre.
5. Trouver l'arbre le plus parcimonieux (plus probable) et placer sur cet arbre l'ancêtre commun à la poule et au lézard.

**Synthèse générale :**

**Formation de la Terre :**

Il y a plus de 15 milliards d'années, le monde était totalement différents ; les étoiles, les planètes qui nous entourent n'existaient pas ; la Terre n'existait pas ; le soleil, la lune n'existaient pas ; rien de connu dans l'immensité de l'espace. Dans cet espace infini, apparut une sorte de nuage, un immense nuage fait de gaz et de poussière. Ce nuage s'agitait comme dans une tempête en tournant sur lui-même et en grossissant. Devenu immense, il s'agita tellement que ses particules se heurtèrent les unes contre les autres. Et plus les particules s'agitaient, virevoltaient, et se heurtaient plus le nuage devenait brûlant. Et plus le nuage de gaz et de poussière grossissait, plus sa chaleur devenait ardente. Tellement chaud, qu'il ferait ressembler notre soleil actuel à un morceau de glace. Le nuage est devenu tellement ardent et agité qu'il finit par exploser dans un gros bang : « le BIG-BANG ». Les particules qui avaient été projetées partout dans l'espace lors de l'explosion se collèrent entre elles en différents tas, un peu comme des boules de neige. D'autres particules vinrent peu à peu se coller sur ces tas qui devinrent de plus en plus gros jusqu'à former les galaxies qui ressemblaient à d'immenses feux d'artifices. L'espace est alors parsemée de galaxies.

Une de ces galaxies s'appelle la Voie lactée.

Il y a 4,6 milliards d'année, dans cette galaxie s'est formée une boule de feu beaucoup plus grosse que les autres, une étoile qu'on appelle le soleil. Le soleil dégageait tellement d'énergie que, peu à peu, d'autres boules plus petites se mirent à tourner autour de lui tout en tournant sur elle-même. Ce sont ces boules plus petites qui deviendront plus tard des planètes même si à ce moment ce sont des conglomerats de gaz et de poussières ressemblant à des boules de feu. Une de ces plus petites boules était notre Terre. En tournant autour du soleil, la Terre récolta de plus en plus de petits matériaux : du cuivre, du fer, de la silicone et bien d'autres matériaux... Plus la récolte était abondante, plus la Terre devenait compacte mais toujours brûlante. Au fur et à mesure que les matériaux s'amalgamaient, à la Terre, les plus lourds et les plus bouillants plongeaient en son centre, alors que les plus légers flottaient en surface. Le centre de notre Terre était donc beaucoup plus compact que sa surface et ressemblait à un noyau, composé de roches liquides. Sa surface, quant à elle, était comme une mer de lave. La Terre était toujours brûlante, mais quand même moins que le Soleil. L'espace était très froid et le Soleil suffisamment loin : la Terre commença peu à peu à refroidir. Cela prit des milliards d'années. Au contact de la Terre bouillante avec la température glacée de l'espace survint un phénomène de condensation. Un brouillard de vapeur se créa. Des gaz comme l'hydrogène, le soufre et l'azote s'échappèrent de la croûte terrestre et s'élevèrent en formant un immense nuage qui couvrit la planète et la priva des bienfaits du soleil (chaleur et lumière).

Pendant des millions d'années, la croûte terrestre se refroidit et se durcit lentement. Le centre de la Terre demeurait fluide et par endroit, les gaz toujours contenus à l'intérieur de la Terre percèrent la surface. La surface de la Terre se recouvrit de gigantesques volcans flamboyants. En refroidissant la croûte de notre planète forma des sortes de plaques gigantesques qui se ratatinèrent, se heurtèrent et se cassèrent, formant ainsi montagnes, vallées et bassins. L'immense nuage qui entourait notre planète continuait de s'épaissir. Certains gaz qui le formaient commencèrent à se mélanger. Deux de ces gaz, l'oxygène et l'hydrogène, formèrent l'eau en se mélangeant. Mélangé à d'autres gaz comme le nitrogène, l'oxygène forma l'air. Le nuage colossal qui recouvrait la Terre s'éventra et laissa échapper toute sa charge.

Ainsi, il commença à pleuvoir, pleuvoir sans arrêt. La croûte de la Terre était encore très chaude, les gouttes se changeaient en vapeur aussitôt qu'elles touchaient le sol. Cette vapeur s'élevait et venait reformer le nuage. Il plut ainsi pendant des millions d'années. Avec toute cette eau, la Terre se refroidit plus rapidement. Les gouttes de pluie ne s'évaporaient plus en touchant le sol. La pluie envahit tous les creux de la Terre et forma les océans.

Les ruisseaux, les rivières et les fleuves transportèrent toutes sortes de débris rocheux qui se déposèrent sur le plancher des océans. Il ne cessa pas de pleuvoir et toute la surface de notre planète Terre fut totalement inondée d'eau. Après quelques millions d'années, quelques rayons du soleil pénétrèrent la couche amincie de nuages. Enfin, le soleil brilla sur ce paysage tout en eau. La Terre devint plus calme, plus tranquille. Rien ne grouillait, juste de l'eau immobile. Il aura fallu un milliard d'année à la croûte terrestre pour se former.

### **Apparition et évolution de la vie.**

Les premières étapes de l'évolution de la Terre (diminution de température, formation des océans...) ont permis l'apparition de la vie, environ un milliard d'année après sa formation (-3,8Ga). Les premiers êtres vivants étaient sans doute des bactéries comparables à celles vivant actuellement dans les sources chaudes (90°C). Nous savons assez peu de choses sur les êtres vivants du précambrien (de la formation de la terre à -570 millions d'années), parce que les fossiles sont rares et si mal conservés qu'il est souvent difficile de savoir de quels organismes ils proviennent. On a pourtant la certitude que les êtres vivants étaient déjà nombreux et variés : algues, éponges, vers, mollusques et crustacés.

Une comparaison des formes vivantes depuis le précambrien jusqu'à nos jours permet de constater que les espèces animales et végétales n'ont pas toujours été celles que nous connaissons (contemporaines) : il y a des espèces contemporaines qui existaient déjà au primaire comme les blattes, d'autres sont plus récentes, beaucoup d'espèces ont disparu.

Les événements géologiques ayant affecté la surface de la Terre (déplacement des continents, formation des chaînes de montagnes, fluctuations du climat, chute sur Terre de météorites géantes...) ont modifiés les milieux et les peuplements ont changé. Ainsi, la tectonique des plaques change les conditions de vie en un milieu. Des fluctuations de climat, indépendantes de la tectonique des plaques, modifient les peuplements. Des événements cataclysmiques comme la chute d'une météorite géante sur la terre peuvent bouleverser complètement la faune et la flore.

Parfois ces modifications de la faune et de la flore ont été définitives suite à des extinctions massives d'espèces et l'apparition de nouvelles espèces. Ces extinctions massives ainsi que les grands événements géologiques ont été utilisés pour subdiviser les temps géologiques en ères et en périodes plus courtes.

### **Parentés entre les êtres vivants et fossiles :**

Les espèces vivantes possèdent une origine commune. Celle-ci se traduit par des ressemblances au niveau cellulaire, moléculaire et fonctionnelle.

Le monde vivant est constitué des : procaryotes (bactéries), des eucaryotes (animaux + végétaux + champignons) ; et des virus (parasites cellulaires obligatoires, classés « à la limite du vivant »).

Tous les êtres vivants ont des caractéristiques communes. Ils sont composés de cellules (unité structurale et fonctionnelle du vivant) ; leur information génétique est constituée d'ADN (Acide Désoxyribonucléique) ; les mécanismes assurant le maintien du caryotype et des caractères d'une génération à la suivante au sein d'une même espèce sont les mêmes : la réplication de l'ADN, la mitose l'expression des gènes grâce à l'universalité du code génétique.

### **Phylogénèse et ontogénèse :**

Phylogénèse : étude évolutive d'une entité anatomique ou d'un phénomène biologique à travers les espèces qui se sont succédé par filiation.

Ontogénèse : étude évolutive d'un organe ou d'un phénomène biologique chez un même individu, depuis la fécondation jusqu'à l'âge adulte (embryogenèse et organogenèse).

Un arbre phylogénétique permet de représenter simplement des liens hypothétiques entre des espèces. Pour les trouver, il faut étudier un échantillon d'espèces et quelques caractères.

Après avoir sélectionné les espèces à étudier et les caractères à utiliser, construire un tableau (en colonnes, les caractères / en lignes, les espèces).

Compléter le tableau en précisant si le caractère est présent ou absent chez chaque espèce étudiée.

Faire une classification selon la méthode des groupes emboîtés.

Construire l'arbre phylogénétique selon la méthode expliquée ci-dessous :

Tracer un axe d'évolution (apparition successive de nouveau caractères = évolution des espèces)

Tracer la flèche du temps (en bas, les temps anciens et en haut, les temps actuels)

La première espèce à placer est celle qui a le plus de caractères ancestraux.

Placer un nœud (= ancêtre commun de tous ses descendants)

Tracer un trait (= branche) à partir du nœud jusqu'au sommet de l'arbre : noter en haut de cette branche le nom de l'espèce qui a le plus de caractères ancestraux.

Placer un second nœud (en suivant le sens de la lecture de l'arbre)

Tracer une branche à partir du nœud jusqu'au sommet de l'arbre : noter le nom de l'espèce qui possède le nouveau caractère et qui ne possède pas les autres caractères

Faire de même avec les autres espèces et terminer en notant celle qui possède tous les caractères étudiés sur la dernière branche de l'arbre.

Si une espèce a disparu, ne pas tracer la branche jusqu'au sommet de l'arbre puisqu'elle n'existe plus.

Toutes les espèces qui sont présentes aujourd'hui sur Terre sont autant évoluées par rapport au premier ancêtre commun (la cellule ancestrale LUCA pour Last Universal Common Ancestor). L'Homme n'est donc pas plus évolué.

## Sous-concept 2 : Les mécanismes de l'évolution

### Pré-évaluation :

Qu'est-ce que l'évolution biologique ?

Comment les nouvelles espèces apparaissent ?

### Situation problème :

Selon la théorie d'évolution, toute espèce provient d'espèces qui l'ont précédée sur Terre. Les êtres vivants et fossiles ont donc une origine commune et dérivent les uns des autres. L'évolution conduit à une grande diversité des êtres vivants. L'ADN, support de l'information génétique dirige la synthèse des protéines. Le gène est l'unité de l'information génétique. L'ensemble des gènes d'un individu forme son génotype.

Le génotype d'un individu détermine son phénotype, qui dépend aussi de l'influence de l'environnement.

Comment apparaît une nouvelle espèce à partir d'espèces ancestrales ?

Comment les gènes et l'environnement sont impliqués dans les processus d'évolution biologique.

### Activité 1 : Polymorphisme et diversité génétique.

#### A) Polymorphisme génétique.

Les caractères des individus (donc des espèces) sont liés aux gènes. Les variations des caractères, qui sont le matériel de base de l'évolution, sont liées aux variations des gènes. Les **gènes**, unités de l'information génétique sont constitués d'ADN (longue molécule formée de deux chaînes unies par des paires de bases complémentaires). Le **génome** est l'ensemble des gènes présents dans les cellules d'un organisme. Tous les individus d'une même espèce ont le même génome.

Cependant, la séquence des nucléotides de l'ADN d'un gène peut être modifiée par une mutation, événement accidentel qui crée de nouvelles versions du gène ; **les allèles**. Les allèles d'un même gène occupent le même emplacement sur le même chromosome appelé locus. Un gène est poly allélique s'il possède plusieurs allèles. L'ensemble des allèles d'un individu constitue son **génotype**. Donc chaque individu a son génotype.

A l'échelle d'une population (ensemble d'individus de l'espèce partageant un même habitat), les allèles d'un gène sont répartis chez les individus avec des fréquences inégales. Certains allèles sont représentés chez de nombreux individus d'une population, d'autres ne le sont que rarement ou même pas du tout. Par conséquent la fréquence des allèles varie d'une population à l'autre.

Presque tous les gènes ont plusieurs allèles. Par convention, on qualifie de gènes polymorphes (ou poly allélique) ceux qui ont au moins deux allèles avec au moins 1% chez les individus d'une population. Les gènes du système HLA sont qualifiés de très polymorphes car il existe de nombreux allèles pour chacun de ces gènes et beaucoup de ces allèles sont largement répandus dans les populations humaines.

| Allèles  | Nombre de nucléotide | Nombre de différence |         |          |          |
|----------|----------------------|----------------------|---------|----------|----------|
| HLA. A1  | 1098                 | 0                    |         |          |          |
| HLA. A2  | 1098                 | 50                   | 0       |          |          |
| HLA. A11 | 1098                 | 12                   | 45      | 0        |          |
| HLA. A24 | 1098                 | 47                   | 49      | 48       | 0        |
|          |                      | HLA. A1              | HLA. A2 | HLA. A11 | HLA. A24 |

### Consigne :

1. En quoi les allèles d'un gène diffèrent-ils ?
2. Pourquoi chaque individu a son phénotype ?
3. Pourquoi dit-on que les gènes du système HLA sont polymorphes ?
4. Analyser le tableau de comparaison des gènes du système HLA.



### B) Formation de nouveaux allèles.

Les allèles sont créés par les mutations modifiant la séquence des bases, les mutations géniques. La différence minimale entre 2 allèles concerne une seule base, conséquence d'une mutation ponctuelle. Les mutations sont des modifications qui surviennent au hasard. Elles résultent d'erreurs de copie lorsqu'un chromosome duplique son ADN avant la division cellulaire. De mutation en mutation les allèles d'un gène sont de plus en plus nombreux. Les mutations qui affectent des cellules germinales sont héréditaires car transmissibles à la descendance par les gamètes. Le polyallélisme actuel résulte de mutations survenues dans le passé, chez les ancêtres proches ou lointains. Cet enrichissement progressif du génotype contribue à la grande diversité des individus.

### C) Formation de nouveaux gènes.

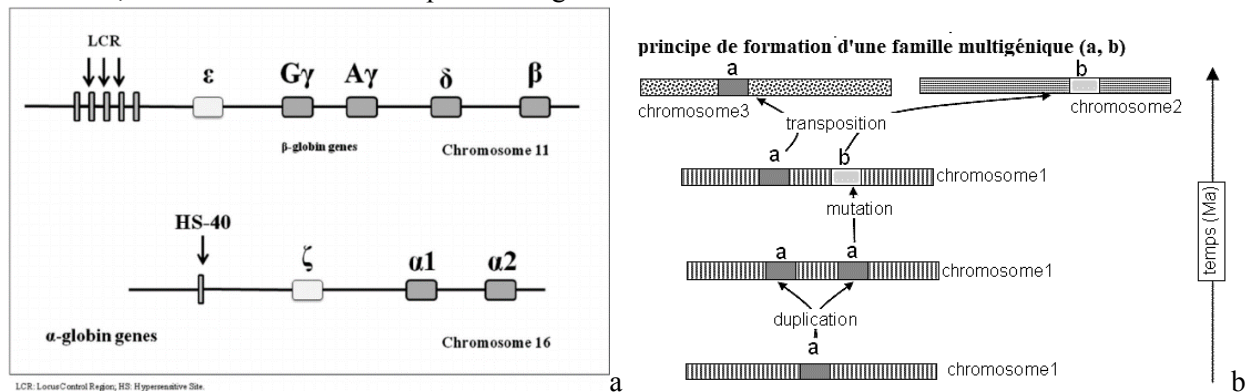
Le génome de la plupart des espèces contient des milliers de gènes.

Parmi ces gènes, certains ont des séquences de nucléotides en commun : ils constituent des familles. Les gènes d'une famille sont issus d'un seul gène ancestral selon un mécanisme qui explique à la fois leur nombre (duplication) et leur diversité (mutation). (Document 1b)

Lorsque plusieurs gènes ont des séquences de nucléotides communes, les protéines correspondantes ont des séquences d'acides aminés communes. Les ressemblances entre les protéines permettent de détecter les familles de gènes, comme par exemple pour le génome humain : la famille des « globines », la famille des « hormones hypophysaires », la famille des « gènes homéotiques ».

Les globines sont des protéines qui captent l'oxygène. Elles sont situées dans le sang, comme l'hémoglobine ou dans les muscles comme la myoglobine. Plusieurs gènes ayant des séquences de nucléotide voisines codent pour les globines. Dans ce cas la fonction assurée est toujours la même dans les grandes lignes, mais il y a des différences, notamment dans le fait que les gènes de cette famille ne s'expriment pas tous en même temps : le fœtus, le jeune et l'adulte n'ont pas les mêmes hémoglobines. (Document 1a)

Le mécanisme de duplication suivi de mutation peut se répéter plusieurs fois, chaque gène formé pouvant être à son tour à l'origine de nouveaux gènes. Chaque gène suit une évolution indépendante de celle des autres, livrée en partie au hasard, les duplications et les mutations étant des phénomènes aléatoires. Le génome d'une espèce s'enrichit par addition de nouveaux gènes à l'échelle des temps géologiques. De nouvelles protéines peuvent être fabriquées par les cellules, permettant dans certains cas de nouvelles fonctions, un nouveau mode de vie pour les organismes.



Doc.1

### Consigne :

1. Quels mécanismes sont à l'origine de la formation des allèles ?
2. Définir une famille multigénique et citer quelques familles multigéniques.

3. Quels mécanismes sont à l'origine de la formation des familles multigéniques ?

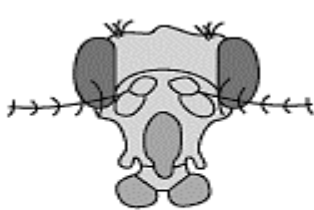
**Activité 2 : Conséquences des mutations sur le phénotype.**

**A) Du génotype au phénotype.**

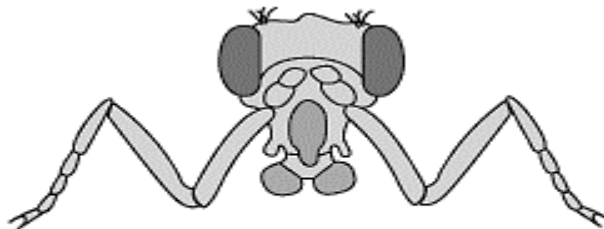
Le phénotype dépend des protéines et par conséquent du génotype, les allèles déterminant la nature des protéines de l'organisme. Chaque séquence de nucléotides de l'ADN code pour une suite précise d'acides aminés. En modifiant l'ADN, une mutation génique a, ou non, des répercussions sur le phénotype, selon sa nature et sa localisation. L'information contenue dans un gène est transcrite en ARNm, puis traduite en séquence d'acides aminés dans le cytoplasme. Au cours de cette traduction, les bases de l'ARNm sont lues 3 par 3. Ces unités de lecture sont les codons. Il existe une correspondance précise entre les différents codons et les acides aminés. Les mutations interviennent de façon aléatoire et ne dépendent pas des caractéristiques de l'environnement. En faisant apparaître de nouveaux allèles, ainsi de nouvelles protéines, les mutations sont à l'origine de l'apparition de nouvelles caractères (innovations génétiques) et donc des modifications du phénotype.

**B) Les mutations des gènes du développement.**

Les gènes de développement peuvent être l'objet de mutations qui compromettent la transformation de l'œuf en un embryon organisé selon le plan de l'espèce. Les conséquences sur le phénotype de l'organisme sont importantes : parfois mortelles, parfois créatrices de nouvelles formes ce qui leur fait attribuer un rôle possible dans l'évolution des êtres vivants. Certains gènes du développement appartiennent à la famille des gènes homéotiques (ou homéogènes). Ils codent pour des protéines qui contrôlent la mise en place des différentes parties du futur organisme selon un plan d'organisation de son espèce. Les mutations de certains d'entre eux bouleversent ce plan comme le montre le document 2. On émet l'hypothèse que de telles mutations seraient à l'origine de la transformation de nageoires en pattes chez les vertébrés aquatiques.



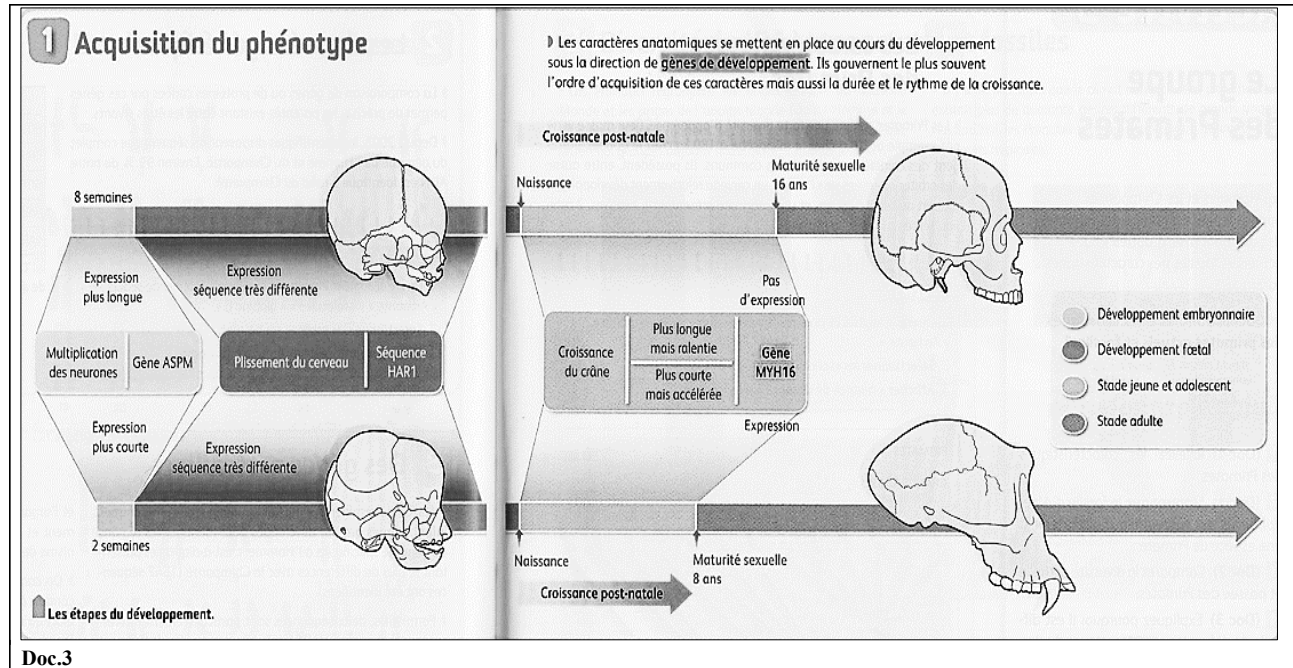
drosophile normale



drosophile mutée

**Doc.2**

Un enchainement précis des étapes du développement embryonnaire est programmé par des gènes qui déterminent pour les gènes de structure quand et pour quelle durée ils seront actifs. Ces chronogènes fixent aussi la vitesse à laquelle se développent les différentes parties de l'embryon. De nouveaux phénotypes peuvent résulter de décalages temporels auxquels certains biologistes attribuent un rôle dans l'évolution, en particulier dans la lignée humaine. Le crâne de l'Homme adulte ressemble plus au crâne de fœtus de chimpanzé qu'à celui de l'adulte : forme globuleuse, front bombé, position centrée du trou occipital. D'où l'hypothèse d'un développement embryonnaire ralenti pour l'Homme sans allongement de sa durée, ce qui fait qu'il naît « non fini ». Selon cette hypothèse de l'origine néoténique de l'Homme, le nouveau-né correspond à un stade juvénile de l'ancêtre commun aux deux espèces, le chimpanzé ayant poursuivi son développement embryonnaire au-delà de ce stade. Par rapport aux singes, le développement embryonnaire du système nerveux est plus lent, il se poursuit au-delà de la naissance, se perfectionne. On appelle hétérochronie une modification de la durée et/ou de la vitesse de développement de l'organisme au cours de l'évolution.



Doc.3

**Consigne :**

1. Pourquoi une mutation peut entraîner l'apparition de nouveau phénotype ?
2. Quel phénomène est à l'origine de la transformation des antennes en pattes chez les drosophiles mutés ?
3. Pourquoi il y a une si-grande différence entre l'Homme et le chimpanzé à l'état adulte ?

**Activité 3 : le maintien des innovations génétiques.**

**A) La sélection naturelle.**

De nombreux individus tous génétiquement différents composent une population. Certains génotypes sont plus avantageux que d'autres dans les conditions écologiques du moment. Les individus qui en sont les porteurs ont plus de chance que les autres de survivre et de se reproduire, transmettant ainsi certains de leurs allèles à leurs descendances. Cette sélection naturelle joue un rôle important dans l'évolution des êtres vivants comme celle des phalènes par exemple. (Doc.4)

La phalène du bouleau est un papillon nocturne qui est caractérisé par deux sous-espèces :



*Biston blatularia*



*Biston carbonaria*

Pendant le jour, les phalènes s'immobilisent sur les troncs d'arbres ; elles sont alors des proies faciles pour les oiseaux.

On peut observer que dans les régions rurales, les arbres sont plutôt clairs puisqu'ils sont recouverts de lichen. Au contraire, dans les régions industrielles, les arbres sont plutôt foncés. En effet, les lichens, sensibles à la pollution, disparaissent tandis que les arbres se couvrent de suie.

Jusqu'au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, avant l'industrialisation massive, les populations de phalènes du bouleau étaient composées, en Angleterre, exclusivement de la sous-espèce claire.

Suite à l'industrialisation qui a eu lieu en Angleterre, un recensement du début du 20<sup>ème</sup> siècle a mis en évidence que l'importance relative de ces deux phénotypes a fluctué au cours du temps dans les régions rurales et industrielles. La sous-espèce claire était majoritaire dans les régions rurales et la sous-espèce foncée était quand à elle largement majoritaire dans les régions industrielles.

Doc.4

Un allèle défavorable peut être maintenu dans une population comme le cas de la drépanocytose.

La molécule d'hémoglobine comprend quatre chaînes polypeptidiques semblables deux à deux (2 $\alpha$  et 2 $\beta$ ). Une mutation du gène codant pour la chaîne  $\beta$ , noté  $\beta^S$  ou S, entraîne une forme en faucille des hématies qui ne fixe plus normalement l'oxygène. Les sujets qui ne peuvent synthétiser l'hémoglobine normale, de type A, sont atteints de drépanocytose, une maladie qui sévit en Afrique intertropicale.

Trois génotypes sont possibles, avec les conséquences suivantes :

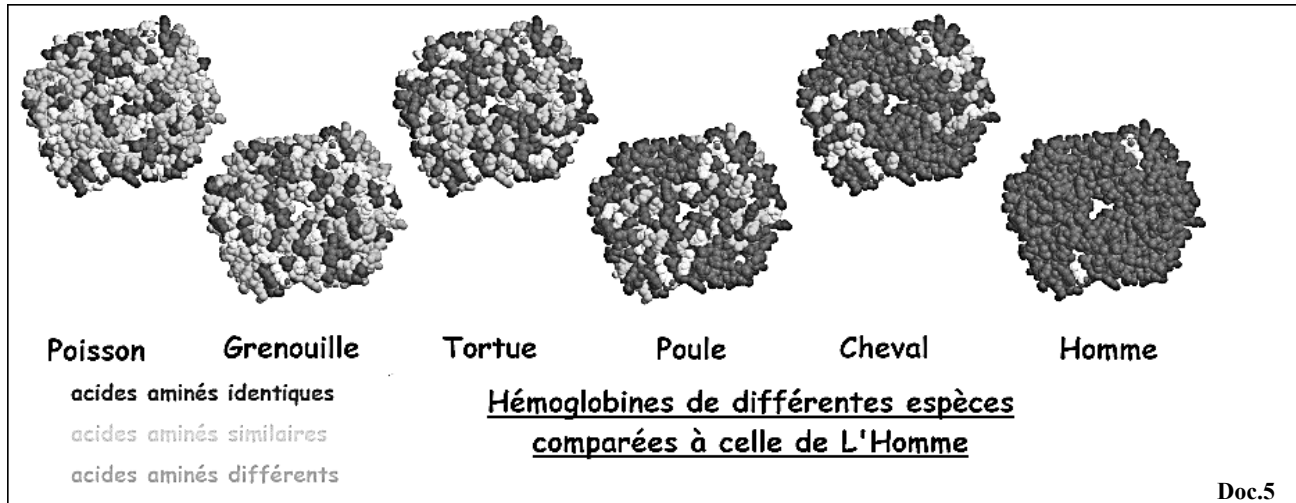
*A/A* (sujets sains) ; *A/S* (quelques troubles, longévité normale) ; *S/S* (atteints de drépanocytose).

La sélection naturelle favorise les sujets hétérozygotes. Tandis que les sujets de génotype *A/A* sont décimés par le paludisme, les hétérozygotes *A/S* sont résistants et transmettent l'allèle S à la moitié de leurs enfants (statistiquement).

### B) Mutations neutres et évolution.

Il existe des mutations neutres sur lesquelles la sélection ne s'exerce pas. Transmises d'une génération à la suivante sur de longues périodes, elles constituent des archives permettant de retracer l'évolution d'espèces apparentées. Ces mutations n'offrent ni avantage ni désavantage pour les individus porteurs. Elles concernent surtout des enzymes, des hormones, des hémoglobines ou d'autres biomolécules. La comparaison de familles de molécules issues de ces mutations permet de reconstituer quelques maillons de l'évolution biologique.

Les molécules d'hémoglobine des vertébrés comportent 4 chaînes polypeptidiques identiques deux à deux. Il existe 6 types de chaînes, variant par la séquence des acides aminés. Le document 5 représente les chaînes d'hémoglobine chez quelques vertébrés.



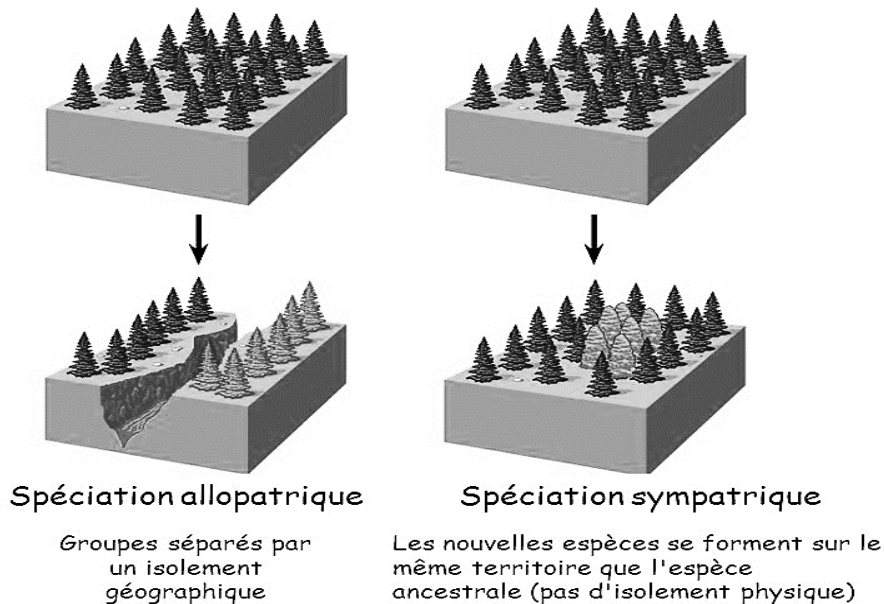
**Consigne :**

1. Quelle relation existe-t-il entre la couleur des phalènes et leur environnement ?
2. Expliquer la répartition des phalènes en fonction des conditions du milieu.
3. Pourquoi les individus de génotypes A/S sont avantagés dans les régions où sévit le paludisme ?
4. Quelle est l'importance des mutations neutres ?

**Activité 4 : la spéciation**

Au sein d'une espèce, deux populations isolées par une barrière géographique ou comportementale ont des échanges génétiques liés à la reproduction sexuée réduits et accumulent ainsi des différences génétiques. Ces différences, au-delà d'un certain seuil peuvent empêcher les individus de deux populations isolées de se reproduire entre eux. Il y a alors apparition d'une nouvelle espèce à partir d'espèce ancestrale : c'est la spéciation. L'isolement reproducteur entre deux populations est associé à l'isolement génétique et il n'y a plus d'échange d'allèle entre elles. Chaque population est alors considérée comme une nouvelle espèce (s'il n'y a plus de reproduction sexuée possible entre les individus des deux populations), qui continuera à évoluer séparément, sous l'effet du hasard et de la sélection naturelle.

Le document 6 représente les différents types et le processus de la spéciation.



A

**Un exemple d'anneau d'espèces**  
 La Salamandre variable «*Ensatina eschscholtzii*» forme un anneau à peu près continu de (7) sous-espèces autour de la Vallée de San Joaquin.

Campbell (2<sup>e</sup> éd.) — Figure 24.9 : 511

Dans les parties septentrionale et centrale de l'anneau, les populations sont interfécondes comme si elles appartenaient à une espèce unique.

Dans l'extrémité sud de l'anneau, là où les populations côtière et de l'intérieur se chevauchent, il n'y a pas d'hybridations. Les (2) populations se comportent comme deux espèces distinctes.

[De belles photos de chacune des espèces](#)

**Document 6**

Spéciation

Une espèce

Spéciation

Une autre espèce

Extinction

**B**

**C**

**Consigne : à partir du texte et du document 6 :**

1. Définir la spéciation.
2. Quels sont les différents types de spéciation ?
3. Quels mécanismes sont à l'origine de l'isolement reproducteur entre deux populations ?
4. Pourquoi dit-on que deux espèces sont apparues au cours du temps ?
5. Quelle est la conséquence de la spéciation sur la biodiversité ?

### **Synthèse générale :**

Le génome est l'ensemble des gènes présents dans les cellules d'un organisme. Chaque espèce a son génome. Le génotype d'un individu détermine son phénotype, qui dépend aussi de l'influence de l'environnement.

Au sein des espèces, il existe un polymorphisme aux différents niveaux d'organisation, depuis les séquences d'ADN jusqu'aux individus des différentes populations et à l'espèce elle-même. La reproduction sexuée assure une stabilité relative du génome d'une espèce tout en réalisant un brassage génétique. Il y a donc à la fois stabilité et variabilité des génomes.

Les mutations géniques, en modifiant la séquence de l'ADN, sont innovatrices. Certaines sont transmises aux descendants et s'accumulent de génération en génération.

#### **La formation de nouveaux allèles.**

Le génome de la plupart des espèces contient des milliers de gènes.

Parmi ces gènes, certains ont des séquences de nucléotides en commun : ils constituent des familles. Les gènes d'une famille sont issus d'un seul gène ancestral selon un mécanisme qui explique à la fois leur nombre (duplication) et leur diversité (mutation). Lorsque plusieurs gènes ont des séquences de nucléotides communes, les protéines correspondantes ont des séquences d'acides aminés communes. Les ressemblances entre les protéines permettent de détecter les familles de gènes, comme par exemple pour le génome humain : la famille des « globines » ; celle des « hormones hypophysaires » ; celle des « gènes homéotiques ».

Le mécanisme de duplication suivi de mutation peut se répéter plusieurs fois, chaque gène formé pouvant être à son tour à l'origine de nouveaux gènes. Chaque gène suit une évolution indépendante de celle des autres, livrée en partie au hasard, les duplications et les mutations étant des phénomènes aléatoires. Le génome d'une espèce s'enrichit par addition de nouveaux gènes à l'échelle des temps géologiques. De nouvelles protéines peuvent être fabriquées par les cellules, permettant dans certains cas de nouvelles fonctions, un nouveau mode de vie pour les organismes.

#### **Conséquences des mutations sur le phénotype.**

Le phénotype dépend des protéines et par conséquent du génotype, les allèles déterminant la nature des protéines de l'organisme. Chaque séquence de nucléotides de l'ADN code pour une suite précise d'acides aminés. En modifiant l'ADN, une mutation génique a, ou non, des répercussions sur le phénotype, selon sa nature et sa localisation. Les mutations interviennent de façon aléatoire et ne dépendent pas des caractéristiques de l'environnement. Certaines innovations génétiques apportent aux individus qui en sont porteurs de meilleures chances de survivre et de se reproduire dans un milieu donné. Il s'exerce ainsi une sélection naturelle des individus et par conséquent des allèles résultant de mutation favorable dont la fréquence augmente dans les populations concernées. Ce mécanisme de mutation-sélection est une cause importante de l'évolution des êtres vivants. Il existe des mutations neutres sur lesquelles la sélection ne s'exerce pas. Transmises d'une génération à la suivante sur de longues périodes, elles constituent des archives permettant de retracer l'évolution d'espèces apparentées. Les gènes de développement peuvent être l'objet de mutations qui compromettent la transformation de l'œuf en un embryon organisé selon le plan de l'espèce. Les conséquences sur le phénotype de l'organisme sont importantes : parfois mortelles, parfois créatrices de nouvelles formes ce qui leur fait attribuer un rôle possible dans l'évolution des êtres vivants.

#### **La sélection naturelle :**

De nombreux individus tous génétiquement différents composent une population. Certains génotypes sont plus avantageux que d'autres dans les conditions écologiques du moment. Les individus qui en sont les

porteurs ont plus de chance que les autres de survivre et de se reproduire, transmettant ainsi certains de leurs allèles à leurs descendances. Cette sélection naturelle joue un rôle important dans l'évolution des êtres vivants

### Sous-concept 3 : La lignée humaine

#### Pré-évaluation :

Quelle est la place de l'Homme dans le règne animal ?

Quelle est l'origine de l'Homme ?

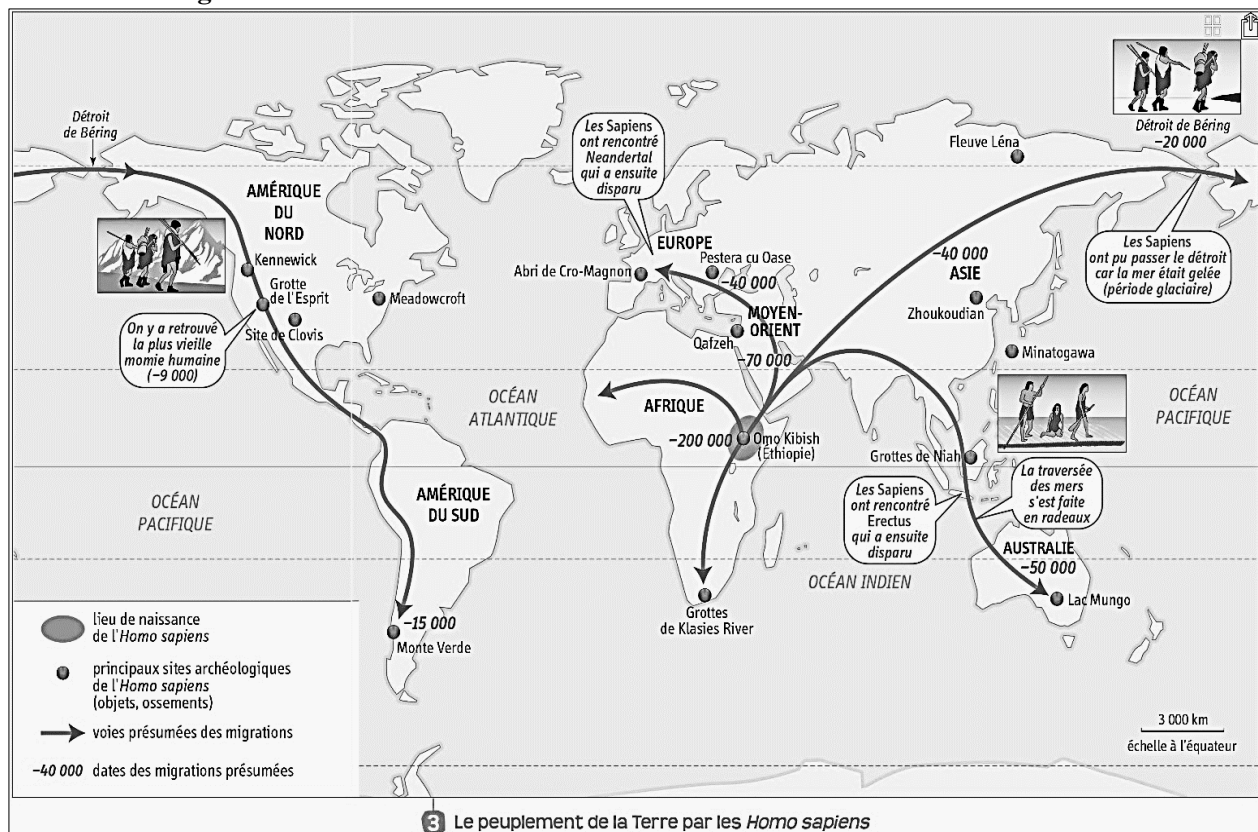
#### Situation problème :

Chaque espèce possède son génome propre à lui. Toutes les populations humaines actuelles partagent le même génome et les mêmes allèles, avec une fréquence variable. Ces différences de fréquences alléliques sont liées à des mécanismes d'isolement et de migration de populations. L'Homme actuel serait issu d'une seule population ancestrale.

Comment retracer l'histoire évolutive de l'Homme ?

Quelles sont les critères de l'hominisation ?

#### Activité 1 : Origine de l'Homme.



#### Doc.1

Possédant des cellules nucléées et une colonne vertébrale, l'Homme est un eucaryote, métazoaire, et un vertébré. Les primates dont appartient l'Homme, font leur apparitions au sein du groupe des mammifères il y a environ 65 Ma. Ils sont caractérisés par :

Les orbites orientées vers l'avant permettant la vision binoculaire qui facilite l'appréciation des distances.

Le pouce opposable aux autres doigts facilitant la préhension et le déplacement dans les branches.

Les griffes sont remplacées par les ongles plats.

L'étude de quelques primates actuels, met en évidence l'existence des primates anthropomorphes ou Hominoïdes (absence de queue) dont l'apparition est datée à -23 Ma.

Parmi les primates Hominoïdes, on distingue les Pongidés (orang-outang) des Hominidés (gorille, chimpanzé, Homme). Les Homininés constituent une famille regroupant les êtres appartenant à la lignée humaine qui comprennent : Le genre Australopithecus (plusieurs espèces en Afrique de l'est et du sud) et le genre Homo (plusieurs espèces) en Afrique d'abord, puis sur les autres continents. Ils sont actuellement représentés par un seul genre et une seule espèce : Homo sapiens sapiens. Pour différencier les Homininés des Hominidés, il faut s'appuyer sur des critères anatomiques et culturels qui sont notamment : la bipédie, l'évolution du crâne et de l'encéphale, la fabrication d'outils et le langage articulé.

Si l'homme partage un ancêtre commun avec les Panidés (chimpanzé) cet ancêtre ne ressemble ni aux uns ni aux autres. En effet, les Panidés ont évolué indépendamment des Homininés. La divergence à l'origine des deux lignées s'est produite il y a environ 10 Ma. L'origine de l'Homme est connue aujourd'hui grâce à l'étude des fossiles trouvés dans plusieurs régions du monde. (Doc.1)

**Consigne : à partir du texte et du document.**

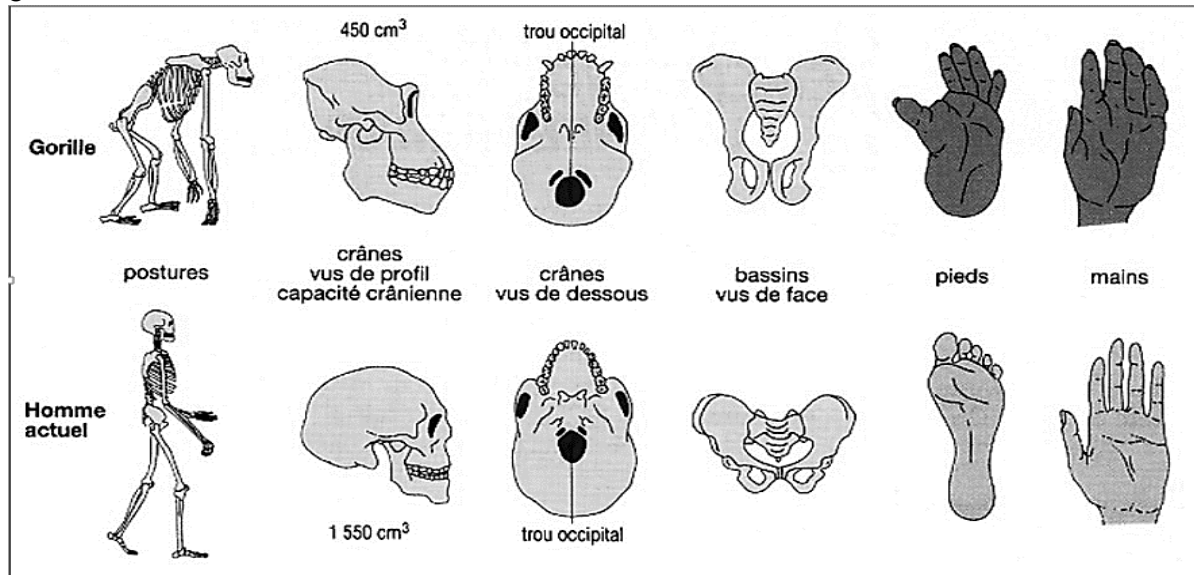
1. Déterminer la place de l'Homme dans le règne animale.
2. Citer les caractères propres aux primates.
3. Quelle différence fais-tu entre Hominidés et Homininés.
4. Dans quelle région du monde est apparu l'Homme ?
5. Citer les caractères de l'hominisation.

**Activité 2 : les critères de l'hominisation.**

**A) La bipédie**

C'est l'étude de certains caractères du squelette qui permet de mettre en évidence la station debout et le déplacement sur les deux membres postérieurs. La position du trou occipital, la forme de la colonne vertébrale, celle du bassin, la position du pouce du pied sont les caractères qui déterminent l'existence de la bipédie. Ces éléments anatomiques sont utilisés pour classer les restes fossiles dans le groupe des Hominidés.

On pense que la bipédie a précédé tous les autres caractères hominiens ; c'est l'innovation fondamentale dans l'évolution de l'Homme. Le doc.2 représente la comparaison du squelette de l'Homme et celui du gorille.



Doc.2

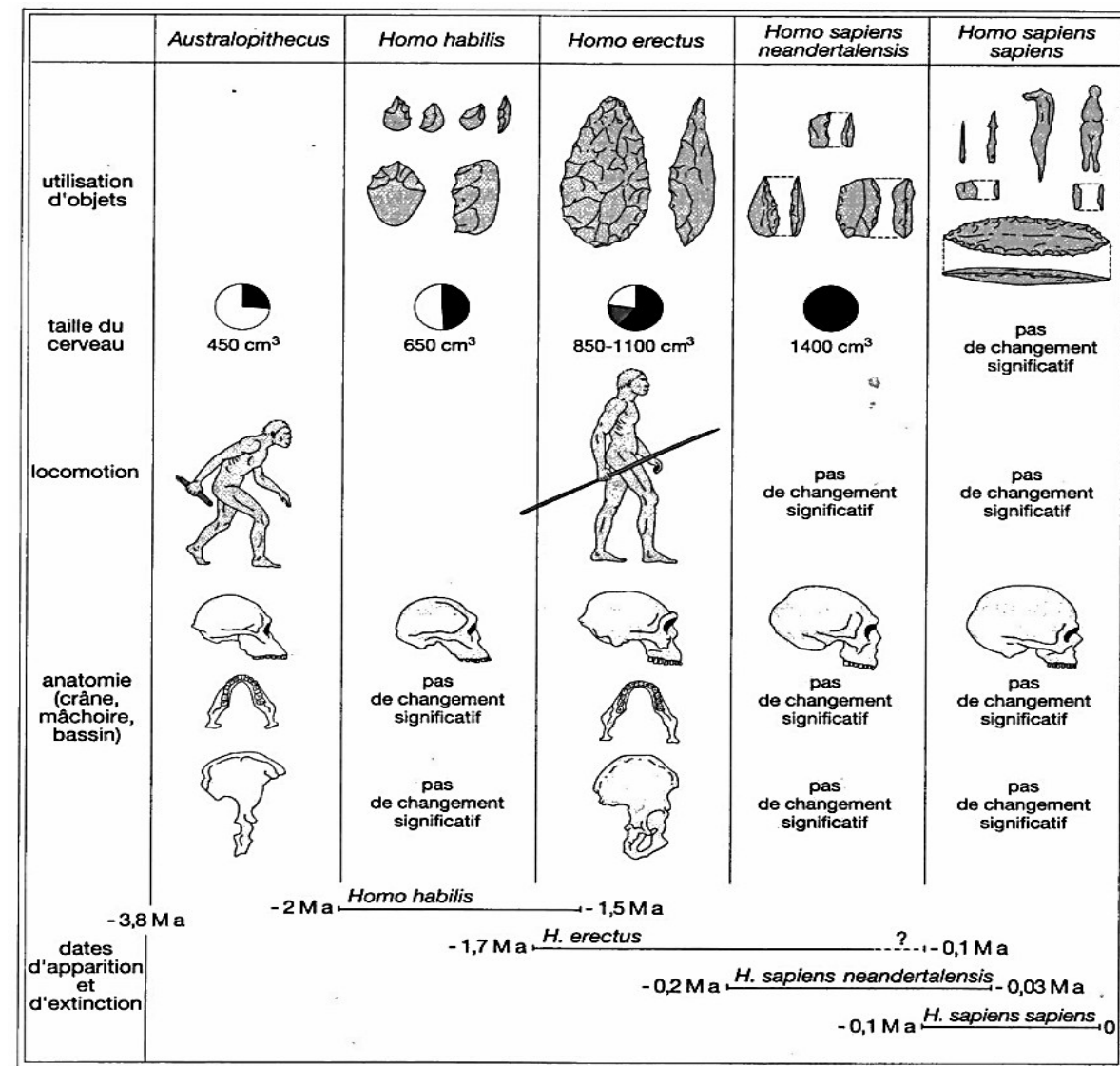
**Consigne :**

1. Comparer le squelette de l'Homme et celui du gorille.

- Quels sont les caractères qui ont permis la bipédie chez l'Homme.
- Pourquoi le gorille n'appartient pas à la lignée humaine.

### B) L'évolution du crâne et de l'encéphale.

L'anatomie du cerveau des différents Hommes fossiles est connue grâce à la mesure de la boîte crânienne et aux moulages endocrâniens. Le volume endocrânien ou capacité crânienne des Hommes est supérieur à celui des autres primates ( $> 450\text{cm}^3$ ). Les vaisseaux sanguins irriguant l'encéphale laissent des traces sur la face interne des os du crâne. On considère que plus une région est vascularisée, plus elle est active. Ces traces de vascularisation traduisent donc un développement cérébral plus ou moins important. On peut par exemple étudier la vascularisation de la zone du langage et déduire la capacité à produire un langage articulé. La vascularisation assez simple chez les australopithèques devient plus complexe chez l'Homme. Il y a un lien étroit entre le volume cérébral, la vascularisation et le développement des aires corticales chez les Hommes fossiles et actuels. Le document 3 représente quelques caractéristiques des différents Homininés.



Doc.3

### Consigne :

- Décrire l'évolution morphologique des crânes des différents Homininés.

2. Décrire l'évolution du volume crânien et de la vascularisation du cerveau des Homininés.
3. Pourquoi les australopithèques ne sont pas des Hommes ?

### C) La fabrication d'outils et la culture.

Le développement cérébral et psychique (pensé et conceptualisation) associé à la libération des mains par la bipédie, ont permis la création progressive d'objets de fonctions différentes :

Des objets à usage domestiques : outils, armes, ustensiles de cuisine, habitats et foyer (maîtrise du feu).

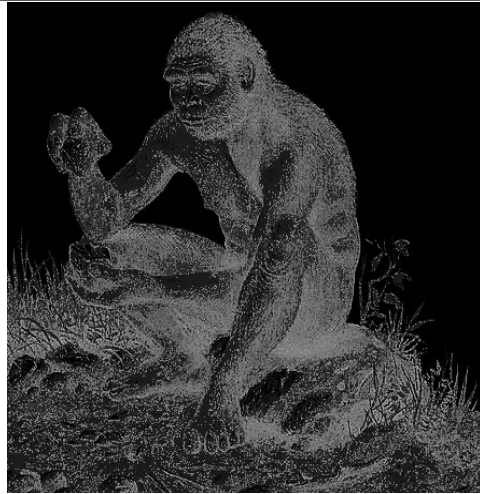
Des objets culturels et productions artistiques : sépultures, peintures, sculptures...

Ces inventions sont liées à l'évolution du mode de vie : nomade d'abord, puis progressivement sédentaire.

Le document 4 représente les caractéristiques des différents groupes (A), un Homo habilis (B) et un groupe d'Homo erectus (C).

|               | — 3 500 000                                          | — 2 500 000                                                                                     | — 1 500 000                                                                                                                                                                     | — 450 000                                                                                                                                        | — 35 000                                                                                                                                                                |
|---------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|               | AUSTRALOPITHÈQUES                                    | HOMO HABILIS                                                                                    | HOMO-ERECTUS                                                                                                                                                                    | HOMO-SAPIENS                                                                                                                                     | HOMO SAPIENS SAPIENS (Homme moderne)                                                                                                                                    |
| TYPE HUMAIN   | Lucy<br>Pré-humain<br>petit cerveau<br>1 mètre 20    | <br>1 mètre 30 | <br>Homme de Tautavel.<br>Cerveau moyen<br>1 mètre 65<br>Se tient droit.<br>Domestique le feu. | <br>Homme de Neanderthal.<br>Cerveau plus gros.<br>1 mètre 65 | <br>Homme de Cromagnon.<br>Gros cerveau<br>1 mètre 67<br>C'est notre ancêtre direct. |
| CONTINENT     | Afrique orientale                                    | Afrique                                                                                         | Afrique, Asie, Europe                                                                                                                                                           | Afrique, Asie, Europe.                                                                                                                           | Il vit dans le monde entier.                                                                                                                                            |
| HABITAT       |                                                      | Il vit dans des niches construites au sol ou dans les arbres                                    | Grottes, cavernes.<br>Abris en branchages.                                                                                                                                      | Grottes, cavernes.<br>Abris naturels.                                                                                                            | Tentes faites de défenses de mamouths et de peaux de bête.                                                                                                              |
| OUTILS        | pierres<br>bâtons                                    | Il fabrique des outils simples.<br>• galets aménagés                                            | Bifaces (galets en silex taillés sur ses 2 faces)<br>Racloir pour couper, racler les peaux de bêtes.<br>Pointes.                                                                | Outils plus perfectionnés (couteaux, perçoirs, borins, flèches pointues, lames...)                                                               | Outils variés et perfectionnés (sagaies, harpons, propulseurs...)                                                                                                       |
| NOURRITURE    | racines, fruits, viande crue, insectes, chenilles... | Omnivore                                                                                        | Omnivore<br>Il peut cuire la viande.                                                                                                                                            | //                                                                                                                                               | //                                                                                                                                                                      |
| ACTIVITES     |                                                      | Chasse<br>Cueille                                                                               | Le premier qui façonne ses outils.<br>Chasse.<br>Cueille.<br>Pêche.                                                                                                             | Façonne ses outils.<br>Cueille.<br>Chasse de gros animaux.<br>Aménage les premières tombes.                                                      | Perfectionne les outils.<br>Travaille l'os, sculpte.<br>Maîtrise l'art de dessiner.<br>Coud des vêtements de peau.                                                      |
| PARTICULARITE | Ce sont des pré-humains                              | Ce sont les premiers hommes.<br>Premiers outils (preuve d'intelligence)<br>Nomade               | Le premier découvert sur le sol français.<br>Domestique le feu.<br>Nomade.                                                                                                      | Le premier à enterrer les morts.<br>Nomade.                                                                                                      | Domestique les<br>Grand chasseur.<br>Nomade.                                                                                                                            |

A



Document 4

**Consigne :**

1. Décrire l'évolution de l'outillage des différents groupes d'hominidé.
2. Quelle est l'espèce qui a découvert le feu et celle qui a été la première à quitter l'Afrique ?
3. Quelle est l'espèce qui a commencé à enterrer ses morts ?

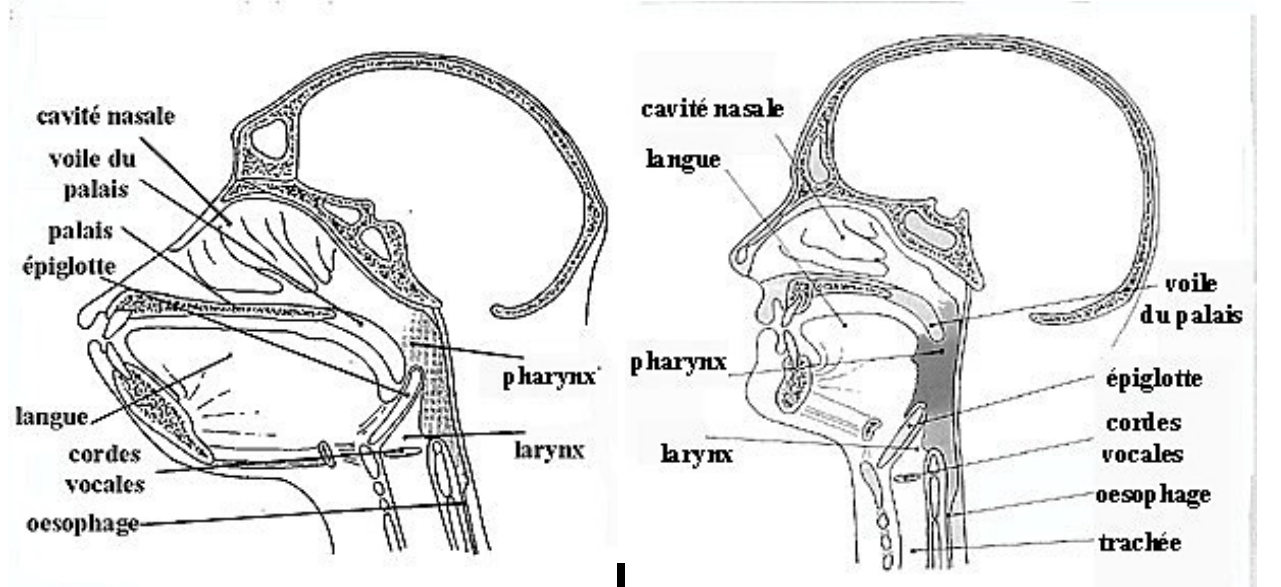
**D) Acquisition du langage articulé.**

Le larynx permet de produire différents sons en fonction de la tension des cordes vocales. Ces sons sont plus ou moins amplifiés et modulés par le pharynx.

Chez l'Homme, la position basse du larynx augmente l'espace disponible pour le pharynx qui devient alors une véritable caisse de résonance qui module et amplifie les sons émis. Chez les singes, la position haute du larynx laisse peu d'espace au pharynx, ce qui ne permet pas au pharynx de moduler les sons émis.

Les australopithèques avaient sans doute un appareil vocal proche de celui des singes. Le larynx d'Homo erectus a commencé à descendre et on pense qu'il est le premier à avoir un langage articulé. Cette évolution met en jeu des centres cérébraux moteurs (pour l'émission du langage) et sensoriels (pour la compréhension du langage). Ces centres sont localisés dans les lobes frontaux et pariétaux du cerveau.

Le document 5 représente la comparaison des appareils vocaux de l'Homme et du gorille.



**Document 5**

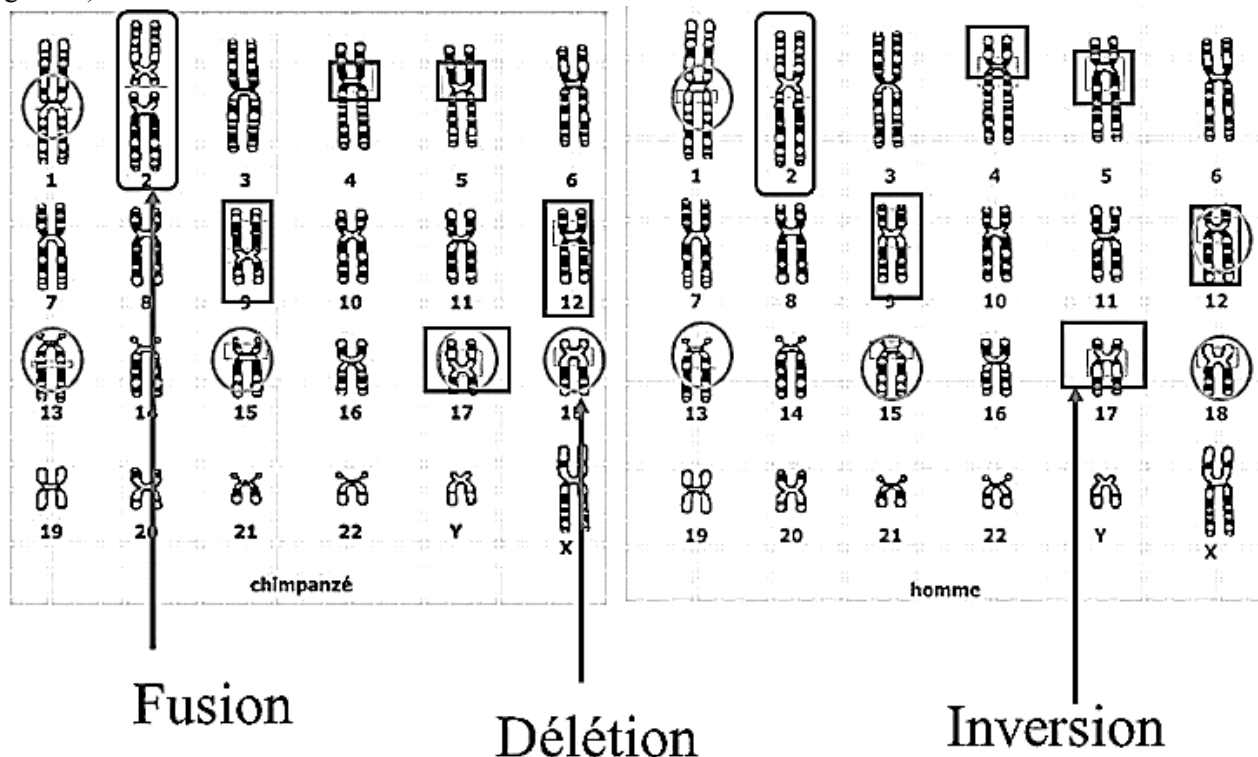
**Consigne :**

1. Comparer l'appareil vocal de l'Homme et celui du gorille.
2. Pourquoi le gorille n'a pas de langage articulé ?
3. Quel autre mécanisme est impliqué dans l'acquisition du langage articulé.

**Activité 3 : Données permettant d'établir les liens de parentés et l'arbre phylogénique des Hominidés.**

**A) Données chromosomiques.**

Le séquençage des génomes de l'homme et du chimpanzé a révélé une identité de plus de 99 %. Ainsi, les études génétiques et l'observation du développement de l'homme et de son plus proche parent permettent de comprendre comment se construisent leurs phénotypes différents à partir d'un patrimoine génétique très proche. Le document 6 représente le demi-caryotype de l'Homme (à droite) et celui du chimpanzé (à gauche).



**Document 6**

**Consigne :**

1. Combien de paires de chromosome sont morphologiquement identiques. Lesquelles ?
2. Combien de paires de chromosome sont morphologiquement différentes ? Lesquelles ?
3. Expliquer la différence du nombre de chromosome des deux espèces.

**B) Données moléculaires.**

La NAD déshydrogénase est une enzyme qui sert à la production de l'énergie dans les mitochondries. Comme chez tous les vertébrés, elle se trouve chez l'Homme, le chimpanzé, le gorille et l'orang-outang. En tant que protéine, elle est codée par un gène qui a 79 codons, soit 237 nucléotides. En comparant 2 à 2 tous

ces nucléotides chez les quatre primates ci-dessus, on s'est rendu compte qu'un certain nombre de codons était identiques pour deux espèces. (Voir Doc.7)

|                     | <b>Homme</b> | <b>Chimpanzé</b> | <b>Gorille</b> | <b>Orang-outang</b> |
|---------------------|--------------|------------------|----------------|---------------------|
| <b>Homme</b>        | <b>x</b>     | <b>20</b>        | <b>15</b>      | <b>0</b>            |
| <b>Chimpanzé</b>    |              | <b>x</b>         | <b>17</b>      | <b>1</b>            |
| <b>Gorille</b>      |              |                  | <b>x</b>       | <b>1</b>            |
| <b>Orang-outang</b> |              |                  |                | <b>x</b>            |

Doc.7

**Consigne : à partir des données du document 7 :**

1. Laquelle de ces espèces est plus proche de l'Homme ? Justifier.
2. Laquelle de ces espèces est plus éloignée de l'Homme ? Justifier.
3. Déterminer l'ordre d'apparition de ces quatre primates et illustrer ta réponse par un arbre phylogénique.

### **Synthèse générale :**

Si la lignée humaine n'est actuellement représentée que par une seule espèce, plusieurs espèces d'Homininés se sont succédées durant quatre millions d'années.

On parle de lignée humaine parce que ces différents genres et espèces ont dérivé les uns des autres par évolution (mutation, sélection...).

Les Homininés correspondent à une famille regroupant deux genres, apparus successivement sur la Terre et caractérisés par la bipédie :

- le genre Australopithecus (plusieurs espèces en Afrique de l'est et du sud) ;
- le genre Homo (plusieurs espèces) en Afrique d'abord, puis sur les autres continents.

Ils sont actuellement représentés par un seul genre et une seule espèce : Homo sapiens.

### **Origine de l'Homme**

Tous les plus anciens fossiles de la lignée humaine ont été découverts en Afrique. On peut donc supposer que c'est en Afrique que la lignée humaine fait son apparition, dans une population à ancêtre communs aux Hommes et aux chimpanzés. L'évolution de l'Homme est marquée par : l'acquisition de la bipédie ; augmentation du volume de l'encéphale, la fabrication d'outils et l'acquisition du langage articulé.

### **Les critères de l'hominisation :**

**La bipédie :** liée à certaines modifications du squelette (bassin court et large, trou occipital centré, courbures de la colonne vertébrale).

**L'évolution de l'encéphale :** le volume crânien augmente progressivement des australopithèques (400cm<sup>3</sup>) à l'Homo sapiens (1400cm<sup>3</sup>) et la vascularisation devient de plus en plus complexe.

**La fabrication d'outils :** elle commence avec l'Homo habilis qui fabrique des outils très simples (galets aménagés) et l'outillage devient de plus en plus perfectionné et diversifié.

**L'acquisition du langage articulé :** elle est due à la position basse du larynx qui laisse suffisamment d'espace au pharynx qui amplifie et module les sons émis.

### **Données permettant d'établir les liens de parentés et l'arbre phylogénique des Hominidés.**

#### **Les données chromosomiques :**

La comparaison du caryotype de l'Homme actuel et des singes anthropomorphes montre de grandes similitudes. Le caryotype du chimpanzé comporte 48 chromosomes alors que celui de l'Homme en a 46. Les deux caryotypes présentent une grande similitude indiquant une étroite parenté entre les deux espèces et montrant qu'elles possèdent un ancêtre commun.

#### **Les données moléculaires :**

La comparaison du nombre de mutations communes à deux espèces permet d'évaluer leur degré de parenté. L'Homme et le chimpanzé présentent le plus grand nombre de mutations communes, ils sont les espèces les plus proches.

## Sous-concept 4 : La géologie du Mali

### Pré-évaluation :

Qu'est-ce que la géologie régionale ?

Quels sont les types de formations rocheuses qu'on rencontre au Mali.

### Situation problème :

Notre Territoire nous offre une surface limitée où vit une importante population et exigeante en subsistances naturelles et en matière énergétique. Les diverses études faites au Mali ont permis de reconnaître un certain nombre d'ensembles correspondant à de véritables provinces géologiques caractérisées par leurs stratigraphie et leur pétrographie, mais aussi ont permis la découverte et l'exploitation de divers ressources naturelles.

Quels sont les grands ensembles géologiques du Mali et leurs constitutions ?

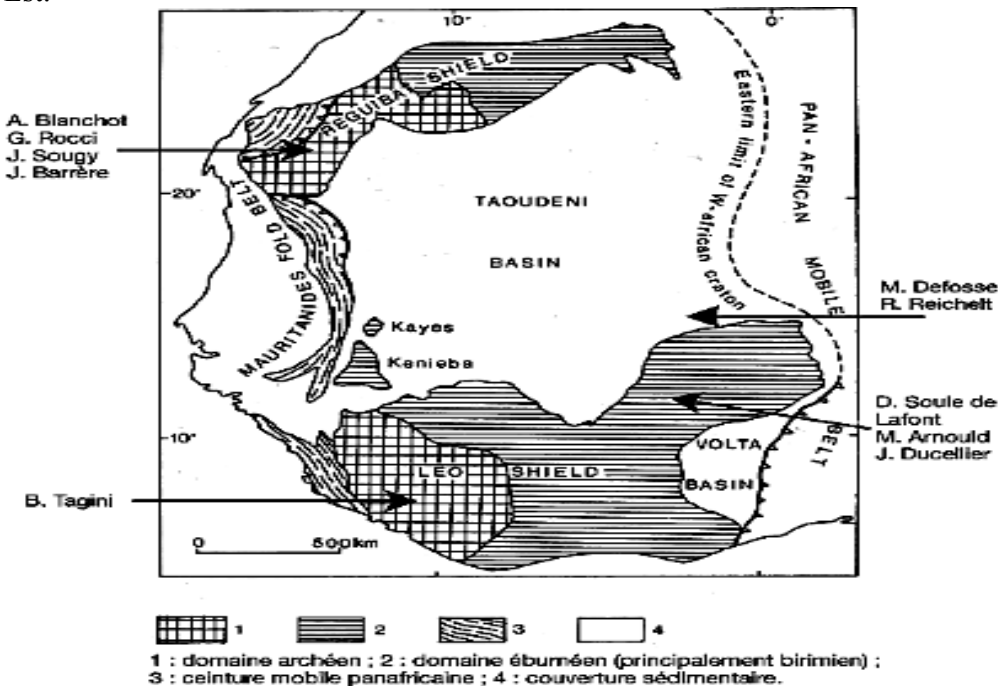
Quelles sont les ressources exploitées au Mali et les conséquences de leurs exploitations ?

### Activité 1 : Situation géologique du Mali

Le craton Ouest africain est formé par l'assemblage de chaînes arasées largement granitisées qui appartiennent au Précambrien ancien. Sur ce craton s'installe à partir du précambrien supérieur et pendant la plus grande partie du Primaire, un immense bassin marin subsident, le bassin de Taoudéni et ses prolongements, bordé localement par des sillons dont des dépôts épais volcano-sédimentaires ou uniquement sédimentaires, ont été plus ou moins profondément transformés et plissés lors de plusieurs orogénèses. Après une période d'**émersion**, un nouveau bassin se dessine dans la partie centrale et orientale de la plate-forme ouest-africaine : à partir du Jurassique et jusqu'au Néogène alternant influences marines et continentale. Au quaternaire, des dépôts lacustres éoliens anciens ou fluviaux forment d'importantes accumulations, tandis que les sédiments marins viennent relayer les dépôts du continental dans les bassins côtiers. Enfin des formations dunaires recouvrent de larges étendus dans la zone saharienne. (Doc.1)

Un craton (du grec *kratos* - force) est une partie ancienne et stable de la lithosphère continentale possédant une identité géologique, notamment en ce qui concerne la nature des roches.

En effet, le Mali est située à cheval sur le craton Ouest africain à l'Ouest et le bouclier Touareg à l'Est.



Doc.1

Consigne : à partir du texte et du document 1 :

1. Quelle est la situation géologique du Mali ?
2. Quelles sont les grands ensembles du craton Ouest-africain ?

**Activité 2 : Les grands ensembles géologiques du Mali.**

Les formations géologiques qui affleurent dans les principales régions géologiques du Mali se répartissent en trois grands ensembles : le socle, la couverture sédimentaire et les formations récentes du quaternaire.

**Le socle :**

C'est l'ossature du sous-sol. Celui du Mali appartient au craton de l'ouest africain et plus précisément au bouclier éburnéo-libérien, formé à la suite de l'orogénèse éburnéenne. Il est constitué de :

- ✓ Formations métamorphiques plissées où l'on distingue d'anciennes roches volcaniques apparentées aux dolérites, gabbros, andésites, basaltes et d'anciennes roches sédimentaires (schistes, micaschistes, grauweekes, cipolins, gneiss, quartzites métamorphiques).
- ✓ Formations granitiques, datées de 1850-2095 millions d'années, mises en place au cours du cycle éburnéen.

Ces formations du socle d'âge birrimien, contiennent des gisements ou indices d'or, de lithium, de nickel et de cuivre.

Le craton est représenté au Mali par les fenêtres de Kayes et de Kéniéba à l'Ouest, l'extrémité Nord de la dorsale de Man au Sud dans la zone de Bougouni. Il affleure au Nord-Est dans l'Adrar des Iforas où il a subi en même temps que les formations infracambriennes, la remobilisation de l'orogénèse panafricaine.

**La couverture sédimentaire :**

Soumises à une longue érosion, les chaînes birrimiennes sont en grande partie démantelées. Les matériaux résultants de cette destruction remplissent bassins et fosses et constituent à partir du Précambrien supérieur la couverture sédimentaire. Les formations sédimentaires occupent 2/3 du pays. Déposées dans la vaste synéclyse de Taoudéni, elles prennent les dénominations suivantes :

L'infracambrien, pour les sédiments du précambrien ; paléozoïque pour les sédiments du primaire ; continental intercalaire pour ceux du secondaire ; le crétacé supérieur et le continental terminal pour les sédiments du tertiaire et le quaternaire pour les sédiments du quaternaire.

✓ **L'infracambrien**

Ces formations affleurent sur une large auréole sur la bordure Sud du Bassin de Taoudéni en discordance majeure sur les formations du socle. Elles sont représentées par des sédiments à dominance gréseuses d'épaisseurs très variables. Au Gourma, les faciès deviennent plus schisteux.

✓ **Le Paléozoïque :**

Ces formations sont surtout présentes à l'Ouest à la frontière avec la Mauritanie et au Nord. Elles sont surtout constituées de pélites, de grès feldspathiques dans le fossé de Nara, d'âge supposé Cambrien.

✓ **Le continental intercalaire :**

Il est représenté par des dépôts gresso-sableux à passé conglomératique et d'argile bariolée. Elles affleurent au Nord, au Nord-Est et à l'Ouest du pays. La série est supposée Jurassique.

✓ **Les formations du tertiaire :**

Le crétacé supérieur est représenté par des sédiments marins localement lagunaire dans le détroit soudanais, le bassin des Lullemenden et en bordure de l'Adrar des Iforas. Les faciès calcaires et marno-calcaire sont prédominants à la base. La partie supérieure est constituée de sédiments sablo-argileux d'origine lagunaire ou continentale. Le continental terminal d'âge oligo-mio-pliocène est formé de grès et de sable peu consolidés. Il affleure dans le fossé de Nara.

✓ **Les formations récentes du quaternaire.**

Le quaternaire a été marqué par de profonds changements des climats qui ont eu pour conséquences, la latérisation, la silicification et la formation des Sebkas. Les latérites et les cuirasses ferrugineuses se sont surtout développées sur les plateaux gréseux et le socle. Des tufs lacustres et des dépôts de sebkas se rencontrent localement en zone saharienne. Les plus connus sont les salines de Taoudéni exploitées depuis le moyen âge. Les alluvions quaternaires occupent la cuvette nigérienne et au Nord du 10<sup>ème</sup> parallèle, s'étendent de vastes superficies de sables dunaires fixes ou mobiles.

La figure 2 représente la carte géologique du Mali.

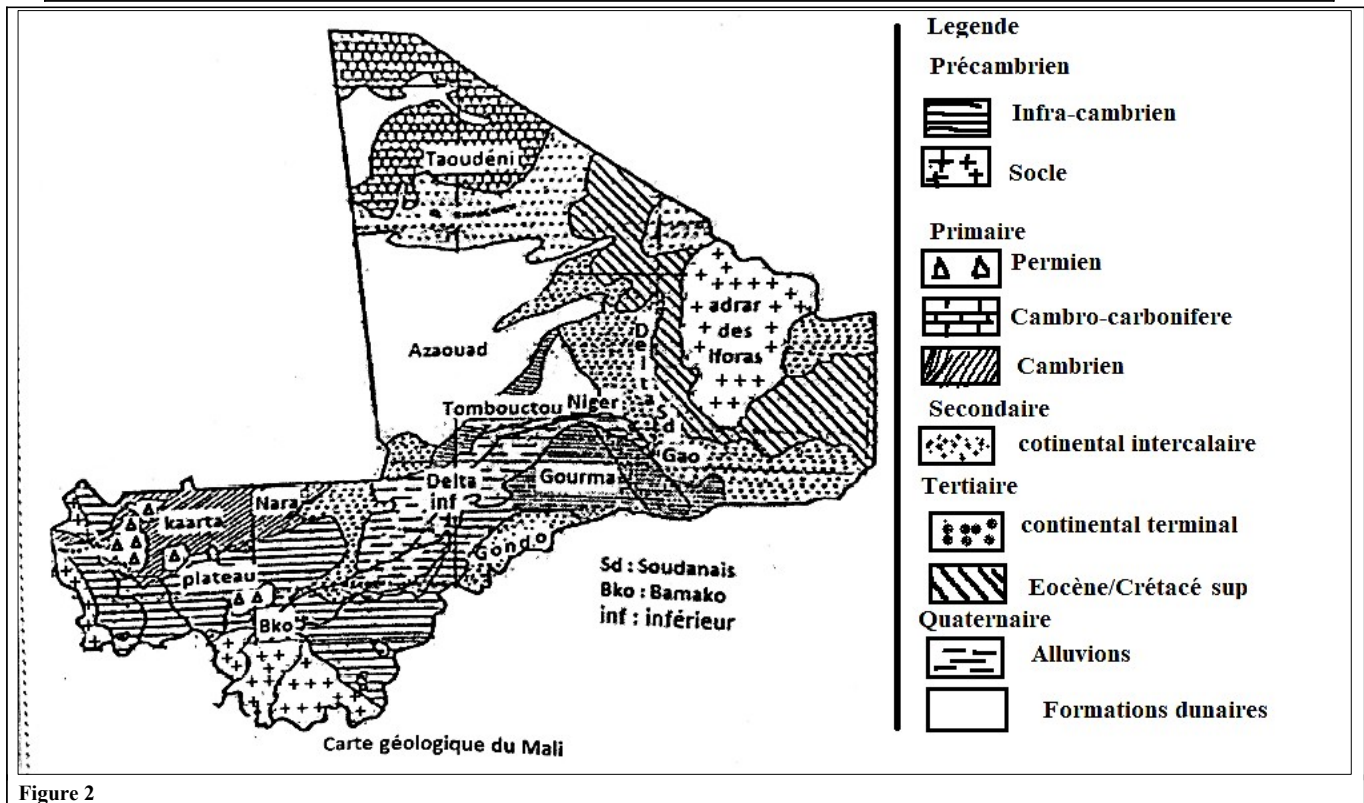


Figure 2

**Consigne :** à partir du texte et de la figure 2 :

1. Citer les grands ensembles géologiques du Mali.
2. Citer les affleurements du socle au Mali.
3. A quelle période géologique appartient le socle ?
4. Colorer en rouge sur la carte, la zone de l'infacambrien située entre Gao et le gourma.
5. Colorer en jaune les zones d'affleurement du socle sur la carte.

### Activité 3 : La stratigraphie régionale.

Suivant les régions et la disposition des couches sédimentaires, on distingue :

#### • Le Mali occidental : Kayes-Bamako-Nara-Ségou.

Les formations géologiques qui affleurent se répartissent en quatre ensembles :

- ✓ Le socle précambrien au Nord et au Sud de Kayes et Bamako.
- ✓ Les formations sédimentaires primaires constituant le plateau manding.
- ✓ Un recouvrement du continental terminal dans les régions plus au Nord.
- ✓ Des intrusions doléritiques avec pour caractéristiques lithographiques :

#### A Dinguira (région de Kayes) : de haut en bas :

Des alluvions ; schistes ardoisés du cambrien ; jaspes et dolomites du cambrien ; tillites du cambrien ; série gréseuse de l'infacambrien ; socle granitique.

#### De Nara à Bamako : de haut en bas :

Série gréseuse de Koulouba (claire) ; série gréseuse de de Sotuba (vert bleu glauconien) ; série de Nara (schiste, jaspe calcaire) ; tillites ; série de base (grès feldspathiques).

#### • Le Mali méridional (Sud) : C'est la région s'étendant entre Sikasso et Gao.

**La zone de Sikasso-Mopti : on distingue de haut en bas :**

Grès de Bandiagara (massif, dure, siliceux et conglomératique) ; grès de Koutiala surmonté d'une cuirasse latéritique ; schiste de Toun (tendre) ; grès de Bobo-Dioulasso (jaunes argileux) ; grès de Sikasso, (glaucien, bleu, violet) ; grès de base (grossier) ; socle précambrien granitique.

**Bandiagara : de haut en bas on distingue :**

Grès massif siliceux de Bandiagara (ordovicien) ; grès conglomératiques du cambrien ; grès de Sotuba (glaucien, bleu violet du cambrien) ; socle granitique de l'infacambrien.

• **Le Mali oriental (Est) :**

Le haut Tilemsi : on distingue de haut en bas :

Les cuirasses ferrugineuses ; argiles ; grès du continental terminal ; schiste ; poudingues phosphatés ; calcaires marins de l'éocène inférieur ; sable et grès ; calcaire marin ; grès du continental intercalaire ; socle granitique de l'antécambrien.

• **La Mali septentrional (Nord)**

On distingue de haut en bas :

Grès et argile ; calcaire marin du carbonifère supérieur ; calcaire et schistes du dévonien ; grès de l'ordovicien ; grès de schistes du cambrien ; socle granitique de l'infacambrien.

**Consigne : à partir du texte :**

1. Citer les grands ensembles régionaux du Mali.
2. Comment appelle-t-on la partie qui renferme Taoudéni et quelle est sa structure lithographique ?
3. Quelle est la région dont la structure lithographique est la suivante : Les cuirasses ferrugineuses ; argiles ; grès du continental terminal ; schiste ; poudingues phosphatés ; calcaires marins de l'éocène inférieur ; sable et grès ; calcaire marin ; grès du continental intercalaire ; socle granitique de l'antécambrien ?

**Activité 3 : le cadre hydrogéologique du Mali**

Les formations hydrogéologiques du Mali se distinguent selon le type de gisement en deux catégories : les formations à porosité primaire (aquifères de types généralisés) et les formations à porosité secondaire (aquifères de types fissuré).

**Les aquifères de types généralisés :**

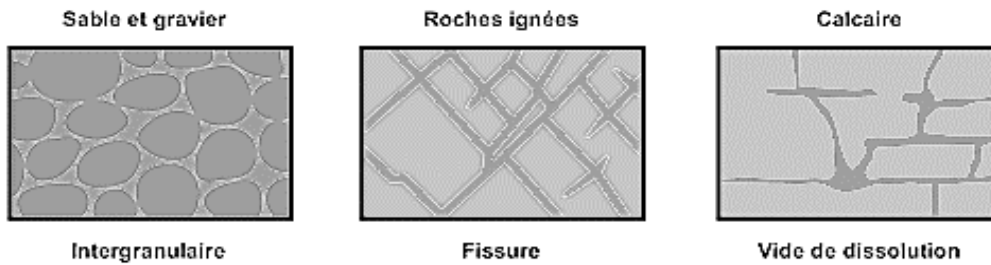
Ces aquifères caractérisés par une porosité inter granulaire sont des nappes continues couvrant 51% de la superficie du Mali. Ils sont constitués par des formations essentiellement détritiques d'origine continentale déposées au secondaire et au tertiaire dans de vastes bassins sédimentaires.

**Les aquifères fissurés :**

Ils sont caractérisés par de très faibles perméabilités intrinsèques ou primaires. Les ressources en eau sont essentiellement associées à des perméabilités secondaires provenant de la fissuration de la partie profonde des formations et de l'altération de leur partie supérieure. Ces aquifères se rencontrent ailleurs sur le territoire du Mali excepté dans le delta intérieur du Niger et dans la zone Nord.

La figure 3 indique la localisation schématique des différents types d'aquifère du Mali.

### Principaux types de porosité



Où peut-on trouver de l'eau souterraine? L'eau occupe les interstices des grains de sable, les fissures des roches et les vides de dissolution.

fig.3A

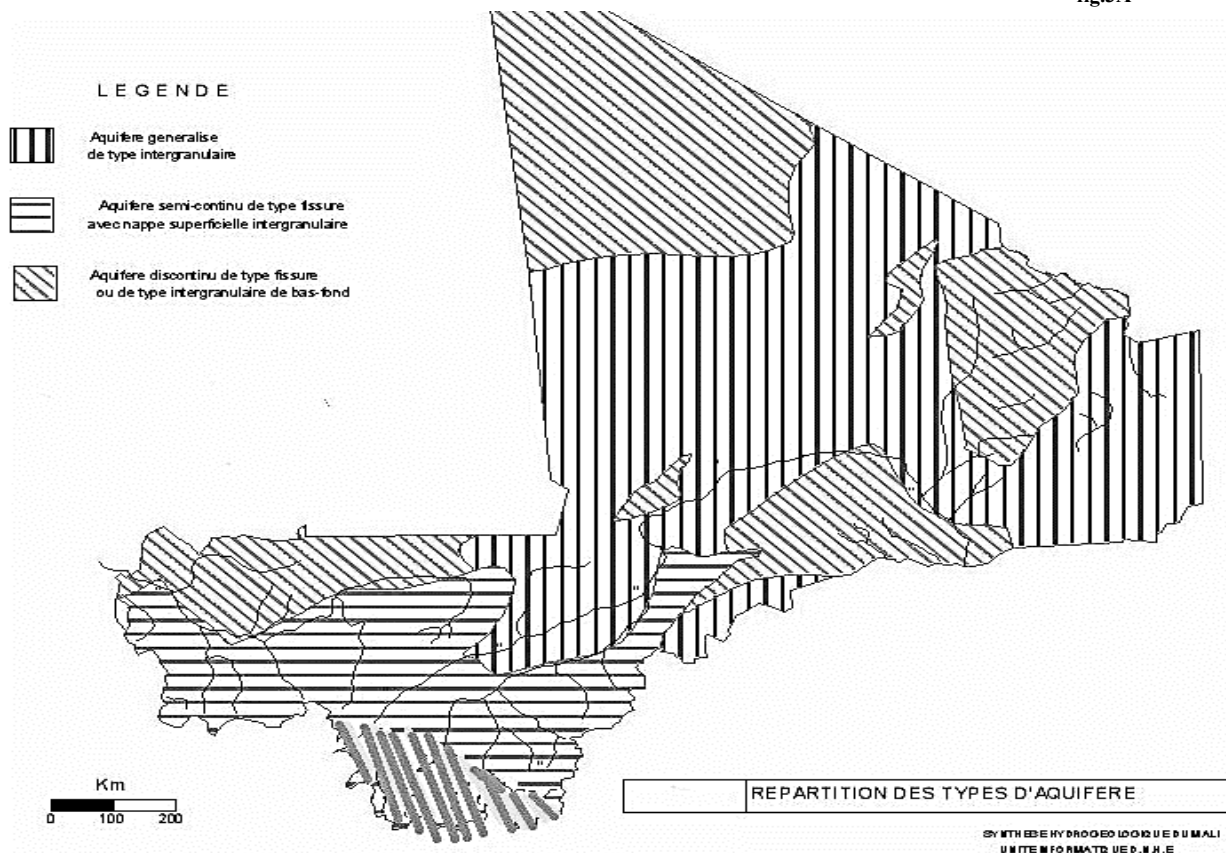


Fig.3B

**Consigne : à partir du texte et de la figure 3 :**

1. Définir une nappe aquifère.
2. Comment se forme une nappe souterraine ?
3. Citer les différents types d'aquifère au Mali.
4. Citer quelques importances des nappes aquifères.
5. Quel est le type de nappe qui fournit une eau plus propre ? justifier.

#### Activité 4 : perspectives minières et hydrogéologiques du Mali.

Au Mali malgré les nombreux indices mis en évidence en maints endroits du territoire, les ressources exploitées du sous-sol demeurent en dessous des espérances.

En plus des barrages hydro-électriques existants (Sélingué, Manantali) du barrage hydraulique de Markala, et des centrales thermiques (Sotuba et Felou), on a :

La construction à long terme de barrages sur le Niger (Tossaye et Labbézanga) ;

Aménagement des cours d'eau et zones irriguées à grande échelle ;

Aménagement d'un plus grand nombre de petits barrages de retenue d'eau à travers tout le pays.

Plusieurs ressources comme le fer, les salines de Taoudéni, les phosphates de Tilemsi, l'or dans de nombreuses localités sont exploitées.

Le ciment provient du marbre qui est une roche sédimentaire détritique argilo-calcaire. Il est exploité dans la région de Kayes (Diamou) et dans la région de Koulikoro (Nara).

Toute fois l'exploitation de ces ressources a plusieurs conséquences que ce soit positive (sur notre économie) ou négatives (sur notre environnement).

La figure 4 représente la répartition des ressources minières du Mali.

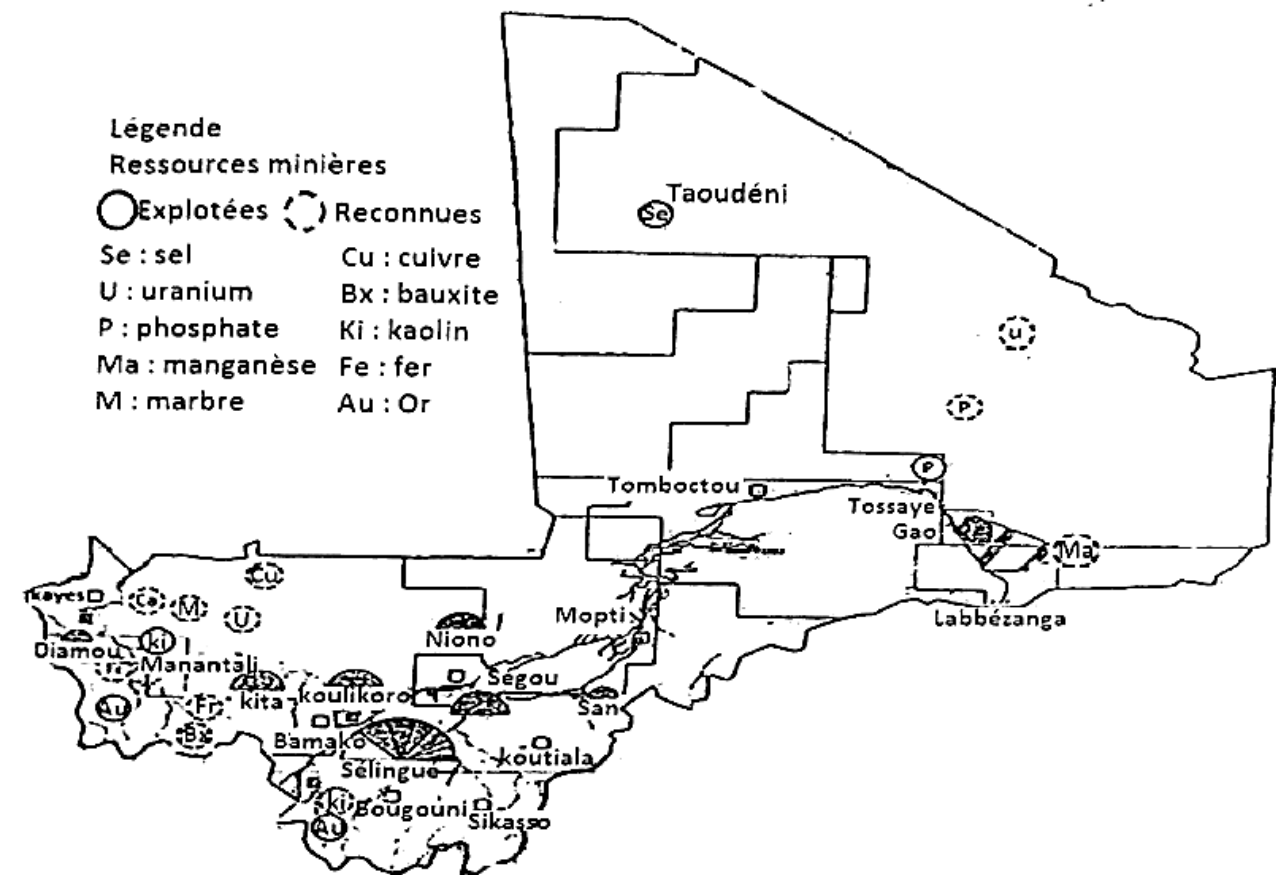


Figure 4

**Consigne : à partir de l'analyse du texte et de la figure 4 :**

1. Recenser les barrages du Mali ? Lesquels sont déjà fonctionnels ?
2. Recenser les ressources minières du Mali. Lesquelles sont exploitées ?
3. Quelles sont les conséquences de l'exploitation des ressources minières ?

## Synthèse générale

### 1. Les grands ensembles géologiques du Mali :

On distingue :

**Le socle** : c'est l'ensemble des terrains anciens, hors sismique qui forment la base des continents. Il est constitué par des roches magmatiques et métamorphiques d'âge précambrien.

**La couverture sédimentaire** : les chaînes birrimiennes soumises à une longue érosion, sont en grande partie démantelées. Les matériaux résultants de cette destruction remplissent bassins et fosses et constituent à partir du Précambrien supérieur la couverture sédimentaire. Les formations sédimentaires occupent 2/3 du pays. Déposées dans la vaste synéclyse de Taoudéni, elles prennent les dénominations suivantes :

L'infrcambrien, pour les sédiments du précambrien ; paléozoïque pour les sédiments du primaire ; continental intercalaire pour ceux du secondaire ; le crétacé supérieur et le continental terminal pour les sédiments du tertiaire et le quaternaire pour les sédiments du quaternaire.

#### Les formations sédimentaires récentes :

Le quaternaire a été marqué par des profonds changements climatiques favorisant la formation :

Des latérites : sol de couleur rouge résultant de la décomposition des roches.

Des tufs : roches poreuses formées de cendres volcaniques ou de dépôts de calcaires.

Des dépôts de sebkhas : lac d'eau salée.

Des alluvions : dépôts de matériaux et de résidus laissés par l'eau en se retirant.

### 2. La stratigraphie régionale :

Suivant les régions et la disposition des couches sédimentaires, on distingue :

Le Mali occidental : Kayes-Bamako-Nara-Ségou.

Le Mali méridional (Sud) : C'est la région s'étendant entre Sikasso et Gao.

Le Mali oriental (Est) : Le haut Tilemsi

La Mali septentrional (Nord) : Taoudéni

### 3. Le potentiel minier du Mali :

En plus de l'or, d'autres ressources existent dans le pays parmi lesquelles on a :

Le diamant : dont l'existence est avérée dans une vingtaine de pipes de kimberlite dans la zone minière de Kéniéba, dans la région de Kayes.

Le manganèse : avec environ 20 millions de tonnes de ressources prouvées auxquelles est associé l'or.

Le fer : estimé à 1 milliard 360 millions de tonnes dans les secteurs de Kita et Narena.

Le plomb : dans les secteurs de Tessalit et Tamanrasset avec 1million 700 milles tonnes.

Le cuivre, le gypse, le Nickel, la platine dont les indices ont été retrouvés respectivement à Nioro, Kadiolo et au Nord de Taoudéni.

Le calcaire à Bafoulabe et à Hombori totalisant 50 millions de tonnes de ressources très approprié pour la fabrication du ciment, de la chaux vive et des carreaux. Les réserves sont évaluées à plus de 122 millions de tonnes répartis dans plusieurs localités.

Le marbre au Nord se Bafoulabe avec plus de 10 millions de tonnes.

La bauxite à l'Est et au Sud-ouest avec un potentiel de plus de 1 milliard de tonne.

Le phosphate : véritable engrais naturel pour l'agriculture, constitue une réserve prouvée à 20 millions de tonnes à Tamaguilett dans la préfecture de Bourem, région de Gao.

L'étain, le lithium, le Kaolin, les pierres ornementales, l'argile, les sables de verrerie dans le lac Faguibine et les bassins sédimentaires, favorables pour la recherche et l'exploitation des pétroles et gaz.

Cependant, parmi toutes ces ressources citées, seul l'or es connait de nos jours une exploitation artisanale et industrielle intense, matérialisée par l'existence de nombreux placers et de mines industrielles.

## Lexique

**Ablation** : Action d'enlever du corps un de ses organes ou une formation pathologique

**Accepteur** : Substance qui reçoit une autre substance et se combine à elle ; plus spécifiquement, substance capable d'accepter l'hydrogène (accepteur d'hydrogène) ou l'oxygène au cours des réactions d'oxydation biologique.

**Accrétion terrestre** : selon certaines hypothèses, formation de la Terre à partir d'un noyau primitif par l'agglomération, sous l'effet de l'attraction newtonienne, de météorites, astéroïdes, etc.

**Acétylcoenzyme A** : Composé essentiel dans le métabolisme intermédiaire, dans le catabolisme des glucides, des lipides et des protides. Il sert de précurseur à la synthèse des acides gras et des stéroïdes

**Acinus** : Petite cavité glandulaire arrondie en forme de cul-de-sac, se déversant dans un canal excréteur.

**Acquis** : Qui n'est pas congénital, mais apparaît après la fécondation.

**Actine** : Protéine du système contractile musculaire et tout particulièrement du muscle qui, combinée à la myosine A, constitue l'actomyosine, responsable de la contraction musculaire.

**ADH** : Abréviation pour antidiurétique hormone, désignant la vasopressine.

**ADN** : Abréviation de l'acide désoxyribonucléique. Polymère de poids moléculaire élevé, constitué d'une double chaîne spirale où alternent des groupements de désoxyribose et des phosphates, les deux chaînes étant antiparallèles et réunies par des bases puriques et pyrimidiques. Le nucléotide, unité primaire de l'ADN, est formé par trois constituants : désoxyribose, phosphate, base purique. L'ADN sert à stocker les informations déterminées par la séquence des nucléotides dans la chaîne poly nucléotidique.

**Adénosine** : Nucléoside formé par l'union d'une molécule d'adénine (base purique) et d'une molécule de D-ribose.

**Adénosine di phosphate (ADP)** : Nucléotide qui contient deux acides phosphoriques, formé par hydrolyse de l'ATP avec libération d'énergie.

**Adrénaline** : Hormone sécrétée par la médullosurrénale. Elle agit en stimulant les récepteurs adrénergiques postsynaptiques du système orthosympathique.

**Aérobiose** : Vie dans un milieu contenant de l'air ou de l'oxygène libre.

**Affleurement** : Partie d'un terrain visible à la surface de la Terre. Sur les cartes géologiques, les affleurements sont généralement limités par des traits fins qui sont les contours géologiques.

**Agglutination** : Groupement en petits amas de cellules ou de microorganismes porteurs d'un antigène (agglutinogène), en suspension dans un liquide en présence de l'anticorps spécifique (agglutinine) correspondant.

**Albumen** : Tissu riche en matières nutritives dans les graines végétales.

**Albinisme** : Absence congénitale, partielle ou totale, de pigment mélanique dans la peau, le système pileux et les yeux, se transmettant suivant le mode dominant autosomique pour l'albinisme partiel, récessif autosomique pour l'albinisme total ou lié au sexe pour l'albinisme oculaire. Il est dû à une anomalie du métabolisme de la mélanine.

**Algues** : Végétaux aquatiques, marins ou d'eau douce, souvent fossilisés quand ils s'incrustent de calcaire ou de silice.

**Allergène** : Antigène d'origine animale ou végétale capable de provoquer une réaction allergique.

**Allergie** : État de sensibilité spécifique, pathologiquement exagérée, à une substance antigénique, se manifestant après au moins deux contacts avec ledit antigène.

**Allèle** : Chacun des deux gènes occupant un même locus sur les chromosomes homologues, de même fonction, mais exercée de façon différente. Il s'agit d'une des versions d'un même gène par ses séquences nucléotidiques.

**Dominant** (Allèle qui nécessite un seul locus pour s'exprimer). **Récessif** (Allèle qui nécessite deux loci pour s'exprimer).

**Allogreffe** : Greffe où donneur et receveur appartiennent à la même espèce et diffèrent par un ou plusieurs antigènes d'histocompatibilité.

**Alluvion** : Sédiment des cours d'eau, à granulométrie liée au débit, et composé de galets, de gravier et de sable en dépôts souvent lenticulaires, la fraction fine correspondant à des argiles et limons

**Altération** : Modification des propriétés physico-chimiques des minéraux, et donc des roches, par les agents atmosphériques, par les eaux souterraines et les eaux thermales.

**Amniocentèse** : Ponction de la cavité amniotique et prélèvement de liquide amniotique en vue d'une analyse. Son indication principale est la recherche d'anomalies chromosomiques ou enzymatiques graves.

**Ammonites** : Groupe de Céphalopodes Ammonoïdés caractérisé par la situation du siphon du côté ventral et le dessin des lignes de suture comportant des selles et des lobes découpés.

**Amnios** : Membrane mince tapissant tout l'intérieur de la cavité où se trouve le fœtus (cavité amniotique).

**Analogues** : structures ayant les mêmes fonctions, mais de structures et d'origines différentes.

**Anatoxine** : Toxine inactivée par l'action combinée du formol et de la chaleur, qui a perdu ses propriétés toxiques, mais qui conserve ses propriétés immunisantes.

**Anaérobiose** : Vie en milieu dépourvu d'air ou d'oxygène libre.

**Antécambrien** : Division stratigraphique équivalant au Précambrien.

**Antibiotique** : Toute substance, naturelle ou synthétique, capable d'inhiber le développement des bactéries.

**Anticodon** : Triplet de nucléotide de l'ARNt s'hybridant avec le codon homologue de l'ARN messager.

**Anticorps** : Complexe glycoprotéique, se liant spécifiquement à une substance appelée antigène, produit par les cellules lymphoïdes B (surtout les plasmocytes), généralement après contact avec ledit antigène.

**Antigène** : Substance qui, introduite dans un organisme, provoque la formation d'un anticorps spécifique. Les protéines et les polysaccharides de poids moléculaire élevé sont des antigènes forts.

**Anthropoïdes** : Groupe zoologique comprenant les singes et les Hominidés.

**Apoptose** : Mort cellulaire génétiquement programmée (suicide cellulaire).

**Arcade** : Structure anatomique de forme arquée. Terme général utilisé pour désigner des éléments de nature osseuse, fibreuse ou vasculaire.

**Aquifère** : Terrain perméable contenant une nappe d'eau souterraine.

**Archéen** : Période la plus ancienne des temps géologiques, antérieure à 2 500 ma.

**Archéoptéryx** : Oiseau primitif à caractères reptiliens (dents, griffes, écailles,...) du Jurassique sup.

**ARN** : Abréviation d'acide ribonucléique.

**Artère** : Chacun des vaisseaux qui conduisent le sang lancé par les ventricules du cœur, vers les organes

**Aster** : Structure en forme d'étoile qui entoure la sphère attractive au cours de la mitose.

**ATP** : Adénosine triphosphate. Energie chimique utilisable par les cellules.

**Atrophie** : Réduction du volume d'une cellule, d'un tissu ou d'un organe au cours de phénomènes physiologiques, ou de processus pathologiques.

**Auto-immunité** : Condition caractérisée par une réponse immunitaire dirigée contre les propres constituants d'un organisme. Ce phénomène est à l'origine de maladies auto-immunes parmi lesquelles certaines anémies hémolytiques, la thyroïdite d'Hashimoto, le lupus érythémateux systémique, etc.

**Autosome** : chromosome ne portant pas de gènes lié au sexe.

**Azoïque** : Protérozoïque (division stratigraphique du Précambrien).

**Bactérie** : Microorganisme unicellulaire appartenant au règne (ni végétal, ni animal) des Protistes procaryotes.

**Barorécepteur** : Récepteur nerveux sensible aux variations de la pression artérielle.

**Basalte** : Roche magmatique effusive ; roche grenue équivalente : gabbro) très commune, les basaltes, avec les andésites à pyroxène, constituant 95 % des laves continentales et océaniques.

**Bassin** : Dépression ovale ou circulaire, à fond plat ou concave, et largement évasée, à flancs en pente douce, de dimension très variable (du kilomètre à plusieurs milliers de kilomètres), qui est ou a été un lieu de sédimentation.

**Bauxite** : Roche sédimentaire ou résiduelle qui est un minerai d'aluminium.

**Biface** : Outil de pierre (silex en général) taillé sur ses deux faces, en forme d'amande ou de triangle allongé. Il caractérise particulièrement les industries du Paléolithique inf.

**Biologie** : Science de la vie ou étude des êtres vivants, animaux et végétaux, et des phénomènes qui régissent leur vie.

**Biopsie** : Prélèvement sur le corps vivant d'un fragment de tissu ou d'organe en vue d'un examen microscopique ou d'une analyse biochimique.

**Biosphère** : Partie du globe terrestre occupée par les êtres vivants.

**Biosynthèse** : Formation d'une substance chimique au cours du métabolisme, dans un organisme vivant.

**Biotechnologie** : ensemble des techniques utilisant les biomolécules comme l'ADN et les enzymes.

**Bouclier** : Vaste portion stable de socle ancien constitué surtout de roches magmatiques (granite,...) et de roches métamorphiques (gneiss,...) généralement d'âge précambrien, dépourvu de couverture sédimentaire.

**Brassage inter-chromosomique** : répartition aléatoire des chromosomes au cours de la méiose.

**Brassage intra-chromosomique** : échange entre chromatides homologues par crossing-over au cours de la méiose.

**Calcaire** : Roche sédimentaire carbonatée contenant au moins 50% de calcite  $\text{CaCO}_3$  pouvant être accompagnée d'un peu de dolomite, d'aragonite, de sidérite.

**Cancer** : Tumeur maligne. Le cancer résulte d'un déséquilibre dans les mécanismes de croissance et de multiplication cellulaire. La cellule cancéreuse se caractérise par des anomalies nucléaires avec mitoses fréquentes et anarchiques.

**Caractère** : Ensemble des propriétés morphologiques et physiologiques qui différencient un organisme des autres.

**Caractères sexuels primaires** : mises en place des gonades, voies génitales et glandes annexes.

**Caractères sexuel secondaire** : ensemble de caractères sexuels masculin et féminin développés à partir de la puberté (voix, pilosité, glandes mammaires, morphologie du bassin).

**Caryotype** : Représentation chromosomique complète d'un individu. Elle présente les chromosomes par paires, classés par ordre de taille décroissante, et en fonction de la position du centromère.

**Caryogamie** : Fusion, lors de la fécondation, des noyaux des deux gamètes pour former le noyau du zygote.

**Castration** : Ablation des gonades, c'est-à-dire des testicules chez l'homme ou des ovaires chez la femme.

**Catalyse** : Augmentation de la vitesse d'une réaction chimique produite par la présence d'une substance qui n'entre pas dans la réaction. Les processus de catalyse de l'organisme sont régis par les enzymes.

**Cellule** : Unité morphologique et fonctionnelle des tissus vivants. Douée d'une vie propre, elle est composée d'une masse de protoplasme limitée par une membrane et contenant un noyau.

**Cénozoïque** : Ère géologique dans laquelle on groupe généralement le Tertiaire et le Quaternaire

**Cerveau** : Partie principale de l'encéphale, comprenant une partie médiane (diencéphale) et les deux hémisphères cérébraux (télencéphale).

**Chopper** : Outils de pierre primitifs constitués par des galets rendus tranchants par l'enlèvement d'éclats respectivement sur une ou sur deux faces.

**Chromatide** : produit de la duplication d'un chromosome. Bras d'un chromosome.

**Chromatine** : Substance basophile présente dans le noyau cellulaire, où elle apparaît sous forme de granules. La chromatine est essentiellement constituée d'ADN et de protéines basiques.

**Chromosome** : Chacun des éléments essentiels du noyau cellulaire visibles lors de la mitose sous forme de bâtonnets. Chaque chromosome se divise de façon longitudinale, donnant naissance à deux filaments jumeaux parfaitement égaux. Le nombre des chromosomes est constant pour une espèce déterminée (chez l'homme, 46, dont 44 sont autosomes et 2 gonosomes). Ils sont constitués essentiellement d'une double chaîne d'acide désoxyribonucléique (ADN) et sont les supports des gènes, facteurs déterminants de l'hérédité.

**Chromosome sexuel (gonosome)** : chromosome porteur de gènes liés au sexe. XX pour la femme, XY pour l'homme.

**Chronogènes** : gène dont la mutation modifie la durée d'une étape du développement embryonnaire.

**Ciment** : En construction, poudre qui, mélangée à de l'eau constitue une pâte qui fait prise en un temps variable. Le ciment utilisé couramment est fabriqué par cuisson à haute température d'un mélange de calcaire et d'argile.

En pétrographie, toute matière liant entre eux des éléments figurés et conduisant à des roches sédimentaires compactes.

**Clone** : Ensemble des individus nés par réplication asexuée d'un seul organisme ou d'une seule cellule. Les membres d'un clone sont génétiquement identiques.

**CMH** : Abréviation de complexe majeur d'histocompatibilité.

**Coenzyme** : Petite molécule associée à une protéine enzymatique et nécessaire à son activité. Elle participe à la réaction catalysée par cette enzyme et se retrouve identique à la fin de cette réaction.

**Complément** : Système Complexe de protéines présentes sous forme inactive dans le sérum normal et représentant le principal support de l'immunité humorale non spécifique. Il existe en dehors de toute immunisation. Il complète en quelque sorte l'action des anticorps, d'où son nom.

**Complexe immunitaire** : ensemble formé par un antigène neutralisé par des anticorps.

**Contraception** : Emploi de moyens en vue d'éviter une grossesse.

**Corail** : Nom vulgaire des Cnidaïres.

**Coronaradiata** : Cellules les plus internes de la membrane granuleuse du follicule ovarien, disposées en forme de couronne.

**Coronavirus** : Genre de virus de la famille des Coronaviridae. Il comprend différentes espèces : Coronavirus humain (responsable d'infections des voies respiratoires supérieures et de gastro-entérite chez l'homme), virus de la bronchite infectieuse aviaire, virus de l'hépatite murine, virus de la gastro-entérite porcine, etc.

**Couche (strate)** : Ensemble sédimentaire, compris entre deux surfaces approximativement parallèles qui correspondent à des discontinuités ou à de brusques variations pétrographiques permettant de délimiter nettement cet ensemble des terrains voisins.

**Craton** : Vaste portion stable du domaine continental par opposition aux zones instables déformées

**Crise biologique** : période d'extinction massive d'espèces à l'échelle planétaire.

**Cortex** : Partie externe d'un organe, distincte de la capsule, située autour de la partie centrale de cet organe.

**Crossing-over** : Terme anglais désignant l'échange réciproque de matériel génétique entre chromosomes homologues lors de la méiose.

**Cuirasse** : En pédologie, croûte superficielle épaisse (jusqu'à plusieurs mètres) fortement durcie par des précipitations d'hydroxydes de Fe et Al, se formant surtout en climat intertropical à saisons sèches bien marquées

**Culture** : En bactériologie, procédé consistant à placer dans un milieu artificiel approprié une petite quantité de microorganismes en vue d'obtenir leur multiplication.

**Curare** : Substance toxique extraite de diverses espèces des genres Strychnos et Chondodendron et utilisée depuis longtemps comme poison pour flèches par les indiens d'Amérique du Sud.

**Cytokine** : Glycoprotéine médiateur des interactions à courte distance entre les cellules.

**Cytosine** : Base pyrimidique entrant dans la composition des acides nucléiques et représentant un produit de dégradation des nucléoprotéines.

**Cytosol** : phase liquide du cytoplasme des cellules, dans laquelle se déroulent divers réactions cellulaires.

**Cytosquelette** : Microfilaments d'actine intracellulaire, assurant l'armature de la cellule.

**Dégénérescence** : Transformation d'une structure biologique organisée (cellule, tissu, organe) en une structure ayant perdu ses caractères distinctifs et sa fonction habituelle.

**Délétion** : En génétique, perte d'une ou plusieurs paires de bases consécutives sans rupture de la molécule d'ADN.

**Dendrite** : Prolongement cytoplasmique arborisé de la cellule nerveuse.

**Déshydrogénation** : Enlèvement de l'hydrogène d'un composé. Les déshydrogénations représentent le mode habituel des oxydations biologiques.

**Désoxyribose** : Pentose dérivant du ribose par réduction d'une fonction alcool.

**Diabète** : Terme générique désignant un groupe d'affections caractérisées par une polyurie avec polydipsie.

**Dialyse** : Séparation de différentes substances en solution fondée sur la vitesse avec laquelle elles traversent une membrane semi-perméable.

**Diamant** : Carbone pur cristallisé dans le système cubique, en cristaux souvent maclés, parfois à faces courbes pouvant être finement striées, à clivage facile, à éclat spécial dit adamantin, incolore et limpide ou diversement coloré : jaune, vert, rouge et parfois noir.

**Diastole** : Période de la révolution cardiaque pendant laquelle une cavité du cœur se remplit de sang et se dilate.

**Diffusion** : Propriété de certains corps de se disséminer dans le milieu qui les contient ; dissémination d'une substance dans l'organisme.

**Diphthérie** : Maladie infectieuse aiguë, contagieuse, due à *Corynebacterium diphtheriae* (bacille de Klebs- Löffler), caractérisée par l'apparition de fausses membranes, fortement adhérentes, et d'exsudats fibrineux qui se forment principalement sur les muqueuses des voies respiratoires et digestives où elles produisent des symptômes locaux.

**Di hybridisme** : croisement expérimental entre deux individus de la même espèce ne se distinguant que par 2 caractères.

**Diploïdie** : État d'une cellule dont le noyau contient deux jeux de chromosomes homologues.

**Disjonction** : En génétique, séparation des chromosomes durant la mitose ou des chromatides durant la méiose.

**Drépanocytose** : anomalie sanguine caractérisée par une falciformation des hématies sous l'influence de la baisse de la pression partielle de l'oxygène. On distingue une forme grave (état homozygote) provoquant une anémie souvent mortelle, avec remplacement total de l'hémoglobine A par de l'hémoglobine S dans les hématies, et une forme cliniquement inapparente (état hétérozygote), dans laquelle le remplacement de l'hémoglobine A par de l'hémoglobine S est seulement partiel.

**Efférent** : Qui conduit ou transporte du sang, une substance quelconque ou des impulsions, hors d'un organe, ou du centre vers la périphérie. Se dit d'un vaisseau, d'un nerf, d'un canal. S'oppose à afférent.

**Éjaculation** : Acte physiologique réflexe par lequel le sperme, parvenu dans l'urètre, est expulsé hors du pénis.

**Embryon** : Produit de la conception depuis les premières modifications de l'œuf fécondé jusqu'à la fin du troisième mois de la grossesse où il est appelé fœtus.

**Encéphale** : Partie du système nerveux central logée dans la boîte crânienne, qui comprend le cerveau (hémisphères cérébraux et diencephale), le cervelet et le tronc cérébral (peduncles cérébraux, pont et bulbe).

**Endocrine** : Se dit d'une glande dont le produit de sécrétion se déverse directement dans le sang.

**Endocytose** : Transport de molécules de grande taille et de particules étrangères à travers les membranes vers l'intérieur des cellules.

**Endomètre** : Muqueuse de la cavité utérine

**Enzyme** : Substance capable d'accélérer ou de provoquer certains processus chimiques en ne faisant l'objet d'aucune modification. Ce sont des complexes organiques qui catalysent les réactions biochimiques et qui se composent d'un groupement prosthétique ou coenzyme, possédant une spécificité fonctionnelle, et d'un groupe protéique ou apoenzyme, ayant une spécificité de substrat.

**Eolien** : Se dit des processus où intervient le vent, et de ce qui en résulte.

**Épitope** : déterminant antigénique.

**Ere** : Une des plus longues divisions géochronologiques.

**Érythrocyte** : Cellule anucléée du sang, de couleur rose-rouge, en forme de disque biconcave, qui contient de l'hémoglobine et transporte l'oxygène nécessaire à l'organisme.

**Érythropoïèse** : Production de globules rouges dans les organes hématopoïétiques.

**Espèce** : Groupement de base des classifications des êtres vivants. Pour des animaux actuels, l'espèce peut être définie comme l'ensemble des individus interféconds avec une descendance fertile.

**Eucaryote** : Organisme qui possède un noyau bien différencié, un génome pourvu de plusieurs chromosomes enveloppés par une membrane unitaire, un cytoplasme à structure réticulaire pourvu d'organites.

**Evolution** : Théorie selon laquelle les animaux et les végétaux seraient issus d'un stock restreint d'êtres vivants primitifs à partir desquels ils se seraient diversifiés.

**Excitation** : Augmentation du fonctionnement normal d'une fonction quelconque.

**Exocytose** : Expulsion d'une cellule de particules de taille trop importante pour diffuser.

**Exon** : Séquence de gènes dont le transcrit persiste dans l'ARN messager mûr après maturation du transcrit primaire, représentant une séquence codante et traduite continue.

**Fécondation** : Pénétration du spermatozoïde dans l'ovule et fusion de ceux-ci pour constituer l'œuf (zygote).

**Fenêtre** : Zone où affleure le substratum d'une unité allochtone, et qui, est complètement entourée par cette dernière

**Fermentation** : dégradation partielle de molécules organiques par oxydation, avec production d'une petite quantité d'ATP lors de la première partie de la réaction, et libération d'une autre molécule organique.

**Fœtus** : Produit de la conception depuis la fin du troisième mois de la grossesse jusqu'à l'accouchement.

**Follicule ovarien** : structure constituant le tissu ovarien, présentant des stades d'évolution successifs pendant la phase folliculaire.

**Fossile** : Reste ou moulage naturel d'organisme conservé dans des sédiments

**FSH** : hormone folliculostimulante sécrétée par l'hypophyse.

**Gaba** : Abréviation d'acide gamma aminobutyrique. (neurotransmetteur).

**Galets aménagés** : Outils préhistoriques très frustes fabriqués à partir de galets rendus tranchants par enlèvement d'éclats sur une face (« chopper ») ou sur les deux (« shopping Tools »).

**Gamète** : Cellule reproductrice ou germinale haploïde.

**Gamétogenèse** : Formation des éléments sexuels ou gamètes.

**Ganglion** : Amas cellulaire constitué de cellules nerveuses formant un renflement. (Les ganglions lymphatiques sont maintenant désignés par le terme nœud lymphatique).

**Gène** : Ensemble des séquences d'acide désoxyribonucléique contenant l'information nécessaire à la production régulée d'un ARN particulier (transcription) ou d'un polypeptide particulier. C'est l'unité de l'information génétique.

**Gène homéotique** : gène intervenant pendant le développement embryonnaire sur la mise en place des différentes parties de l'organisme.

**Gène polymorphe** : gène ayant plusieurs allèles dont au moins 2 représentés chez les individus à une fréquence supérieur ou égale à 1%.

**Génétique** : discipline de la biologie qui étudie le fonctionnement du matériel chromosomique.

**Génome** : Ensemble des gènes d'un organisme, caractéristique de l'espèce.

**Génotype** : ensemble des allèles d'une cellule ou d'un organisme, propre à l'individu.

**Géologie** : Science comprenant l'étude des parties de la Terre directement accessibles à l'observation, et l'élaboration des hypothèses qui permettent de reconstituer leur histoire et d'expliquer leur agencement.

**Gisement** : Lieu où l'on rencontre une substance ou des objets déterminés, (gisement de pétrole, gisement de fossiles).

**Glaciation** : Période durant laquelle la quantité de glace stockée à la surface du globe est supérieure à la moyenne.

**Glucagon** : Hormone polypeptidique hyperglycémisante sécrétée par les cellules alpha-2 des îlots de Langerhans du pancréas. Antagoniste de l'insuline, elle contribue à la régulation permanente de la glycémie, en particulier en activant la glycogénolyse hépatique.

**Glycolyse** : Transformation du glucose dans le cytosol d'une cellule sous l'effet d'enzymes.

**Gneiss** : Roches métamorphiques du métamorphisme général, très commune, méso à cata zonale le plus souvent, à grain moyen ou grossier à foliation souvent nette caractérisée par des lits généralement de teinte sombre, riches en minéraux ferromagnésiens alternant avec des lits clairs de quartz et de feldspaths.

**GnRH** : neurohormone hypothalamique ou hormone gonadolibérine, fabriquée par neurosécrétion pulsatile des cellules nerveuses de l'hypothalamus et stimule la sécrétion des hormones hypophysaires (FSH et LH).

**Gonade** : Glande qui produit les gamètes et les hormones mâles (testicule) ou femelles (ovaire).

**Gondwana** : Masse continentale d'un seul tenant, du Carbonifère au Trias, et maintenant dissociée en plusieurs morceaux (Amérique du Sud, Afrique, Madagascar, Inde, Australie).

**Gradient** : Taux de variation d'une grandeur physique en fonction d'une distance ou du temps.

**Granite** : Roche magmatique plutonique très commune (roche effusive équivalente : rhyolite), grenue, de teinte claire.

**Grès** : Roche sédimentaire détritique terrigène composée à 85 % au moins de grains de quartz plus ou moins arrondis.

**Guanine** : Base purique entrant dans la constitution des acides ribonucléiques et désoxyribonucléiques.

**Guanosine** : Nucléoside composé de guanine et de ribose. C'est le produit de l'hydrolyse de l'acide guanylique.

**Gypse** : Sulfate hydraté  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , du système monoclinique, à clivages parfaits, à aspect vitreux translucide, nacré ou soyeux suivant les faces, en cristaux tabulaires ou lenticulaires.

**Haploïde** : Qui possède un seul lot de  $n$  chromosomes, à la différence du nombre diploïde ou complet ( $2n$ ) de chromosomes présent dans les cellules somatiques normales. Chez l'homme, le nombre haploïde est de 23 chromosomes.

**Hématie** : Globule rouge, érythrocyte. Cellule sanguine des animaux à sang rouge.

**Hémoglobine** : Hétéroprotéine de couleur rouge présente dans les hématies, de poids moléculaire 68 000 daltons et dont la fonction principale est de transporter l'oxygène vers les tissus.

**Hérédité** : Transmission aux descendants des caractères par l'intermédiaire des gènes.

**Hétérozygote** : Se dit d'un individu pourvu de deux allèles distincts d'un même gène.

**Hominidés** : Groupe formé par les Homininés et les singes anthropomorphes, caractérisé par l'absence de queue.

**Homininés** : Groupe formé des Hommes actuels et fossiles ainsi que les Australopithèques, caractérisés par la bipédie.

**Homologue** : se dit de structures ou de molécules dont l'origine est commune.

**Homozygote** : cellule ou organisme diploïde dont les deux le gène étudié est représenté par deux allèles identiques.

**Hydrogéologie** : Partie de la géologie qui s'occupe de la circulation des eaux dans le sous-sol.

**Immunité acquise (adaptative ou spécifique)** : immunité se mettant en place à la suite d'un contact antigénique.

**Immunité innée (non spécifique)** : défenses immunitaires activées par un contact antigénique.

**Immunoglobuline** : anticorps.

**Interleukine** : substance produite par les LT4 activant la réaction immunitaire.

**Jaspe** : Roche sédimentaire siliceuse, dérivant d'une vase à radiolaires silicifiée dès le début de la diagenèse.

**Kaolin** : Roche argileuse formée essentiellement de kaolinite (Minéral argileux provenant principalement de l'altération des roches acides riches en feldspath), et qui est blanche et friable.

**Lacune** : Dans une série sédimentaire, absence des dépôts correspondant à un certain laps de temps.

**Lave** : Roche émise en fusion à l'état liquide ou pâteux par les volcans, et donnant en général des coulées.

**LH** : hormone lutéinisante produite par l'hypophyse.

**Limon** : Dépôt détritique meuble, argileux et silteux, à grain très fin (classe des lutites).

**Lithologie** : Nature des roches d'une formation géologique.

**Lutite** : Ensemble des roches sédimentaires détritiques dont les éléments sont de diamètre inférieur à 1/16 mm.

**Lymphocytes mémoire** : lymphocytes à longue durée de vie pouvant réagir rapidement lors d'un contact avec l'antigène.

**Lymphocyte T cytotoxique (LTC)** : LT8 différenciés qui a la capacité de détruire les cellules infectées par un virus et les cellules cancéreuses.

**Lymphocytes T CD4 (LT4)** : cellules immunitaires pivot de l'immunité adaptative.

**Méiose** : ensemble de deux divisions cellulaires donnant 4cellules haploïdes à partir d'une cellule diploïde.

**Ménopause** : arrêt du fonctionnement cyclique de l'ovaire dû à son vieillissement, arrive chez la femme vers 50 ans.

**Menstruation** : synonyme de règles, correspond à la destruction partielle de la muqueuse utérine.

**Métabolisme** : ensemble des réactions cellulaires de synthèse ou de dégradation de molécules.

**Météorite** : corps rocheux céleste tombant sur Terre.

**Mineral** : Ensemble rocheux contenant des substances utiles en pourcentage suffisant pour justifier une exploitation.

**Mitose** : division cellulaire assurant la reproduction conforme des cellules.

**Monohybridisme** : croisement expérimental entre 2 individus d'une même espèce se distinguant par un seul caractère.

**Mutation** : modification de la séquence des nucléotides de l'ADN, ou toute modification de l'information génétique.

**Mutation génique** : modification de la séquence de nucléotide de l'ADN affectant un gène.

**Mutation ponctuelle** : mutation limitée à la modification d'une seule paire de nucléotide de l'ADN.

**Nappe d'eau souterraine** - Eaux souterraines remplissant entièrement les interstices d'un terrain poreux et perméable (l'aquifère) de telle sorte qu'il y ait toujours liaison par l'eau entre les pores. Une nappe se forme par accumulation des eaux d'infiltration au-dessus d'un terrain imperméable qui interdit leur progression vers le bas.

**Néoglucogenèse** : Formation de glucose à partir de substances non glucidiques.

**Nucléotide** : unité constitutive de l'ADN ou de l'ARN comprenant un sucre (ribose ou désoxyribose), l'acide phosphorique, une base azotée.

**Œstrogène** : hormone femelle produite par le tissu du follicule ovarien pendant la première phase du cycle.

**OGM** : organisme génétiquement modifié par l'apport d'un gène étranger.

**Organite** : compartiment cellulaire délimité par une membrane plasmique jouant un rôle bien précis.

**Orogenèse** : Tout processus conduisant à la formation de reliefs

**Ovulation** : émission du gamète femelle vers le 14<sup>ème</sup> jour du cycle menstruel.

**Pangée** : Continent unique existant à la fin du Paléozoïque et qui s'est ensuite séparée en Laurasie, au Nord, et Gondwana, au Sud.

**Pathogène** : qui provoque une maladie.

**Phagocyte** : cellule immunitaire réalisant la phagocytose.

**Phénotype** : ensemble des caractères apparentes, qui résulte de l'expression du génotype.

**Phénotype immunitaire** : ensemble des lymphocytes spécifiques présents chez un individu à un moment donné.

**Phosphate** : Minéral caractérisé par le radical  $(PO_4)^{3-}$ .

**Photosynthèse** : ensemble des réactions chimiques permettant la synthèse de molécules organiques par fixation du  $CO_2$  grâce à l'énergie lumineuse accompagné par un dégagement de dioxygène.

**Placodermes** : Groupe de poissons uniquement fossiles, dont la partie antérieure du corps était protégée par une cuirasse formée de plaques osseuses.

**Plan d'organisation** : caractéristiques de l'organisation d'un être vivant correspondant aux axes de polarités et à la disposition des principaux organes par rapport à ces axes.

**Plaques lithosphériques** : Partie rigide superficielle de la Terre, épaisse d'une centaine de kilomètres, qui, avec d'autres, constitue la lithosphère.

**Plasmide** : ADN circulaire de petite taille chez les bactéries et les levures.

**Plasmocyte** : cellules issues de la différenciation des lymphocytes B et produisant les anticorps.

**Polypeptide** : enchaînement d'acides aminés.

**Population** : ensemble d'individus de la même espèce limité dans l'espace.

**Poudingue** : Roche sédimentaire détritique formée pour 50 % au moins d'éléments arrondis (galets) de diamètre supérieur à 2 mm liés par un ciment.

**Primates** : Groupe de Mammifères caractérisés par un développement important du cerveau, et dont les doigts, au nombre de cinq à chaque membre, sont pourvus d'ongles et non de griffes.

**Procaryote** : essentiellement les bactéries, dont les cellules n'ont pas de vrai noyau ni d'organites.

Progestérone : hormone ovarienne, produite par le corps jaune pendant la phase lutéinique.

**Quartz** : Forme cristalline très commune de la silice ( $SiO_2$ ).

**Race pure (ligné pure ou variété pure)** : homozygote.

**Réducteur** : se dit d'une molécule B ayant la capacité de perdre des électrons au profit d'une molécule A.

**Répertoire immunologique** : ensemble des lymphocytes présents dans un organisme à la naissance.

**Respiration** : ensemble des réactions chimiques aboutissant à l'oxydation complète d'une molécule organique comme le glucose et permettant la synthèse d'une grande quantité d'ATP. Ce processus utilise l'oxygène comme dernier accepteur de protons et d'électrons ce qui le réduit en  $H_2O$ . C'est une minéralisation totale.

**Rétrovirus** : virus dont le matériel chromosomique est sous forme d'ARN.

**Roche** : Matériau constitutif de l'écorce terrestre, formé en général d'un assemblage de minéraux et présentant une certaine homogénéité statistique, le plus souvent dur et cohérent, parfois plastique, ou meuble, à la limite liquide.

**Sarcomère** : unité contractile du muscle constitué d'actine et de myosine qui se répète un grand nombre de fois dans les cellules musculaires.

**Schiste** : Au sens large (qu'il vaut mieux éviter), toute roche susceptible de se débiter en feuillets.

**Sebkha** : Dépression temporairement occupée par un lac, en général salé, et où se déposent des évaporites.

**Sédiment** : Ensemble constitué par la réunion de particules plus ou moins grosses ou de matières précipitées ayant, séparément, subi un certain transport.

**Sélection naturelle** : survie des individus d'une espèce les mieux adaptés à l'environnement.

**Série** : Ensemble de couches sédimentaires, considérées dans leur succession chronologique.

**Silex** : Roche siliceuse constituant des accidents dans des couches calcaires, formée de silice (calcédoine, quartz, un peu d'opale) d'origine biochimique, précipitant dès le début de la diagenèse dans le sédiment encore meuble.

**Socle** : Vaste ensemble de terrains, très plissés, en général métamorphisés et souvent largement granitisés, qui a été pénéplané, et sur lequel reposent en discordance des terrains sédimentaires (et/ou volcaniques) formant la couverture.

**Sphère pédonculée** : unité transmembranaire des crêtes mitochondriales et des thylakoïdes des chloroplastes permettant le transfert de protons ( $H^+$ ) et la synthèse d'ATP.

**Stratigraphie** : Science qui étudie la succession des dépôts sédimentaires, généralement arrangés en couches (strates).

**Stromatolithe** : Construction discoïde ou mamelonnée due à des Cyanophycées (Algues bleues).

**Synclise** : Vaste portion de plate-forme de quelques centaines ou milliers de kilomètres carrés, dont le socle, affaissé à grande profondeur, est recouvert par des sédiments épais (quelques kilomètres) et continus alors que, alentour, il se relève et est surmonté corrélativement par une couverture moins épaisse et moins complète stratigraphiquement.

**Test-cross** : croisement d'un individu dont on veut connaître le génotype avec un homozygote récessif pour le caractère considéré.

**Testostérone** : hormone mâle produite de façon continue à partir de la puberté, fabriquée par les cellules interstitielles.

**Téthys** : Mer située, durant les ères secondaires et tertiaires, entre l'Eurasie et l'Afrique, en partie à l'emplacement approximatif de l'actuelle Méditerranée.

**Transgénèse** : transfert dans le génome d'un individu d'un gène qui lui est étranger.

**Vaccination** : procédé d'activation des défenses immunitaires par injection d'antigène atténué.

**Zygote** : cellules-œuf provenant de la fusion des deux gamètes.