

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'EDUCATION

SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE

4^{ème} année de l'enseignement secondaire
Section Math

Hédi Bouzid
Inspecteur général de l'éducation

Dhaou Hamdi
Inspecteur principal

Belgacem Baazaoui
Inspecteur

Fraj Nouira
Inspecteur

Ayed El Ayadi
Inspecteur

Tahar Bedhief
Inspecteur

Ameur Ben Rhouma
Professeur principal hors classe

Lotfi Touil
Professeur principal

Centre National Pédagogique

Remerciements

Les auteurs remercient, pour leur collaboration

- Les évaluateurs :

- M^{er} Rachid Abroug, Inspecteur principal
- M^{er} Néjib Chebbi, Inspecteur principal
- M^{er} Faouzi Jenhani, Professeur en immunologie à la faculté de pharmacie de Monastir
- M^{me} Rim Ben khalifa, Maître assistante, chercheur à l'Institut Pasteur de Tunis
- M^{er} Mohamed Gazzah, Professeur de génétique à la faculté des sciences de Tunis
- M^{er} Mohamed El Amri, Professeur de neurophysiologie à la faculté des sciences de Tunis
- Mer Mohsen Sakli, Professeur de physiologie animale à la faculté des sciences de Bizerte.
- La direction et l'équipe technique du CNP.

PRÉFACE

Ce manuel est conçu comme un outil d'apprentissage destiné essentiellement à l'élève. Son exploitation judicieuse lui permettra d'atteindre les objectifs du programme de 4^{ème} année section Mathématiques et de se préparer à passer avec succès l'épreuve des S.V.T au baccalauréat.

La démarche d'apprentissage pour chaque thème commence par une présentation générale du thème, sa problématique et sa subdivision en chapitres.

Chaque chapitre est structuré selon les rubriques suivantes :

- **La définition des objectifs**

- **S'interroger:** Dans cette rubrique, des questions scientifiques sont soulevées à partir de faits significatifs présentés. Ces questions traduisent les objectifs du chapitre et sont le point de départ des activités d'apprentissage.

- **Se rappeler:** cette rubrique vise à mobiliser les principales connaissances acquises antérieurement par l'élève et qui sont en rapport avec les connaissances du chapitre à apprendre, ce qui facilite leur apprentissage .

- **Rechercher et construire :** propose des activités pertinentes aux objectifs et qui devraient être réalisées par l'élève. Ces activités ont pour support les documents du manuel.

Au cours de la réalisation de ces activités, l'élève construit progressivement des savoirs et développe ses capacités de raisonnement scientifique et de résolution de problèmes.

- **Bilan des activités et synthèse:** Cette rubrique présente des connaissances en réponse aux questions posées dans les activités précédentes. Elles sont structurées en paragraphes articulés et en schémas fonctionnels permettant ainsi la mise en place et l'intégration des connaissances dans la mémoire de l'élève.

-**Tester les acquis :**Dans cette rubrique sont proposés des exercices et des problèmes dont certains sont corrigés. La résolution de ces exercices et problèmes par l'élève est de nature à consolider ses acquis et à lui fournir un feed-back sur le niveau et la qualité de ses acquisitions.

Le rôle de l'enseignant est d'une importance primordiale dans le développement de l'aptitude de l'élève à réaliser avec succès les activités d'apprentissage et à s'approprier activement les concepts scientifiques.

Ce rôle consiste en une médiation pédagogique entre l'apprenant et le savoir, dans un contexte d'interaction enseignant -apprenant et apprenant-apprenants .

Pour réussir cette médiation, l'enseignant devrait s'appuyer sur les moyens suivants :

- Une communication efficace prenant en compte le niveau des élèves sur le plan linguistique, scientifique et méthodologique

- Un souci de développer les capacités méthodologiques de l'élève : capacité d'observation, d'analyse, de synthèse, de modélisation, de schématisation... Ainsi devrait-il présenter, aux élèves, avant chaque activité, des instructions méthodologiques pour leur permettre de répondre aux questions des activités .

- La nécessité de la mise en relation des connaissances acquises au cours des activités d'apprentissage, d'une manière cohérente et intégrée pour en assurer la rétention et la fonctionnalité et ce sous forme d'un résumé bien structuré, d'un schéma fonctionnel ou d'un tableau récapitulatif .

Nous souhaitons que ce manuel puisse aider l'enseignant dans son enseignement et l'élève dans son apprentissage, pour que ce dernier puisse passer avec succès l'épreuve des S.V.T à l'examen du baccalauréat et poursuivre ultérieurement des études médicales ou biologiques .

Toutes les critiques et suggestions des collègues enseignants sont les bienvenues.

Les auteurs

En plus des fonctions de nutrition et de reproduction communes à tous les êtres vivants, l'homme et les animaux se distinguent par **la fonction de la relation**.

La fonction de la relation permet à l'organisme d'être sensible aux variations des facteurs de l'environnement et de réagir à ces variations par des réactions adaptées.

Cette fonction est assurée par le **système nerveux**

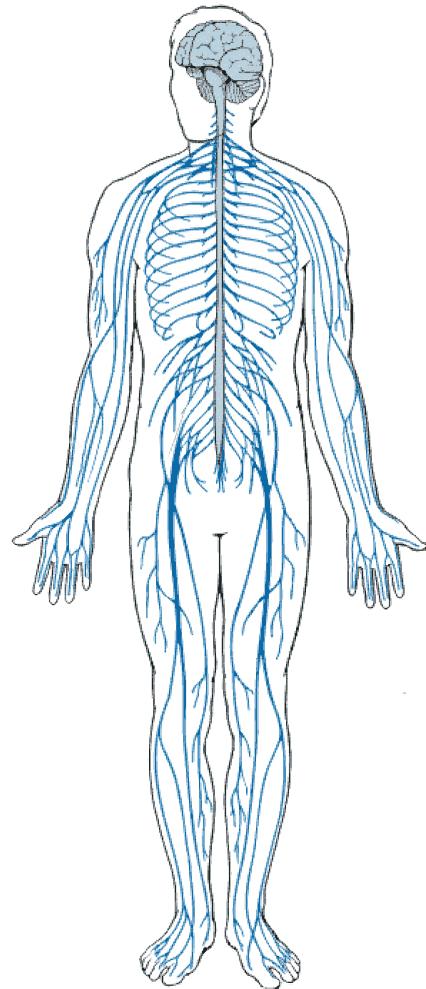
- Comment ce système est-il organisé ?
- De quoi est-il constitué ?
- Comment fonctionne-t-il au cours d'une réaction motrice réflexe ?
- Comment assure-t-on l'hygiène du système nerveux

Les chapitres suivants apportent des réponses à ces questions

Chapitre 1 : Le tissu nerveux

Chapitre 2 : L'activité réflexe

Chapitre 3 : L'hygiène du système nerveux



Système nerveux de l'homme

Chapitre 1 : *LE TISSU NERVEUX*



Le système nerveux est le système qui, chez l'homme et les animaux assure la fonction de relation. Grâce à lui, l'organisme est tenu informé des différentes modifications de son environnement externe et y réagit par des comportements adaptatifs.

Comme tout système, le système nerveux est constitué de cellules différenciées dont la structure est adaptée à leur fonction.

OBJECTIFS

- reconnaître l'organisation du système nerveux
- décrire la structure de la cellule nerveuse
- préciser l'organisation du tissu nerveux

S'INTERROGER

Chez l'homme divers comportements peuvent être observés.

Exemples:

- le retrait de la main suite au toucher d'un objet brûlant
- un conducteur de voiture, s'apercevant d'un animal traversant la route, freine brusquement
- un individu ayant une sensation de soif prend un verre d'eau pour se désaltérer
- un piéton, s'apercevant que la voiture venant vers lui est suffisamment éloignée décide de traverser la route
- en entendant la sonnerie du portable, on le rapproche de son oreille et on répond
- le contact d'un aliment savoureux avec la muqueuse buccale, déclenche une abondante salivation

Tous ces comportements ont pour support le **tissu nerveux** qui constitue les centres nerveux et les nerfs

Comment est organisé le système nerveux ?

De quoi est constitué le tissu nerveux ?

Quelle est la structure histologique de ce tissu ?

S'E RAPPELER

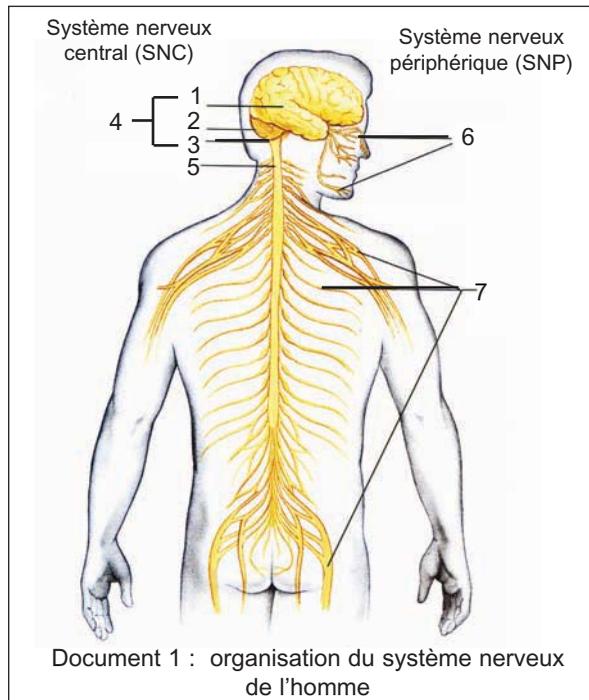
- 1. La fonction de relation** : fonction assurée par le système nerveux et qui permet à l'organisme de s'informer sur les changements de son milieu par les organes de sens et d'y réagir par des réponses adaptées.
- 2. Le système nerveux** : ensemble de centres nerveux (encéphale et moelle épinière: système nerveux central) et de nerfs (système nerveux périphérique) par lesquels les centres nerveux reçoivent des informations provenant des organes de sens et transmettent des messages provoquant la réaction des organes effecteurs (muscles et glandes)
- 3. La cellule** : unité constitutive et fonctionnelle des êtres vivants. Elle est formée d'une membrane plasmique, de cytoplasme et de noyau.

Rechercher et construire

I Organisation générale du système nerveux.

Activité 1 : Identifier les différentes parties du système nerveux chez l'homme

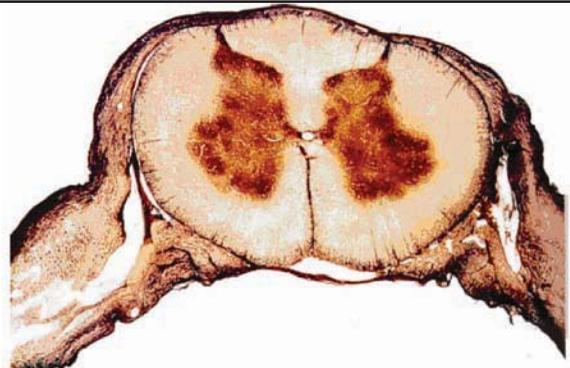
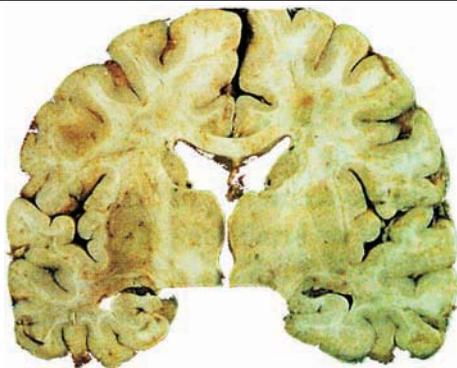
1. Observons les documents 1 et 2



- Utiliser les termes suivants pour annoter le document 1, en associant à chaque numéro le nom correspondant:
nerfs rachidiens, nerfs crâniens, cervelet, encéphale, bulbe rachidien, moelle épinière, hémisphères cérébraux (cerveau).
- Distinguer le système nerveux central (centres nerveux) et le système nerveux périphérique (nerfs)

Comment sont organisés les centres nerveux ?

2. Observons une coupe au niveau des hémisphères cérébraux et au niveau de la moelle épinière



- Observer la coupe du document 2 ou directement une coupe transversale d'un cerveau de mouton:
 - localiser la **substance grise** et la **substance blanche**.
 - remarquer, à la surface du cortex cérébral, la présence de replis avec des sillons plus ou moins profonds, ce sont les circonvolutions cérébrales.
 - constater la présence de creux à l'intérieur de l'encéphale. Ce sont les ventricules où circule le liquide céphalorachidien. C'est un liquide d'amortissement localisé autour de l'axe cérébrospinal (formé de l'encéphale et de la moelle épinière) et dans ses cavités internes.
- Observer la coupe du document 3 ou directement la coupe transversale de moelle épinière de boeuf:
 - constater la forme caractéristique de la substance grise.
 - préciser sa position par rapport à la substance blanche.
 - noter la présence du canal central (appelé canal de l'épendyme) où circule également le liquide céphalorachidien.

- Que vous suggèrent ces observations de la substance grise et de la substance blanche ?
- Quelles questions peut-on se poser ?

II le Tissu nerveux.

Activité 2 : identifier l'unité structurale du tissu nerveux.

Observons au microscope différentes parties du système nerveux

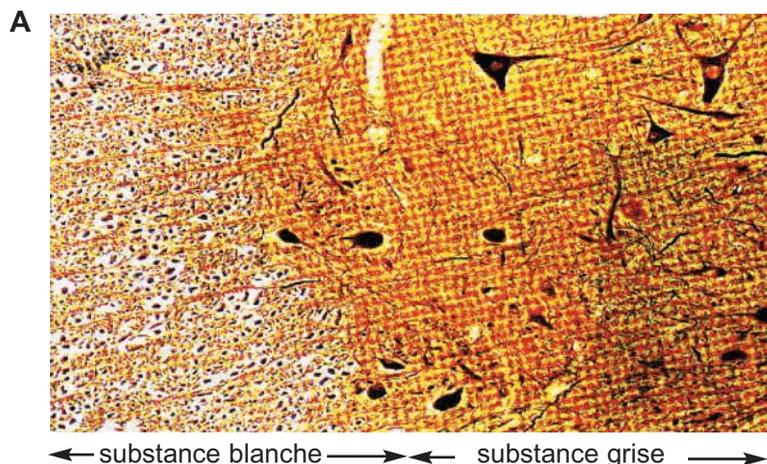
1. *Observations au niveau d'un centre nerveux: la moelle épinière* :

1.1 la substance grise:

a. Préparation d'un frottis de substance de grise

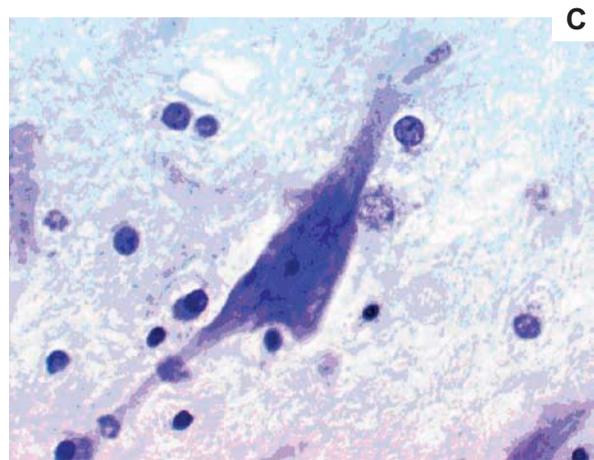
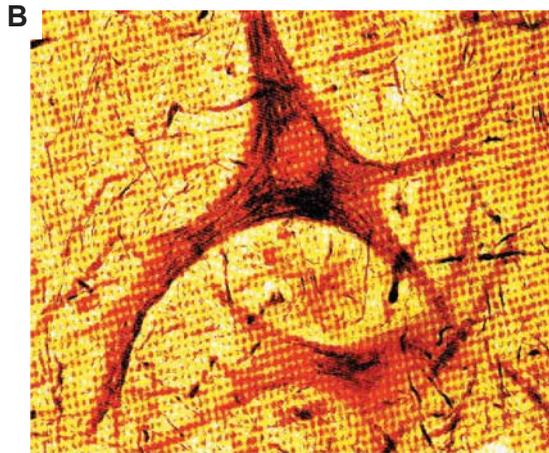
Sur une section de moelle fraîche de bœuf, prélever avec la pointe de scalpel un peu de la matière qui constitue la corne antérieure de la substance grise et la monter sur une lame de verre dans une goutte de bleu de méthylène. Dissocier très finement cette matière avec deux aiguilles. Recouvrir d'une lamelle en écrasant légèrement la préparation. Observer au moyen puis au fort grossissement.

b. Observation d'une préparation de commerce



Document 4 :

A : structure microscopique d'une portion de coupe de la moelle épinière (x130)



B et C : structure détaillée de la substance grise (coloration différente) (x500)

- Distinguer dans la substance grise des formes étoilées contenant un noyau : ce sont des **corps cellulaires** et d'autres cellules plus petites et plus nombreuses : ce sont les **cellules gliales** : cellules de soutien et de nutrition.
- Dessiner quelques corps cellulaires.

1.2 La substance blanche:

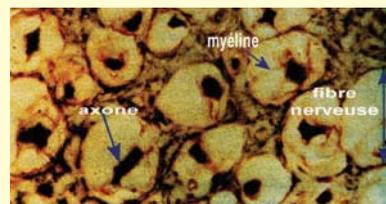
a. Réalisation d'une observation microscopique de substance blanche

Prélever dans le sens de la longueur un petit fragment de la substance blanche de la moelle épinière de bœuf. Le placer sur une lame de verre dans une goutte d'eau. Tenir l'une des extrémités du fragment par une pince et le dilacérer le plus finement possible avec une aiguille. Recouvrir d'une lamelle en écrasant légèrement la préparation et observer au microscope au moyen puis au fort grossissement.

- De quels éléments est formée la substance blanche ?
- Décrire les éléments observés

b. constitution de la substance blanche

Dans la substance blanche (document 5) on distingue des éléments arrondis blancs avec des taches foncées au centre : ce sont des coupes transversales de **fibres nerveuses** constituées d'un axone central ou cylindraxe, entouré d'une gaine de myéline de nature lipidique. On observe aussi dans la substance blanche des cellules gliales.



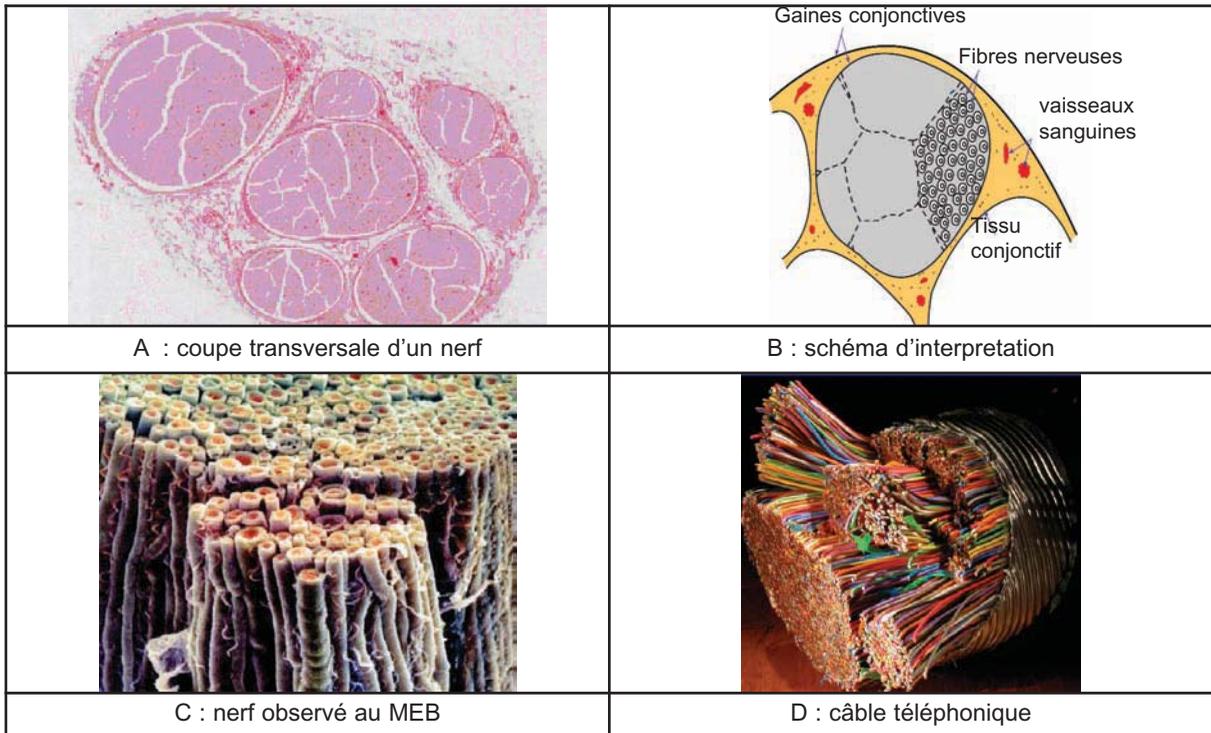
Document 5: fibres nerveuses centrales (coupe transversale) (X600)

2. Observations microscopiques d'un nerf :

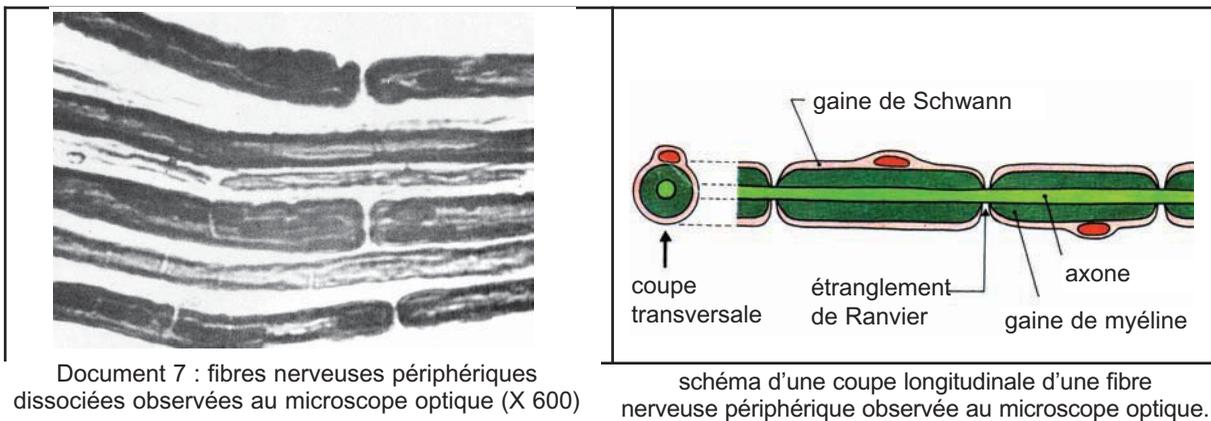
Préparation d'une observation microscopique de nerf dilacéré

Monter un fragment de nerf sciatique de grenouille dans une goutte de Ringer et opérer comme pour la substance blanche de la moelle.

- Observer au moyen puis au fort grossissement et faire un dessin du secteur le plus facile à observer.



Document 6 : structure d'un nerf



- Observer ces préparations
- Reconnaître les éléments constitutifs du nerf.
- Comment les fibres du nerf sont-elles disposées ?
- Les comparer aux fibres observées dans la substance blanche. Par quoi se distinguent-elles ?
- Que suggère l'homologie de structure entre le nerf et le câble téléphonique ?

3. La cellule nerveuse :

Les différentes parties du système nerveux sont essentiellement constituées de **corps cellulaires** localisés dans la substance grise, de **fibres nerveuses centrales** situées au niveau de la substance grise et de la substance blanche et de fibres **nerveuses périphériques** contenues dans les nerfs (fibres entourées par la gaine de Schwann).

Y-a-t-il une relation entre ces différents éléments ?

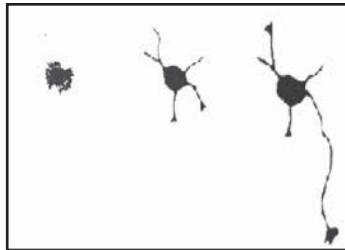
Les observations et expériences suivantes apportent des éléments de réponse à cette question.

- Observation médicale :

La poliomyélite est une maladie virale qui se traduit par la paralysie musculaire au niveau des membres inférieurs. Chez les sujets atteints, on constate la destruction des corps cellulaires de la corne antérieure de la moelle épinière; cette destruction entraîne la dégénérescence des fibres nerveuses en relation avec les muscles paralysés.

- Observation d'une culture de cellules nerveuses embryonnaires.

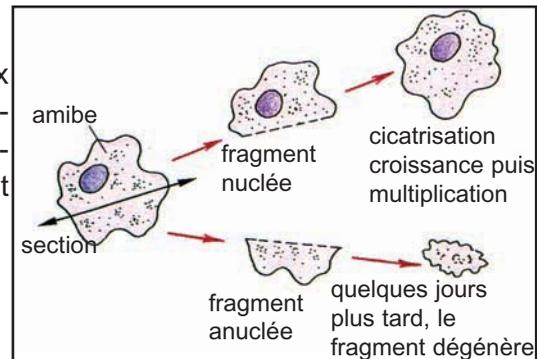
La culture de tissu nerveux embryonnaire permet de suivre la différenciation de cellules nerveuses embryonnaires. Chaque cellule émet au cours de sa différenciation de nombreux prolongements dont certains se ramifient : ce sont les dendrites; l'un des prolongements s'allonge progressivement en axone qui ne se ramifie qu'à son extrémité.



Document 8 : étapes de la différenciation d'une cellule nerveuse embryonnaire

- Expérience de mérotomie :

Ce phénomène est observé chez des animaux unicellulaires, comme l'amibe. Quand on lui sectionne une partie du cytoplasme, le fragment anucléé (sans noyau) dégénère, alors que le fragment nucléé (qui contient le noyau) régénère.

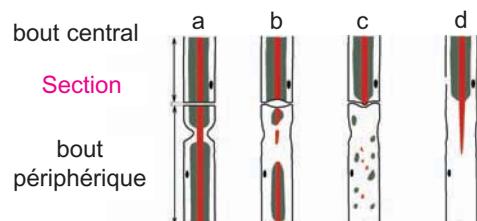
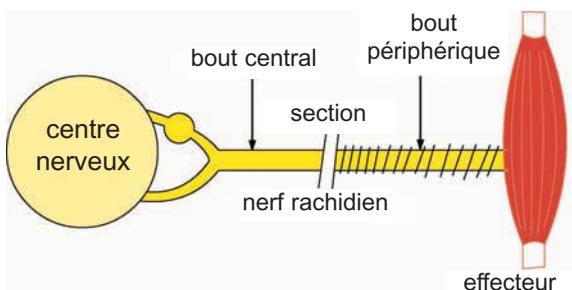


Expérience de mérotomie chez l'amibe

- Expériences de dégénérescence wallérienne : (Waller : 1851)

La section d'un nerf rachidien d'un animal entraîne la **dégénérescence** des fibres dans le bout périphérique du nerf: l'axone et la gaine de myéline se fragmentent, se décomposent puis disparaissent. La gaine de Schwann, pourvue de noyau, reste intacte.

Après un certain temps le bout central **régénère** : l'axone s'allonge et s'enfile dans la gaine de Schwann qui reconstruit la gaine de myéline.



Document 9 :étapes de la dégénérescence (b et c) et de la régénérescence (c et d) d'une fibre nerveuse (a) après section

- En exploitant les données précédentes, montrer en quoi elles confirment l'hypothèse d'une continuité cytotogique entre le corps cellulaire et la fibre nerveuse.
- Représenter par un schéma de synthèse annoté la structure de la cellule nerveuse appelée **neurone**.

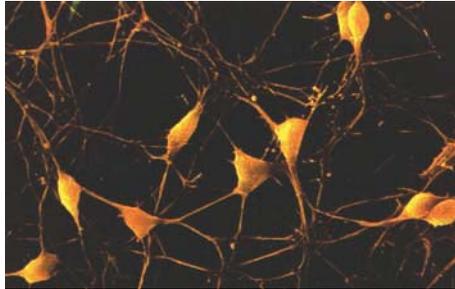
4. Relation entre les neurones:

Comment les neurones sont ils connectés les uns aux autres ?

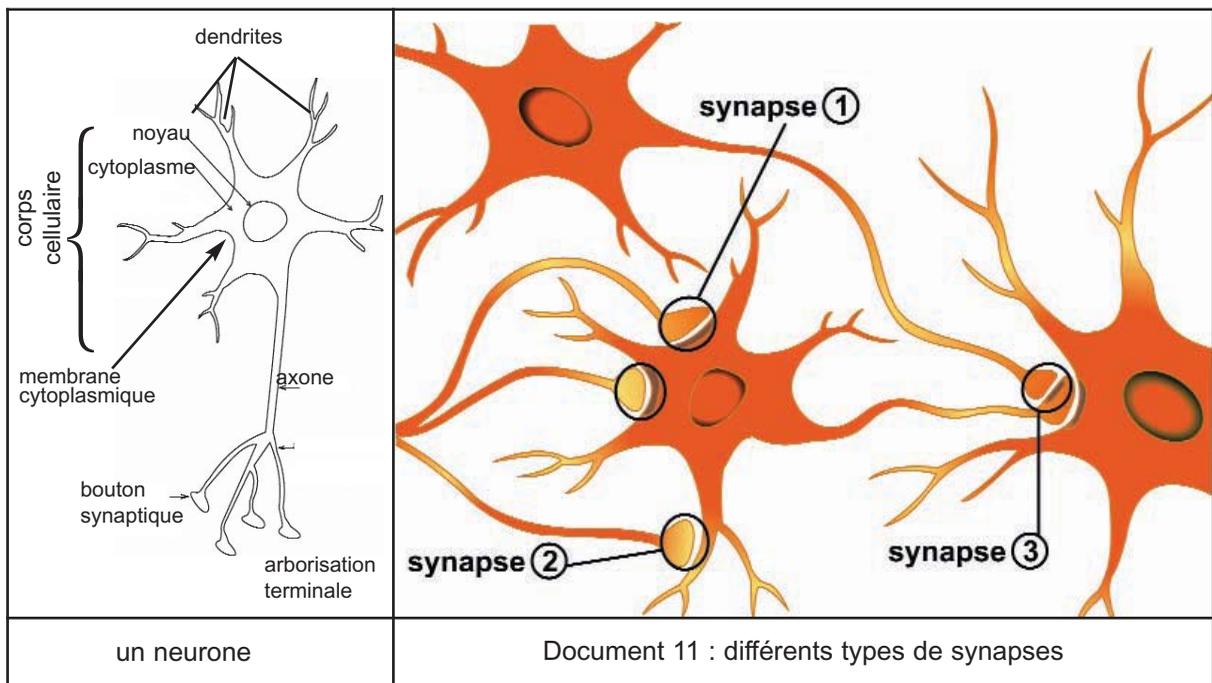
Activité 3 : préciser le mode de connexion entre les neurones.

Différentes observations microscopiques permettent de montrer les modes de connexion entre les neurones (documents ci-dessous) :

4.1 Observation de neurones dans le tissu nerveux :



Document 10: réseau de neurones (au microscope électronique à balayage, grossissement: X 20000)



- Observer les zones de contact ou **synapses** entre les neurones.
- Remarquer au niveau d'une synapse que les deux neurones sont juxtaposés mais ne sont pas en continuité anatomique.
- Distinguer dans une synapse un élément **présynaptique** : la terminaison nerveuse d'un axone d'un neurone, un élément **postsynaptique** : dendrite ou corps cellulaire ou parfois axone de l'autre neurone et un espace entre les deux éléments appelé **fente synaptique**.
- Les synapses observées sont des synapses neuroneuroniques qui se trouvent dans les centres nerveux et les ganglions du système nerveux végétatif. On distingue : synapse axo-somatique (1), axo-dendritique (2) et axo-axonique (3).
- La jonction entre une fibre motrice et une fibre musculaire est une synapse **neuromusculaire** ou **plaque motrice**

Bilan des activités et synthèse

I

Organisation générale du système nerveux de la fonction de relation :

Chez l'homme le système nerveux cérébro-spinal comprend le système nerveux central et le système nerveux périphérique

Le système nerveux central est formé de l'**encéphale** logé dans le crâne et de la **moelle épinière** logée dans le canal rachidien. Il est entouré par trois enveloppes protectrices : les méninges.

Encéphale et moelle épinière renferment les **centres nerveux** : centres de la sensibilité et centres de la motricité, de l'émotion....

Le système nerveux périphérique est constitué par les nerfs qui relient tous les organes du corps aux centres nerveux : les nerfs crâniens attachés à l'encéphale et les nerfs rachidiens attachés à la moelle épinière par deux racines : l'une dorsale ou postérieure portant un ganglion spinal, l'autre ventrale ou antérieure. Il existe 12 paires de nerfs crâniens, exemple : les nerfs olfactifs, les nerfs optiques, les nerfs auditifs, les nerfs pneumogastriques ou nerfs X ...) et 31 paires de nerfs rachidiens exemple : nerf brachial, nerf intercostal, nerf sciatique ...

Les centres nerveux sont formés de deux substances, une substance grise et une substance blanche.

La substance grise est constituée de corps cellulaires et de cellules gliales.

La substance blanche est constituée de fibres nerveuses. Chacune est constituée d'un axone entouré par une gaine de myéline produite par les cellules gliales.

Les nerfs sont constitués des fibres nerveuses, certaines fibres sont entourées d'une gaine de myéline doublée d'une gaine Schwann. Ce sont les fibres myélinisées, d'autres sont entourées seulement d'une gaine de Schwann : Ce sont les fibres sans myéline ou fibres amyélinisées.

(activité1)

II

Le tissu nerveux .

1. Notion de neurone :

Le tissu nerveux est constitué de deux types de cellules : **les neurones** spécialisés dans la production, la propagation et la transmission du message nerveux et les **cellules gliales** (ou de la névroglie) ayant des rôles de soutien, de nutrition, de défense et d'isolant électrique. Le neurone est l'unité de base du tissu nerveux, il est formé d'un corps cellulaire contenant le noyau, et est situé dans la substance grise. Le corps cellulaire présente des prolongements ramifiés, les dendrites et un prolongement long : l'axone qui peut se prolonger dans la substance blanche et dans un nerf. Il se termine par des ramifications qui forment l'arborisation terminale. Dans la substance blanche l'axone est entouré d'une gaine de myéline (de nature lipidique). Dans la substance grise l'axone est entouré d'une gaine de myéline et d'une gaine de Schwann constituée de plusieurs cellules nucléées.

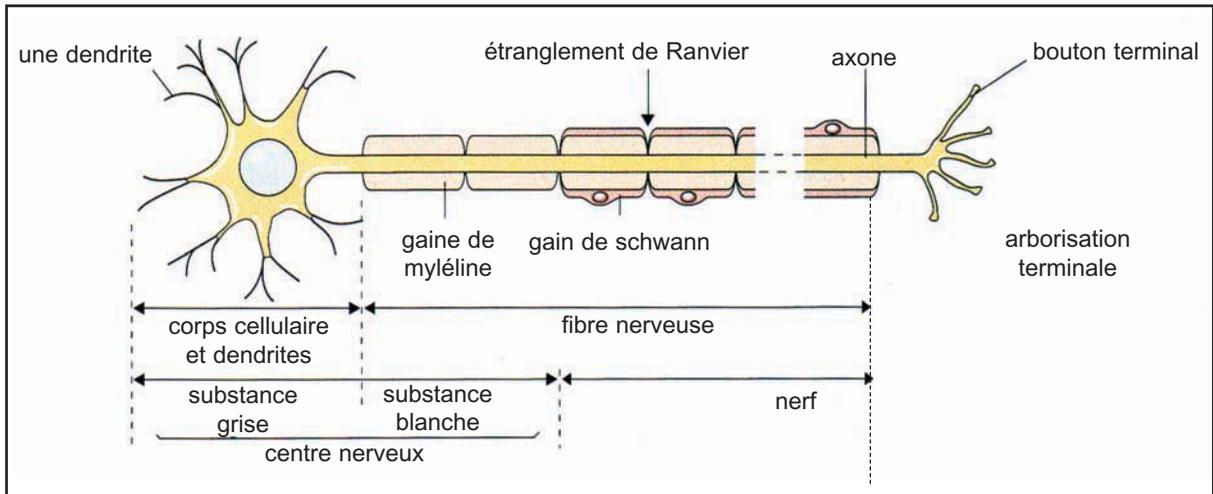


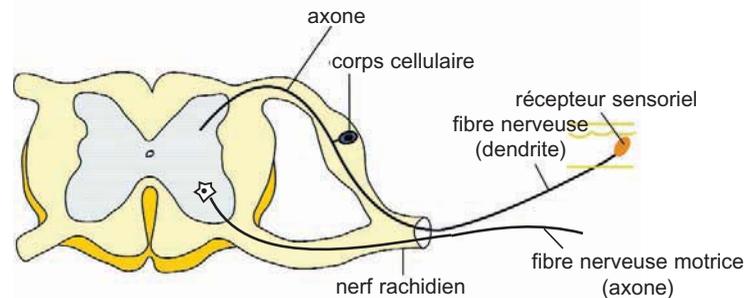
Schéma d'un neurone

(activité2)

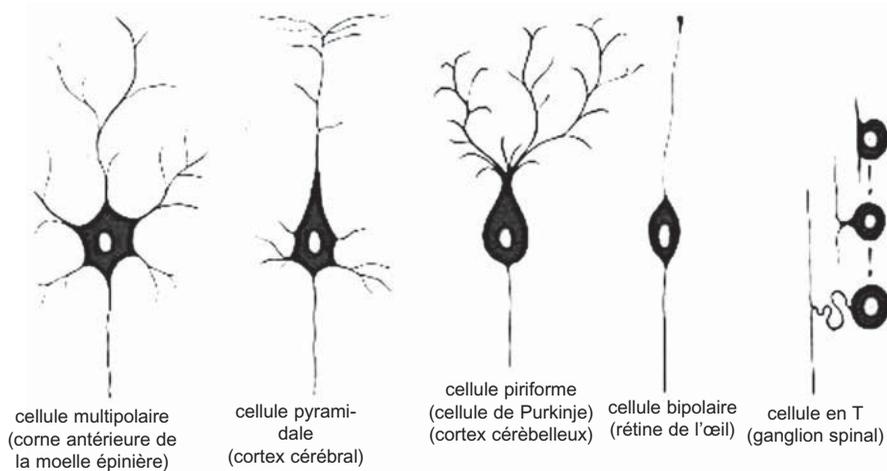
Remarque :

Pour le neurone unipolaire sensitif dont le corps cellulaire est situé dans le ganglion spinal, la dendrite dont les terminaisons sont attachées à des récepteurs sensoriels, est très allongée et constitue une fibre sensitive contenue dans le nerf rachidien et une partie de la racine postérieure de ce nerf, alors que l'axone pénètre dans la moelle épinière.

La racine antérieure du nerf rachidien est formée de fibres motrices ayant leur corps cellulaire dans corne antérieure de la substance grise. Ainsi le nerf rachidien est un **nerf mixte** = sensitif et moteur.

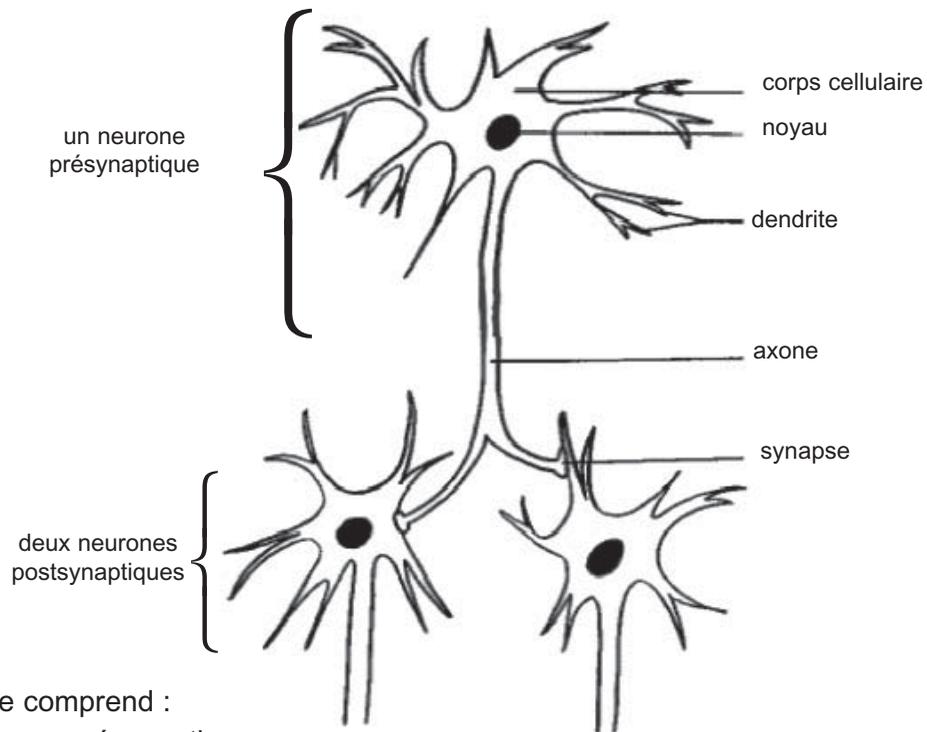


Il existe plusieurs types de neurones :



2- Relation entre les neurones :

les neurones sont reliés entre eux au niveau des synapses. **La synapse** est un simple contact entre une terminaison nerveuse de l'axone et le dendrite ou le corps cellulaire du neurone voisin. Chaque neurone peut établir des milliers de synapses avec d'autres neurones. Il en résulte des réseaux neuroniques très complexes. La jonction entre un neurone moteur et un muscle est une synapse neuromusculaire ou plaque motrice.



Une synapse comprend :

- une membrane pré-synaptique
- un espace ou fente synaptique
- une membrane post-synaptique

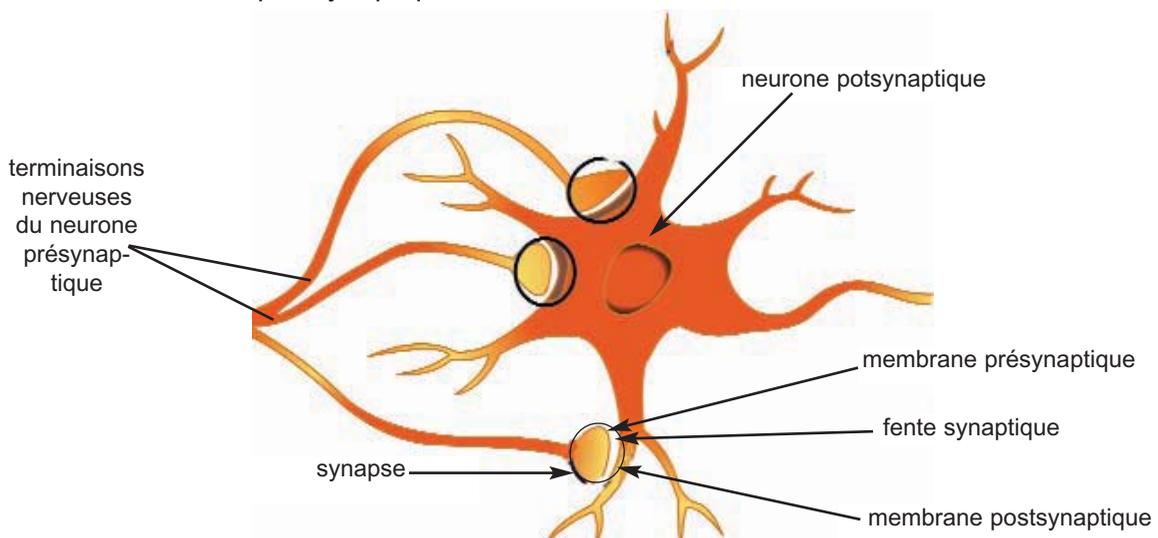


schéma de synapses

(activité3)

Tester les acquis

EXERCICE 1: QCM

Relever, dans les items suivants, la ou les réponse(s) correcte(s)

1- La substance grise de la moelle épinière :

- a- est périphérique
- b- contient des corps cellulaires
- c- contient des fibres nerveuses
- d- doit sa couleur à la présence de myéline

2- La liaison anatomique entre les corps cellulaires situés dans la moelle épinière et les fibres nerveuses situées dans un nerf rachidien est prouvée par :

- a- l'évolution des cellules nerveuses embryonnaires mises en culture.
- b- La dégénérescence du bout périphérique du nerf sectionné
- c- L'observation microscopique d'une coupe de moelle épinière
- d- L'observation microscopique d'un nerf dilacéré

3- Parmi les rôles suivants ceux qui sont attribués aux cellules gliales sont :

- a- la nutrition des neurones
- b- la transmission du message nerveux
- c- l'isolement électrique des neurones
- d- La formation d'une gaine de myéline autour de l'axone

4- La section d'un nerf rachidien entraîne une dégénérescence :

- a- de son bout périphérique
- b- de son bout central
- c- de ses deux bouts
- d- des racines rachidiennes

5- La destruction des corps cellulaires situés dans la moelle épinière entraîne la dégénérescence des fibres du nerf rachidien correspondant, ceci prouve :

- a- que le corps cellulaire et la fibre nerveuse appartiennent à une même cellule
- b- une continuité anatomique entre le corps cellulaire et la fibre nerveuse
- c- que les fibres nerveuses sont des prolongements cytoplasmiques
- d- l'existence de synapse entre le corps cellulaire et la fibre nerveuse

6- Les synapses neuro-neuroniques :

- a- sont des zones de contact entre neurones voisins
- b- s'établissent entre une terminaison d'un neurone et le neurone voisin
- c- sont observées uniquement au niveau des centres nerveux
- d- sont des zones de continuité anatomiques entre neurones voisins

7- Parmi les éléments anatomiques suivants ceux qui appartiennent à la synapse neuro-neuronique sont :

- a- la membrane présynaptique
- b- l'espace synaptique
- c- la membrane postsynaptique
- d- le cytoplasme postsynaptique

8- les boutons synaptiques d'un neurone présynaptique peuvent être localisés au niveau :

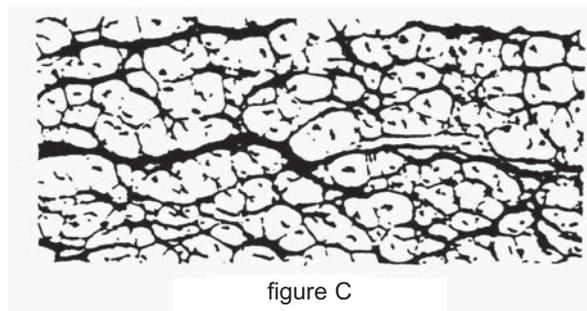
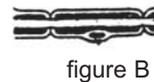
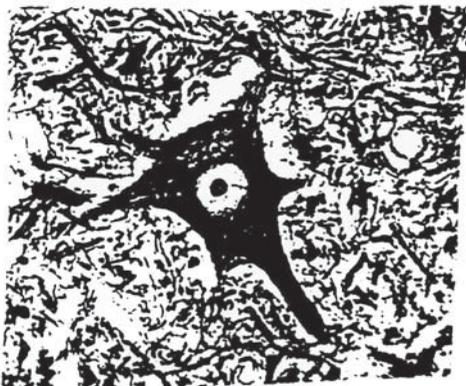
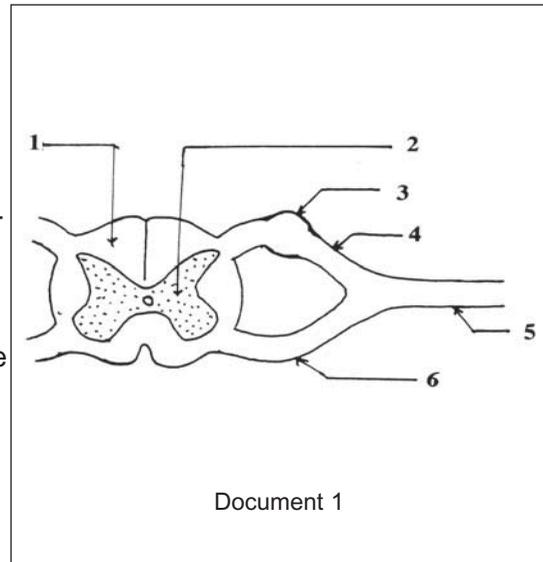
- a- de ses dendrites
- b- de son axone
- c- des étranglements de Ranvier
- d- de son corps cellulaire

EXERCICE 2

La figure du document 1 représente une coupe transversale réalisée à travers la moelle épinière d'un mammifère.

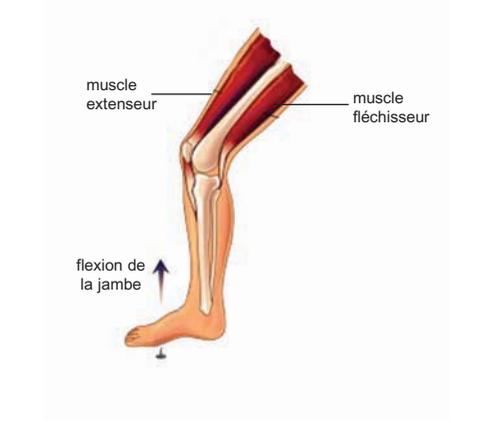
Les figures A, B et C du document 2 représentent des structures microscopiques observées dans différentes zones de la coupe représentée par la figure du document 1.

1. Annotez la figure du document 1
2. Identifiez les structures observées en A, B et C. Justifiez votre réponse.
3. Indiquez l'emplacement des structures A, B et C dans la figure du document 1 en utilisant les lettres respectives A, B et C.
4. Waller, dans l'une de ses expériences, a montré une relation anatomique (ou histologique) entre les trois types de structures représentés par les figures A, B et C.
 - a- décrire cette expérience
 - b- donner deux autres arguments qui sont en faveur de la continuité anatomique des éléments A, B et C.
 - c- schématiser et annoter l'unité nerveuse mise en évidence



Document 2

Chapitre 2 : ÉTUDE D'UN RÉFLEXE MOTEUR À POINT DE DÉPART CUTANÉ

	
Réflexe de retrait de la main au contact d'un objet très chaud	Réflexe de retrait de la jambe suite à une piqûre par une punaise
Document 1 : deux exemples de réflexe à point de départ cutané	

Le retrait de la main au contact d'un objet très chaud, le retrait de la jambe suite à la piqûre du pied par une punaise et la flexion des orteils suite au chatouillement de la peau de la plante du pied (réflexe plantaire) sont des exemples de réflexes moteurs qui ont pour but d'éloigner les organes de l'action nocive des agents du milieu extérieur.

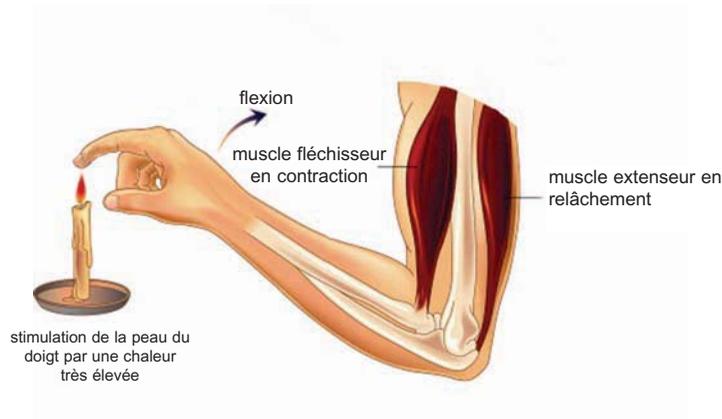
Les réactions décrites sont des réflexes c'est-à-dire des réactions involontaires, innées (obtenues chez tous les individus depuis la naissance) stéréotypées et adaptées à un but qui est la protection de l'organisme. Dans les exemples cités, la réaction est déclenchée par l'excitation de la peau : Ce sont des **réflexes à point de départ cutané**

OBJECTIFS

- Identifier les supports anatomiques d'un réflexe à point de départ cutané.
- Expliquer l'origine, la nature, la propagation et la transmission du message nerveux.
- Expliquer le rôle intégrateur des centres nerveux.

S INTERROGER

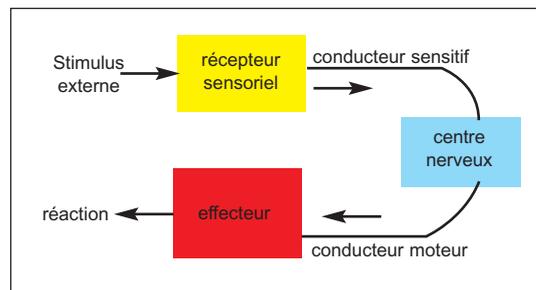
Le réflexe de retrait de la main, suite au contact avec un objet brûlant ou la piqûre par une épine, de même la flexion des orteils suite au chatouillement de la plante du pied, sont des réactions motrices réflexes qui font intervenir plusieurs éléments anatomiques



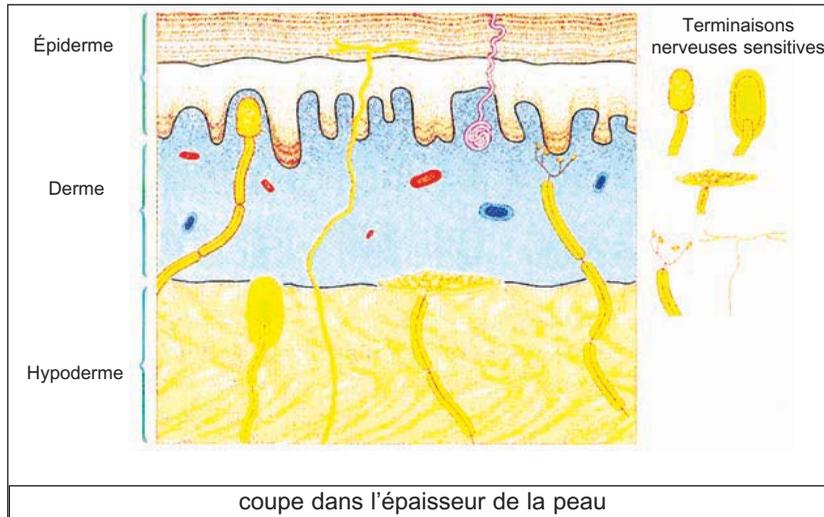
- quels sont les supports anatomiques des réflexes à point de départ cutané ?
- Quel est le mécanisme nerveux qui assure la communication entre les différents éléments du réflexe à point de départ cutané ?

S SE RAPPELER

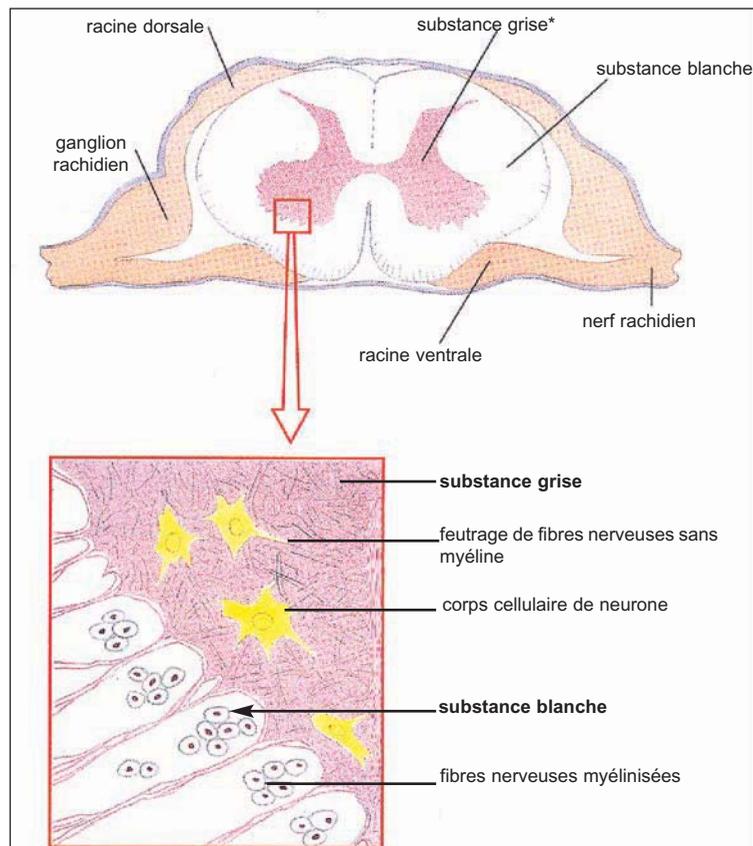
1. **Un acte réflexe** inné est une réaction involontaire et inéluctable en réponse à une stimulation.
2. **L'arc réflexe** est le circuit nerveux reliant le récepteur à l'effecteur et passant par un centre nerveux



3. La peau est un organe riche en récepteurs sensoriels



4. structure de la moelle épinière



5. Protéine : macromolécule formée d'un enchaînement de plusieurs acides aminés unis par des liaisons peptidiques
6. **ATP** : Adénosine triphosphate = molécule riche en énergie représentant la principale forme de l'énergie cellulaire directement utilisable par la cellule
8. **Neurone** : cellule nerveuse formée d'un corps cellulaire et de prolongements cytoplasmiques, les dendrites et l'axone.
9. **Synapse** : zone de jonction entre un neurone et une cellule excitable.

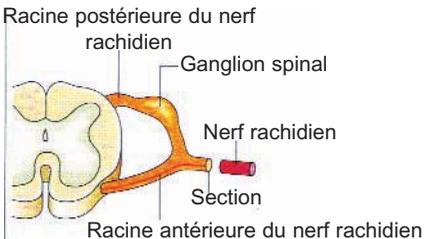
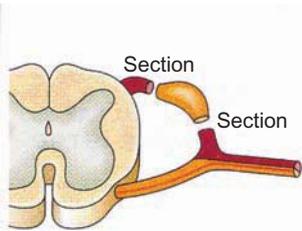
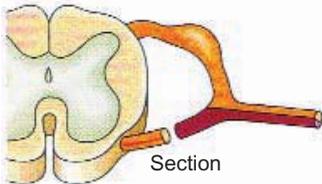
Rechercher et construire

I Les supports anatomiques d'un réflexe moteur à point de départ cutané

Activité 1 : mettre en évidence les éléments anatomiques du réflexe à point de départ cutané

Des observations et des expériences permettent de dégager les éléments anatomiques du réflexe à point de départ cutané ainsi que leurs rôles :

- L'anesthésie de la peau de la main par l'éther entraîne la disparition du réflexe de retrait de la main au contact d'un objet très chaud.
- Une lésion de la partie supérieure de la moelle épinière fait disparaître le réflexe de retrait de la main.
- La section accidentelle du nerf rachidien innervant le membre supérieur abolit le réflexe de retrait de la main
- La section des tendons reliant le muscle fléchisseur du membre supérieur aux os, abolit le réflexe de retrait de la main.
- L'observation du réflexe de retrait de la main montre que la contraction du muscle fléchisseur est accompagnée par le relâchement du muscle antagoniste : le muscle extenseur de l'avant bras.
- Les expériences de Magendie, complétées par des expériences de dégénérescence, ont permis de préciser d'autres éléments de ce réflexe.

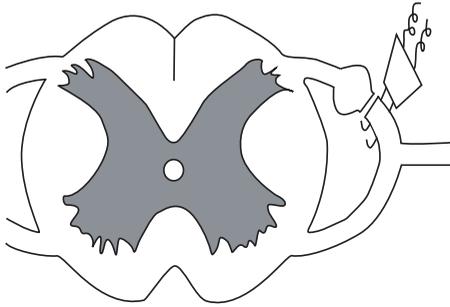
Expérience de section	Conséquences immédiates	Observation à plus long terme
 <p>Racine postérieure du nerf rachidien Ganglion spinal Nerf rachidien Section Racine antérieure du nerf rachidien</p>	La région du corps innervée par le nerf rachidien sectionné perd toute sensibilité et toute motricité.	Toutes les fibres nerveuses de la portion du nerf séparée de la moelle épinière dégénèrent.
 <p>Section Section</p>	La région du corps innervée par le nerf rachidien dont la racine postérieure sectionnée perd toute sensibilité. la motricité est maintenue, que la section soit réalisée d'un côté ou de l'autre du ganglion.	les fibres nerveuses dégénèrent de part et d'autre du ganglion spinal isolé, ainsi que dans la partie dorsale du nerf rachidien.
 <p>Section</p>	La région du corps innervée par le nerf rachidien sectionné perd sa motricité mais le sensibilité maintenue	Les fibres nerveuses dégénèrent dans la partie de la racine antérieure séparée de la moelle épinière ainsi que dans la partie ventrale du nerf.

-  Fibres nerveuses intactes
-  Fibres nerveuses en dégénérescence

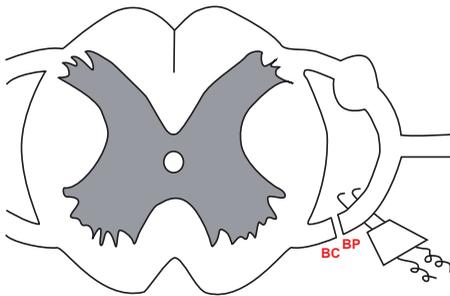
Document 1 : les expériences de Magendie

Document 1 : les expériences de Magendie

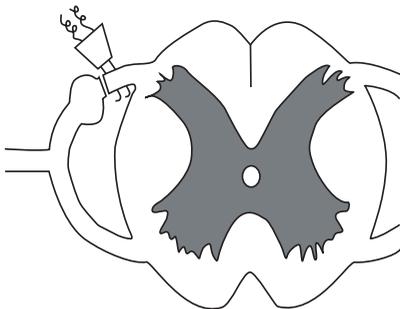
- Analyser ces expériences, quels éléments du réflexe permettent-elles de dégager ?



Après section de la racine dorsale, il est procédé à une stimulation du bout périphérique de celle-ci. Aucune réaction des muscles du membre innervé n'est observée.



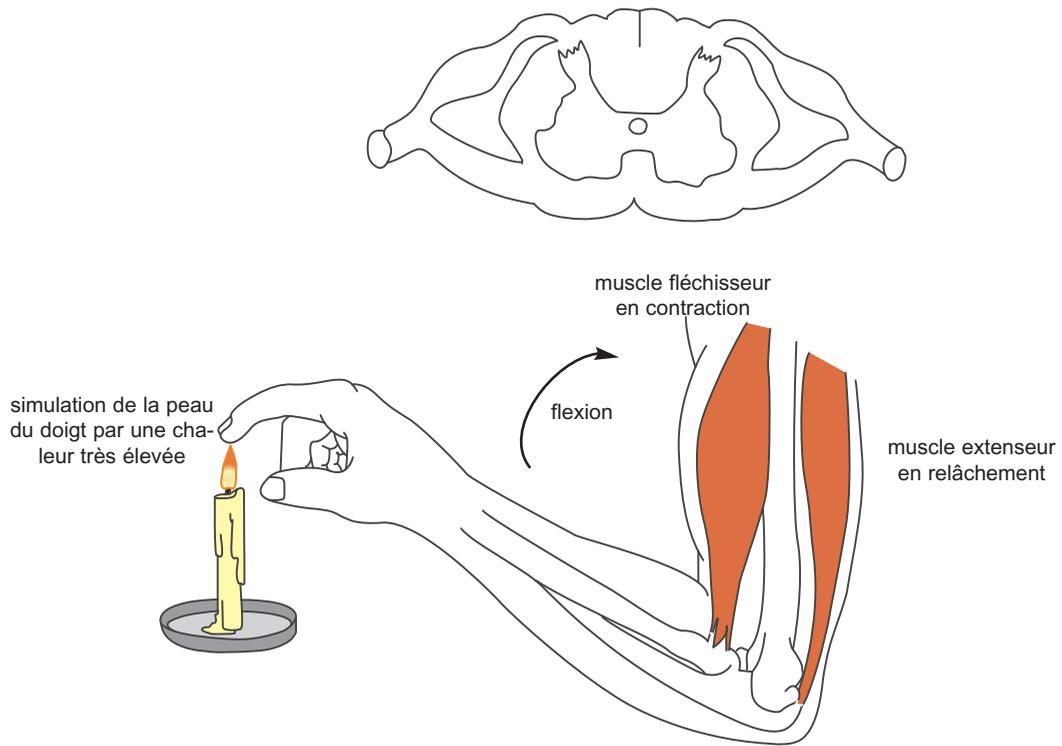
Après section de la racine ventrale et stimulation de son bout périphérique, on observe la contraction des muscles du membre innervé.



Après section de la racine dorsale et stimulation de son bout central (BC), on observe la contraction des muscles du membre innervé.

Document 2 : expériences d'excitation sur les racines rachidiennes

- Quelles nouvelles informations apportent ces expériences sur le rôle des racines rachidiennes ?
- En exploitant toutes les données et les réponses aux questions précédentes dégager les supports anatomiques impliqués dans le réflexe de retrait de la main, en précisant le rôle de chacun d'eux.
- Recopier et compléter le schéma suivant en représentant les éléments anatomiques mis en jeu dans le réflexe. Quelles données vous manquent-elles ? (on les précisera plus tard)



II La nature du message nerveux :

Depuis longtemps, on sait que le neurone est excitable et conducteur et qu'il est le siège de phénomènes électriques.

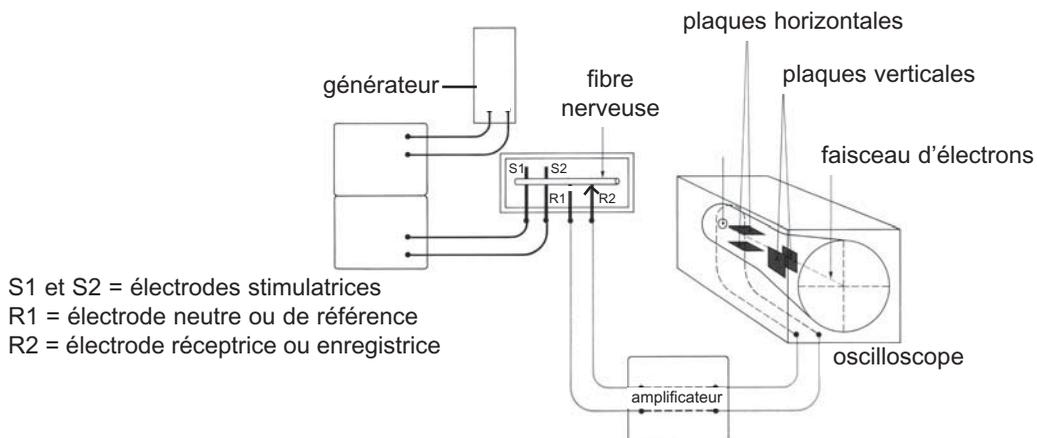
Aujourd'hui, des moyens techniques perfectionnés sont utilisés pour explorer l'activité électrique des neurones et comprendre la naissance, la propagation et la transmission du message nerveux.

Activité 2 : expliquer la naissance du message nerveux

1- Le potentiel de repos (PR) :

a. Enregistrement :

Dispositif expérimental : On utilise le matériel décrit sur le document suivant :

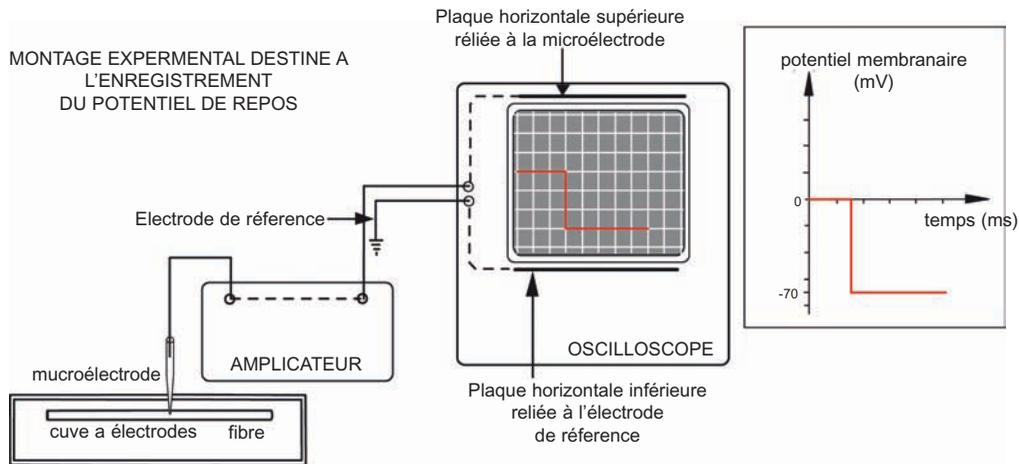


Document 3 : dispositif d'enregistrement des phénomènes électriques de la fibre nerveuse.

Principe de fonctionnement de l'oscilloscope:

les 2 plaques verticales assurent le balayage horizontal, alors que les 2 plaques horizontales reliées aux électrodes neutre et réceptrice provoquent la déviation verticale du spot, s'il y a une différence de potentiel (ddp) entre les électrodes R1 et R2.

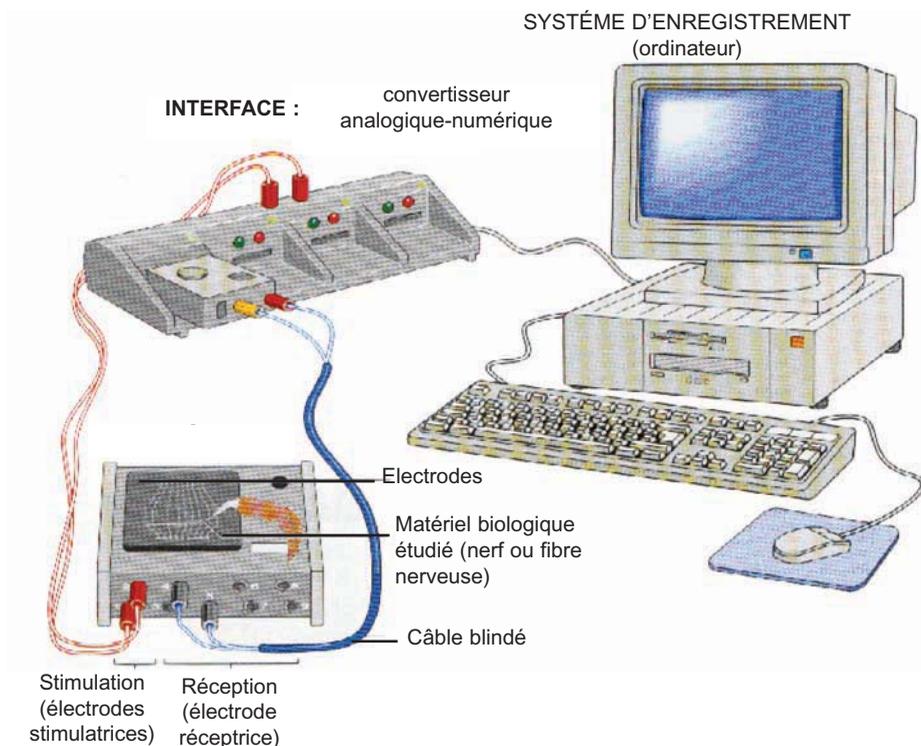
En enfonçant l'électrode réceptrice dans la fibre nerveuse (un axone géant de calmar de 0,5 à 1 mm de diamètre) ; la valeur du potentiel passe immédiatement de 0 à -70 millivolts (mv).



Document 4 : mise en évidence du potentiel de repos

- A quoi correspond le potentiel de repos ?
- Préciser sa valeur.
- Indiquer sur un schéma l'état de polarisation de la fibre au repos.

Actuellement, on peut enregistrer le potentiel membranaire de la fibre nerveuse en utilisant l'expérimentation assistée par ordinateur (l'EXAO).



b- Origine ionique du potentiel de repos

Le potentiel de repos ou la d.d.p transmembranaire ou potentiel de membrane est dû aux propriétés de la membrane de la fibre nerveuse séparant les deux compartiments liquidiens : le liquide intracellulaire (LIC) et le liquide extracellulaire (LEC). Ces deux liquides n'ont pas la même composition ionique comme le montre le tableau ci-contre.

ions	Concentration en ions (millimoles par litre)	
	LEC	LIC
[Na ⁺]	150	15
[K ⁺]	5	150
[Cl ⁻]	120	10
[A ⁻] (A - : gros anions)	02	100

Si le cytoplasme de l'axone est remplacé par une solution ionique correspondant au liquide intracellulaire normal, le potentiel de repos reste inchangé. En revanche le potentiel de repos s'annule, si la solution intracellulaire est identique à la solution extracellulaire.

Document 5 : concentration des ions de part et d'autre de la membrane nerveuse

- En exploitant les données précédentes, formuler une hypothèse sur l'origine du potentiel de repos.

On a démontré que la perméabilité de la membrane aux ions Na⁺ et K⁺ est due à la présence de canaux (protéines membranaires), toujours ouverts, appelés **canaux de fuite**. Ces canaux sont traversés passivement par les ions Na⁺ et K⁺ selon leur gradient de concentration (variation progressive, entre deux points dans un milieu biologique, de la concentration d'une substance).

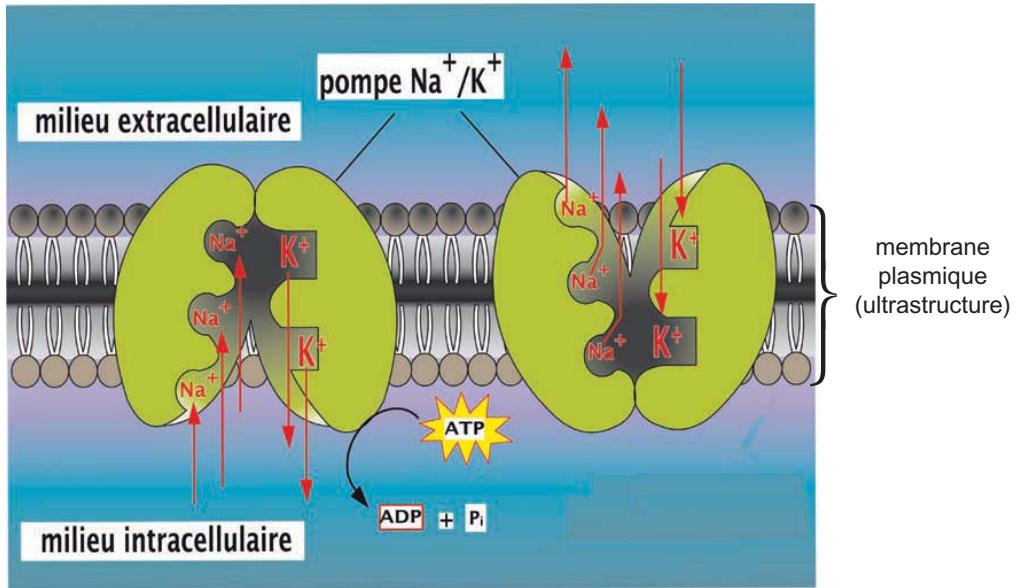
Les échanges d'ions Na⁺ et K⁺ par diffusion à travers les canaux de fuite conduisent normalement à une égalité de concentration de ces ions de part et d'autre de la membrane nerveuse. Ce qui n'est pas le cas dans les conditions physiologiques normales.

En plus du phénomène de diffusion, un autre mécanisme intervient pour engendrer et maintenir l'inégalité de concentration de part et d'autre de la membrane.

- Formuler une hypothèse expliquant le maintien de l'inégalité de concentration de part et d'autre de la membrane.

On a montré qu'au niveau de la membrane, il existe d'autres types de protéines, il s'agit d'une **enzyme-pompe** qui assure le transport des ions Na⁺ et K⁺ contre leur gradient de concentration. Ce transport nécessite de l'énergie fournie par l'hydrolyse de l'ATP réalisée par cette enzyme-pompe.

Le schéma suivant explique le fonctionnement de la pompe Na^+ / K^+ .



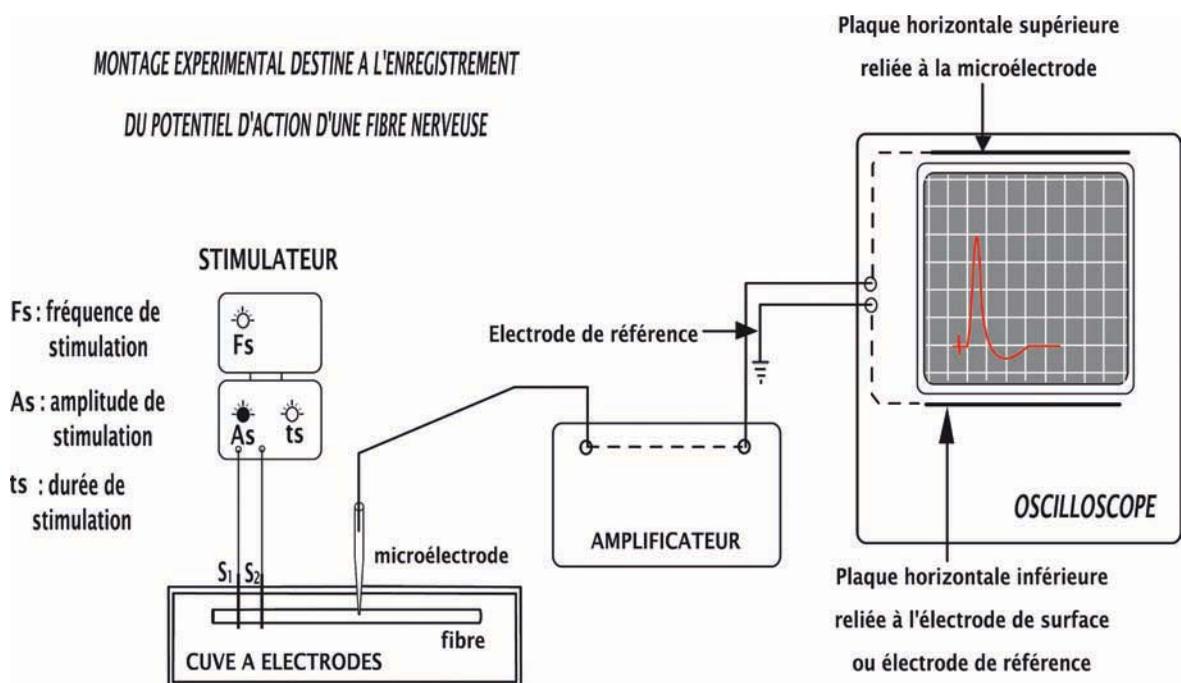
Document 6 : modèle de fonctionnement de la pompe Na^+ / K^+

D'après le document 5, expliquer le fonctionnement de la pompe Na^+ / K^+ et indiquer le résultat de ce fonctionnement

2. Le potentiel d'action (PA) :

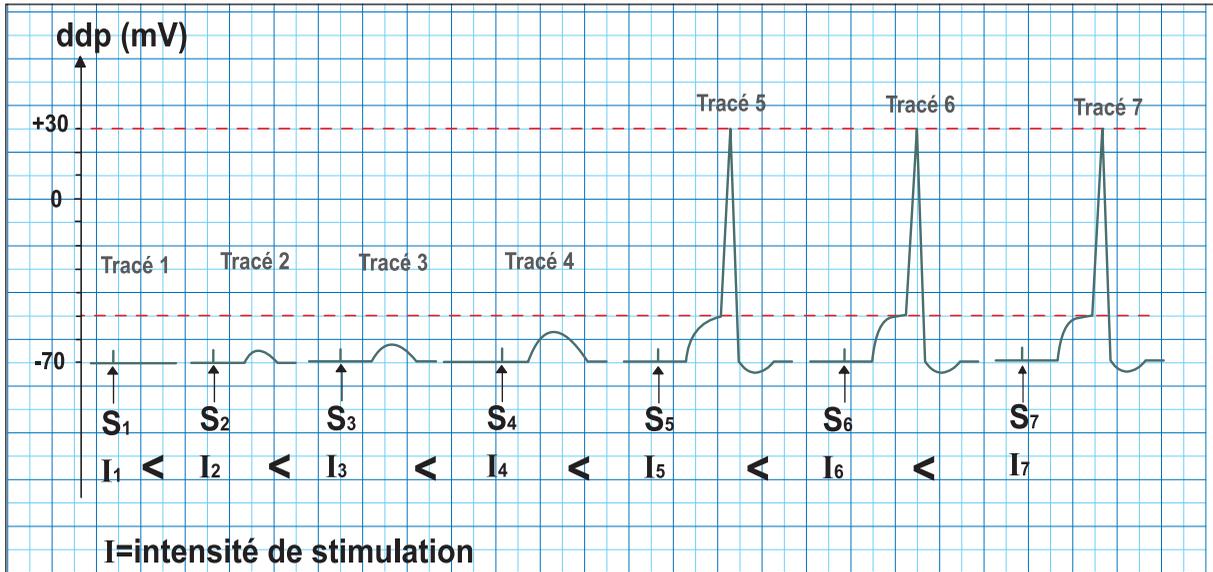
a- Enregistrement :

sur le même dispositif expérimental et à l'aide d'électrodes stimulatrices, on porte sur une fibre nerveuse des stimulations d'intensité croissantes ($S_1 < S_2 < S_3 < S_4 < S_5 < S_6 < S_7$).



Dispositif d'enregistrement du potentiel d'action

On a obtenu les tracés représentés ci-dessous:

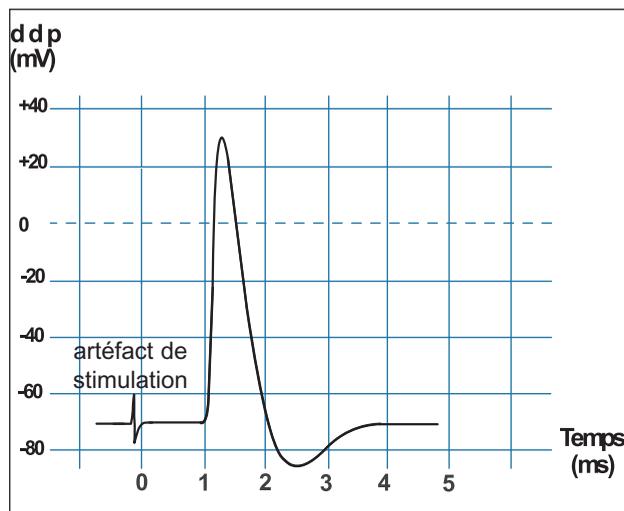


Document 7 : enregistrement du potentiel d'action

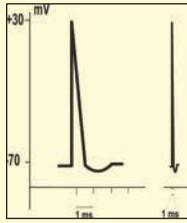
- Les tracés 2, 3 et 4 sont des enregistrements de potentiels locaux
- Les tracés 5, 6 et 7 sont des enregistrements de potentiels d'action

- Indiquer l'intensité minimale de la stimulation qui déclenche un potentiel d'action : c'est l'**intensité-seuil** ou intensité liminaire qui fait que cette stimulation soit efficace.
- Les physiologistes disent que le potentiel d'action de la fibre nerveuse obéit à «la loi de tout ou rien». En quoi les enregistrements précédents illustrent-ils cette loi ?

• Analysons un PA



- Analyser la courbe d'un potentiel d'action en indiquant les phases qui le constituent et en déterminant son amplitude et sa durée.
- Expliquer la signification de chaque phase du potentiel d'action en représentant par des schémas les changements de la polarité de la membrane de l'axone.

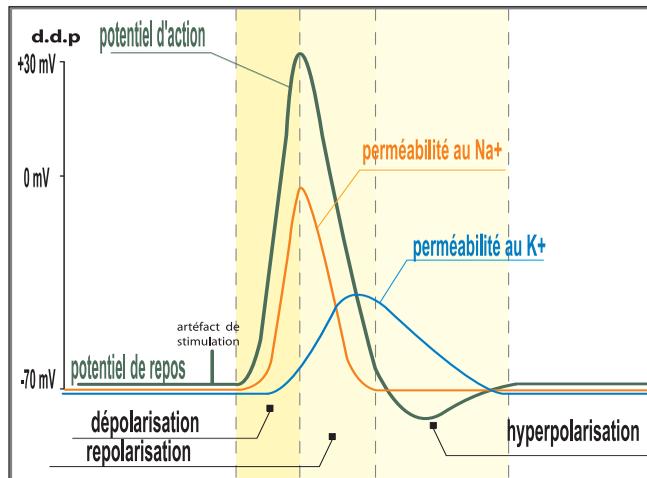


L'allure d'un potentiel d'action dépend de l'échelle du temps utilisée. Si cette échelle est grande, il apparaît étiré et on distingue ses différentes phases (PA de gauche), si l'échelle est petite, il apparaît sous forme d'un trait vertical (PA de droite)

b- Origine ionique du potentiel d'action :

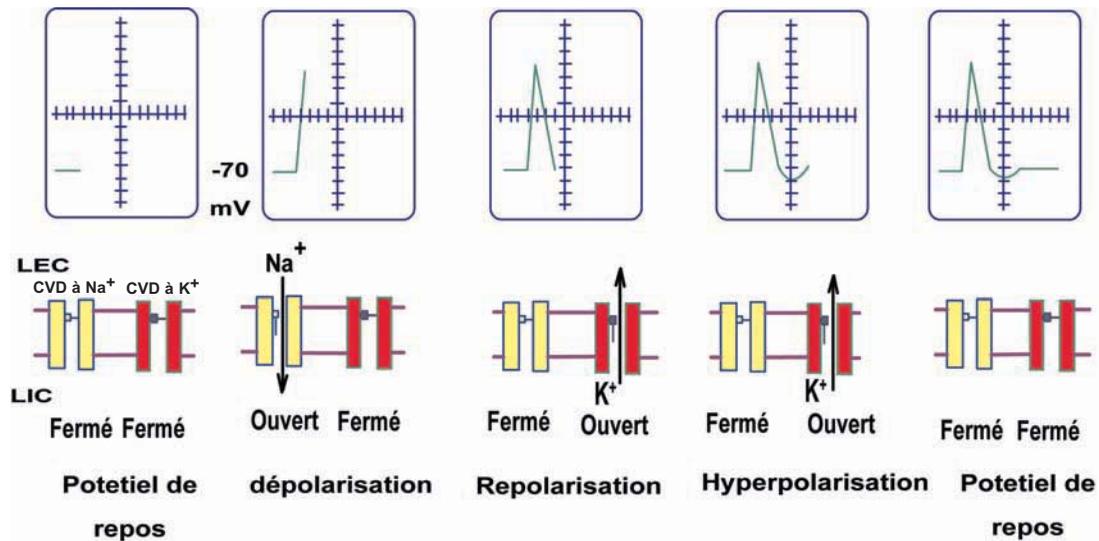
Activité 3 : expliquer l'origine du potentiel d'action

Au cours du potentiel d'action on constate une variation de la perméabilité de la membrane aux ions Na^+ et K^+ comme le montre le document suivant :



Document 8 : variation de la perméabilité aux ions Na^+ et K^+ de la membrane plasmique d'un neurone, durant un potentiel d'action

- Analyser ces courbes en mettant en relation la variation de la perméabilité membranaire aux ions Na^+ et K^+ et les phases du potentiel d'action
- Au cours du potentiel d'action, l'entrée et la sortie des ions Na^+ et K^+ s'effectuent à travers des canaux dont l'ouverture dépend d'un niveau précis du potentiel de la membrane, ce sont des **canaux ioniques voltage-dépendants (CVD)**; ces canaux sont fermés au repos.
 - À la dépolarisation: les canaux Na^+ s'ouvrent lorsque le potentiel de la membrane atteint une valeur seuil de -50 mV et il y a entrée massive et brusque de Na^+
 - À la repolarisation : les canaux K^+ s'ouvrent lorsque le potentiel de la membrane atteint une valeur seuil de $+30 \text{ mV}$: il y a sortie de K^+ . les canaux Na^+ se ferment
 - À l'hyperpolarisation: les canaux Na^+ sont fermés, les canaux K^+ sont ouverts. La sortie de K^+ continue même après la repolarisation, d'où une légère hyperpolarisation puis fermeture des canaux K^+ . La pompe Na^+/K^+ ramène la membrane au potentiel de repos.



La fibre nerveuse, après avoir été le siège d'un potentiel d'action suite à une stimulation efficace, ne peut réagir immédiatement à une nouvelle stimulation pendant quelques millisecondes : c'est la **période réfractaire**. Elle est due à la fermeture momentanée des canaux voltage-dépendants après la repolarisation

Naissance du message nerveux au niveau du récepteur sensoriel :

Au cours d'un réflexe moteur à point de départ cutané, le message nerveux prend naissance au niveau de structures nerveuses spécialisées et situées dans la peau appelées **récepteurs sensoriels**.

Dans la peau il y a plusieurs types de récepteurs sensoriels. Chacun réagit préférentiellement à une stimulation de nature spécifique.

Quelque soit le récepteur sensoriel impliqué, son excitation par un stimulus adéquat se traduit par la conversion de l'énergie du stimulus en un **message nerveux** sensoriel sous forme d'une série de potentiels d'action identiques : c'est la **transduction sensorielle**. La fréquence du message nerveux sensoriel est proportionnelle à l'intensité du stimulus : le message nerveux est codé en **modulation de fréquence**.

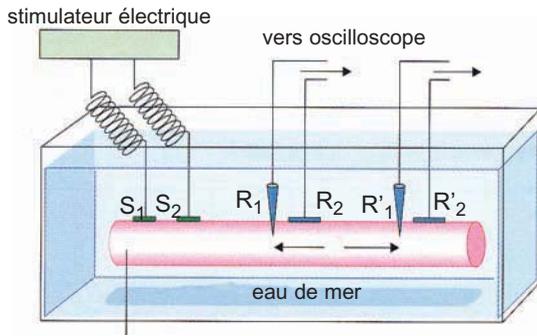
III Propagation du message nerveux

1. Vitesse de propagation du message nerveux

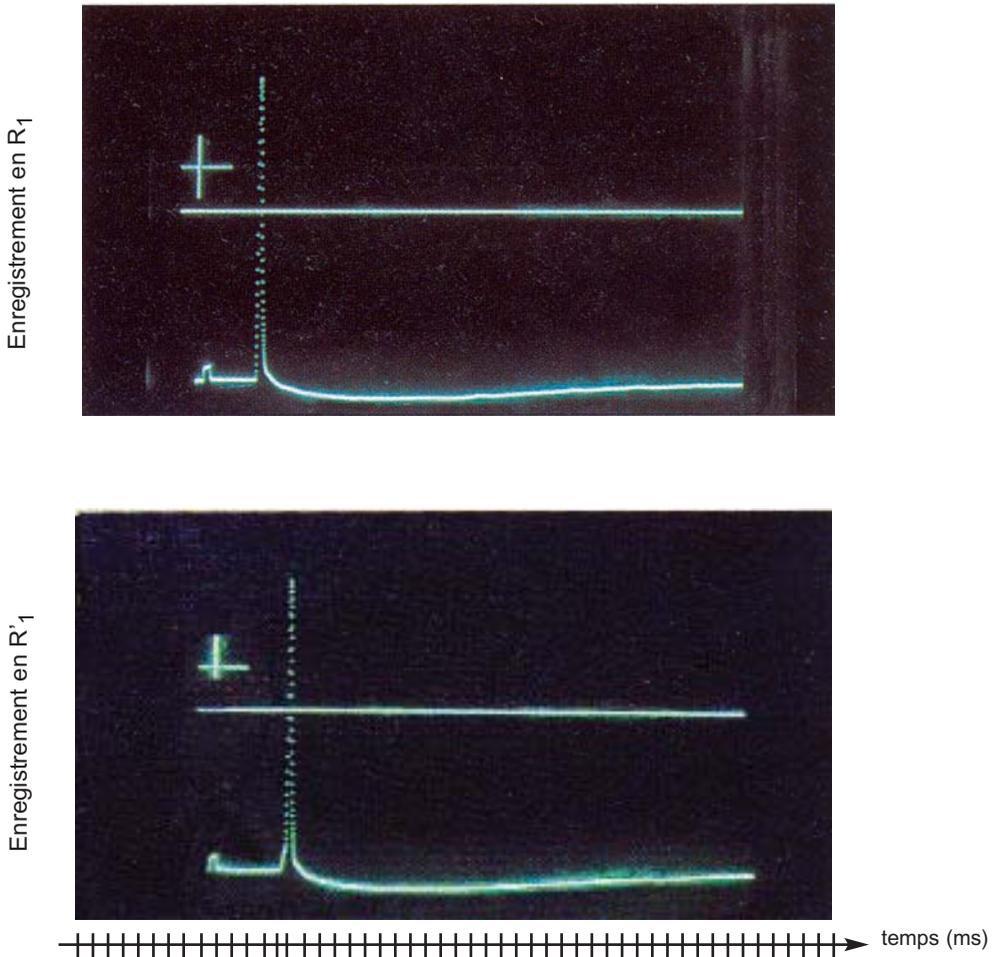
Le message nerveux, généré au niveau des récepteurs sensoriels, se propage vers les centres nerveux.

Activité 4 : déterminer la vitesse de propagation du message nerveux et expliquer le mécanisme de sa propagation

On applique à une fibre nerveuse une stimulation efficace (choc isolé) et on enregistre au niveau des électrodes R_1 et R_2 et au niveau des électrodes R'_1 et R'_2 (document 10)



électrodes stimulatrices : S_1 et S_2
 électrodes réceptrices : R_1 et R'_1 =
 électrodes réceptrices,
 R_2 et R'_2 = électrodes de référence



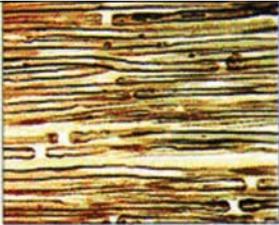
Document 10 : dispositif expérimental de détermination de la vitesse du message nerveux et enregistrements obtenus

- Calculer à partir des données du graphe la vitesse de propagation du message nerveux, sachant que la distance entre R_1 et R'_1 = 30 mm
- Comparer cette vitesse à celle du courant électrique (300 000 Km/S). Conclure

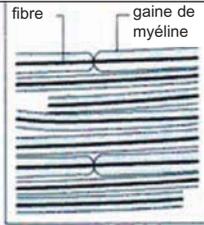
- La vitesse de conduction du message nerveux est-elle constante dans toutes les fibres nerveuses ?

Des mesures de la vitesse de conduction du message nerveux ont été effectuées sur différentes fibres nerveuses. Les résultats sont présentés sur le tableau suivant :

nature des fibres	exemples	diamètre moyen des fibres (μm)	vitesse de propagation moyen (m.s^{-1})
fibres nerveuses myélinisées (diamètre = axone ou dendrite + gaine)	-fibres des fuseaux neuro-musculaires	13	75
	- fibres des mécanorécepteurs cutanés	9	55
	- fibres de récepteurs profonds à la pression dans les muscles	3	11
fibres nerveuses amyélinisées (diamètre = axone ou dendrite)	- fibres de récepteurs de la douleur	0,5	1
	- fibre géante de calmar	700	25



a. Fibres nerveuses myélinisées dissociées (MO, x600),

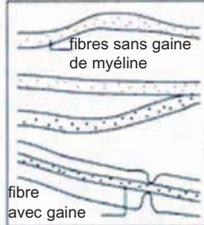


fibres sans gaine de myéline

fibres avec gaine



b. Fibres nerveuses myélinisées dissociées (MO, x600),

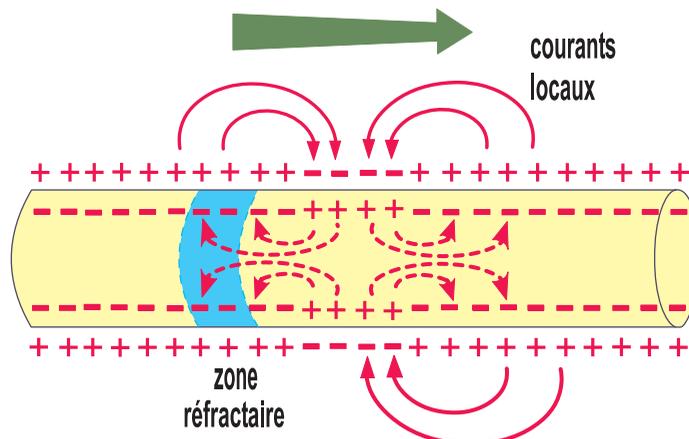


Document 11 : relation entre vitesse de propagation du message nerveux et diamètre de la fibre nerveuse

- Analyser ce tableau et dégager la relation entre la vitesse de propagation du message nerveux et les caractéristiques de la fibre nerveuse.

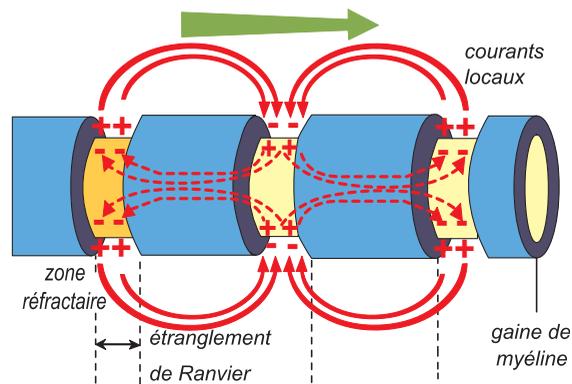
2. Mode de propagation du message nerveux

- dans les fibres sans myéline (amyélinisées)**



Document 12 : propagation du potentiel d'action le long d'une fibre nerveuse sans myéline

• dans les fibres myélinisées



Document 13 : propagation du potentiel d'action le long d'une fibre nerveuse myélinisée

- À partir des documents 12 et 13, expliquer le mécanisme de propagation du message nerveux dans les 2 types de fibres nerveuses?
- Justifier le fait que la vitesse de propagation du message nerveux soit plus élevée dans les fibres myélinisées que dans les fibres amyélinisées ?

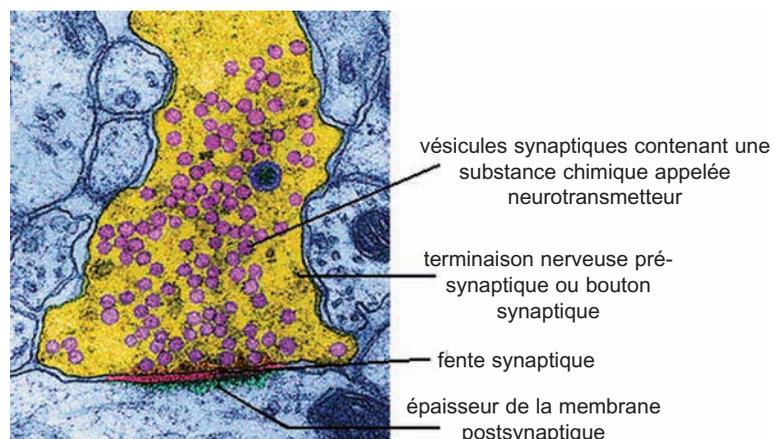
IV Transmission synaptique

Activité 5 : expliquer le mécanisme de la transmission synaptique

Dans le tissu nerveux, il existe des sites de jonction entre les neurones, ce sont les synapses. Comment se transmet le message nerveux d'un neurone à un autre au niveau d'une synapse ?

Les données suivantes apportent des éléments de réponse à cette question

1. Les documents ci-dessous représentent l'ultrastructure d'une synapse neuroneuronique.



Document 14 : ultrastructure d'une synapse neuroneuronique

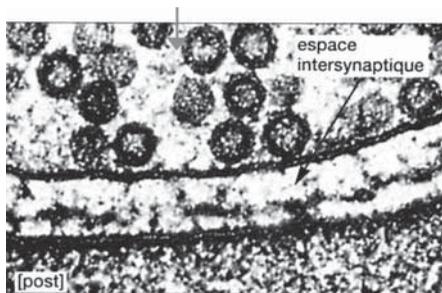


Figure A

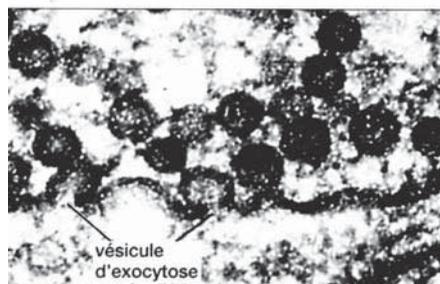


Figure B

Document 15 : état structural d'une synapse

Figure A : au repos - Figure B : suite à l'arrivée d'un PA présynaptique"

2. Expérience :

- En l'absence de potentiel d'action présynaptique, l'injection d'ions calcium dans le bouton synaptique provoque l'exocytose des vésicules synaptiques et la libération du neurotransmetteur dans la fente synaptique

La zone épaissie de la membrane postsynaptique contient des récepteurs spécifiques au neurotransmetteur du bouton synaptique du neurone présynaptique.

La fixation du neurotransmetteur sur ces récepteurs déclenche l'ouverture de canaux ioniques de la membrane postsynaptique. Ce sont des **canaux ioniques chimio-dépendants**.

Des mouvements ioniques se produisent et modifient le potentiel de la membrane postsynaptique. Ainsi la synapse fonctionne comme une valve de manière unidirectionnelle.

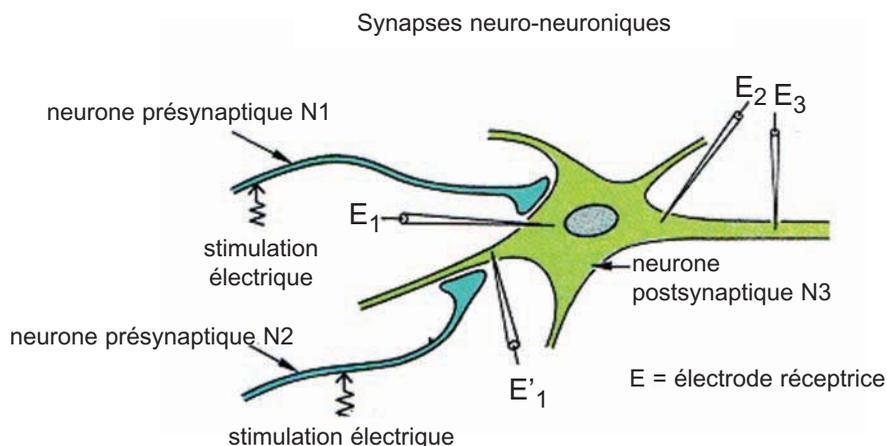
A partir des données précédentes, représenter schématiquement les étapes successives de la transmission synaptique

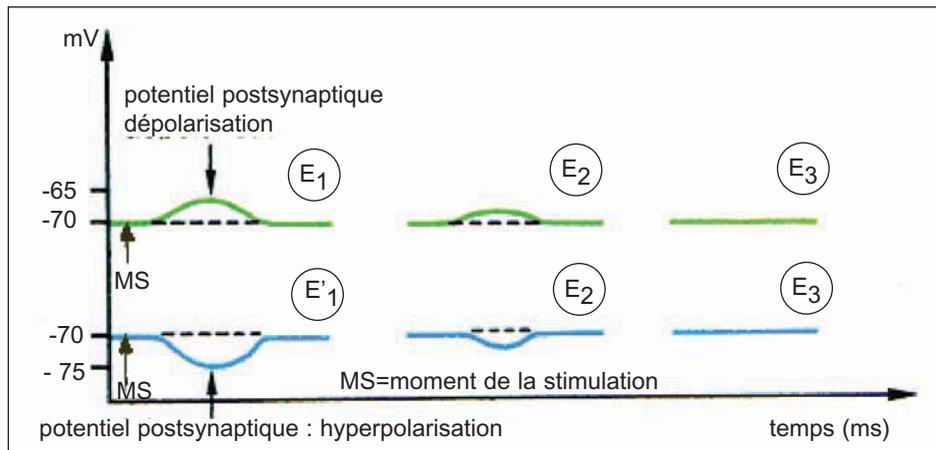
3. Enregistrement des potentiels postsynaptiques

La variation du potentiel postsynaptique, suite à une transmission synaptique, peut être mise en évidence par l'enregistrement dans le neurone postsynaptique, comme le montre le document suivant (document 16) :

On porte une stimulation électrique efficace sur les neurones présynaptiques N_1 et N_2 . Les potentiels de membrane postsynaptiques sont enregistrés au niveau du neurone N_3 :

- à proximité de la terminaison synaptique (E_1 , E'_1)
- à des points éloignés (E_2 et E_3)





Document 16 : enregistrement de potentiels postsynaptiques

- Comparer les variations de potentiel de la membrane postsynaptique dans les deux types de synapses.
 - Les physiologistes appellent l'enregistrement E_1 un **potentiel postsynaptique excitateur (PPSE)** et l'enregistrement E'_1 un **potentiel postsynaptique inhibiteur (PPSI)**, Justifier ces appellations.
 - Quelles sont les caractéristiques de ces potentiels postsynaptiques (PPS) ?
 - Formuler une hypothèse pour expliquer la diminution d'amplitude des PPS en allant de E_1 et E'_1 vers E_2 et E_3
 - Sachant que le PPSE et le PPSI sont dus à des mouvements d'ions et que les ions impliqués dans ces potentiels sont Na^+ , K^+ et Cl^- , proposer une interprétation ionique du PPSE et du PPSI
 - Ces enregistrements montrent l'existence de 2 types fonctionnels de synapses : des **synapses excitatrices** et des **synapses inhibitrices**. Identifier ces deux types de synapses

Les enregistrements mettent en évidence, en plus du temps de latence dû à la distance entre les électrodes excitatrices et l'électrode réceptrice, un délai entre l'excitation du neurone présynaptique et l'enregistrement du potentiel postsynaptique. C'est le **délai synaptique** dont la valeur est de 0,5 milliseconde environ.

- A partir de vos connaissances sur la transmission synaptique, expliquer l'origine de ce délai synaptique

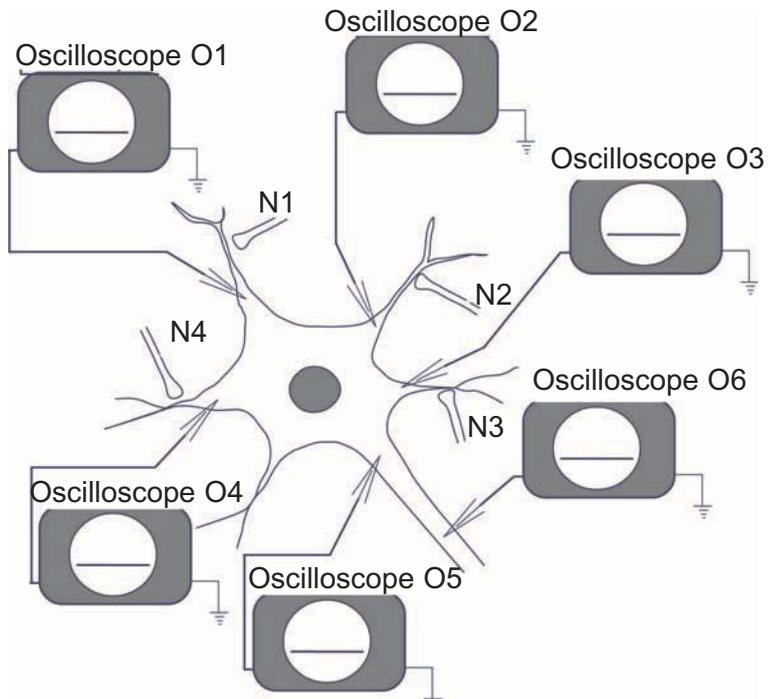
V Rôle intégrateur du neurone postsynaptique

Activité 6 : mettre en évidence le rôle intégrateur du neurone postsynaptique

Au niveau des centres nerveux, un neurone établit plusieurs milliers de synapses avec d'autres neurones. Il peut recevoir simultanément ou successivement un grand nombre de messages nerveux : les uns excitateurs engendrant des PPSE, les autres inhibiteurs engendrant des PPSI.

Comment le neurone postsynaptique intègre-t-il tous ces messages et quel en est le résultat ?

On utilise le dispositif expérimental suivant :



N1, N2 , N3 et N4 : neurones présynaptiques

Document 21 : dispositif expérimental de mise en évidence du rôle intégrateur du neurone postsynaptique

Le tableau suivant présente les conditions expérimentales et les enregistrement obtenus

Conditions expérimentales	Enregistrements sur les oscilloscopes					
	O1	O2	O3	O4	O5	O6
On applique des excitations efficaces isolées non simultanées sur les neurones: - N1						
On applique plusieurs excitations efficaces sur le neurone N1						
- 2 excitations plus rapprochées						
- 3 excitations plus rapprochées						

Document 8 : enregistrement de potentiels postsynaptiques

Conditions expérimentales	Enregistrements					
	O1	O2	O3	O4	O5	O6
On applique plusieurs excitations efficaces sur le neurone N3 : - 2 excitations peu rapprochées						
- 2 excitations plus rapprochées						
On applique simultanément des excitations efficaces sur les neurones N1, N2 et N4						
On applique simultanément des excitations efficaces sur les neurones N1, N2 et N3						
On applique simultanément des excitations efficaces sur les neurones N1, N2, N3 et N4						

- A partir de l'analyse des données du document 21, distinguer les synapses excitatrices et les synapses inhibitrices.
- Dans quelles conditions obtient-on un potentiel d'action postsynaptique ?
- Quelles propriétés des PPS peut-on dégager en comparant les enregistrements en O₁, O₂, O₃, O₄ d'une part et en O₅ et O₆ d'autre part ?
- A partir de toutes ces données, expliquer comment le neurone postsynaptique intègre les messages nerveux provenant des neurones présynaptiques.

VI La coordination de l'activité des muscles antagonistes au cours du réflexe à point de départ cutané

Deux muscles antagonistes, sont deux muscles squelettiques qui, lors d'un mouvement, fonctionnent en opposition : lorsque l'un se contracte l'autre se relâche.

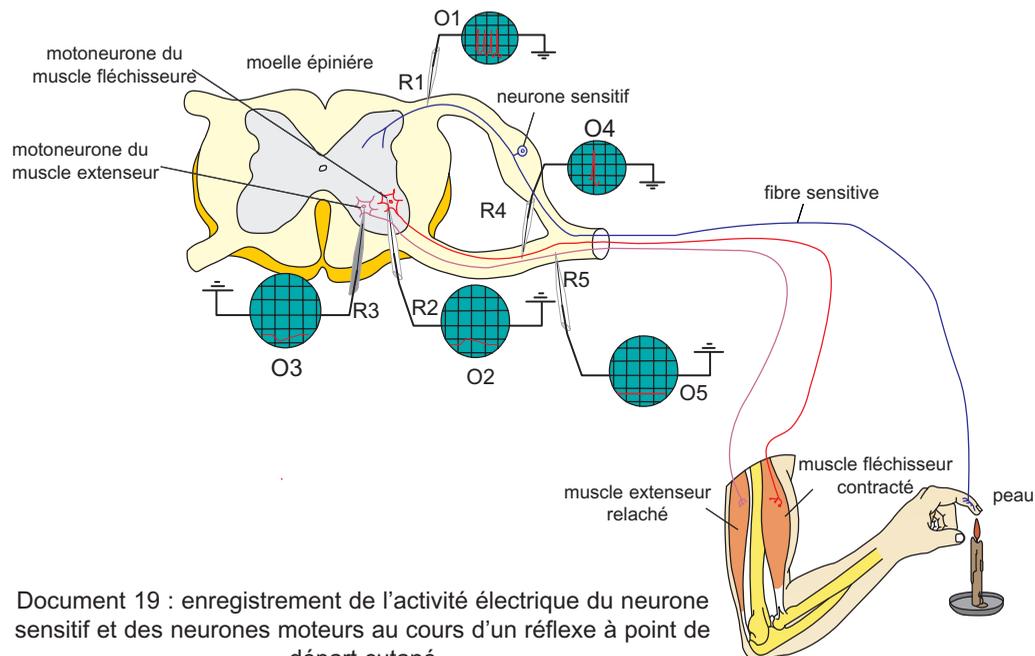
Au cours du réflexe à point de départ cutané, tel que le réflexe de retrait de la main au contact d'un objet très chaud, la contraction du muscle fléchisseur de l'avant bras (le biceps) est accompagnée du relâchement du muscle antagoniste (le muscle extenseur de l'avant bras : le triceps). On parle de **coordination** qui est nécessaire à la réalisation du mouvement.

Activité 7 : expliquer le mécanisme de la coordination des muscles antagonistes

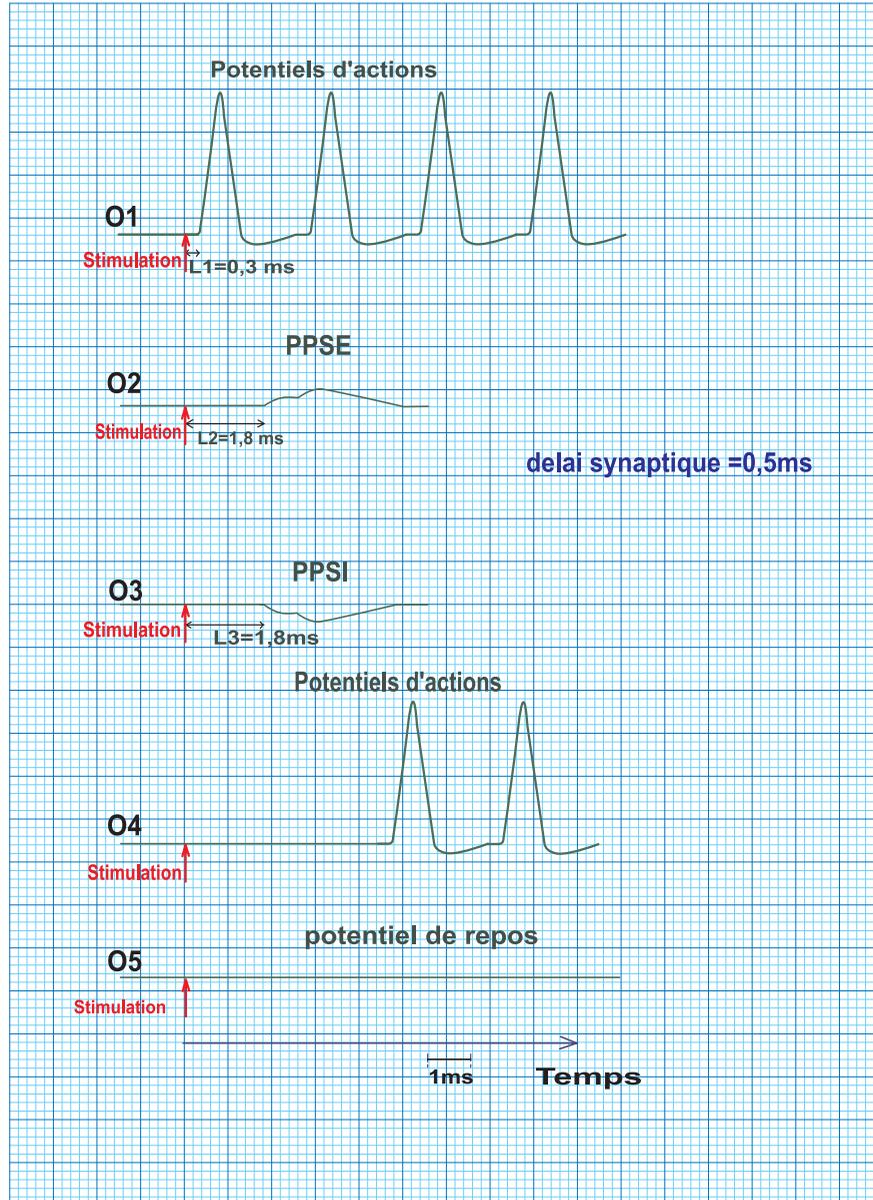
Comment expliquer la contraction du muscle fléchisseur et le relâchement simultané du muscle antagoniste ?

Pour répondre à cette question on réalise des expériences chez le chat (le réflexe à point de départ cutané peut être observé chez le chat et les organes concernés sont les mêmes que chez l'homme)

Suite à une stimulation de la peau avec un objet très chaud, on enregistre l'activité électrique au niveau des fibres sensibles en liaison avec les récepteurs de la peau des corps cellulaires et des fibres nerveuses motrices qui se dirigent vers le muscle fléchisseur et vers le muscle antagoniste (muscle extenseur)



Les enregistrements obtenus au niveau des oscilloscopes : O_1 , O_2 , O_3 , O_4 , O_5 sont les suivants :



Document 20 : résultats des enregistrements

- Expliquer l'existence des temps de latence et l'origine des enregistrements obtenus
- Utiliser les données sur les temps de latence pour déterminer le nombre de synapses entre le neurone sensitif et le motoneurone du muscle fléchisseur, ainsi que le nombre de synapses entre la neurone sensitif et le motoneurone du muscle antagoniste (muscle extenseur)
- Expliquer à l'aide des données d'enregistrement la coordination entre la réponse du muscle fléchisseur et celle du muscle extenseur

Activité 8 : reconstituer le circuit anatomique intervenant dans le réflexe à point de départ cutané

- Utiliser les données des activités 1, 2, 5,6 et 7 pour construire un schéma de synthèse regroupant tous les éléments anatomiques mis en jeu dans le réflexe à point de départ cutané et leurs relations

Bilan des activités et synthèse

I Le réflexe de retrait de la main, un réflexe à point de départ cutané

C'est une réaction motrice involontaire, innée, stéréotypée, déclenchée par le contact de la peau avec un objet brûlant ou la piqûre de la peau par une épine ou une aiguille ...

Ce réflexe joue un rôle de protection de la main contre l'action nocive du stimulus.

Le réflexe de retrait de la main met en jeu les éléments anatomiques suivants :

- **des terminaisons nerveuses de la peau** : ce sont des récepteurs sensoriels sensibles aux températures élevées (thermorécepteurs). Une stimulation de ces récepteurs provoque la production d'un message nerveux sous forme d'un train de potentiels d'action dont la fréquence est proportionnelle à l'intensité du stimulus.

- **des fibres nerveuses sensitives ou afférentes** : ce sont des dendrites de neurones sensitifs dont le corps cellulaire est situé dans le ganglion spinal de la racine rachidienne postérieure correspondante. Ces fibres ont pour rôle de conduire le message nerveux, produit au niveau des récepteurs stimulés, vers le centre nerveux du réflexe.

- **la moelle épinière** : c'est le centre nerveux du réflexe de retrait de la main qui est donc un réflexe médullaire. La moelle épinière a pour fonction de traiter le message nerveux sensitif provenant des récepteurs et d'envoyer des messages moteurs vers les organes effecteurs.

- **des fibres nerveuses motrices ou efférentes** : ces fibres ont leur corps cellulaire dans la corne antérieure de la substance grise de la moelle épinière. Elles passent par la racine rachidienne ventrale ou antérieure puis par le nerf rachidien correspondant. Elles transmettent le message nerveux moteur aux muscles concernés.

- les muscles du bras : ce sont les **organes effecteurs** du réflexe de retrait de la main. Il s'agit du muscle fléchisseur (le biceps) et de son antagoniste le muscle extenseur (le triceps)

(Activité 1)

II Le message nerveux

1- Nature et origine du message nerveux :

a- Le potentiel de repos (PR)

En l'absence d'excitation, le neurone est caractérisé par l'existence d'une différence de potentiel électrique entre la face interne et la face externe de la membrane : c'est le potentiel de repos ou potentiel de membrane, il est de l'ordre de -70 millivolts. Il est exprimé négativement parce que l'intérieur du neurone est négatif par rapport à l'extérieur qui est positif. Ainsi la membrane cellulaire au repos est polarisée

b- Origine du potentiel de repos

Le potentiel de repos s'explique par la répartition inégale des ions Na^+ et K^+ de part et d'autre de la membrane du neurone.

La perméabilité de la membrane aux ions Na^+ et K^+ ne suffit pas pour expliquer la différence de concentration de ces ions de part et d'autre de la membrane. Le maintien de cette inégalité de concentration aux ions Na^+ et K^+ est dû à l'action de la pompe Na^+ / K^+ .

C'est une enzyme qui traverse la membrane, capture les ions Na^+ situés à l'intérieur et les expulse vers l'extérieur, de même, elle prend les ions K^+ de l'extérieur et les ramène à l'intérieur. Ce transport se fait contre le gradient de concentration de ces ions, il nécessite de l'énergie sous forme d'ATP. L'enzyme est une ATPase qui décompose l'ATP en $\text{ADP} + \text{P}_i$ et libère de l'énergie qui sert à transporter les ions Na^+ et K^+ à travers la membrane.

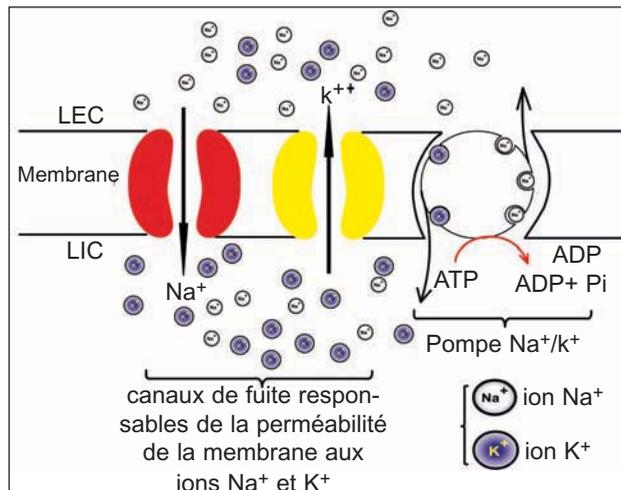


Schéma des canaux de fuite et de la pompe Na^+ / K^+

c. Le potentiel d'action (PA)

Il est obtenu suite à une stimulation efficace de la fibre nerveuse

Si l'intensité de stimulation atteint ou dépasse une valeur seuil (intensité limite), on enregistre une variation de potentiel appelée : **potentiel d'action** qui a les caractéristiques suivantes :

- une amplitude constante de l'ordre de 100 millivolts
- une durée constante d'environ 1 milliseconde
- une vitesse qui varie de 30 ms^{-1} à 100 ms^{-1} (alors que le courant électrique a une vitesse de $300000000 \text{ ms}^{-1}$)

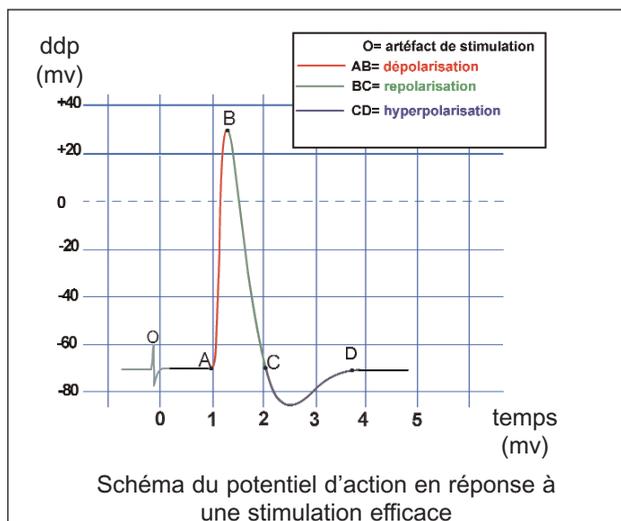


Schéma du potentiel d'action en réponse à une stimulation efficace

Remarques :

- le potentiel d'action se produit chaque fois que la dépolarisation provoquée par la stimulation fait atteindre au potentiel de membrane une valeur seuil dite le **seuil de potentiel**. Sa valeur est de -50 mV
- avec une intensité \geq au seuil, on obtient d'emblée une réponse maximale : **C'est la loi de tout ou rien**.
- La fibre nerveuse, après avoir été le siège d'un potentiel d'action suite à une stimulation efficace, ne peut réagir immédiatement à une nouvelle stimulation pendant quelques millisecondes : c'est la **période réfractaire**

(Activité 2)

d. Origine ionique du potentiel d'action

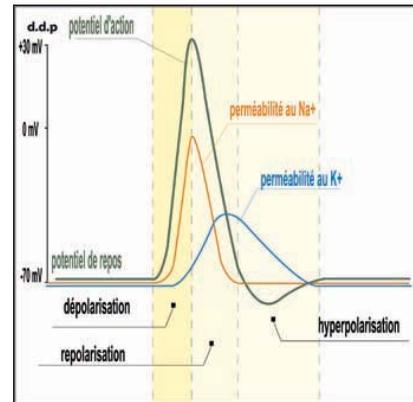
- La membrane de la fibre nerveuse joue un rôle fondamental dans la production du potentiel d'action.

Relation entre les phases du potentiel d'action et la perméabilité membranaire aux ions Na^+ et K^+ :

On a démontré que les phases du potentiel d'action correspondent à des modifications passagères de la perméabilité de la membrane aux ions Na^+ et K^+ . Lorsque le potentiel de la membrane atteint le seuil (-50mV), les canaux à Na^+ s'ouvrent permettant l'entrée d'un flux d'ions Na^+ à l'intérieur de la fibre, ce qui provoque sa dépolarisation de -70 à $+30\text{ mV}$. L'amplitude est d'emblée maximale.

Lorsque le potentiel de la membrane atteint $+30\text{ mV}$, les canaux à Na^+ se ferment et les canaux à K^+ s'ouvrent laissant sortir un flux d'ions K^+ , les ions K^+ continuent à sortir quelques minutes après la fin de la phase de repolarisation, ce qui explique l'hyperpolarisation

Les canaux à Na^+ et à K^+ sont des protéines membranaires qui, sous l'effet de la variation du potentiel de membrane, changent de structure moléculaire et laissent entrer ou sortir les ions. Pour cette raison ils sont appelés **canaux voltage-dépendants**.



Relation entre les phases du potentiel d'action et la perméabilité membranaire aux ions Na^+ et K^+

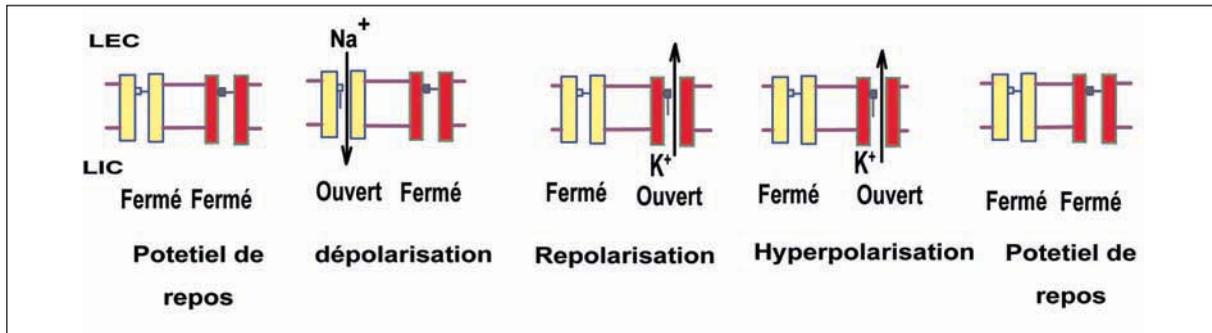


Schéma du fonctionnement des canaux ioniques voltage-dépendants au Na^+ et au K^+ au cours du potentiel d'action

f. Explication de la période réfractaire : Les canaux voltage-dépendants au Na^+ se referment rapidement après la phase de dépolarisation et demeurent fermés pendant quelques millisecondes ce qui explique l'existence de la période réfractaire.

Le retour à la polarisation normale de la membrane se fait grâce à l'activité de la pompe Na^+/K^+ après la repolarisation.

(Activité 3)

2- Propagation du message nerveux le long des fibres nerveuses :

a. vitesse de propagation

La stimulation efficace (\geq seuil) d'une fibre nerveuse en un point, donne naissance à un potentiel d'action qui se propage le long de la fibre avec une vitesse qui varie de 30 ms^{-1} jusqu'à 100 ms^{-1} chez les mammifères.

La vitesse dépend du diamètre des fibres nerveuses. Les fibres de plus gros diamètre conduisent le message nerveux plus rapidement. La vitesse dans les fibres myélinisées est donc plus grande que dans les fibres amyélinisées.

b. Mécanisme de la propagation du PA :

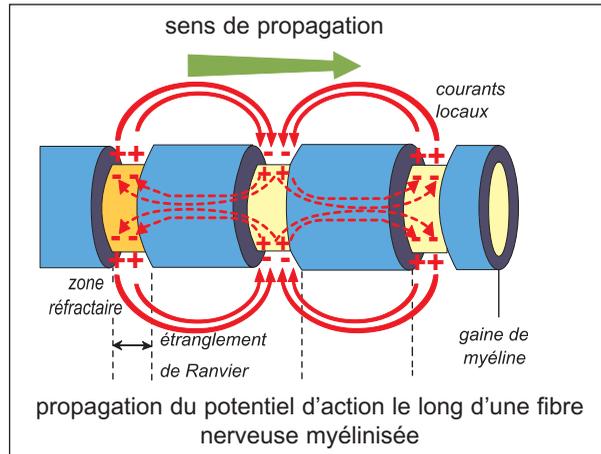
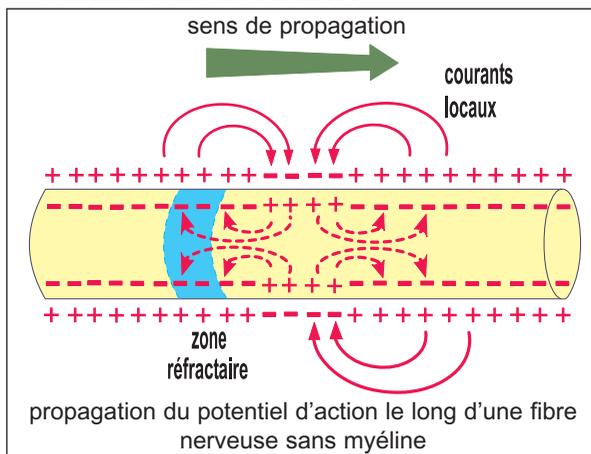
En fait, le potentiel d'action ne se déplace pas le long de la fibre nerveuse, mais chaque potentiel déclenche un autre et ceci de proche en proche par l'effet des courants locaux

L'existence du potentiel d'action en une zone de la fibre nerveuse crée entre cette zone et la zone voisine des courants électriques locaux qui entraînent une dépolarisation de la membrane de cette zone voisine par un déplacement électrique (les charges positives sont attirées par les charges négatives).

Ainsi le PA est continuellement régénéré tout au long de la fibre nerveuse.

Pendant un bref instant, la zone qui vient d'être le siège du PA reste inexcitable. L'existence de cette période réfractaire explique que le PA ne puisse pas revenir en arrière, on parle d'une propagation unidirectionnelle du potentiel d'action.

- Dans les fibres amyélinisées, la propagation se fait de proche en proche, elle est continue.
- Dans les fibres myélinisées, la propagation est discontinue car les charges électriques sautent d'un nœud de Ranvier au nœud voisin
Ceci est dû au fait que la myéline est un isolant électrique et que les canaux ioniques voltage-dépendants sont localisés au niveau des nœuds de Ranvier. On parle dans ce cas d'une **propagation saltatoire** qui est plus rapide que la propagation continue.
- Dans les conditions physiologiques, le sens de propagation du message nerveux suit toujours la même direction qui va des dendrites au corps cellulaire et du corps cellulaire aux terminaisons de l'axone.



(Activité 4)

3- La transmission synaptique

a. Structure de la synapse neuro-neuronique

La synapse neuro-neuronique comporte :

- un élément présynaptique : formé d'une terminaison nerveuse de l'axone du neurone présynaptique. Cette terminaison contient des vésicules synaptiques contenant une substance chimique impliquée dans la transmission du message nerveux et appelée pour cette raison un **neurotransmetteur**.
- Une fente synaptique : espace séparant la membrane présynaptique et la membrane postsynaptique.
- Un élément postsynaptique : formé par la région membranaire épaissie et spécialisée du neurone postsynaptique. Elle contient des récepteurs spécifiques au neurotransmetteur libéré par l'élément présynaptique.

b- Le mécanisme de la transmission synaptique

Le mécanisme de la transmission synaptique comporte la succession des évènements suivants :

- arrivée du message nerveux dans l'élément présynaptique, ce qui entraîne la dépolarisation de la membrane présynaptique et l'ouverture des canaux calciques voltage dépendants
- entrée des ions Ca^{2+} qui activent la libération du neurotransmetteur par exocytose
- migration du neurotransmetteur vers la membrane postsynaptique puis sa fixation sur les récepteurs spécifiques de cette membrane, ce qui provoque l'ouverture de canaux ioniques chimiodépendants
- mouvements ioniques à travers ces canaux ce qui entraîne une modification du potentiel de la membrane postsynaptique appelé PPS (potentiel postsynaptique)
- l'inactivation rapide du neurotransmetteur dans la fente synaptique interrompt la transmission synaptique

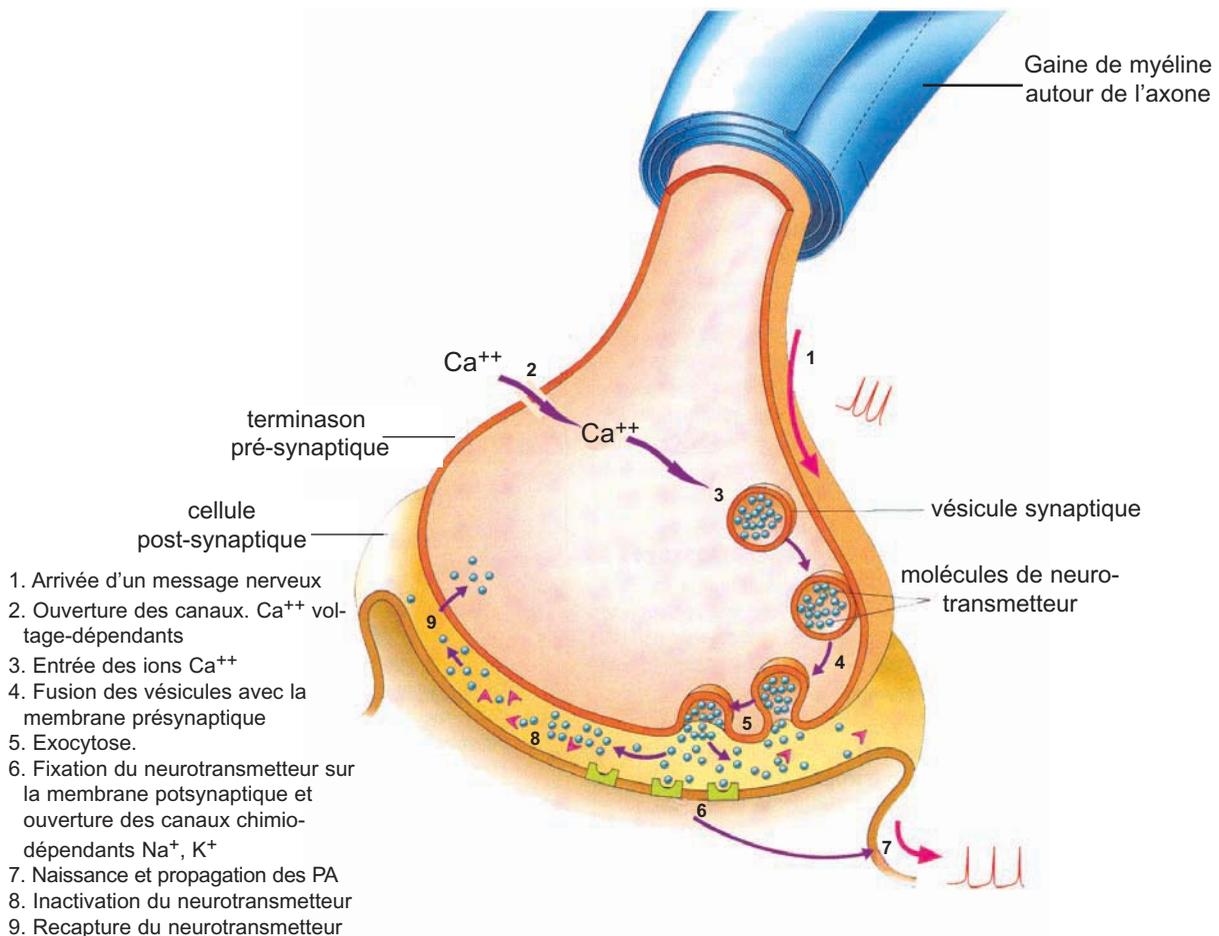


Schéma général du fonctionnement d'une synapse neuro-neuronique

c- synapse excitatrice et synapse inhibitrice

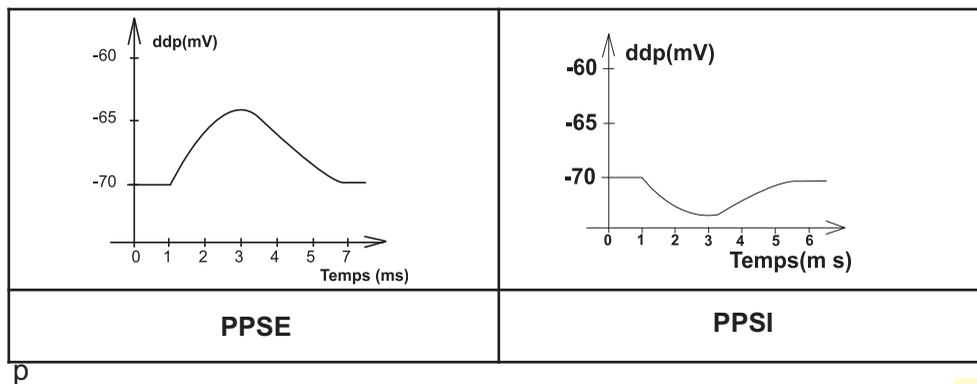
On distingue deux types de synapse neuro-neuronique selon l'effet du neurotransmetteur sur le neurone postsynaptique :

- **la synapse excitatrice** : lors de l'ouverture des canaux chimiodépendants, après la fixation du neurotransmetteur sur les récepteurs de la membrane postsynaptique, il y a entrée massive d'ions Na^+ dans le neurone postsynaptique, ce qui provoque une légère dépolariation du neurone postsynaptique appelée **potentiel postsynaptique excitateur ou PPSE**

Quelques exemples de neurotransmetteurs excitateurs : la noradrénaline, l'acétylcholine

- **La synapse inhibitrice** : lors de l'ouverture des canaux chimiodépendants, il y a entrée des ions Cl^- dans le neurone postsynaptique et sortie des ions K^+ , ce qui provoque une hyperpolarisation du neurone postsynaptique appelée **potentiel postsynaptique inhibiteur ou PPSI**

un exemple de neurotransmetteur inhibiteur : le GABA (l'acide gammaaminobutyrique)



(Activité 5)

4- L'intégration des PPS par le neurone postsynaptique :

Dans les centres nerveux, chaque neurone postsynaptique peut recevoir des messages nerveux transmis, au niveau des synapses, par plusieurs autres neurones présynaptiques. Cette transmission se traduit par l'apparition au niveau du neurone postsynaptique de potentiels postsynaptiques ou PPS (PPSE ou PPSI).

Les PPSE et PPSI se propagent à la surface des dendrites et du corps cellulaire du neurone postsynaptique de façon passive et en diminuant d'amplitude (puisque l'intensité du champ électrique diminue en s'éloignant de la synapse) jusqu'au niveau du segment initial ou cône axonique.

Les potentiels d'action ne peuvent être déclenchés qu'au niveau de ce segment initial de l'axone ou cône axonique du neurone postsynaptique.

Lorsque plusieurs neurones présynaptiques transmettent leur message simultanément au même neurone postsynaptique par des synapses excitatrices et inhibitrices, le potentiel postsynaptique résultant a une amplitude égale à la somme algébrique des PPS unitaires. On parle dans ce cas de **sommation spatiale**. Si cette somme atteint au niveau du cône axonique ou segment initial, le seuil de potentiel, un potentiel d'action est déclenché et se propage le long du neurone postsynaptique.

Lorsqu'un même neurone présynaptique transmet des potentiels d'action très rapprochés à un neurone postsynaptique par une synapse excitatrice ou inhibitrice, le PPS résultant a une amplitude égale à la somme des PPS successifs provenant de la même synapse : on parle d'une **sommation temporelle** des PPS. Si le PPS résultant atteint au niveau du cône axonique ou segment initial, le seuil de potentiel il déclenche un potentiel d'action qui se propage le long du neurone postsynaptique.

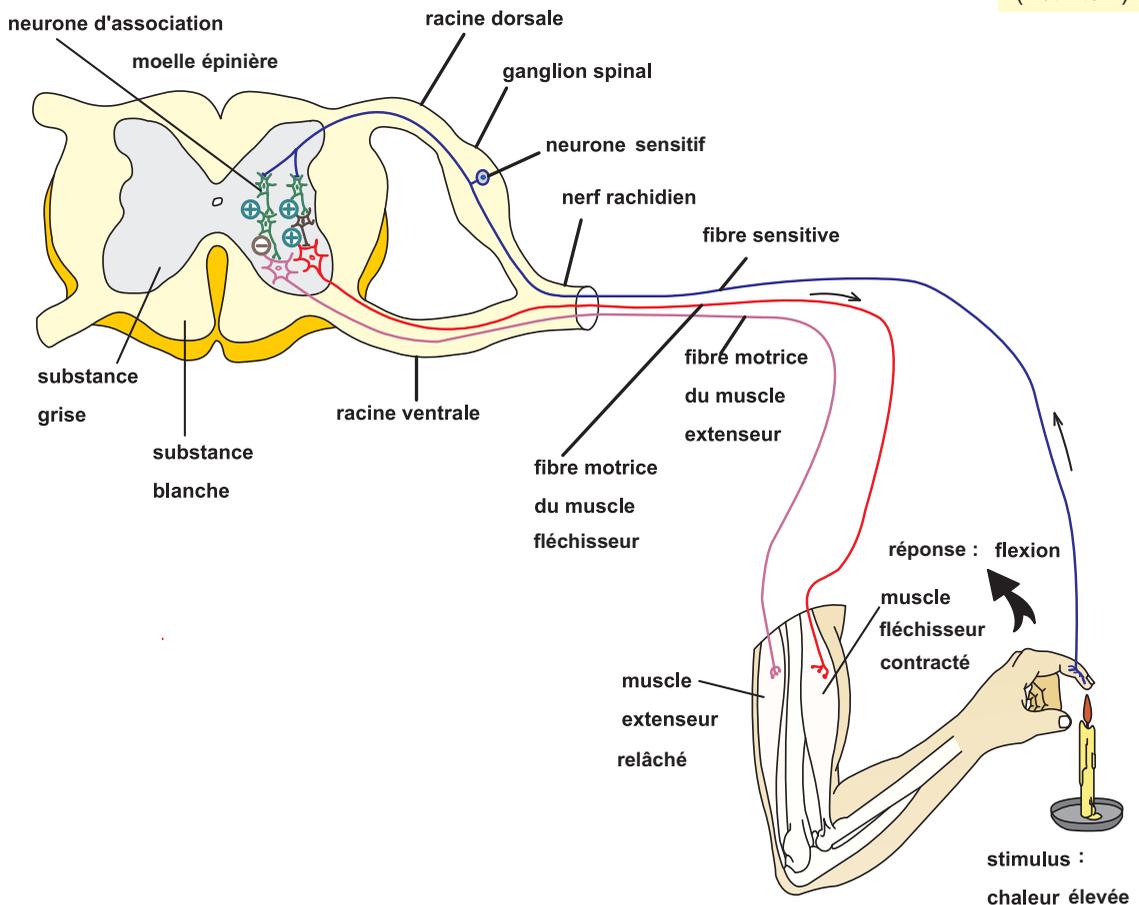
On appelle intégration postsynaptique la capacité du neurone postsynaptique d'intégrer à tout instant les informations qui lui parviennent des neurones présynaptiques par sommation temporelle et spatiale. Si la somme obtenue est égale ou supérieure au seuil il y a émission d'un message nerveux (potentiels d'actions), si elle est inférieure, aucun message n'est transmis.

5- Fonctionnement du circuit nerveux du réflexe à point de départ cutané

Au cours d'un réflexe à point de départ cutané, tel que le réflexe de retrait de la main, la contraction du muscle fléchisseur est accompagnée du relâchement du muscle antagoniste. Cette coordination de l'activité des muscles antagonistes, au cours du réflexe, s'explique par l'**innervation réciproque**. En effet les messages nerveux sensitifs provenant des récepteurs cutanés ont une double action :

- ils activent les motoneurones du muscle fléchisseur par l'intermédiaire d'interneurones médullaires excitateurs et entraînent sa contraction. Ce circuit excitateur est donc constitué de chaînes de plusieurs neurones (un neurone sensitif, des interneurones et un motoneurone) s'articulant au niveau de la moelle épinière par des synapses : le réflexe à point de départ cutané est un réflexe **polysynaptique**.
- Ils inhibent les motoneurones du muscle antagoniste par l'intermédiaire d'interneurones inhibiteurs situés dans la moelle épinière, ce qui entraîne le relâchement de ce muscle. Ce circuit inhibiteur formé de chaînes de plusieurs neurones s'articulant par plusieurs synapses, est un circuit polysynaptique.

(Activité 7)



stimulus :
chaleur élevée

(Activité 8)

Tester les acquis

EXERCICE 1: QCM

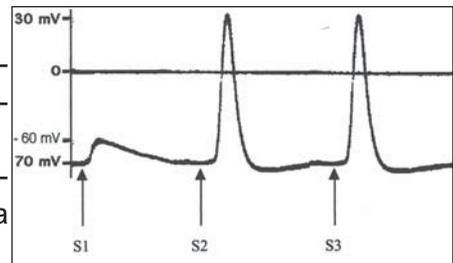
Relever, dans les items suivants, la ou les réponse(s) correcte(s)

1- La partie de la racine rachidienne postérieure, située entre le ganglion spinal et la moelle épinière, comporte :

- a- des axones
- b- des dendrites
- c- des axones et les dendrites
- c- des corps cellulaires

2- On stimule une fibre isolée avec des stimulations d'intensités croissantes ($S1 < S2 < S3$). L'enregistrement suivant, réalisé sur une fibre isolée, montre :

- a- qu'au repos, le potentiel de la face interne de la membrane est inférieur au potentiel de la face externe de la membrane
- b- que la fibre nerveuse obéit à la loi du tout ou rien
- c- que l'amplitude du potentiel d'action dépend de l'intensité de la stimulation
- d- que le seuil de potentiel est situé au-dessus de -60 mV



3- Dans les conditions physiologiques, la propagation des messages nerveux le long d'une fibre est toujours unidirectionnelle car :

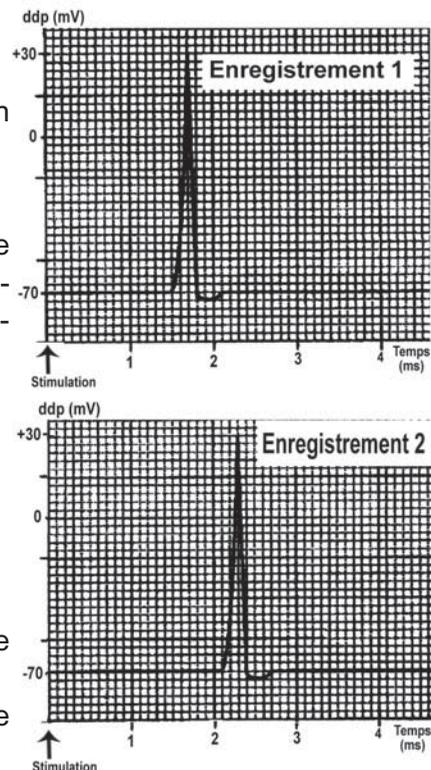
- a- il existe une période réfractaire
- b- la fibre nerveuse obéit à la loi du tout ou rien
- c- la gaine de myéline s'oppose à la propagation en sens inverse
- d- elle est imposée par les courants locaux

4- Suite à une stimulation électrique, on enregistre le potentiel d'action d'une fibre nerveuse isolée. Les électrodes réceptrices sont déplacées de 1,2 cm entre les enregistrements 1 et 2 ci contre. Dans ces conditions :

- a- la vitesse de propagation est de 12 m/s
- b- la vitesse de propagation est de 20 m/s
- c- la vitesse de propagation est de 24 m/s
- d- la vitesse de propagation est de 40 m/s

5- Le neurotransmetteur :

- a- est libéré en permanence au niveau de la synapse
- b- se fixe à des récepteurs situés sur la membrane postsynaptique
- c- n'est pas indispensable au fonctionnement d'une synapse
- d- reste dans la fente synaptique après la stimulation.



6- La sommation spatiale a lieu :

- a- quand les synapses d'un neurone postsynaptique sont en activité simultanément
- b- quand seulement les synapses excitatrices sont en activité simultanément
- c- quand au moins une synapse excitatrice est en activité
- d- quand des stimulations successives sont portées sur un neurone présynaptique

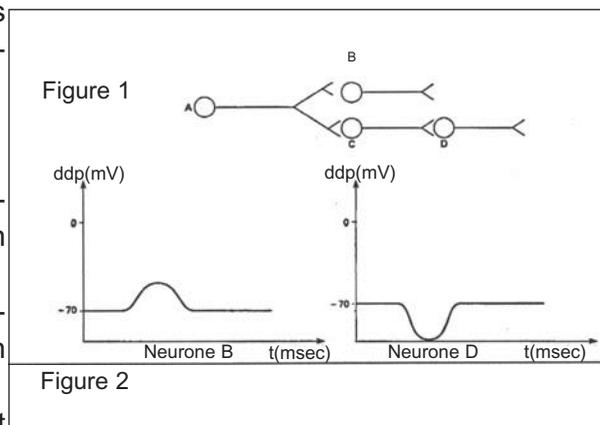
7- Pour une seule synapse excitatrice, plus la fréquence du message présynaptique augmente :

- a- plus on se rapproche du seuil
- b- plus on s'éloigne du seuil
- c- plus l'amplitude du PPSE augmente
- d- plus l'amplitude du PPSI augmente

8- On stimule efficacement l'axone du neurone A (figure 1 ci-contre). Au niveau des synapses, on enregistre les potentiels membranaires des neurones B et D et on obtient les enregistrements suivants (figure 2) .

Dans ce cas

- a- la synapse A-C est inhibitrice
- b- l'augmentation de la fréquence de stimulation en A peut entraîner l'apparition d'un potentiel d'action en D
- c- l'augmentation de la fréquence de stimulation en A peut entraîner l'apparition d'un potentiel d'action en B
- d- le tracé obtenu en B est un PPS résultant d'une sommation spatiale



9- L'intégration postsynaptique :

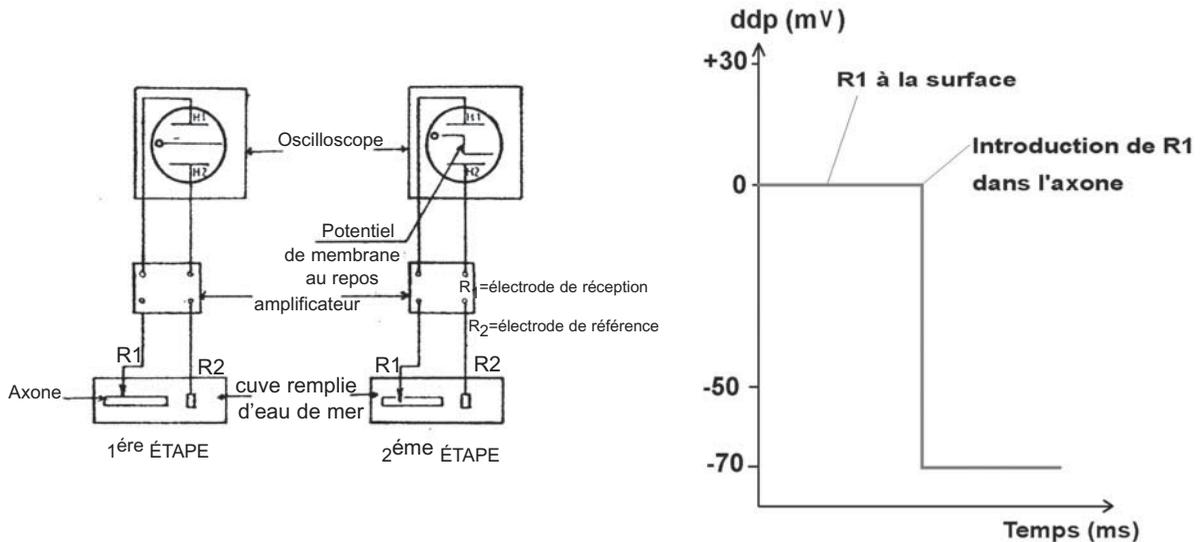
- a- s'effectue en tous points du neurone post-synaptique
- b- entraîne l'émission d'un ou plusieurs potentiels d'action postsynaptique si le seuil de potentiel est atteint.
- c- n'a lieu que lorsque des synapses inhibitrices sont mises en jeu
- d- implique une sommation spatiale ou /et temporelle

10- Pour les muscles effecteurs du réflexe à point de départ cutané l'innervation réciproque :

- a- permet la coordination de l'activité des muscles antagonistes
- b- met en jeu uniquement des synapses inhibitrices
- c- met en jeu uniquement des synapses excitatrices
- d- met en jeu des synapses excitatrices et des synapses inhibitrices

EXERCICE 2 :

Le document 1 présente le dispositif expérimental permettant d'enregistrer le potentiel de repos (PR) d'un axone géant de calmar

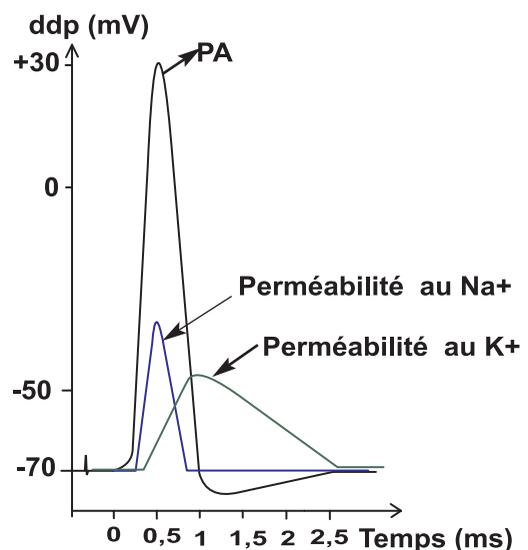


Document 2

- 1- Définir le potentiel de repos et précisez son origine.
- 2- Expliquez, à l'aide de schémas, le mécanisme qui permet de maintenir le potentiel de repos et à sa valeur constante

Le document ci-contre montre la relation existant entre le potentiel d'action (PA) et les modifications de la perméabilité de la membrane nerveuse suite à une excitation électrique efficace

- 3- Expliquez le mécanisme de la naissance du PA dans l'axone suite à l'excitation
- 4- Analysez la courbe du potentiel d'action en précisant la relation entre ses différentes phases et les modifications de la perméabilité membranaire vis-à-vis des ions Na^+ et K^+



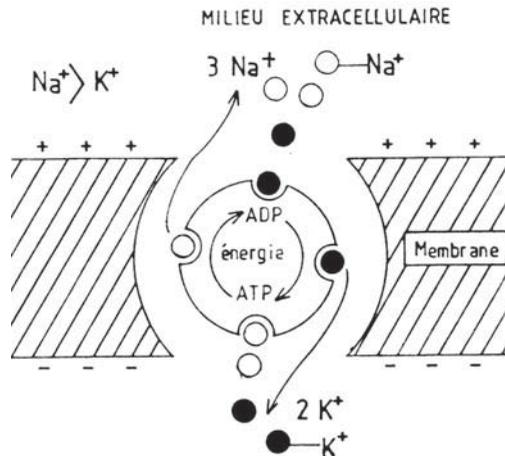
Corrigé de l'exercice 2 :

- 1- Le PR est une ddp transmembranaire entre la face externe et la face interne de la membrane de la fibre nerveuse, la face externe est chargée positivement, la face interne est chargée négativement. Sa valeur est de -70mV
- 2- Le PR est dû à la différence de concentration des ions Na^+ et K^+ entre le milieu intracellulaire (MI) et le milieu extracellulaire (ME)

$$\frac{ME}{MI} \frac{[Na^+] > [K^+]}{[K^+] > [Na^+]} = \text{membrane de la fibre}$$

Le mécanisme du maintien du PR :

C'est surtout la pompe à Na^+/K^+ : c'est un mécanisme qui assure le transport des ions Na^+ du milieu intracellulaire vers l'extérieur et des ions K^+ du milieu extracellulaire vers l'intérieur. Il s'agit d'une enzyme : l'ATPase Na^+/K^+ dépendante capable d'hydrolyser l'ATP et d'utiliser l'énergie ainsi libérée pour transférer les ions Na^+ et K^+ contre leur gradient de concentration



3- mécanisme de la naissance de l'influx nerveux :

Si l'excitation est \geq au seuil, les canaux membranaires voltage-dépendants à Na^+ s'ouvrent et un courant de Na^+ entre à l'intérieur de la fibre ce qui fait augmenter le potentiel électrique et dépolairise la membrane. Puis après un léger retard les canaux voltage-dépendants K^+ s'ouvrent et font sortir les ions K^+ ce qui diminue le potentiel et repolarise la membrane. Ces ions continuent à sortir après la repolarisation et augmentent la négativité intracellulaire (hyperpolarisation)

Enfin la pompe à Na^+/K^+ rétablit l'état initial.

4- Analyse de la courbe du PA

OA = phase de latence due à la distance entre les électrodes stimulatrices et l'électrode réceptrice.

AB = phase de dépolarisation, durée : 0,5ms.

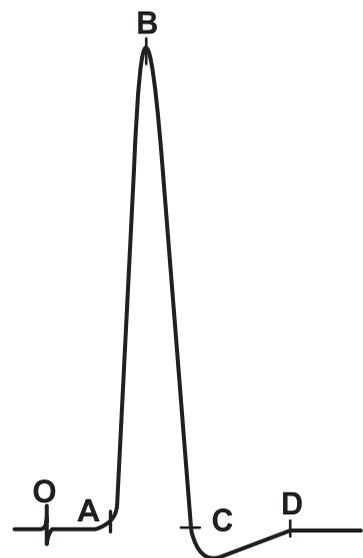
Cette phase correspond à l'augmentation de la perméabilité membranaire au Na^+ qui entre dans la fibre d'où accumulation des charges + à l'intérieur de la fibre.

BC = phase de repolarisation, durée, 0,5ms :

Cette phase correspond à une chute de la perméabilité de la membrane au Na^+ et une augmentation de la perméabilité au K^+ qui sort alors de la fibre, d'où diminution du potentiel à l'intérieur de la fibre et repolarisation.

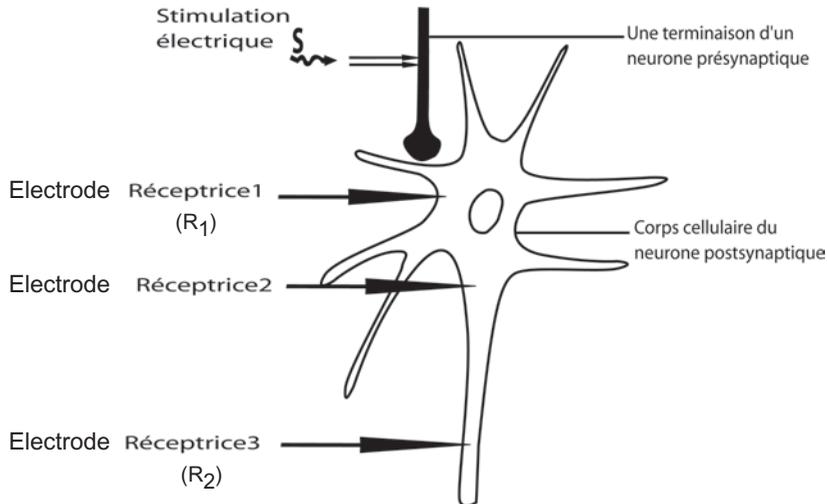
CD = phase d'hyperpolarisation, durée \approx 2ms

Au cours de cette phase, la perméabilité au K^+ n'est pas complètement abolie, des ions continuent à sortir après la repolarisation d'où augmentation de la négativité à l'intérieur de la fibre = hyperpolarisation.



EXERCICE 3 :

Afin de comprendre certains mécanismes de fonctionnement des synapses entre neurones, on a réalisé le montage du dispositif expérimental décrit ci-dessous (document 1a).



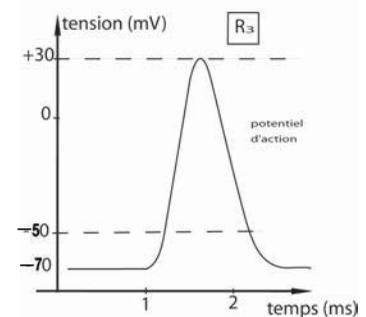
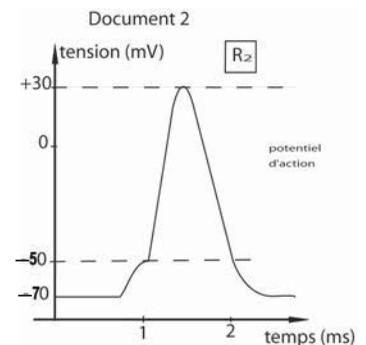
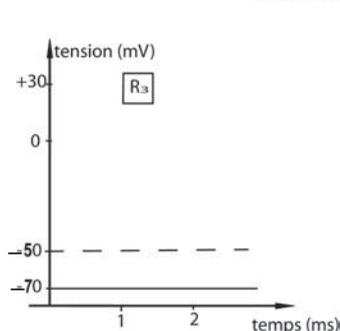
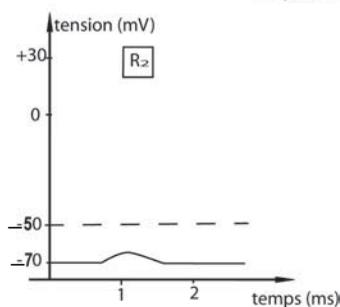
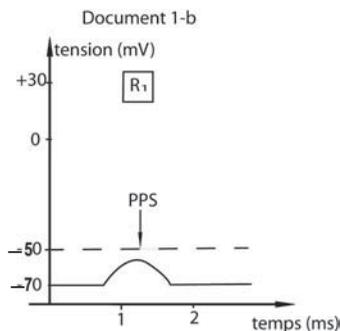
Document 1a

1- L'axone du neurone présynaptique est excité par une stimulation électrique de faible intensité. Des enregistrements, au moyen d'un oscilloscope ou d'un dispositif d'expérimentation assistée par ordinateur, sont effectués par l'intermédiaire des électrodes réceptrices R1 R2 R3 (par rapport à une électrode de référence à potentiel fixe). Les enregistrements obtenus sont figurés sur le document 1 b.

quelle caractéristique du potentiel postsynaptique (= PPS) est mise en évidence par ces enregistrements ?

2- L'axone du neurone présynaptique est maintenant excité par plusieurs stimulations électriques efficaces. Les enregistrements obtenus en R2, et R3 sont figurés sur le document 2

- Après avoir mis en relation les documents 1 b et 2, expliquez brièvement la naissance du potentiel d'action observé sur le document 2.



Corrigé d'exercice 3 :

1-

Le potentiel postsynaptique (PPS) enregistré en R, apparaît comme une diminution du potentiel de membrane du neurone postsynaptique. C'est une dépolarisation membranaire.

D'après R2 cette dépolarisation est

- faible (15 mV)
- transitoire (1 ms)

D'après R1 et R2, elle est propageable.

Mais, d'après R2 et R3, l'amplitude de la dépolarisation diminue au cours de la propagation pour s'annuler au niveau de l'axone (R3). Le PPS a une existence locale.

Il s'agit d'un PPSE qui peut être à l'origine d'un potentiel d'action

2-

• Le document 2 montre :

- en R2 la naissance d'un potentiel d'action, c'est-à-dire une inversion (+ 30 mV) transitoire (1,5 à 2 ms) du potentiel de membrane ;
- en R3 la propagation du potentiel d'action le long de la membrane de l'axone du neurone postsynaptique.

• La comparaison des documents 1 b et 2 et de l'enregistrement R2 montre :

- que la naissance d'un potentiel d'action suppose que le PPSE dépasse le seuil de dépolarisation de - 50 mV comme sur le document 2 ;
 - que des stimulations électriques successives du neurone présynaptique donnent naissance à plusieurs potentiels d'action présynaptiques pour que le PPSE global résultant de la sommation temporelle ait une amplitude égale ou supérieure au seuil en R2
- On peut alors proposer la séquence simplifiée d'événements permettant la naissance d'un potentiel d'action postsynaptique à partir d'une stimulation présynaptique.

1° Stimulations présynaptiques d'intensité suffisante

2° naissance de plusieurs potentiels d'action présynaptiques

3° libération d'une quantité suffisamment importante de neurotransmetteur

4° naissance d'un PPSE d'amplitude supérieur à - 50 mV sur le neurone postsynaptique

5° propagation de ce PPSE jusqu'au cône axonique en R2, et naissance d'un potentiel d'action postsynaptique

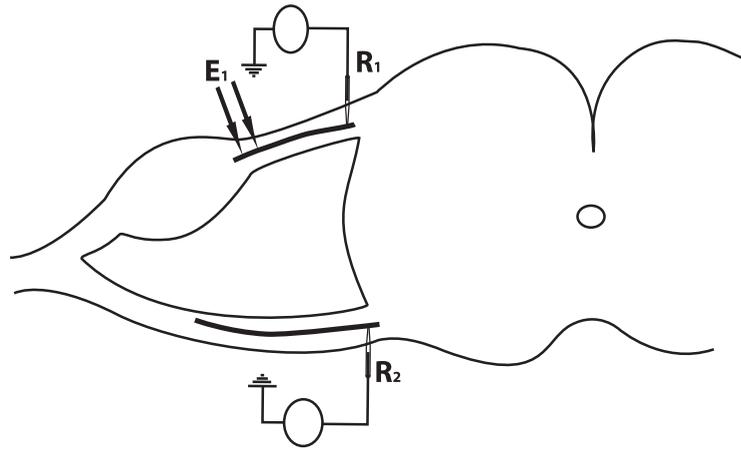
EXERCICE 4 :

I- Chez un homme ayant subi un accident entraînant une section haute de la moelle épinière, - le contact d'un objet chaud sur la peau de la plante du pied entraîne systématiquement la flexion du membre inférieur correspondant,

1. Quel type d'activité nerveuse est ici mise en évidence? Justifiez.

Une étude expérimentale reproduisant les résultats observés peut être réalisée chez le chat (les organes concernés sont les mêmes que chez l'Homme).

2. Afin de comprendre le mécanisme de cette réaction, on réalise sur un chat spinal (ayant comme seul centre nerveux la moelle épinière), le montage expérimental figuré dans le document 1.

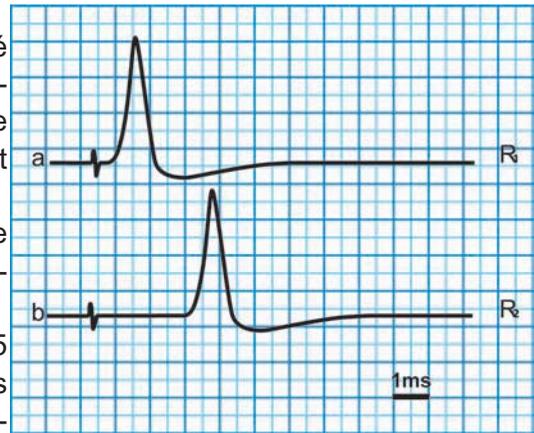


Document 1

On stimule en E1 une fibre intervenant dans l'activité mise en évidence précédemment. On recueille l'activité électrique de cette fibre en R1 et celle d'une fibre innervant le muscle fléchisseur en R2; on obtient respectivement les tracés a et b du document 2.

3. Comment nomme-t-on le phénomène électrique enregistré? Reproduisez-le sur votre copie et analysez-le

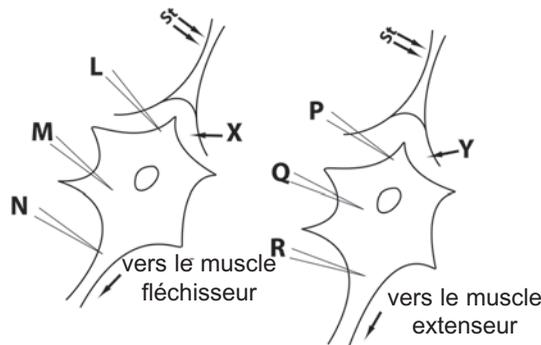
4. Sachant que le délai synaptique est d'environ 0,5 ms, établissez un schéma annoté représentant les circuits neuroniques impliqués dans l'activité présentée.



Document 2

II. Par une technique appropriée on a montré au cours de l'activité présentée que la contraction du muscle fléchisseur est accompagnée d'un relâchement du muscle antagoniste, on dit que les réponses musculaires sont coordonnées.

Afin d'en comprendre le mécanisme, des expériences sont réalisées au niveau des neurones moteurs innervant les 2 muscles intervenant dans la réaction présentée (document 3).



Document 3

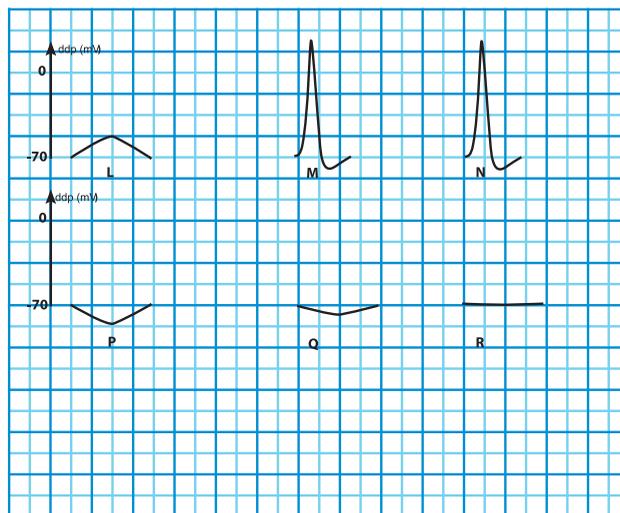
On porte des stimulations efficaces sur les fibres présynaptiques participant à la réaction présentée. On enregistre en 3 points, figurés sur le document 3, pour chaque neurone moteur. Seule l'électrode réceptrice est représentée.

1. Comparez les tracés obtenus en L, M, N d'une part, et P, Q, R d'autre part (document4).

2. Si l'on injecte en X (document 3) une quantité suffisante d'acide glutamique, on obtient les tracés L, M et N.

Si l'on injecte en Y une quantité de glycine, on obtient les tracés P, Q et R.

Sachant que ces substances existent naturellement au niveau des espaces synaptiques, comment peut-on appeler ces substances ? Justifiez.



Document 3

Il est démontré :

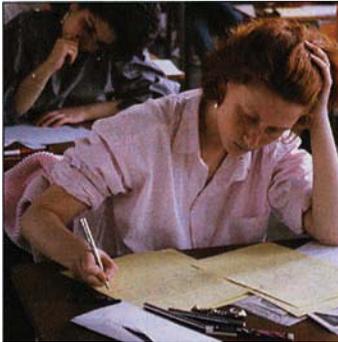
- qu'au niveau de la membrane en L (document. 3), l'acide glutamique provoque une augmentation de la perméabilité aux ions Na^+ , niveau de la membrane en P, la glycine provoque une augmentation de la perméabilité aux ions K^+ et Cl^- .

On donne ci-après la répartition au repos de ces ions de part et d'autre de la membrane.

Concentrations en millimoles /l	milieu extracellulaire	milieu intracellulaire
$[\text{Na}^+]$	440	50
$[\text{K}^+]$	20	400
$[\text{Cl}^-]$	560	40

3. Donnez une interprétation ionique des tracés enregistrés en L et P du document 4.

4. En quoi ces phénomènes au niveau des synapses permettent-ils d'expliquer la coordination des muscles au cours de l'activité présentée en I ?

Chapitre 3 : HYGIÈNE DU SYSTÈME NERVEUX

situations stressantes



un danger public : le tabac



Une drogue : le haschisch

L'hygiène du système nerveux est la condition fondamentale de la santé mentale et de l'efficacité intellectuelle dont on a tant besoin en ces temps-ci, pour faire face aux divers problèmes de la vie moderne.

En plus d'une alimentation saine, de la pratique du sport, du sommeil suffisant, de la modération dans le travail et l'effort, l'hygiène du système nerveux consiste aussi à éviter de consommer toute sorte de drogue y compris le tabac, l'alcool et l'usage abusif des médicaments.

D'autre part, il faut savoir lutter contre le stress, éviter l'angoisse et affronter les soucis de la vie avec espoir et optimisme.

OBJECTIFS

- Définir le stress
- Expliquer les mécanismes physiologiques mis en jeu dans le stress
- Définir la notion de drogue
- Indiquer les différents types de drogues et leurs effets sur la santé
- Expliquer le mode d'action des drogues sur le système nerveux
- Dégager les mesures d'hygiène du système nerveux.



Pavot à opium



Cannabis ou chanvre indien
(marijuana, haschich, kif, takrouri)



l'héroïne

Depuis l'antiquité, l'homme utilisait des drogues pour chercher le plaisir et l'extase et pour apaiser ses angoisses et calmer ses douleurs.

Avec les progrès de la chimie et la pharmacologie, les drogues naturelles extraites des végétaux sont analysées et leur mode d'action sur le système nerveux est élucidé. Des drogues nouvelles sont synthétisées.

Certaines drogues sont utilisées à des fins thérapeutiques pour leur effet antidépresseur, analgésique (contre les douleurs) ou neuroleptique (calmant).

Mais les drogues, dont la production et la vente sont interdites, constituent un grave danger pour la santé mentale et physique de l'homme. La consommation répétée des drogues conduit à la toxicomanie, caractérisée par un état de dépendance qui se manifeste par un invincible désir ou besoin de continuer à consommer la drogue et à l'obtenir par tous les moyens.

L'abus des drogues entraîne une grave détérioration de la santé mentale et physique de l'individu qui devient incapable d'assumer ses responsabilités familiales et sociales et sombre parfois dans la démence.

L'autre danger qui menace la santé du système nerveux est le stress, fléau de notre temps. Il exerce une pression permanente sur l'homme affronté aux problèmes et aux difficultés de la vie moderne

- Qu'est ce que le stress ?
- Quels sont ses effets sur la santé ?
- Qu'est ce qu'une drogue ?
- Comment agit-elle sur le système nerveux ?
- Quels sont les effets des drogues sur la santé et le comportement ?
- Comment assurer au système nerveux une bonne santé ?

S E RAPPELER

- **Hormone** : substance sécrétée dans le sang par une glande endocrine et qui modifie, à distance, le fonctionnement d'un organe ou d'une cellule-cible.

- **Le fonctionnement du complexe hypothalamo-hypophysaire** : ce complexe est un ensemble anatomique et physiologique formé par l'hypothalamus et l'hypophyse . L'hypothalamus agit sur l'hypophyse par des neurohormones ou libérines qui stimulent la sécrétion des hormones hypophysaires (FSH, LH, TSH...). Celles-ci stimulent la sécrétion d'hormones par les glandes endocrines (gonades, thyroïde...). Ces hormones exercent une action de retour (rétrocontrôle) sur le complexe hypothalamo-hypophysaire.

I Le Stress

1- Définition :

Le mot est anglais, il signifie contrainte ou pression. En fait il désigne un état de tension aiguë de l'organisme en réaction à des situations de pressions physiques (chaleur, froid, bruit) ou psychologiques (agressions, maladie, accident, choc, examen, échec, peur, trac, drames de la vie, ...)

C'est donc une réaction de défense de l'organisme face à des agressions qui tendent à rompre son homéostasie (équilibre)

2- Les manifestations du stress :

Activité 1 : décrire les manifestations du stress

On peut distinguer trois phases dans l'évolution de l'état de stress

a- La phase d'alarme : sous l'action des stimuli agressifs, une réaction émotionnelle intense très brève est déclenchée. Au cours de cette phase, la vigilance est accrue, les cheveux se dressent (horripilation), le rythme cardiaque s'accélère, la circulation du sang augmente dans les muscles et le cerveau alors qu'elle diminue dans le peau, d'où sa pâleur visible, la pression artérielle s'élève, des sueurs froides apparaissent. L'ensemble de ces modifications mettent l'organisme en alerte et le préparent à se défendre rapidement contre l'agression.

Si la phase d'alarme ne permet pas de se soustraire à l'agression, l'organisme entre dans la phase de résistance.

b- La phase de résistance ou d'adaptation : Au cours de cette phase qui dure quelques heures, le taux sanguin de certaines hormones (adrénaline, noradrénaline, cortisol, thyroxine (hormone thyroïdienne) augmente. Le rythme respiratoire et le rythme cardiaque augmentent. Le taux sanguin de glucose augmente alors que le taux de glycogène diminue dans le foie et les muscles.

C'est donc une phase de mobilisation totale de toutes les ressources énergétiques de l'organisme pour s'adapter à la situation nouvelle. Si la situation agressive se prolonge, la résistance de l'organisme diminue, la phase d'adaptation est suivie par la phase d'épuisement

c- Phase d'épuisement : L'individu fatigué, devient indifférent et déprimé. Il peut être atteint de certaines maladies psychosomatiques : ulcère gastroduodéal, constipation, troubles cardiovasculaires, allergie (asthme), herpès, ... ce qui est le signe de l'affaiblissement du système immunitaire.

- Décrire un état de stress que vous avez vécu en précisant la situation stressante et les manifestations organiques et psychiques que vous avez ressenties.
- Comparer ces manifestations avec celles décrites dans le texte ci-dessus

3- Mécanismes physiologiques du stress :

Activité 2 : expliquer les mécanismes physiologiques du stress

Le stress met en jeu le système nerveux et le système endocrinien.

Les informations stressantes captées par les organes de sens arrivent sous forme de potentiels d'action jusqu'au cerveau. Après leur traitement dans les centres corticaux, des messages nerveux sont transmis à des centres infracorticaux (hypothalamus, système limbique) qui interviennent dans les émotions et la mémoire.

Ces centres transmettent le signal d'alarme au système nerveux végétatif orthosympathique par la moelle épinière. Après un relais dans les ganglions de la chaîne latéro vertébrale, les fibres sympathiques arrivent aux organes de nutrition : cœur, poumons, vaisseaux, ...et déclenchent la libération d'un neurotransmetteur : **la noradrénaline** qui active les organes cibles provoquant les phénomènes immédiats de la phase d'alarme.

Sous l'action des messages orthosympathiques, les glandes médullosurrénales sécrètent une hormone : **l'adrénaline**, qui produit des effets analogues à ceux de la noradrénaline mais plus tardifs. Elle active la glycogénolyse, elle augmente la force des contractions cardiaques et dilate les vaisseaux du cerveau, du cœur et des muscles augmentant ainsi leur irrigation. Elle provoque aussi l'érection des poils, et la dilatation des pupilles, ce qui améliore la vision. L'adrénaline stimule aussi les glandes sudoripares qui sécrètent la sueur.

Après la phase d'alarme, le système endocrinien intervient pendant la phase d'adaptation, ses effets sont plus durables.

L'hypothalamus libère la corticolibérine qui stimule la sécrétion d'une hormone **l'ACTH** (Adrénocortico-Tropic-Hormone) par l'hypophyse. Cette hormone agit sur la corticosurrénale (partie externe des glandes surrénales) qui sécrète une hormone corticoïde : **le cortisol**. Le cortisol provoque l'hydrolyse des protéines en acides aminés que le foie transforme en glucose (néoglucogénèse) puis en glycogène. Il rétablit ainsi les réserves en glycogène épuisées au cours de la phase d'alarme. Il a aussi un rôle anti-inflammatoire et anti-allergique. Mais, une sécrétion prolongée de cortisol peut entraîner des effets nocifs en particulier sur le système immunitaire (atrophie des organes immunitaires)

L'hypothalamus stimule aussi, par l'intermédiaire de l'hypophyse, la glande thyroïde qui sécrète une hormone : **la thyroxine** ayant un effet stimulateur sur le métabolisme énergétique.

- Relever, à partir de l'analyse du texte précédent, les hormones qui interviennent dans le stress
- Utiliser les informations fournies par ce texte et présenter sous forme d'un schéma fonctionnel les mécanismes physiologiques du stress.
- Justifier l'application du qualificatif « neurohormonal » pour le mécanisme physiologique du stress.
- Proposer quelques recommandations pour prévenir le stress.

II

Les drogues et leurs effets

Activité 3 : s'informer sur les drogues et leurs effets

Quelques définitions :

La drogue : substance naturelle ou synthétique qui modifie le fonctionnement du cerveau donnant pendant un certain temps des sensations d'euphorie et de plaisir avec déconnexion de la réalité.

Quand on consomme une drogue de manière répétée, on devient toxicomane.

La Toxicomanie : état d'intoxication par la drogue conduisant à la tolérance et à la dépendance.

La tolérance (ou accoutumance) : quand le toxicomane prend toujours la même dose de drogue, le plaisir recherché diminue, d'où la tendance à augmenter les doses pour retrouver le même plaisir et pour éviter les souffrances du manque, d'où le risque de surdosage (overdose).

La dépendance : c'est un état où on ne peut plus se passer de consommer la drogue sous peine de souffrances physiques et / ou psychiques.

Il existe deux types de dépendance.

a- dépendance physique :

La privation de drogue entraîne des troubles du manque : insomnie, sueurs, diarrhées, douleurs, anxiété, agitation...

b- dépendance psychique :

Besoin irrésistible de consommer de la drogue avec sensation de malaise et d'angoisse allant parfois jusqu'à la dépression.

Le tableau suivant présente les différentes drogues, leur origine et leurs effets :

Groupe	drogue	origine	Effets recherchés (temporaires)	Effets sur la santé (durables)
Stupéfiants	Opium (fumé) Morphine (injection) Héroïne (injection)	Pavot Alcaloïde principal de l'opium Dérivé de la morphine	Jouissance Euphorie Rêverie Somnolence puis retour au réel	-Perte d'appétit, amaigrissement, constipation, ralentissement intellectuel
Les excitants majeurs	- Cocaïne (prise nasale) - Kat (mâché) - Amphétamines	Feuille de coca (arbre d'Amérique du sud) Feuille d'un arbre (Yémen) Produit de synthèse (médicament)	Excitation physique et intellectuelle intense, euphorie suivie d'une dépression (tristesse, angoisse) Psychostimulant Sentiment de puissance (dopage)	-Insomnie -Amaigrissement -Apathie intellectuelle -Asthénie, tremblements, troubles cardiaques -Apathie intellectuelle
Excitants mineurs	Tabac Café Thé	Végétale	Stimulation intellectuelle sensation de bien être	-Insuffisance respiratoire altération des vaisseaux -Cancers (effets du tabagisme)
Hallucinogènes	Cannabis (haschich, marijuana takrouri), (fumé) LSD (ingéré)	Végétale Produit chimique extrait de l'ergot du seigle	Hallucinations visuelles et auditives Désorientation temporo-spatiale Euphorie	-Grande fatigue -Diminution des facultés intellectuelles et de mémoire -Maladies broncho-pulmonaires et cardiaques -Maladies mentales -Destruction de la personnalité
Sédatifs	Barbituriques Somnifères	Médicaments	Endormissement	- Ralentissement intellectuel - Trouble de la mémoire - Etat dépressif
Solvants organiques	Alcool Ether Colle	Fermentation du glucose Produits organiques	Ivresse Euphorie Hallucinations	- Cirrhose - Irritations et ulcérations locales - Complications rénales et hépatiques - Troubles psychiques

Document 1 : classification des drogues, leur origine et leurs effets

Parmi les dangers des drogues il faut mentionner aussi leurs effets socio-économiques : l'abandon de la scolarité ou du travail, la perturbation de la vie familiale et le risque de sombrer dans la délinquance, la criminalité ou la démence.

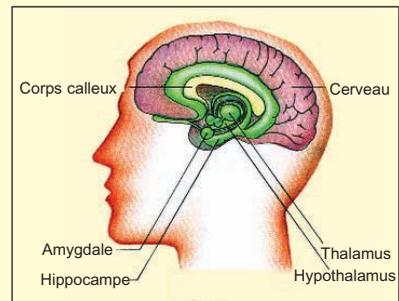
- Indiquer les raisons qui peuvent inciter quelqu'un à consommer les drogues
- A partir des informations données dans le tableau ci-dessus, classer ces drogues selon le degré de leur danger. Que peut-on déduire ?
- Comparer les effets recherchés et les dangers réels des drogues. Justifier cette expression «après le paradis artificiel, l'enfer»



Mécanisme de la dépendance aux drogues

Activité 4 : expliquer le mode d'action des drogues sur le cerveau

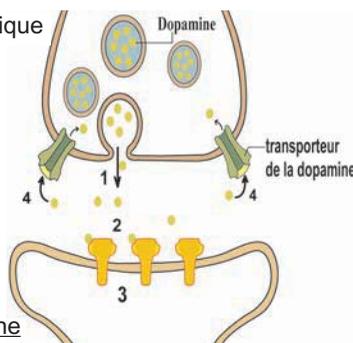
Le système limbique : c'est la partie du cerveau qui comprend les centres des émotions (joie, peur, colère, plaisir). Ces centres associent des sensations de plaisir à des comportements essentiels à la survie de l'espèce (alimentation, reproduction, défense contre l'agression), ils sont formés de circuits de neurones qui sécrètent un neurotransmetteur qui donne la sensation du plaisir : la **dopamine**



Le système limbique (en vert)

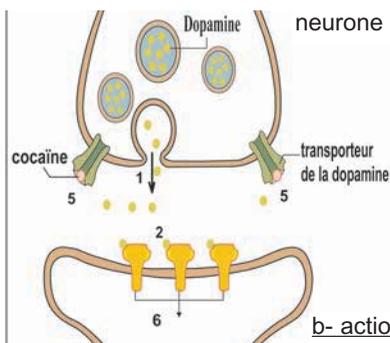
Le document suivant montre le mode d'action d'une drogue (la cocaïne) sur une synapse au niveau du système limbique

neurone dopaminergique



a- absence de cocaïne

neurone dopaminergique



b- action de la cocaïne

- 1- libération de la dopamine
- 2- fixation de la dopamine sur les récepteurs de la membrane postsynaptique
- 3- dépolarisation de la membrane postsynaptique
- 4- recapture de la dopamine par des transporteurs
- 5- fixation de la molécule de cocaïne sur les transporteurs de la dopamine ce qui empêche la recapture de la dopamine
- 6- réactions biochimiques augmentant la sensation de plaisir

Document 2 : action d'une drogue (la cocaïne) sur le fonctionnement d'une synapse

- En analysant le document précédent, expliquer comment la cocaïne donne la sensation de plaisir et d'euphorie.

Activité 5 : comment éviter le piège des drogues ?

Les statistiques montrent que les toxicomanes sont surtout des adolescents et des jeunes de 15 à 35 ans

Indiquer les raisons qui peuvent inciter les jeunes à la consommation des drogues

Pour lutter contre les drogues, la société intervient à trois niveaux :

- La répression de la production, du trafic et de la consommation des drogues
- Le traitement sanitaire ou social de la toxicomanie
- La prévention, au moyen de l'éducation à la santé des adolescents et des jeunes, en vue de développer chez eux les attitudes responsables face aux tentations de consommation des drogues.

- Quel est le niveau qui vous paraît le plus efficace pour prévenir la toxicomanie ?
- Proposer quelques mesures de prévention de la consommation des drogues.
- Donnez les recommandations qui vous paraissent essentielles pour assurer l'hygiène du système nerveux

Bilan des activités et synthèse

Pour accomplir efficacement ses fonctions, le système nerveux doit faire l'objet d'une hygiène appropriée.

En plus de l'application des règles de l'hygiène générale (propreté corporelle, alimentation saine, sommeil suffisant, pratique du sport, ...) il est impératif d'éviter la consommation des drogues et de lutter contre les effets du stress

I Le stress :

1. Définition :

Le stress est une réaction de l'organisme aux contraintes et pressions physiques ou psychologiques exercées sur lui. Les agents stressants peuvent être physiques (chaleur, froid, bruit) ou psychologiques (forte émotion, frustration, examen, drame, deuil...)

2. Physiologie du stress : pour faire face à une situation stressante l'organisme mobilise le système nerveux neurovégétatif et le système endocrinien.

Pendant la 1^{ère} phase (phase d'alarme), les informations stressantes captées par les organes de sens, arrivent par les voies afférentes au cortex, puis au système limbique qui agit sur le système nerveux végétatif. Celui-ci active les organes végétatifs qu'il innerve (cœur, poumons, vaisseaux, surrénales...) par l'intermédiaire d'un neurotransmetteur : **la noradrénaline** qui se fixe sur les récepteurs de ces organes effecteurs et déclenche les réactions immédiates de la phase d'alarme (augmentation du rythme cardiaque et respiratoire ...). Les médullosurrénales sécrètent **l'adrénaline** qui a les mêmes effets que la **noradrénaline**.

Pendant la phase d'adaptation, l'hypothalamus sécrète une neurohormone : la corticolibérine qui stimule la sécrétion de l'AC TH par l'hypophyse. Cette hormone agit sur les glandes surrénales qui sécrètent une hormone corticoïde : **le cortisol**, qui active la synthèse du glucose à partir des protéines (néoglucogenèse) et la glycogénèse et rétablit ainsi les réserves de l'organisme en glycogène. Une autre hormone intervient aussi dans cette phase : la thyroxine hormone sécrétée par la thyroïde sous le contrôle de l'axe hypothalamohypophysaire. Elle stimule l'activité du cœur et des muscles et le métabolisme énergétique produisant l'ATP.

Si la situation stressante continue, la phase d'adaptation est suivie par la phase d'épuisement. Cette phase est caractérisée par l'apparition de maladies psychosomatiques : ulcères gastro-intestinaux, constipations, troubles du rythme cardiaque, hypertension artérielle et des troubles de comportements : irritabilité, dépression...

Le stress affaiblit le système immunitaire: les sujets stressés sont plus exposés aux infections. L'adrénaline et le cortisol ont un effet immunosuppresseur sur les réactions immunitaires.

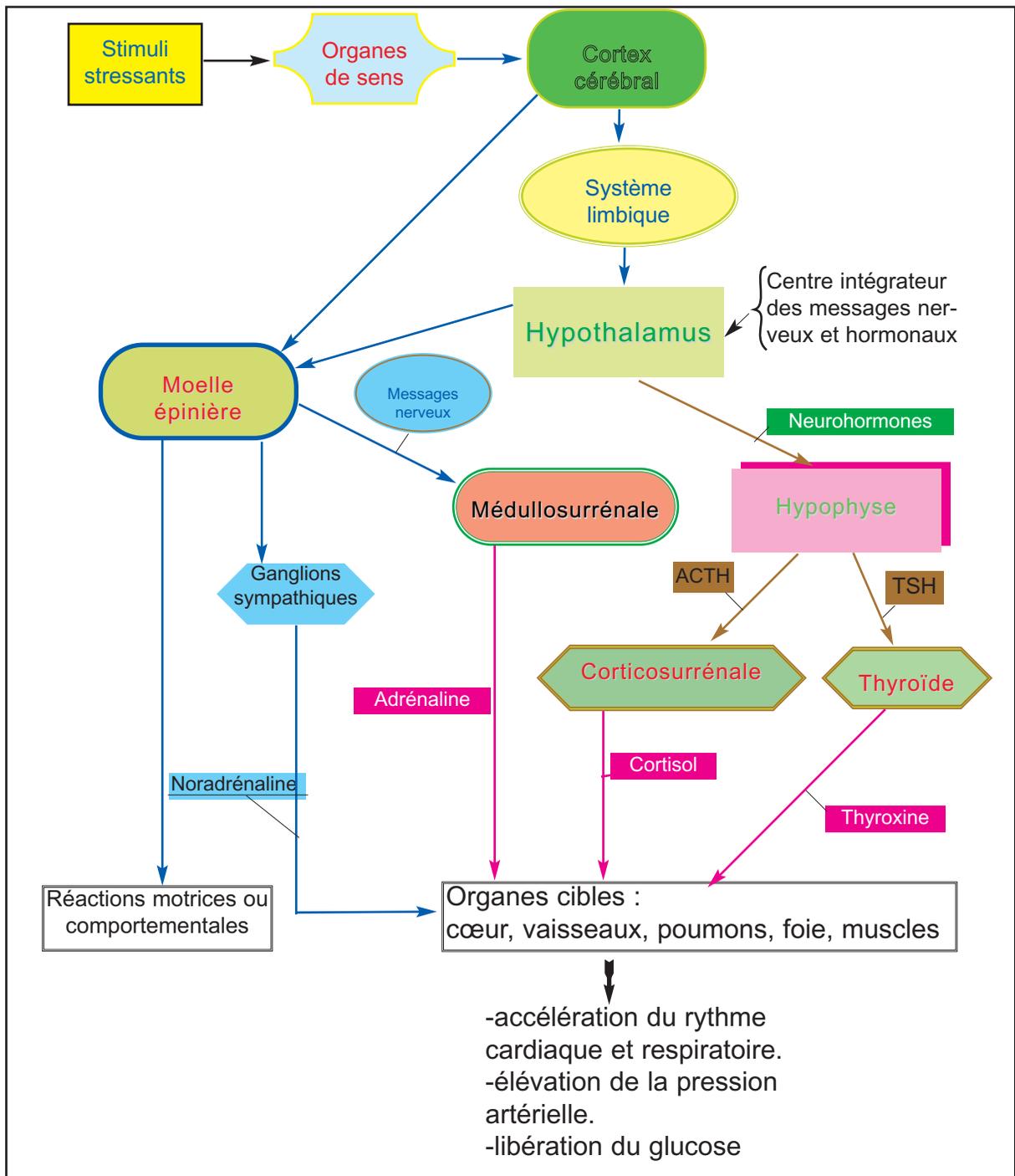


Schéma fonctionnel présentant le mécanisme physiologique du stress

(activités 1 et 2)

II

LES DROGUES ET LEURS EFFETS

Les drogues sont le premier ennemi du système nerveux

La drogue est une substance naturelle ou synthétique qui modifie le fonctionnement du cerveau, donnant pendant un certain temps des sensations d'euphorie et de plaisir avec déconnexion de la réalité. Sa consommation répétée conduit à la toxicomanie.

La Toxicomanie est un état d'intoxication par la drogue conduisant à la tolérance et à la dépendance.

La tolérance (ou accoutumance) : quand le toxicomane prend toujours la même dose de drogue, le plaisir recherché diminue, d'où la tendance à augmenter les doses pour retrouver le même plaisir et pour éviter les souffrances du manque, d'où le risque de surdosage (overdose).

La dépendance : c'est un état où on ne peut plus se passer de consommer la drogue sous peine de souffrances physiques et / ou psychiques.

Il existe deux types de dépendance

- **dépendance physique** :

La privation de drogue entraîne des troubles du manque : insomnie, sueurs, diarrhées, douleurs, anxiété, agitation...

- **dépendance psychique** :

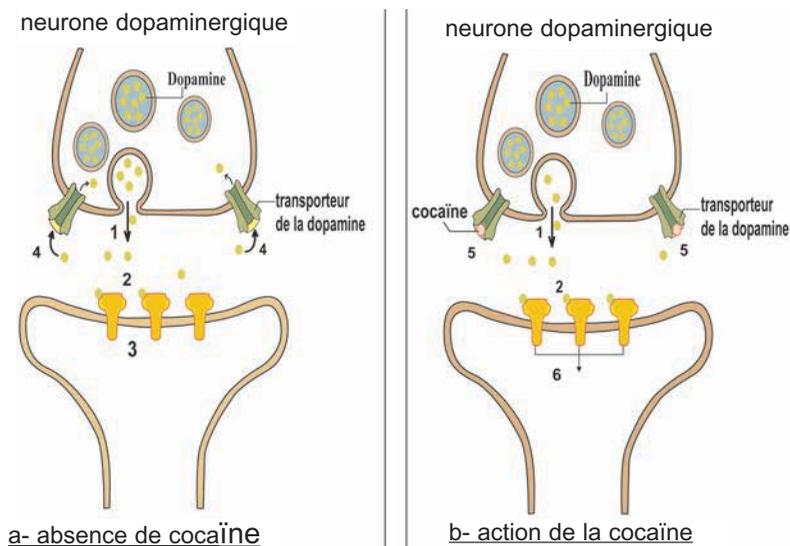
besoin irrésistible de consommer de la drogue avec sensation de malaise et d'angoisse allant parfois jusqu'à la dépression.

(activité 3)



mécanisme d'action des drogues sur le cerveau :

Certaines drogues agissent sur les synapses par inhibition du recaptage des neurotransmetteurs. Ainsi le neurotransmetteur qui donne une sensation de plaisir, comme la **dopamine**, reste dans la fente synaptique et son effet euphorisant dure plus longtemps



- 1- libération de la dopamine
- 2- fixation de la dopamine sur les récepteurs de la membrane postsynaptique
- 3- dépolarisation de la membrane postsynaptique
- 4- recapture de la dopamine par des transporteurs
- 5- fixation de la molécule de cocaïne sur les transporteurs de la dopamine ce qui empêche la recapture de la dopamine
- 6- réactions biochimiques augmentant la sensation de plaisir

(activité 4)

IV

Prévention de la toxicomanie

La prévention de la toxicomanie chez les adolescents et les jeunes doit être assurée par l'éducation à la santé, dans le milieu scolaire surtout. Les points suivants devraient être développés :

- la santé est une valeur fondamentale de la vie
- chacun a une responsabilité personnelle de la préserver de tous les abus et de l'entretenir en adoptant des styles de vie sains
- il est impératif d'écarter de sa tête toute idée ou tentation de consommer les drogues
- les drogues, c'est un piège, quand on y est, on ne peut plus s'en sortir. Les plaisirs qu'elles procurent aux consommateurs sont éphémères, par contre leurs effets néfastes durent toute la vie

V

Hygiène du système nerveux

La prévention primaire consiste à éviter tous les comportements à risque, susceptibles de porter atteinte à la santé du système nerveux et à favoriser son hygiène et son bon fonctionnement

Voici quelques règles à observer pour assurer une bonne hygiène du système nerveux :

- Pratiquer du sport régulièrement
- Dormir suffisamment (8h par jour)
- Se nourrir d'aliments sains et variés
- Contrôler l'hypertension artérielle.
- Eviter le surmenage dans le travail (travailler régulièrement et avec modération)
- Aménager au cours de la journée des moments de détente et de loisir
- Il est impératif d'éviter le tabac, l'alcool et la consommation des drogues

Tester les acquis

Répondre aux questions suivantes :

- 1- Définir les termes suivants :
drogue, dépendance physique, dépendance psychique, tolérance, toxicomanie
- 2- Expliquer, à l'aide d'un schéma, le mode d'action d'une drogue sur le cerveau.
- 3- Préciser les effets de la consommation des drogues sur la santé.
- 4- Définir le stress
- 5- Indiquer les agents les plus stressants pour vous.
- 6- Par quoi se manifeste la première phase du stress ?
- 7- Montrer comment le système nerveux et le système hormonal fonctionnent de manière coordonnée pour faire face à une situation stressante.
- 8- L'ablation de la corticosurrénale chez une souris entraîne une hypersécrétion de l'ACTH. L'injection de cortisol à cette souris rétablit la sécrétion normale d'ACTH. Expliquer ces résultats expérimentaux.
- 9- Montrer comment le stress peut être à l'origine de maladies psychosomatiques comme l'ulcère gastro-intestinal.
- 10- L'adrénaline et le cortisol sont les principales hormones qui interviennent dans le stress. Préciser leur origine et leurs effets biologiques.
- 11- Proposer des règles de vie qui assurent l'hygiène du système nerveux.



Introduction générale

La reproduction humaine est une fonction nécessaire à la survie de l'espèce. Cette fonction fait intervenir deux individus de sexe différent, un homme et une femme

La capacité à se reproduire est acquise à **la puberté**, à l'âge de 11-12 ans chez la fille et 12-13 ans chez le garçon. Elle correspond à une maturité des organes de la reproduction (organes génitaux) qui commencent à produire les cellules sexuelles ou **gamètes** et s'accompagne de transformations corporelles (poussée de croissance) et de l'apparition des caractères sexuels secondaires qui différencient le mâle ♂ de la femelle ♀ . L'union d'un gamète ♂ et d'un gamète ♀ ou **fécondation** donne un œuf qui est à l'origine d'un nouvel être humain

- Comment fonctionnent les appareils génitaux ♂ et ♀ ?
- Quelle est l'origine des caractères sexuels secondaires ?
- Comment se fait la fécondation ?

Les chapitres suivants présentent des réponses à ces questions :

Chapitre 1 : La fonction reproductrice chez l'homme

Chapitre 2 : La fonction reproductrice chez la femme

Chapitre 3 : La procréation

Chapitre 1 : LA FONCTION REPRODUCTRICE CHEZ L'HOMME

C'est à partir de **la puberté** vers l'âge de 12-13 ans, que les organes de l'appareil génital mâle entrent en activité. Le corps de l'enfant subit des transformations aussi bien anatomiques, physiologiques que psychiques, pour acquérir la fonction de reproduction. Parmi les manifestations de la puberté on peut citer :

- une poussée de croissance avec une augmentation de la taille
- un développement de la musculature
- Un développement des testicules
- L'apparition de poils sur le pubis puis les aisselles, la face, le thorax et enfin les membres
- La modification de la voix
- Des éjaculations involontaires de sperme durant le sommeil appelées : « pollutions nocturnes »
- Eveil des besoins sexuels

Ces caractères qui permettent de reconnaître le sexe d'un individu sont **les caractères sexuels secondaires** (les caractères sexuels primaires sont les organes génitaux externes).

OBJECTIFS

- Reconnaître l'organisation de l'appareil reproducteur de l'homme
- Identifier les structures et les fonctions du testicule
- Reconnaître les caractéristiques cytologiques du spermatozoïde
- Décrire la spermatogenèse
- Expliquer l'origine des caractères sexuels secondaires
- Expliquer le mécanisme de régulation du fonctionnement de l'appareil génital mâle

S INTERROGER

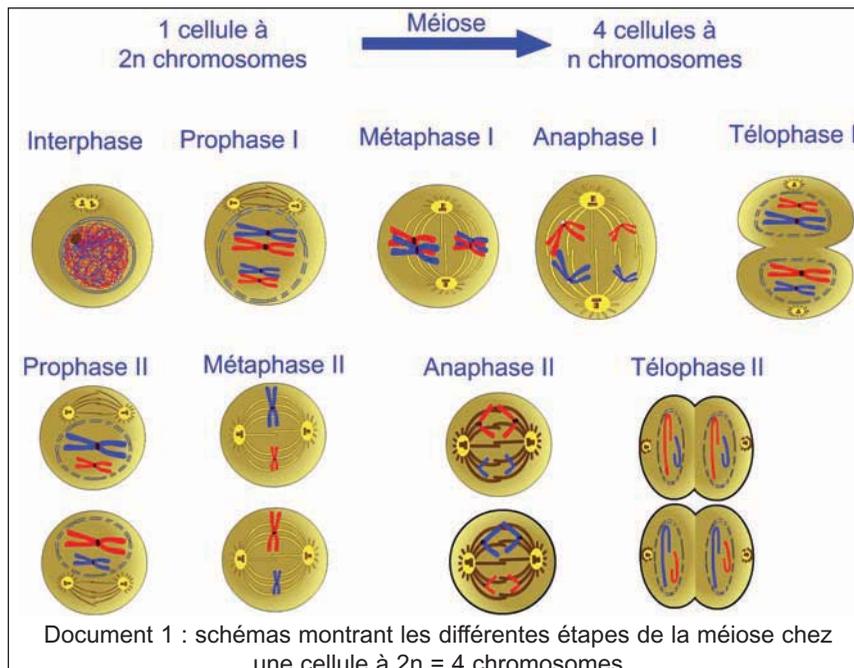


L'adolescent qui remarque les manifestations de la puberté qui affectent son corps, peut se poser les questions suivantes :

- Où et comment se forme le sperme ? de quoi est-il formé ?
- Quelle est l'origine des caractères sexuels secondaires ?
- Comment le fonctionnement de l'appareil génital mâle est-il contrôlé ?

S SE RAPPELER

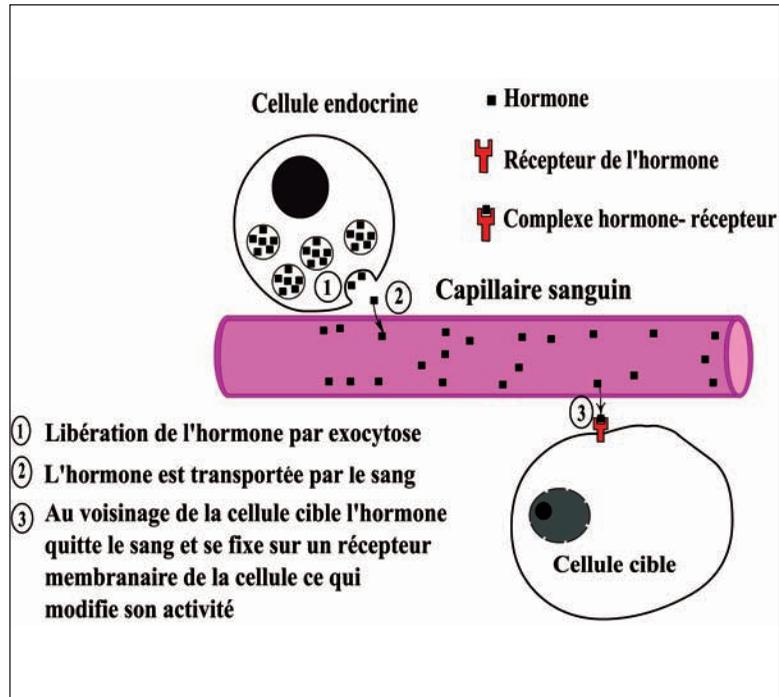
1- La méiose : division cellulaire qui intervient dans la formation des cellules sexuelles haploïdes (ou gamètes à n chromosomes), à partir d'une cellule germinale (ou cellule souche) diploïde (à $2n$ chromosomes). Elle comprend deux divisions : la première (I) est une division réductionnelle et la deuxième (II) est une division équationnelle. Chacune des deux divisions comporte 4 phases comme le montre le document 1.



2- Notions d'hormone et de glande endocrine :

Une **hormone** est une substance chimique élaborée par des cellules spécialisées, parfois regroupées à l'intérieur d'une **glande** (glande hormonale ou **endocrine**). Ce **messager chimique** déversé dans le **sang** agit sur des **cellules cibles** dont il modifie le fonctionnement. Chaque hormone reconnaît «sa» cellule cible grâce à des récepteurs spécifiques.

Dans toute action hormonale, on retrouve les mêmes étapes (document 2) :

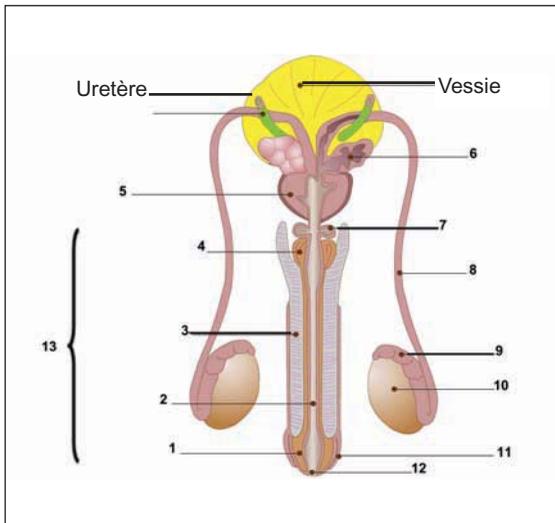


Document 2 : sécrétion et mode d'action d'une hormone (l'insuline)

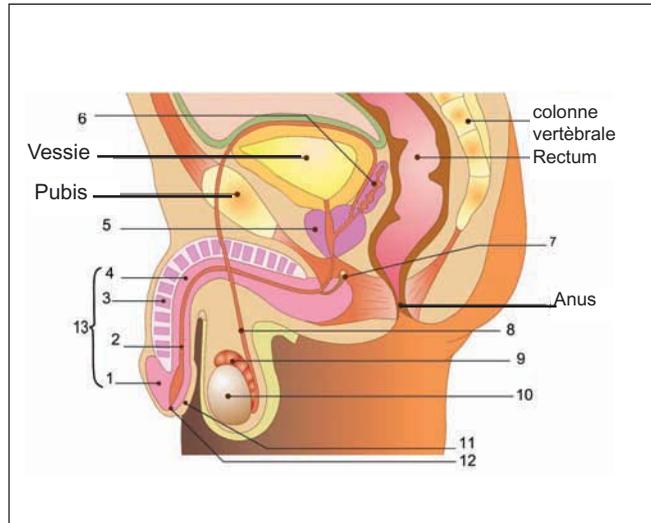
Rechercher et construire

I Organisation de l'appareil génital masculin

Activité 1 : se rappeler l'organisation de l'appareil génital de l'homme



a - Vue de face



b - Vue de profil

Document 3 : organisation de l'appareil génital de l'homme

- Utiliser les noms suivants pour annoter le document 3 en associant à chaque numéro le nom correspondant.
 prostate- vésicule séminale- gland- corps spongieux- corps caverneux- canal déférent – prépuce - glande de Cowper- testicule- épididyme- urètre- pénis ou verge- orifice urogénital
- En s'appuyant sur vos connaissances et sur le document 3, reproduire et compléter le tableau suivant :

Organes	Noms	Rôles
Gonades		
Voies génitales		
Glandes annexes		
Organe de copulation		

Le sperme est un liquide blanc visqueux formé d'un mélange de liquide séminal et prostatique et de spermatozoïdes. Un millilitre de sperme normal renferme de 100 à 180 millions de spermatozoïdes.

II Fonctions du testicule

Activité 2 : identifier les fonctions et les structures histologiques du testicule

a - Les fonctions du testicule

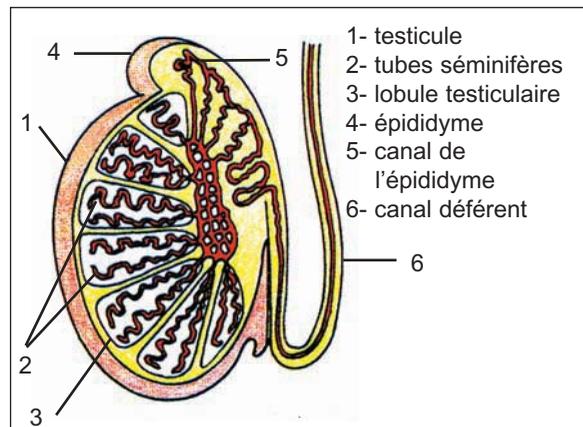
Texte A	Texte B
<p>Les eunuques (hommes ayant subi l'ablation totale des deux testicules) étaient jadis chargés de la garde des sérails. Ils étaient stériles et présentaient les caractères suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - voix aiguë, si l'ablation était pratiquée avant la puberté ; - musculature peu développée ; - faible pilosité ; - tendance à la surcharge pondérale 	<p>La cryptorchidie est une anomalie qui affecte la descente des testicules de la cavité abdominale vers le scrotum (ou bourses) au cours de la vie fœtale. Lorsque cette descente testiculaire, bilatérale, n'a pas lieu, les individus sont stériles car la température de l'abdomen empêche la production des spermatozoïdes mais les caractères sexuels secondaires (voix, musculature, pilosité) sont normaux.</p>

En se référant aux manifestations de la puberté et aux textes A et B, dégager les fonctions du testicule

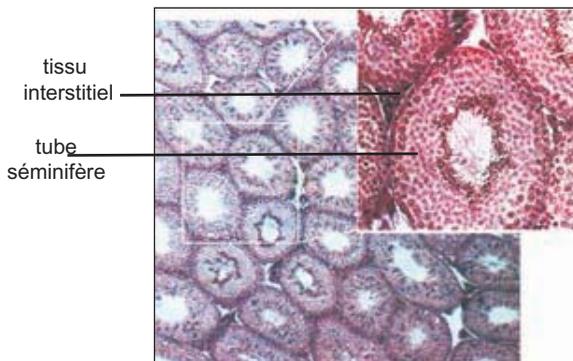
b- Les structures responsables des fonctions du testicule.

Schéma de la structure du testicule

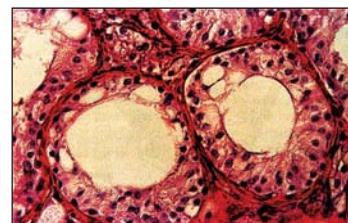
Chaque testicule est formé de 200 à 300 lobules testiculaires contenant chacun de 1 à 4 tubes séminifères très pelotonnés. Chaque tube, d'une longueur de plusieurs dizaines de centimètres, est un cul-de-sac en continuité avec le canal déférent



c- Observation microscopique du testicule



Document 4 : coupe de testicule normal



Document 5 : coupe de testicule cryptorchide

Commentaire

- les cercles qui apparaissent sur la coupe du document 4 correspondent à des sections de tubes. Chaque tube est formé d'une paroi qui entoure une lumière. On distingue dans la lumière des spermatozoïdes. C'est dans ces **tubes séminifères** que se forment les spermatozoïdes (fère = porte, seminis = semence)

- l'espace entre les tubes est occupé par des cellules (cellules de Leydig) qui constituent le **tissu interstitiel** riche en capillaires sanguins.

- Faire un schéma annoté d'une coupe de testicule normal (document 4) en utilisant le commentaire.
- Relever à partir de l'analyse des documents 4 et 5 une dualité structurale du testicule.
- Etablir une relation entre les fonctions et les structures du testicule
- Proposer une hypothèse sur le mode d'action du tissu interstitiel sur des organes situés à distance : (visage, larynx, muscles...)
- Imaginer des expériences permettant de vérifier cette hypothèse

d- Vérification expérimentale de l'hypothèse formulée

Expériences	Résultats
Ablation des testicules d'un rat adulte (castration)	- stérilité - atrophie du tractus génital - régression des caractères sexuels secondaires
greffe d'un fragment du testicule au même rat au niveau du cou	- stérilité - restauration des caractères sexuels secondaires
injection d'extraits testiculaires au rat castré	- stérilité - restauration des caractères sexuels secondaires
On a extrait du testicule une hormone la testostérone . On a injecté de la testostérone à des rats castrés	Rétablissement des caractères sexuels secondaires

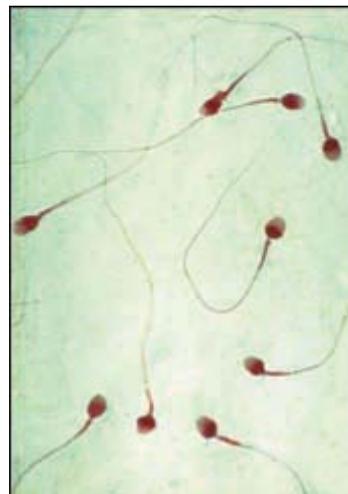
- A partir de l'analyse de ces expériences, conclure sur la validité ou non de l'hypothèse précédente . Résumer en quelques phrases, la fonction endocrine du testicule et l'origine des caractères sexuels masculins.

III la spermatogenèse ou formation des spermatozoïdes

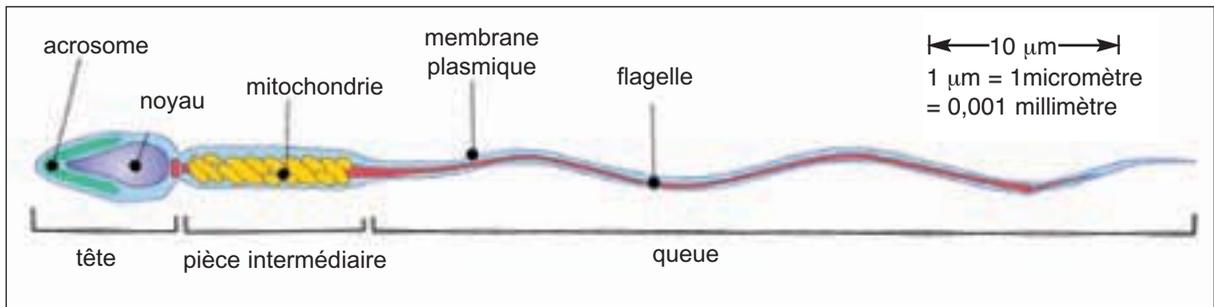
1- structure du spermatozoïde :

Activité 3 : décrire la structure d'un spermatozoïde :

On peut observer des spermatozoïdes humains dans une goutte de sperme montée entre lame et lamelle au microscope.



Document 6 : spermatozoïdes humains (x 1000)



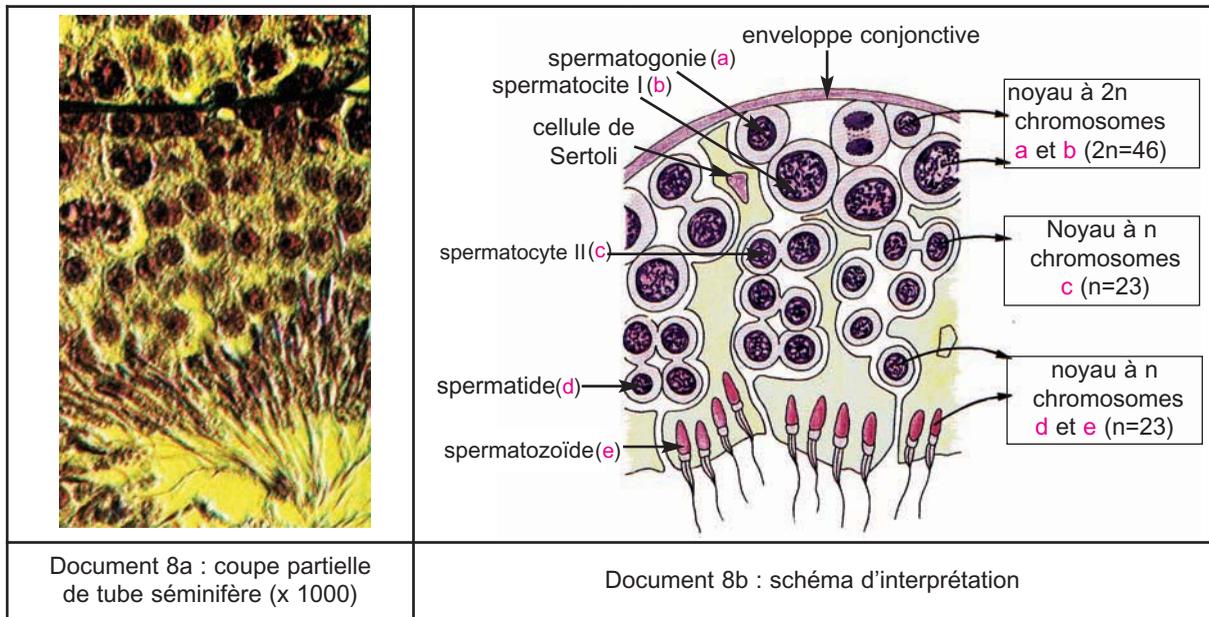
Document 7 : structure schématique du spermatozoïde

- Décrire la structure du spermatozoïde.
- Schématiser cette cellule
- Déterminer le nombre de chromosomes que devrait contenir le noyau du spermatozoïde, sachant que les cellules somatiques sont à $2n = 46$ chromosomes
- Mettre en relation les caractéristiques cytologiques du spermatozoïde avec sa fonction.

2- Déroulement de la spermatogenèse

Activité 4: décrire les étapes de la spermatogenèse:

Le document 8 représente une coupe transversale partielle d'un tube séminifère observée au microscope (8a) et son interprétation schématique (8b).



- Distinguer, à partir des documents 8a et 8b, les différents types de cellules engagées dans la spermatogenèse.
- En se basant sur l'aspect, la disposition et le nombre relatif des cellules germinales, que peut-on déduire quant à la formation des spermatozoïdes ?
- Préciser les types de divisions cellulaires ayant permis le passage des cellules souches aux spermatides. Justifier.
- Reconstituer par un schéma de synthèse les étapes de la spermatogenèse.
- Proposer une hypothèse sur le rôle des cellules de Sertoli.

IV Régulation du fonctionnement testiculaire

Le testicule assure une double fonction :

- Une fonction **exocrine** : production de spermatozoïdes et leur sécrétion à l'extérieur
- Une fonction **endocrine** : sécrétion d'une hormone, **la testostérone** .

Les spermatozoïdes produits par les tubes séminifères sont nécessairement évacués (par les éjaculations) ou détruits dans les voies génitales. La spermatogenèse est alors activée pour compenser la baisse du nombre de spermatozoïdes.

D'autre part, la testostérone sécrétée par les cellules interstitielles est constamment dégradée dans le foie et est éliminée dans les urines. Or sa concentration chez l'adulte est stabilisée à un taux plasmatique moyen de 700 nanogrammes par 100 ml (1 nanogramme= 10^{-9} gramme). Donc sa dégradation est compensée par une sécrétion de testostérone par les cellules interstitielles. Il devrait donc exister **un système de régulation** qui permet d'informer les tubes séminifères et les cellules interstitielles sur les modifications de la quantité des spermatozoïdes et sur la concentration plasmatique de la testostérone pour que ces structures puissent rétablir ces quantités à leur niveau normal.

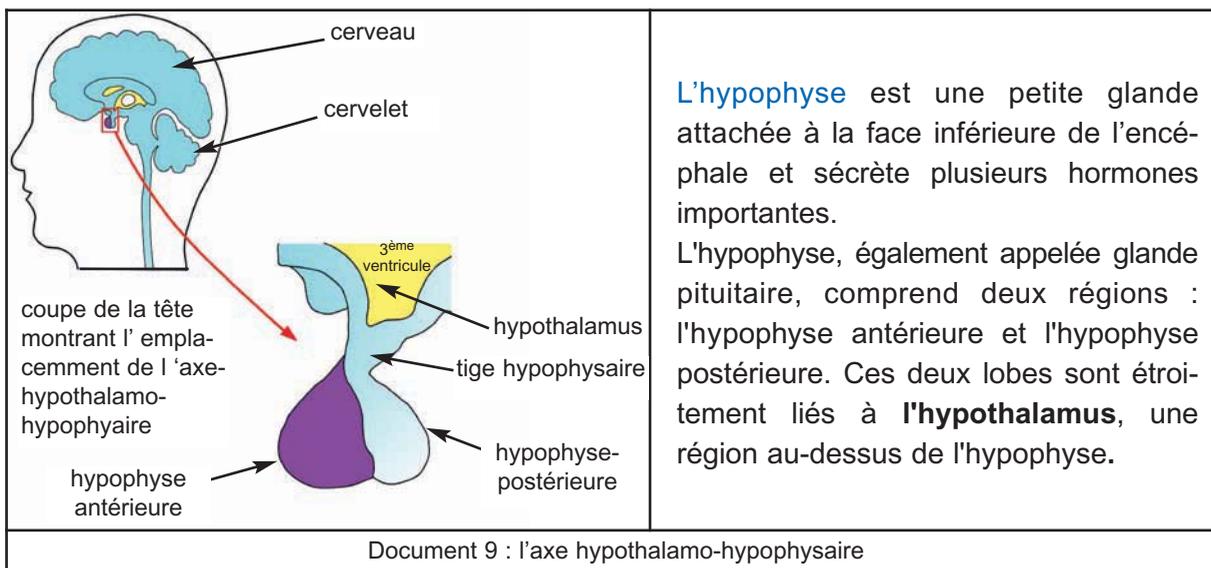
Comment fonctionne ce système de régulation ?

1- Contrôle par l'axe hypothalamo-hypophysaire

Activité 5 : déterminer les mécanismes de régulation des fonctions testiculaires

a - Observations cliniques :

- Des lésions de l'hypophyse entraînent un arrêt du fonctionnement testiculaire.
- Certaines lésions de l'hypothalamus provoquent des perturbations du fonctionnement hypothysaire et du fonctionnement testiculaire.



L'**hypophyse** est une petite glande attachée à la face inférieure de l'encéphale et sécrète plusieurs hormones importantes.

L'hypophyse, également appelée glande pituitaire, comprend deux régions : l'hypophyse antérieure et l'hypophyse postérieure. Ces deux lobes sont étroitement liés à l'**hypothalamus**, une région au-dessus de l'hypophyse.

- Quelles hypothèses peut-on déduire des observations précédentes ?

b- Vérification des hypothèses : expériences

- Rôle de l'hypophyse

Expériences (première série)	Résultats
Ablation de l'hypophyse (hypophysectomie) chez un rat pubère	- Atrophie des testicules - Régression des tubes séminifères et du tissu interstitiel - Arrêt de la production de spermatozoïdes et de la testostérone
Injection d'extraits hypophysaires au même rat	Reprise de la spermatogenèse et de la sécrétion de la testostérone

- Analyser les résultats de ces expériences en vue de dégager la nature de la relation entre hypophyse et testicule.

L'hypophyse secrète plusieurs hormones parmi lesquelles 2 hormones sont actives sur le testicule : ce sont les **gonadostimulines** :

- La **FSH** (Follicl Stimulating Hormon) ou hormone folliculostimulante.
- La **LH** (Luteinizing Hormon) ou hormone lutéinisante.

Expériences (deuxième série)	Résultats
On injecte à des animaux hypophysectomisés des doses de FSH	Les tubes séminifères se développent de nouveau (sans rétablissement de la spermatogenèse)
On injecte à des animaux hypophysectomisés des doses de LH	Les cellules interstitielles se développent de nouveau et deviennent fonctionnelles.
On injecte simultanément la FSH et la LH	Rétablissement de la spermatogenèse et de la production de la testostérone.

- Préciser, à partir de ces expériences ,les rôles de la FSH et de la LH.

- Rôle de l'hypothalamus

Expériences	Résultats
Lésion de certaines zones de l'hypothalamus chez des mammifères	- Atrophie des testicules bien que l'hypophyse soit intacte - Arrêt de la spermatogenèse et de la sécrétion de testostérone. - Baisse notable du taux plasmatique de FSH et LH

- A partir de ces données, expliquer comment l'hypothalamus contrôle les fonctions testiculaires.

On a extrait, au niveau du sang des capillaires de la tige de l'hypophyse, une substance sécrétée par les terminaisons nerveuses de neurones ayant leurs corps cellulaires dans un noyau de l'hypothalamus. C'est une **neurohormone** appelée **GnRH** (gonadotrophin-Releasing hormon) ou gonadolibérine qui agit par voie sanguine sur l'hypophyse et stimule la sécrétion des gonadostimulines.

La relation des neurones hypothalamiques avec les neurones du cerveau montre que les informations provenant de l'environnement et perçus par le cerveau, ont une influence sur l'activité sexuelle de l'homme.

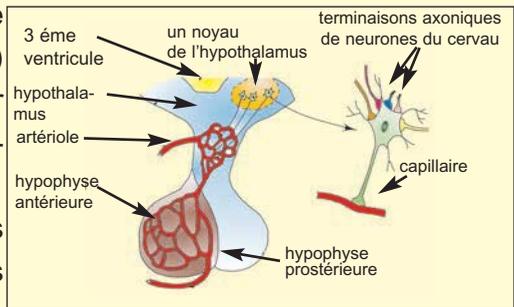


Schéma montrant la relation anatomique entre hypothalamus et hypophyse

2- L'activité du testicule a-t-elle une action sur l'activité hormonale de l'axe hypothalamo-hypophysaire ?

- La castration bilatérale d'un rat adulte entraîne une élévation du taux plasmatique des hormones hypophysaires FSH et LH
- L'injection massive de testostérone à un rat mâle castré arrête la sécrétion de GnRH et par suite celle de FSH et de LH.

- Expliquer les résultats de ces expériences et en déduire l'action du testicule sur le complexe hypothalamo-hypophysaire.
- On désigne cette action par l'expression **rétrocontrôle négatif**, justifier cette appellation.

3 - Les deux fonctions du testicule (spermatogenèse et sécrétion de testostérone) sont elles indépendantes ?

- L'absence de testostérone chez un homme entraîne la régression des caractères sexuels secondaires et une diminution de la spermatogenèse. Par contre une injection de doses de testostérone stimule la spermatogenèse et restaure les caractères sexuels secondaires.
- On a montré que la testostérone se lie à une protéine fabriquée par les cellules de Sertoli : l'**ABP** (Androgen Binding Protein). Ainsi elle peut être transportée jusqu'à la lumière des tubes séminifères et y être concentrée ; elle stimule alors la spermatogenèse.
- D'autre part, on a mis en évidence une hormone sécrétée par les cellules de Sertoli : l'**inhibine**. Cette hormone exerce un rétro-contrôle négatif sur la sécrétion de FSH. Sa concentration varie selon l'activité de la spermatogenèse : si la spermatogenèse est faible, le taux de l'inhibine diminue ce qui stimule la sécrétion de FSH. Si la spermatogenèse est active, le taux de l'inhibine augmente ce qui inhibe la sécrétion de FSH.

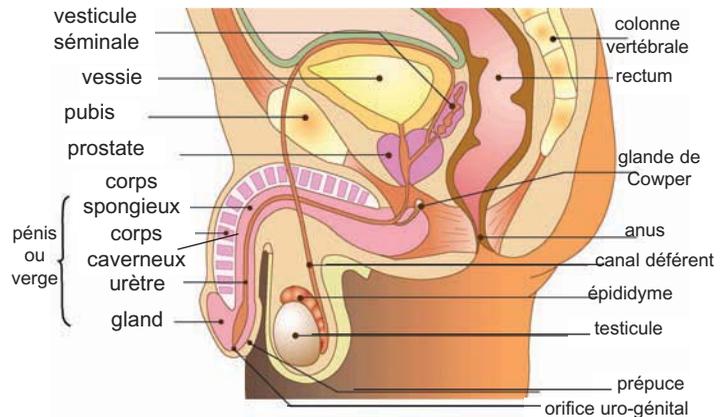
- En utilisant toutes ces informations, construire un schéma de synthèse représentant le système de régulation du fonctionnement du testicule .

Bilan des activités et synthèse

I Organisation de l'appareil reproducteur

L'appareil reproducteur de l'homme comprend :

1- Deux **gonades**, les **testicules** qui assurent, à partir de la puberté et de façon continue, la production d'innombrables spermatozoïdes. Les testicules assurent également, à la puberté, l'apparition des caractères sexuels secondaires masculins. Après la puberté, ils assurent le maintien de ces caractères.



Appareil génital de l'homme

2- **Des voies génitales**: ce sont :

- a- Les deux **épididymes** : ils sont le lieu de transit et de maturation des spermatozoïdes.
- b- Les deux **canaux déférents (spermiductes)** assurant le transit des spermatozoïdes.
- c- L'**urètre** assurant l'évacuation des spermatozoïdes.

3- **Les glandes annexes** : ce sont :

- a- deux **vésicules séminales** : elles sécrètent un liquide nutritif riche en fructose.
- b- Une **prostate** : elle sécrète un produit d'aspect laiteux riche en enzymes.
- c- Deux **glandes de Cowper** : elles sécrètent un liquide diluant le sperme.

(activité1)

II Le testicule, une gonade à double fonction

1- **La production des spermatozoïdes** : c'est une fonction assurant la **fertilité** de l'individu. Cette fonction se réalise dans les **tubes séminifères**.

2- **La détermination des caractères sexuels masculins** : L'action du tissu interstitiel par l'intermédiaire d'hormone est mise en évidence par des expériences de castration, de greffe de testicule au mâle castré ou d'injection d'extrait testiculaire à ce mâle. Cette fonction est assurée par l'intermédiaire d'une hormone sexuelle mâle ou androgène : **la testostérone**.

À la puberté la testostérone détermine l'apparition des caractères sexuels secondaires : développement de la verge, des glandes annexes, de la pilosité, de la musculature, modification de la voix et du comportement sexuel masculin.

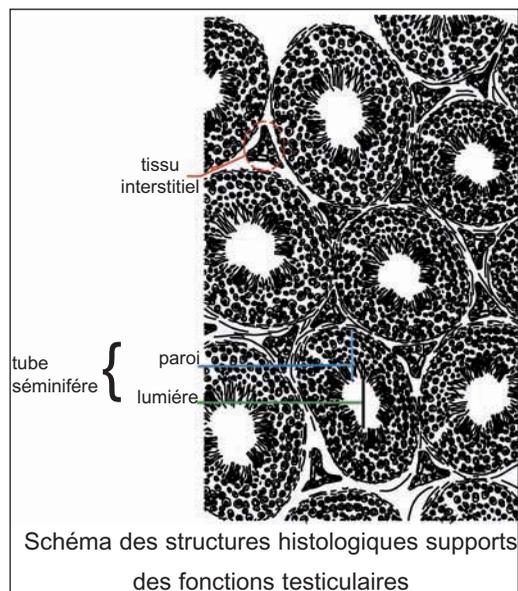


Schéma des structures histologiques supports des fonctions testiculaires

Après la puberté la testostérone assure le maintien des caractères sexuels secondaires masculins. Elle stimule également l'évolution des **cellules germinales** de la paroi du tube séminifère en spermatozoïdes (**spermatogenèse**).

L'**action ciblée** de la testostérone s'explique par la présence dans les cellules cibles, de **récepteurs spécifiques** à cette hormone.

(activité2)



La spermatogenèse

1- **La structure du spermatozoïde :**

- a- Le spermatozoïde est une **cellule très différenciée**. Il est formé de trois parties :
- La **tête** contenant un noyau coiffé d'un acrosome. Le noyau du spermatozoïde est haploïde : il contient $n = 23$ chromosomes.
 - La **pièce intermédiaire** contenant la base du flagelle et de **nombreuses mitochondries** disposées en hélice.
 - La queue formée d'un **flagelle** entouré par la membrane plasmique.
- b- Le spermatozoïde se déplace dans les voies génitales de la femme pour s'unir avec le gamète femelle et former un œuf (la fécondation) .

Les caractéristiques cytologiques permettant au spermatozoïde d'accomplir sa fonction sont:

- Sa forme allongée hydrodynamique, la masse très faible de son cytoplasme, la présence de flagelle dont les mouvements assurent la propulsion du spermatozoïde, la présence des mitochondries pour fournir l'énergie nécessaire aux mouvements du flagelle.
- La présence, au niveau de la tête du spermatozoïde, d'un acrosome permettant la pénétration du spermatozoïde à l'intérieur du gamète femelle et un noyau haploïde à $n = 23$ chromosomes. L'union au cours de la fécondation du spermatozoïde avec le gamète femelle (à $n = 23$ chromosomes) assure le rétablissement, dans l'œuf, de la diploïdie : $2n = 46$ chromosomes.

(activité3)

2- **La spermatogenèse**

a- **observation de la paroi des tubes séminifères**

L'observation microscopique de la coupe des tubes séminifères montre que la paroi de ces tubes présente deux catégories de cellules :

- les cellules de la lignée germinale qui permettent la formation des spermatozoïdes.
- les cellules de Sertoli qui ont un rôle sécréteur, de soutien et de nutrition.

Les cellules de la lignée germinale n'ont pas le même aspect et la même taille, on distingue en allant de la périphérie vers la lumière du tube séminifère:

- des petites cellules à noyau dense : les spermatogonies à $2n$ chromosomes dont certaines sont en division.
- des cellules de grande taille à noyau moins dense : **les spermatocytes I** à $2n$ chromosomes
- des cellules plus petites à noyau réduit, généralement groupées par deux : **les spermatocytes II** à n chromosomes.

- des cellules plus petites que les spermatocytes II à noyau arrondi et central, plus proches de la lumière du tube séminifère : les spermatozoïdes à n chromosomes.
- des spermatozoïdes à n chromosomes dont certains ont la tête plantée dans les cellules de Sertoli. D'autres spermatozoïdes sont libres dans la lumière du tube séminifère.

b- Déroulement de la spermatogenèse

L'observation de la paroi des tubes séminifères suggère que les différents aspects cellulaires correspondent à des stades d'évolution des cellules germinales en spermatozoïdes : c'est la **spermatogenèse**

La spermatogenèse comporte 4 phases :

- **La phase de multiplication** : La division des spermatogonies (cellules souches à $2n$ chromosomes) situées à la périphérie des tubes séminifères, par mitose, permet leur multiplication.

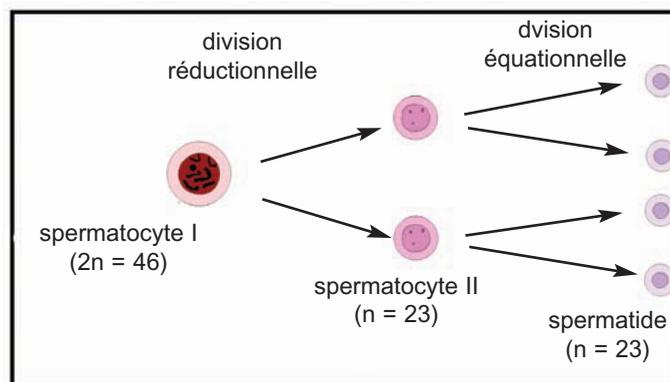
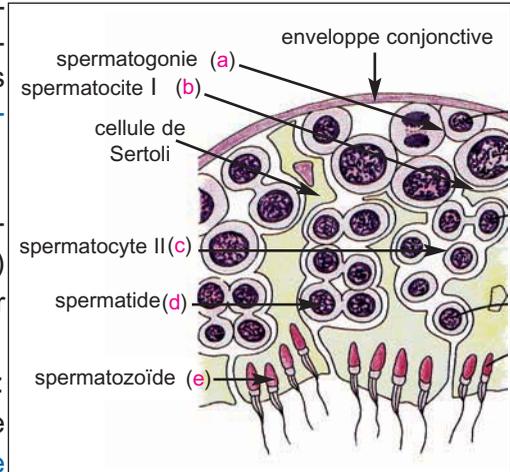
Chaque spermatogonie, se divisant par mitose, donne :

- une spermatogonie qui reste en périphérie du tube séminifère pour assurer la **conservation du stock de spermatogonies**

- une autre spermatogonie qui subit d'autres mitoses permettant la multiplication du nombre de spermatogonies qui s'engagent dans la spermatogenèse.

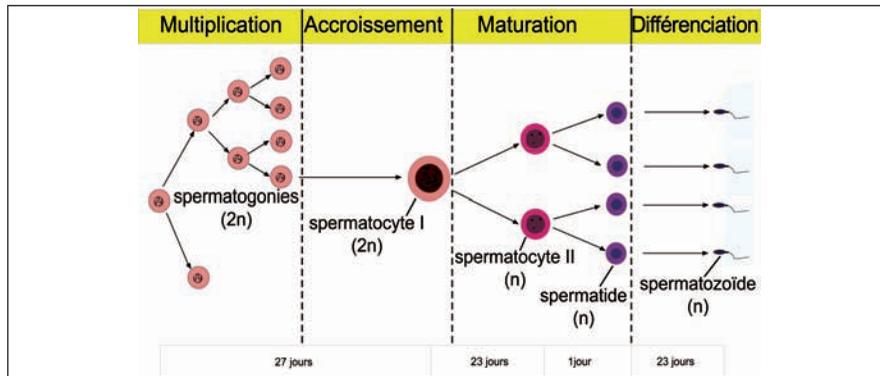
- **La phase d'accroissement** : les spermatogonies subissent un léger accroissement et deviennent des spermatocytes I (toujours à $2n$ chromosomes).

- **La phase de maturation** : les spermatocytes I sont des cellules à $2n$ chromosomes, alors que les spermatocytes II et les spermatozoïdes sont des cellules à n chromosomes ; il y a donc une réduction du nombre de chromosomes. Cette réduction est due à l'intervention de la **méiose** qui comprend deux divisions : une division réductionnelle puis une division équationnelle.



-**La phase de différenciation ou spermiogenèse** : Les spermatozoïdes subissent de profonds remaniements et deviennent des spermatozoïdes : réduction du cytoplasme, formation de l'acrosome, apparition de la pièce intermédiaire et du flagelle.

Chez l'homme la spermatogenèse dure 74 jours.



les phases de la spermatogénèse

(activité4)

IV

Régulation du fonctionnement de l'appareil reproducteur de l'homme

1- L'hypophyse contrôle le fonctionnement des testicules

a- Mise en évidence expérimentale

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

b- Action des hormones hypophysaires

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

- La **LH** : C'est une hormone hypophysaire qui, agissant sur les cellules interstitielles ou cellule de Leydig, stimule la sécrétion de testostérone
- La **FSH** : c'est une hormone hypophysaire qui active indirectement la spermatogénèse. En se liant aux récepteurs des cellules de Sertoli, la **FSH** stimule la synthèse par ces cellules d'une protéine, l'ABP (Androgen Binding Protein) indispensable à la réception de la testostérone par les cellules germinales, ce qui active la spermatogénèse.

2- L'hypothalamus contrôle l'hypophyse

Mise en évidence expérimentale

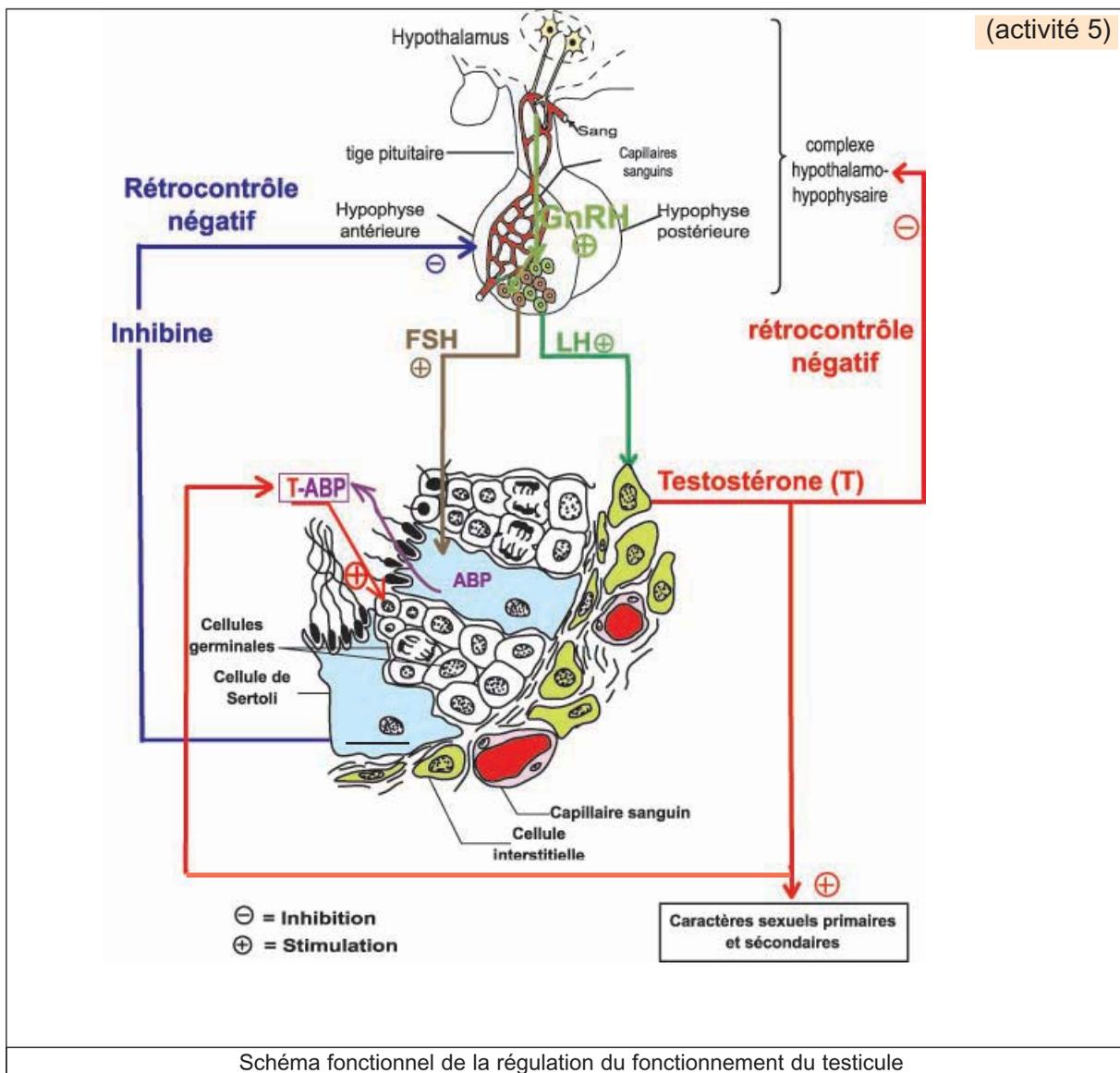
Les observations cliniques et les résultats expérimentaux montrent que l'hypothalamus contrôle l'activité de l'hypophyse par l'intermédiaire d'une neurohormone

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

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

Des expériences montrent que la **testostérone** exerce en permanence un effet modérateur sur l'axe hypothalamohypophysaire. Ce mécanisme, désigné sous le nom de **feed-back négatif** ou **rétrocontrôle négatif** ou **rétroaction négative**, assure une stabilité des sécrétions de la testostérone. Toute hausse du taux de testostérone par rapport aux valeurs de référence accentue le freinage sur l'axe hypothalamo-hypophysaire. Il se produit alors une baisse de la production de GnRH et des gonadostimulines et le testicule, moins stimulé, abaisse sa production de testostérone. En revanche la baisse du taux de testostérone par rapport aux valeurs de référence provoque une levée de l'inhibition sur l'axe hypothalamo-hypophysaire. Il se produit alors, une augmentation de la production de GnRH et de gonadostimulines, ce qui stimule le testicule et augmente sa production et sa sécrétion de testostérone.

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



Tester les acquis

EXERCICE 1/Q.C.M

Relever, dans les items suivants, la ou les réponse(s) correcte(s)

- 1- Dans la paroi des tubes séminifères, la spermatogenèse :
 - a. se déroule de l'intérieur vers l'extérieur
 - b. suit l'ordre suivant : multiplication - accroissement - différenciation - maturation
 - c. met en jeu la mitose et la méiose
 - d. permet la formation d'un spermatozoïde à partir de chaque spermatogonie.

- 2- Parmi les cellules de la paroi du tube séminifère, celles qui sont diploïdes (à $2n$ chromosomes) sont :
 - a. les spermatogonies
 - b. les cellules de Sertoli
 - c. les spermatocytes I
 - d. les spermatides

- 3- Les caractères cytologiques du spermatozoïde qui lui permettent d'assurer sa fonction (féconder le gamète femelle) sont :
 - a. l'existence du flagelle
 - b. sa forme hydrodynamique
 - c. son cytoplasme riche en réserves nutritives
 - d. la présence d'un acrosome dans sa tête.

- 4- Le spermatocyte II est le résultat de :
 - a. la multiplication des spermatogonies
 - b. l'accroissement d'une spermatogonie
 - c. la division réductionnelle de la méiose
 - d. la division équationnelle de la méiose

- 5- La testostérone est une hormone sexuelle :
 - a. sécrétée par les tubes séminifères
 - b. dont la sécrétion est commandée par la LH
 - c. agissant uniquement sur les tubes séminifères
 - d. responsable de l'apparition des caractères sexuels secondaires.

- 6- La greffe d'un fragment de testicule sous la peau d'un mâle castré :
 - a. corrige sa stérilité
 - b. restaure ses caractères sexuels secondaires
 - c. provoque la baisse des sécrétions hypophysaires de FSH et de LH
 - d. provoque les mêmes effets que les injections d'extraits testiculaires.

- 7- le rétrocontrôle testiculaire par la testostérone :
 - a. permet le maintien du taux sanguin de la testostérone à une valeur constante
 - b. peut être positif ou négatif selon le taux de testostérone dans le sang
 - c. est le contrôle de l'activité testiculaire par l'axe hypothalamo-hypophysaire
 - d. est un rétrocontrôle négatif

8- Parmi les effets biologiques suivants, ceux de la testostérone sont :

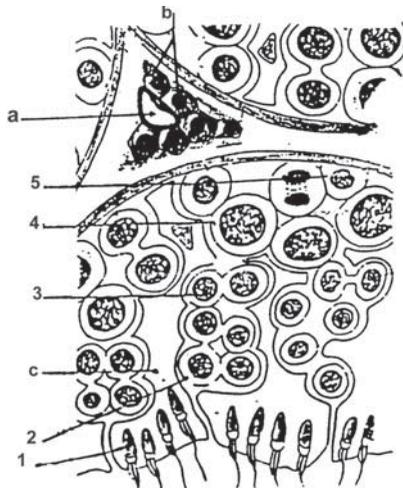
- a. la stimulation de la spermatogenèse
- b. la modification de la voix
- c. le développement de la musculature
- d. l'augmentation de la température corporelle

9- Chez l'homme une stérilité d'origine hypophysaire due à une lésion de l'hypophyse est corrigée par des injections :

- a. de testostérone
- b. de FSH + LH
- c. de GnRH
- d. d'inhibine

EXERCICE 2

Les différents stades de la spermatogenèse ne sont généralement pas tous visibles sur une coupe de tube séminifère car ils se succèdent sous forme d'une « onde » dans le sens longitudinal du tube. Il faut confronter plusieurs secteurs de plusieurs tubes pour avoir une vue synthétique comme le montre la figure suivante :



Cette figure montre 5 associations cellulaires :

- Les cellules 2 sont 2 fois plus nombreuses que les cellules 3.
- Les cellules 3 sont 2 fois plus nombreuses que les cellules 4
- Les cellules du type 1 et 2 sont au même nombre.

a- Compte tenu de ces proportions que vous justifiez, identifiez tous ces types cellulaires.

b- Identifier les éléments a, b et c.

c- Quel est le rôle des cellules (b) et (c) ?

Chapitre 2 : LA FONCTION REPRODUCTRICE CHEZ LA FEMME

La **puberté**, chez la fille, commence vers l'âge de 11 – 12 ans et se manifeste par des modifications organiques et un comportement psychique féminin. Ces manifestations constituent **les caractères sexuels secondaires**, parmi lesquels on peut citer :

- l'apparition de la pilosité pubienne (sur le pubis = bas du ventre) puis axillaire (sous les aisselles)
- le développement des seins
- l'élargissement des hanches
- l'apparition des 1^{ères} règles (ou menstruation = écoulement de sang), d'abord irrégulières puis deviennent cycliques (périodiques, tous les mois environ), c'est **le cycle menstruel**.

Chez la femme normale, les règles apparaissent périodiquement (tous les 28 jours en général) et durent quelques jours, mais en cas de grossesse, elles sont interrompues et ne réapparaissent qu'un certain temps après l'accouchement

Le cycle menstruel s'arrête vers l'âge de 50 ans (45 à 55 ans) : C'est **la ménopause**

OBJECTIFS

- Reconnaître l'organisation de l'appareil reproducteur de la femme
- Reconnaître les caractéristiques cytologiques du gamète femelle ♀
- Expliquer la formation de l'ovule (ovogenèse)
- Décrire le cycle sexuel chez la femme
- Expliquer le mécanisme de régulation du cycle sexuel

S INTERROGER

La maturation sexuelle chez la fille et sa capacité à procréer se manifestent par la menstruation (règles) cyclique. Cela implique la production par les gonades de cellules sexuelles femelles et l'existence d'un mécanisme de régulation contrôlant le fonctionnement cyclique de l'appareil génital

- Comment fonctionne l'appareil génital de la femme ?
- Comment se fait la formation des gamètes femelles ?
- Comment expliquer l'apparition des caractères sexuels secondaires ?
- Quelle est l'origine de la menstruation ?
- Quels sont les mécanismes qui assurent la régulation du fonctionnement cyclique de l'appareil génital de la femme ?

S E RAPPELER

voir pages 71-72 (chapitre 1 : la fonction reproductrice chez l'homme)

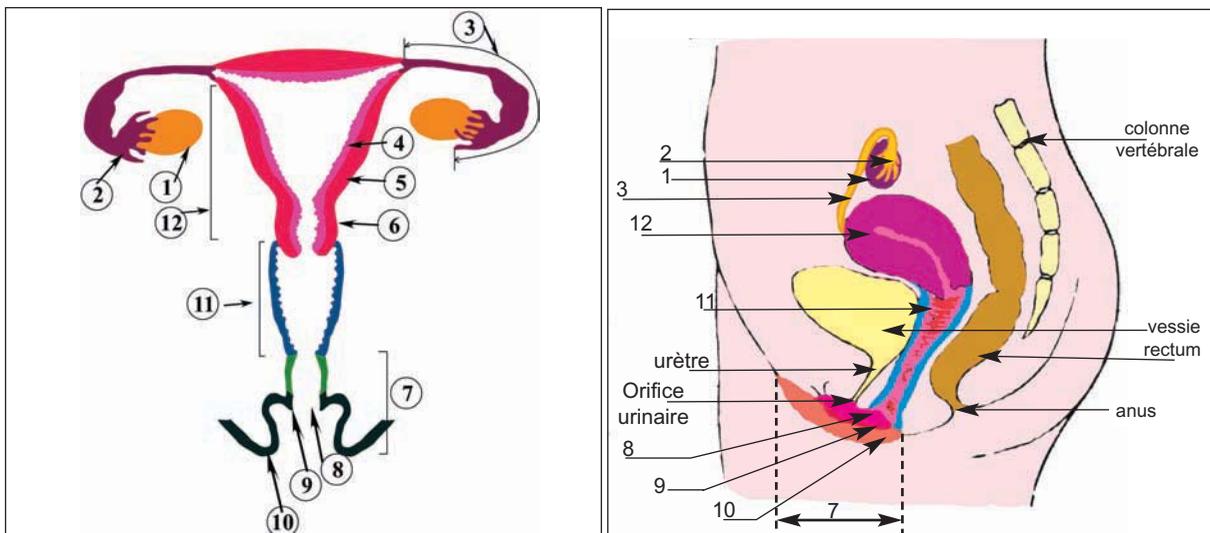
Rechercher et construire

I

l'organisation de l'appareil reproducteur de la femme

Activité 1 : identifier les organes de l'appareil reproducteur de la femme

Les documents suivants présentent les schémas de l'appareil reproducteur de la femme en vue de face et en vue de profil



a - Vue de face

b - Vue de profil

Document 1 : organisation de l'appareil génital de la femme

- Ecrire les noms des organes désignés par les chiffres en utilisant les noms suivants : Ovaire, pavillon, oviducte ou trompe, utérus, endomètre ou muqueuse utérine, myomètre ou muscle utérin, col de l'utérus, vagin, grandes lèvres, petites lèvres, orifice génital, vulve
- Distinguer : les gonades, les voies génitales et l'organe d'accouplement.
- Préciser les fonctions de ces organes

II

Formation du gamète femelle ou ovogenèse

1- structure de la cellule sexuelle femelle

Activité 2 : dégager les particularités du gamète femelle

1- Constatons les faits

Si on observe, avec des moyens techniques appropriés, les ovaires durant un cycle

(de 28 jours), on constate, vers le milieu du cycle (au 14ème jour), l'expulsion, par l'un des ovaires, d'une cellule sphérique de 100 microns de diamètre environ, c'est la cellule sexuelle femelle ou **ovocyte**. Ce phénomène est l'**ovulation**.



Document 2 : moment de l'ovulation

2- Observons un ovocyte au microscope

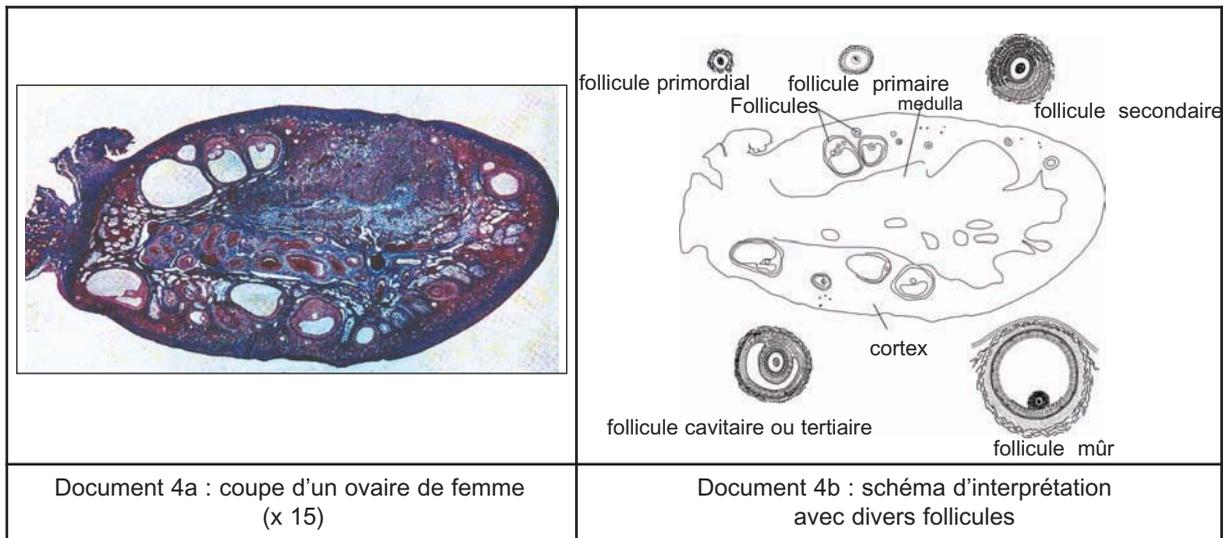
<p>Document 3a : photo d'un ovocyte II (x 400)</p>	<p>Document 3b : schéma d'interprétation d'un ovocyte II</p>

- Faire un schéma annoté de l'ovocyte II
- Dégager ses caractéristiques
- Préciser le nombre de chromosomes de l'ovocyte II
- Comparer la structure de l'ovocyte II à celle du spermatozoïde

2- Origine de l'ovocyte

a- La folliculogénèse

Activité 3 : décrire les follicules ovariens



Observons une coupe d'ovaire d'une femme :

Distinguer la partie périphérique : le cortex et la partie centrale : la médulla

L'ovocyte se trouve enfermé dans des structures cellulaires appelées **follicules**

Les follicules évoluent à partir d'un stade initial (follicule primordial) vers un follicule mûr, c'est **la folliculogénèse**

Qu'est ce qu'un follicule ?

(folliculus = petit sac)

Un follicule est une structure ovarienne formée d'un ensemble de cellules folliculaires renfermant l'ovocyte

- Décrire les stades de la folliculogénèse.
- Schématiser le follicule mûr.

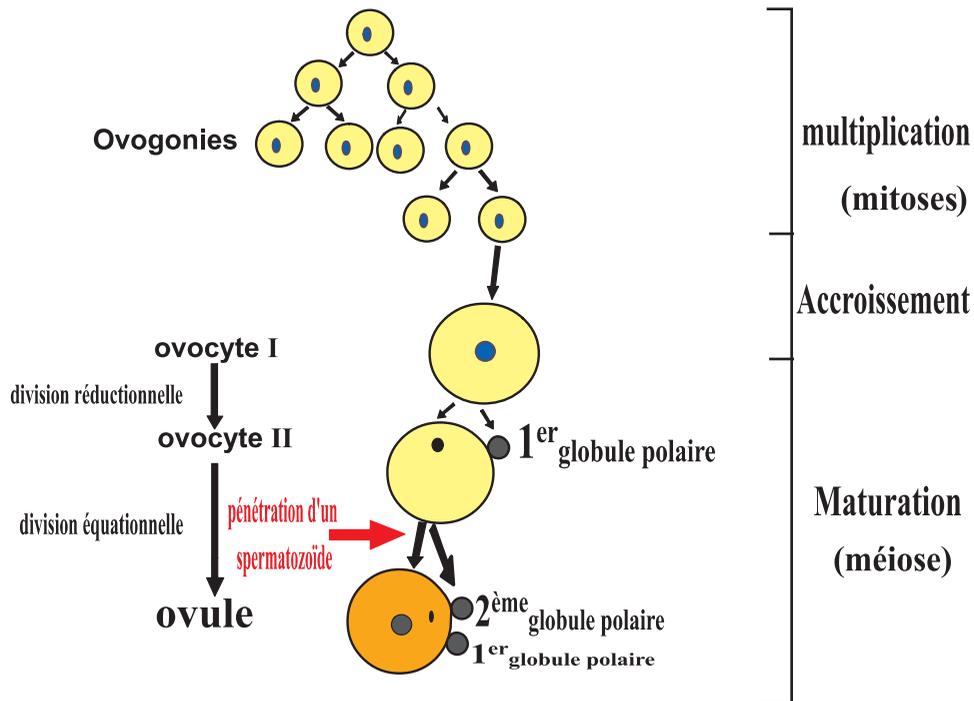
b- L'ovogénèse

Activité 4 : identifier les étapes de l'ovogénèse

• L'ovocyte observé dans les follicules est un ovocyte I (à $2n=46$ chromosomes) alors que l'ovocyte expulsé au cours de l'ovulation est un **ovocyte II** (à $n=23$ chromosomes dédoublés). Cette réduction du nombre de chromosomes s'opère quelques heures avant l'ovulation

- Par quel mécanisme s'est produite la réduction du nombre des chromosomes ?

• Dans les coupes des ovaires observées, on ne voit pas les autres étapes de l'ovogénèse qui précèdent le stade ovocyte I, c'est qu'elles se sont déroulées avant la puberté et avant la naissance même, selon un processus comparable à celui de la spermatogénèse comme le montre le document 5 :



Document 5 : déroulement de l'ovogenèse

- Décrire les stades de l'ovogenèse
- Comparer l'ovogenèse à la spermatogenèse.

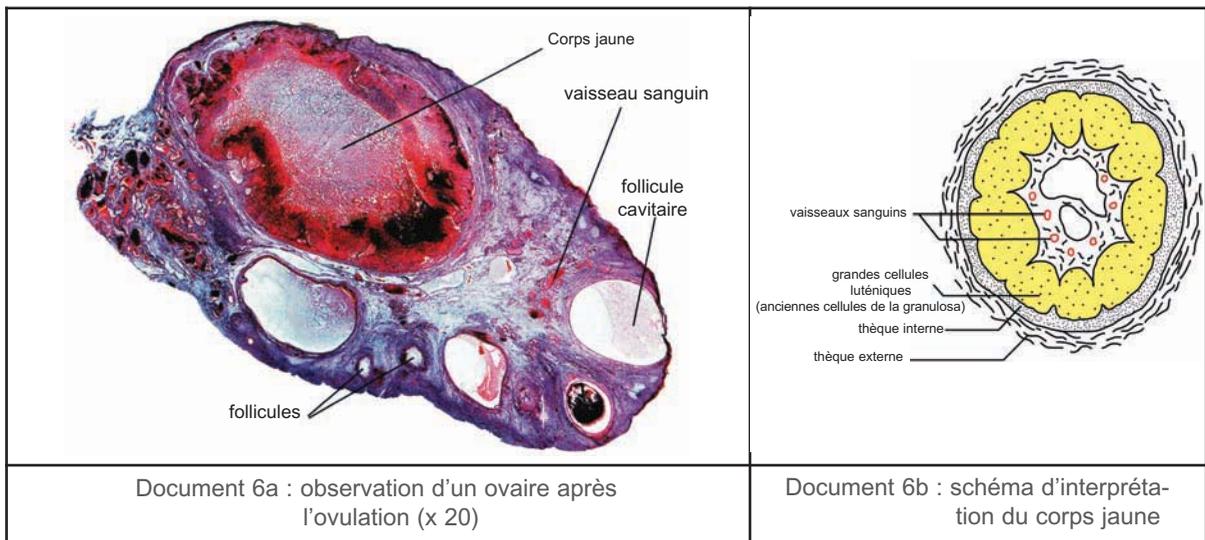
III Le cycle ovarien

Activité 5 : préciser les phases du cycle ovarien

L'activité de l'ovaire est **cyclique**, c'est-à-dire que les mêmes phénomènes qui s'y déroulent se répètent, dans le même ordre, à des intervalles de temps réguliers, appelés cycles. La durée du cycle ovarien est de 28 jours environ, il commence par la menstruation.

L'évolution d'un follicule primordial en un follicule mûr ou folliculogenèse, puis l'ovulation qui se produit vers le milieu du cycle (14^{ème} jour), font partie du **cycle ovarien**, il reste à savoir ce que devient le follicule mûr après l'ovulation.

Observons une coupe d'un ovaire après l'ovulation :

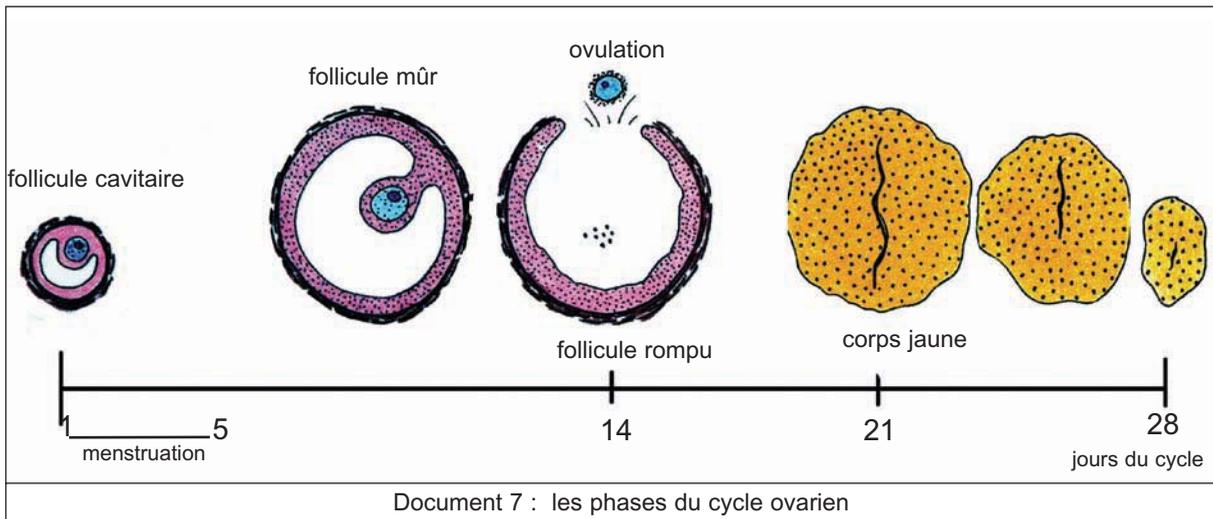


Observer les structures dans le cortex de l'ovaire, il n'y a plus de follicule mûr. Une nouvelle structure apparaît : c'est le **corps jaune**.

Le corps jaune s'accroît et atteint son plein développement vers le 21^{ème} jour du cycle ovarien. Son devenir va dépendre de la réalisation ou non de la fécondation. En cas de fécondation, le corps jaune persiste et continue son activité, jusqu'à la 11^{ème} semaine de grossesse où il sera relayé par le placenta. Le cycle ovarien est suspendu durant la période de grossesse. En cas de non fécondation, le corps jaune régresse, perd son activité et devient très petit (corps blanc). Ainsi un cycle se termine et un autre recommence marqué par la menstruation.

- En comparant la structure du corps jaune à celle de follicule mûr, expliquer comment s'est formé le corps jaune .

Le document suivant récapitule les évènements qui se produisent au cours d'un cycle ovarien:



- Indiquer en combien de phases peut-on diviser le cycle ovarien
- Nommer et décrire ces différentes phases
- Formuler des questions qu'on peut se poser en observant ce cycle.

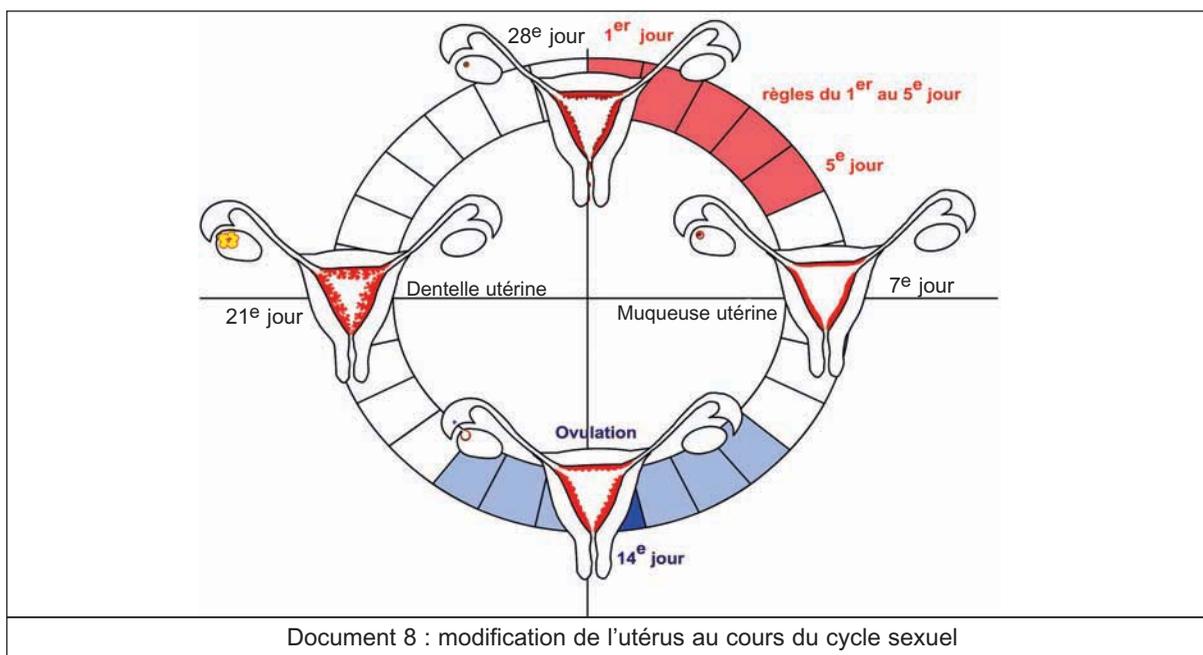
IV Le cycle menstruel (ou cycle utérin)

1- L'évolution de l'utérus au cours d'un cycle sexuel

Activité 6 : décrire le cycle utérin

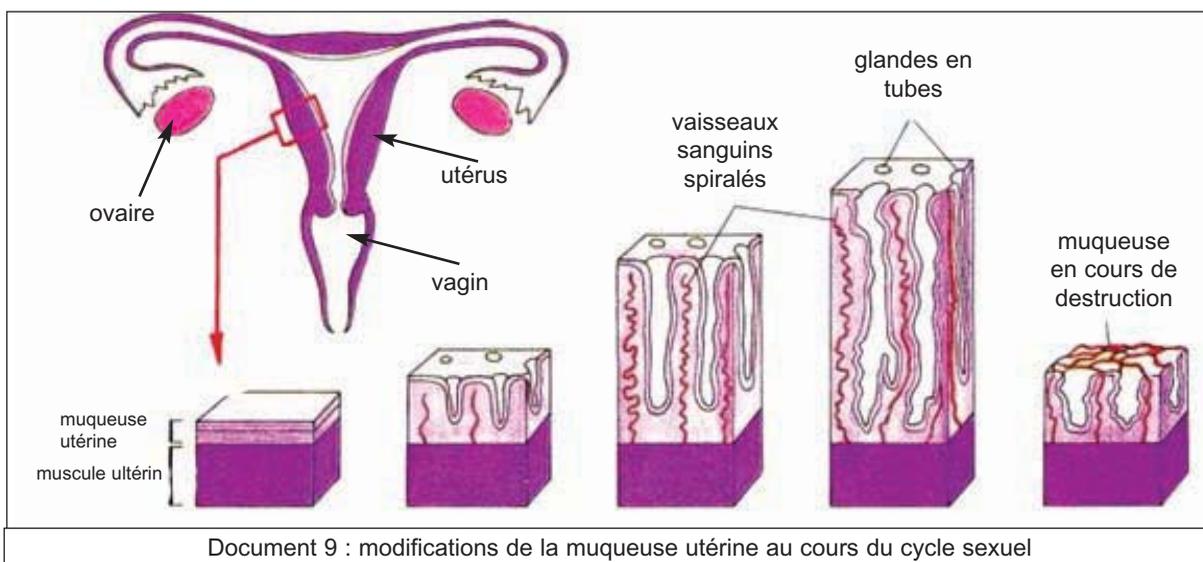
Le sang qui s'écoule du vagin lors de la menstruation et qui marque le début du cycle sexuel provient de l'utérus, comment l'expliquer ?

a- Observons le document suivant qui représente un cycle de l'utérus



- Nommez la structure utérine qui subit des modifications au cours du cycle utérin.

b- Observons les détails de ces modifications :



- Décrire, en exploitant le document 9, les modifications anatomiques de la muqueuse utérine au cours du cycle menstruel.
- Dédire une explication de l'hémorragie qui se produit lors de la menstruation.
- Formuler une hypothèse sur le rôle de ces modifications dans la fonction reproductrice.

Les mêmes modifications se reproduisent dans l'utérus tous les 28 jours, s'il n'y a pas de fécondation

2- Le déterminisme du cycle utérin

- a- Constatation : Les cycles utérin et ovarien se produisent de manière synchrone (en même temps), cela implique une relation entre les ovaires et l'utérus.
- Formuler une hypothèse sur la nature de cette relation.
- b- Pour tester cette hypothèse, on réalise les expériences suivantes sur des animaux :

Activité 7 : relier le cycle ovarien et le cycle utérin

Expériences	Résultats
1- ablation de l'utérus chez une ratte pubère	Aucun effet sur le cycle ovarien
2- l'ablation des ovaires (ovariectomie) d'une ratte pubère	Arrêt du cycle utérin et atrophie de l'utérus
3- greffe sous-cutanée d'un fragment de l'utérus à une ratte pubère	Le fragment greffé subit les mêmes transformations que l'utérus en place
4- l'injection d'extraits ovariens à une ratte pubère ovariectomisée	Développement (prolifération) de l'endomètre sans variations cycliques

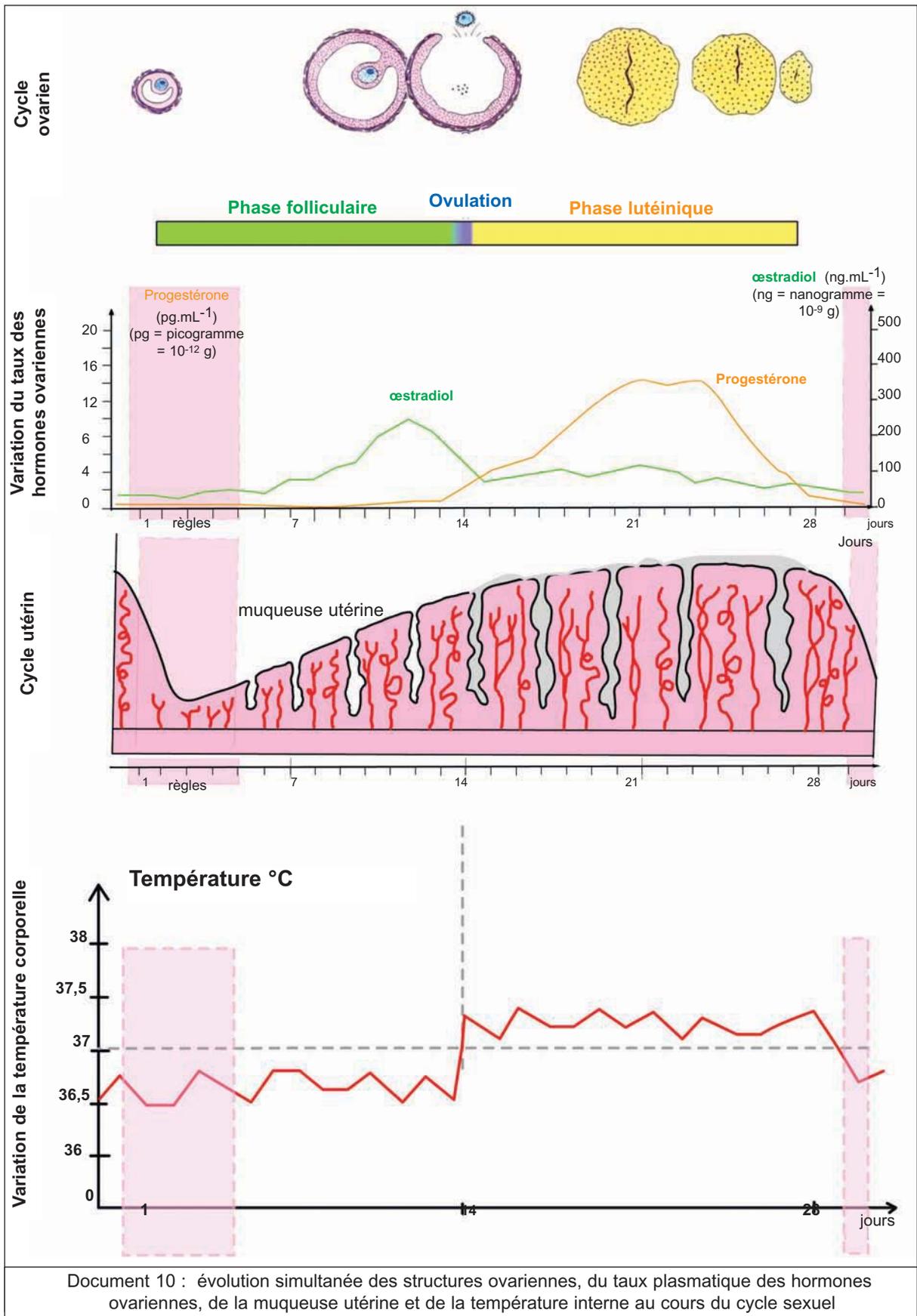
- Analyser les résultats de ces expériences. En déduire la nature des interactions entre les ovaires et l'utérus.

c- Origine et action des hormones ovariennes

L'ovaire sécrète deux types d'hormones : **les œstrogènes** et **la progestérone**. La principale hormone **œstrogène** est **l'oestradiol** qui provoque l'apparition des caractères sexuels secondaires chez la fille à la puberté.

Ces hormones ovariennes contrôlent l'activité cyclique de l'utérus de la puberté jusqu'à la ménopause

On suit simultanément l'évolution du taux plasmatique des hormones ovariennes au cours d'un cycle, ainsi que l'évolution des structures ovariennes, celle de l'endomètre et de la température interne du corps. Cette évolution est présentée sur le document 10 :



Chez la femme, la variation de la température interne du corps est un indicateur de l'ovulation

- Analyser les courbes de variation du taux plasmatique des hormones ovariennes.
- Mettre en relation la variation du taux plasmatique des hormones ovariennes et l'évolution des structures ovariennes, que peut-on en déduire ?
- Mettre en relation la variation du taux plasmatique des hormones ovariennes et l'évolution de la muqueuse utérine afin de dégager le rôle des hormones ovariennes et d'expliquer le déterminisme de la menstruation.

V

Régulation du cycle sexuel

1- Le complexe hypothalamo-hypophysaire contrôle-t-il, comme chez l'homme, l'activité des ovaires ?

Activité 8 : expliquer le contrôle du cycle ovarien

a- Observations cliniques : une lésion au niveau de l'hypophyse ou de l'hypothalamus entraîne les mêmes effets que l'ovariectomie, particulièrement l'arrêt du cycle sexuel

- Proposer une hypothèse sur la relation fonctionnelle entre le complexe hypothalamo-hypophysaire et les ovaires

b- Vérification expérimentale

Expériences	Résultats
1- Hypophysectomie (ablation de l'hypophyse) chez une ratte adulte	Atrophie des ovaires et arrêt du cycle ovarien.
2- Injection d'extraits hypophysaires à la ratte hypophysectomisée	Développement des ovaires et parfois reprise du cycle ovarien.
3- Destruction, chez une ratte, d'une zone de l'hypothalamus	Arrêt des cycles ovarien et utérin

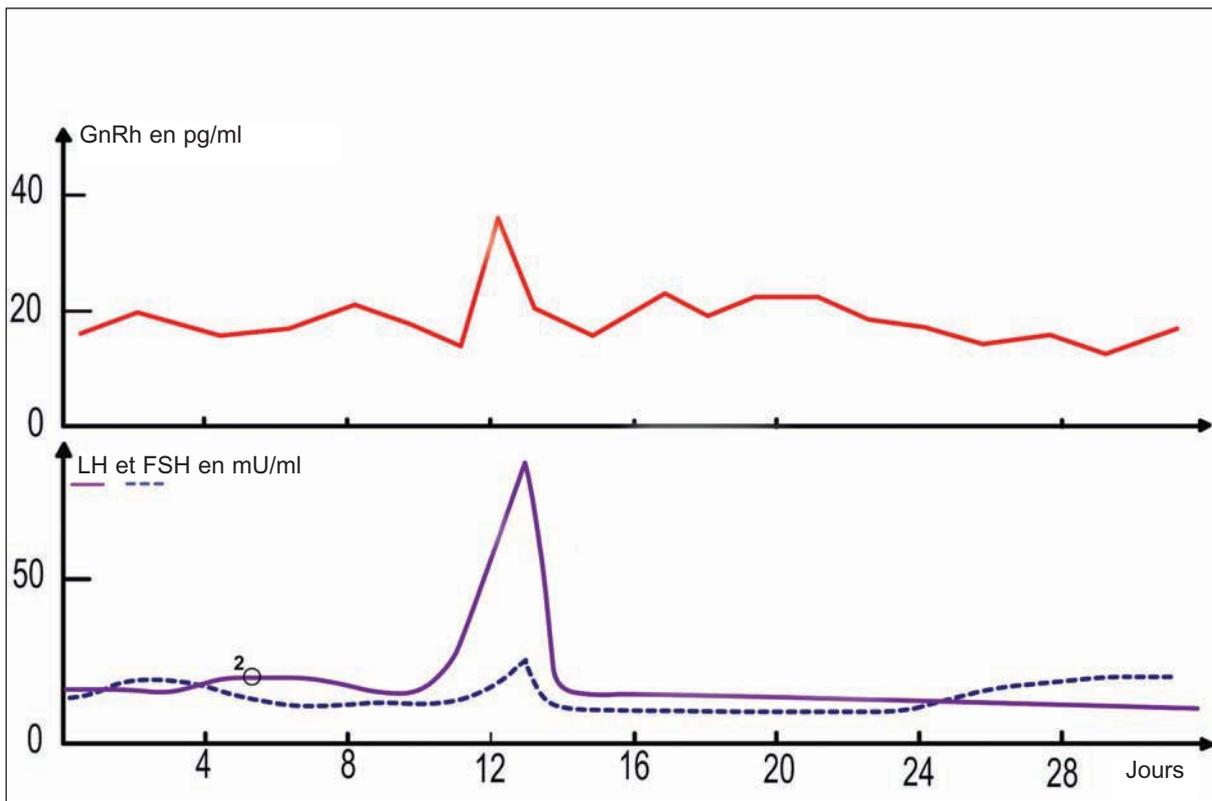
- Exploiter ces expériences pour préciser la relation fonctionnelle entre le complexe hypothalamo-hypophysaire et les ovaires.

c- Les hormones du complexe hypothalamo-hypophysaire

On a mis en évidence dans les extraits hypophysaires, deux hormones : la **FSH** et la **LH**.

L'étude histologique de la tige pituitaire qui relie l'hypophyse à l'hypothalamus montre que les terminaisons nerveuses des neurones ayant leurs corps cellulaires dans une zone de l'hypothalamus (noyau arqué), arrivent au contact d'un réseau de capillaires sanguins. On a extrait à ce niveau une substance, sécrétée dans le sang, par ces neurones, appelée la **GnRH** (gonadotrophin-releasing hormon) ou **gonadolibérine**.

Des dosages du taux plasmatique de ces hormones au cours d'un cycle normal ont permis de tracer les courbes suivantes :

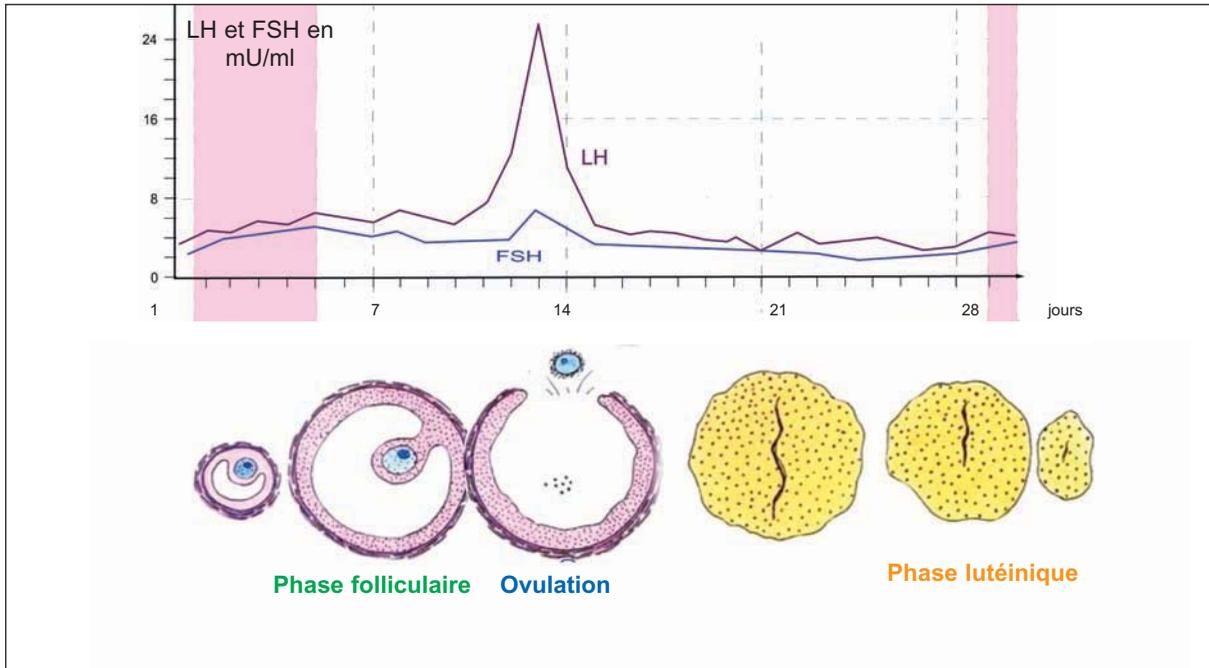


Document 11 : variation du taux plasmatique de GnRH, de FSH et de LH au cours du cycle sexuel

- Analyser les 3 courbes de variation du taux de GnRH, de LH et de FSH en vue de dégager la relation entre la sécrétion de GnRH et celle de LH et de FSH

d- Effets des hormones hypophysaires sur le cycle ovarien

On suit simultanément la variation du taux plasmatique des hormones hypophysaires et l'évolution des structures ovariennes au cours d'un cycle normal.



Document 12 : courbes de variation des hormones FSH et LH et évolution des structures ovariennes au cours d'un cycle sexuel

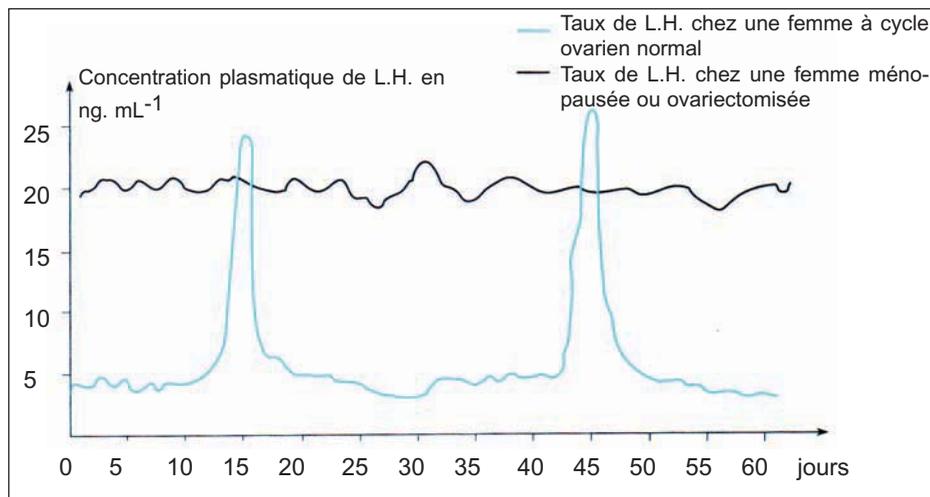
- Analyser les courbes de variation du taux plasmatique de FSH et de LH.
- Mettre en relation l'évolution du taux des hormones hypophysaires avec l'évolution des structures ovariennes (follicules et corps jaune).
- Que peut-on déduire quant aux effets de ces hormones sur les structures ovariennes ?

2- Contrôle de l'activité hormonale du complexe hypothalamo-hypophysaire

Activité 9 : expliquer le rétrocontrôle ovarien

a- Interaction entre ovaire et hypophyse

Le document ci-dessous présente la variation du taux plasmatique de LH chez une femme normale et une femme ménopausée ou ovariectomisée (pour des raisons médicales)

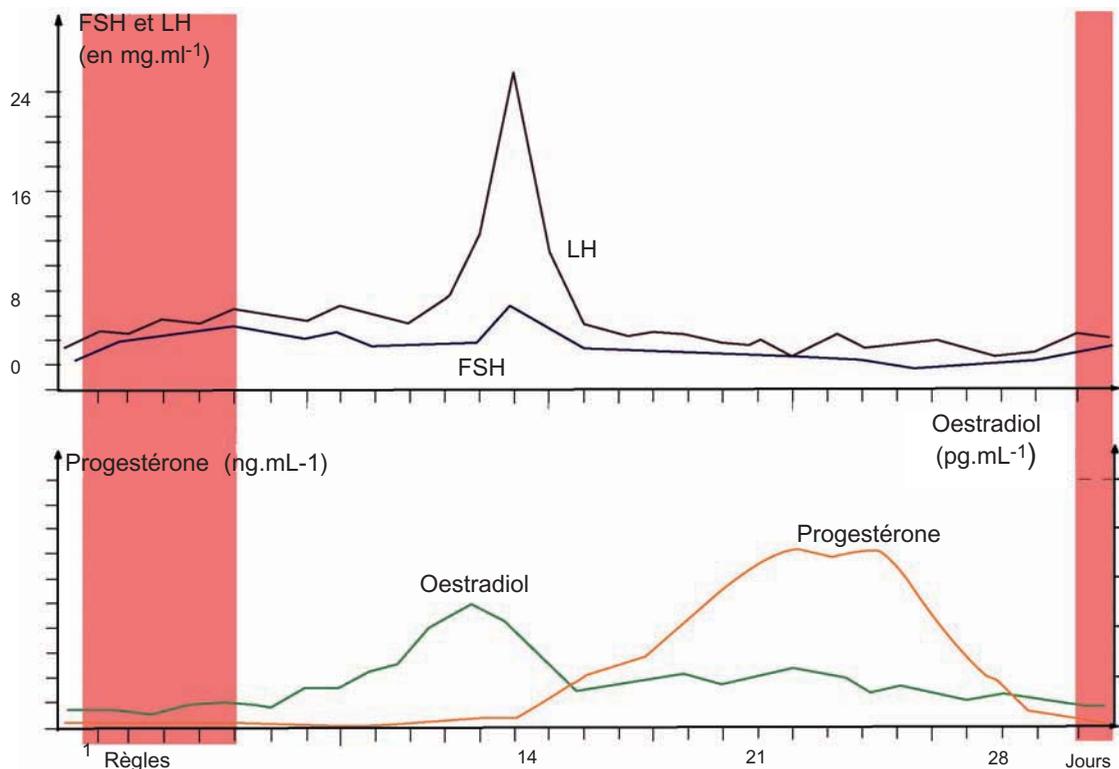


Document 13: variation du taux plasmatique du taux de LH chez une femme normale et une femme ménopausée ou ovariectomisée

- Faire une analyse comparée des deux courbes
- Que peut-on en déduire sur la relation fonctionnelle entre ovaire et hypophyse ?

b- L'ovaire exerce un rétrocontrôle sur l'axe hypothalamo-hypophysaire

Analysons les courbes de la variation du taux plasmatique des hormones hypophysaires et ovariennes



Document 14 : variation simultanée du taux plasmatique des hormones ovariennes et hypophysaires

- En faisant une analyse comparée des courbes de l'oestradiol, de FSH et de LH, dégager les types de rétrocontrôle exercés par les hormones ovariennes sur l'hypophyse. Préciser les moments où ils se produisent

Il y a deux types de rétrocontrôle :

- **un rétrocontrôle négatif** lorsque le taux élevé d'une hormone d'une glande entraîne la diminution de l'activité hormonale d'une autre glande .
- **un rétrocontrôle positif** lorsque le taux élevé d'une hormone d'une glande entraîne l'augmentation de l'activité hormonale d'une autre glande.

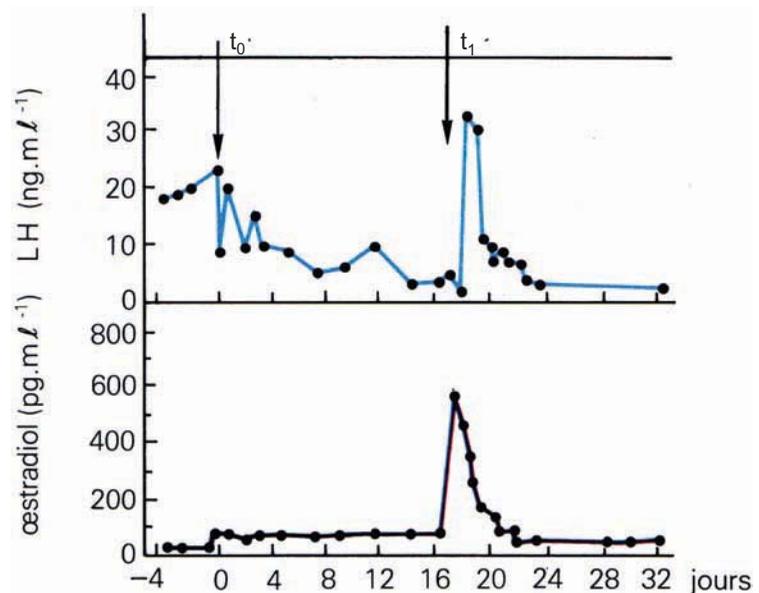
c- Modalités d'action de l'oestradiol sur la sécrétion de LH

• Analysons l'expérience suivante (document 15) :

- Chez une guenon (femelle du singe) ovariectomisée, des injections d'oestradiol sont réalisées suivant le protocole suivant :

- depuis le temps t_0 et jusqu'à la fin de l'expérience, perfusion continue d'oestradiol qui maintient le taux plasmatique à une valeur de l'ordre de 60 pg.mL^{-1} ;

- au temps t_1 , injection supplémentaire d'une forte dose d'oestradiol.



Document 15 : variation de la concentration plasmatique de LH en fonction de la concentration d'oestradiol

- Quelles informations supplémentaires apportent ces résultats par rapport à la séquence précédente de l'activité ?
- Quel type de rétrocontrôle intervient-il dans ce cas ?

Activité 10 : construire un schéma de synthèse de la régulation du cycle sexuel

Exploiter toutes les informations et les résultats des activités 4,5,6,7, 8 et 9 pour construire un schéma de synthèse représentant les interactions hormonales entre le complexe hypothalamo-hypophysaire, les ovaires et l'utérus au cours d'un cycle sexuel normal

Bilan des activités et synthèse

I Organisation de l'appareil reproducteur de la femme

L'appareil reproducteur de la femme est formé :

- de deux gonades : les ovaires
- de voies génitales : les pavillons, les trompes, l'utérus et le vagin
Le vagin est l'organe de copulation, il s'ouvre à l'extérieur par des organes génitaux externes : les grandes lèvres, les petites lèvres et le clitoris, l'ensemble forme la vulve

Les fonctions de ces organes sont présentées dans le tableau suivant :

Organes	Fonctions
• ovaires	produisent les gamètes femelles et des hormones
• pavillon • trompe • utérus	• reçoit le gamète femelle • conduit le gamète ou la cellule-œuf vers l'utérus • lieu de la nidation et de la grossesse
• vagin	organe de copulation où se fait l'éjaculation du sperme

II Formation du gamète femelle

(activité 1)

1- Structure et fonction du gamète femelle

L'activité de l'ovaire est **cyclique**, c'est-à-dire que les mêmes phénomènes qui s'y déroulent se répètent, dans le même ordre, à des intervalles de temps réguliers, appelés cycles. La durée du cycle ovarien est de 28 jours environ, il commence par la menstruation ou « règles » (écoulement sanguin qui dure de 4 à 5 jours)

A chaque cycle l'ovaire expulse, vers le 14^{ème} jour, un ovocyte ou gamète femelle. Ce phénomène s'appelle **l'ovulation**

L'ovocyte est une cellule sphérique de 100 microns de diamètre environ (1 micron = 10^{-3} mm) avec un gros noyau. Il est accompagné d'une petite cellule qui lui est accolée, c'est le 1^{er} globule polaire, et est entouré par une couche protectrice, c'est la zone pellucide, puis par une couronne de cellules folliculaires, c'est la corona radiata

L'ovocyte se caractérise par :

- un cytoplasme volumineux, riche en substances de réserve
- un noyau haploïde à 23 chromosomes

Ces caractéristiques de l'ovocyte sont en rapport avec ses fonctions :

- l'ovocyte s'unit avec le spermatozoïde lors de la fécondation pour donner un œuf à $2n = 46$ chromosomes
- après la fécondation, l'œuf subit la division cellulaire (segmentation) et se développe en utilisant les substances de réserve contenues dans son cytoplasme

En comparant l'ovocyte au spermatozoïde, on constate que les deux gamètes ont un seul point commun, c'est l'haploïdie : les deux cellules sont haploïdes (à $n = 23$ chromosomes), mais diffèrent par plusieurs autres points présentés dans le tableau suivant :

Points différents	Ovule	Spermatozoïde
forme	sphérique	allongée
taille	100 micromètres	60 micromètres
substances de réserve	riche en substances de réserve	pas de substances de réserve
mobilité	immobile	mobile (présence d'un flagelle et de mitochondries)

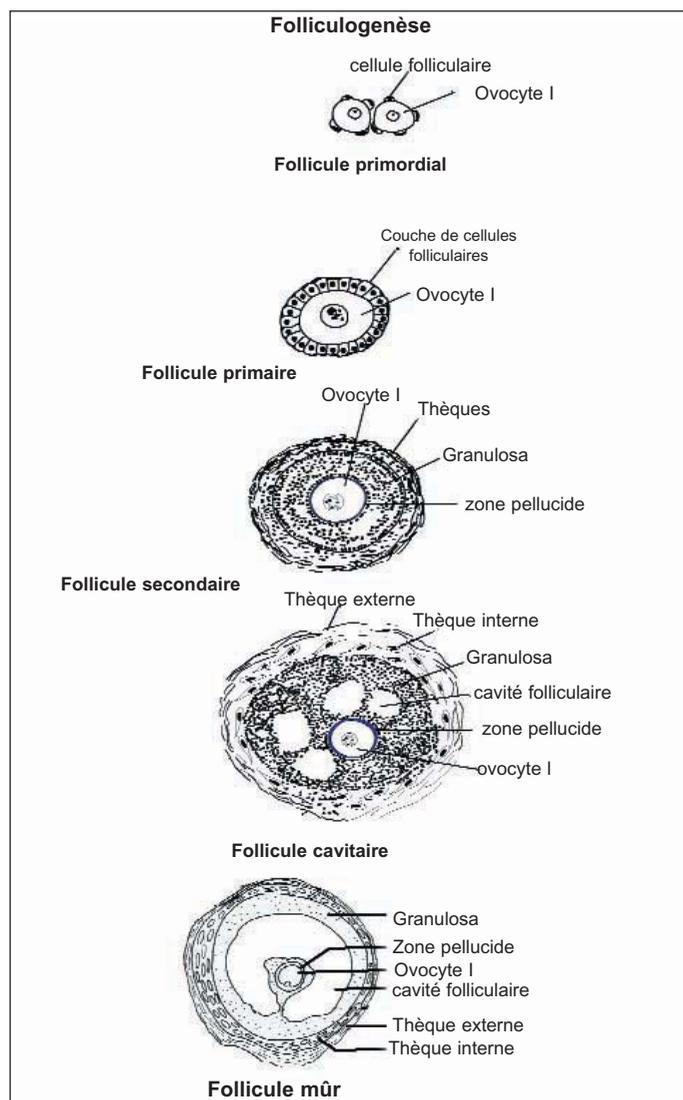
(activité 2)

2- Folliculogenèse et ovogenèse

a- folliculogenèse

En observant des coupes d'ovaire de femme, on peut distinguer différents types de follicules

- Le follicule primordial, formé d'un ovocyte réduit entouré de 3 ou 4 cellules aplaties contre lui, les cellules folliculaires
- Le follicule primaire, à ovocyte un peu plus gros entouré d'une couche de cellules folliculaires
- Le follicule secondaire est constitué d'un ovocyte plus volumineux, de nombreuses couches de cellules folliculaires, d'une thèque interne formée de cellules glandulaires (sécrétrices d'hormones) et d'une thèque externe, protectrice, formée de fibres
- Le follicule tertiaire ou cavitaire est caractérisé par une ou plusieurs cavités remplies d'un liquide folliculaire sécrété par les cellules folliculaires

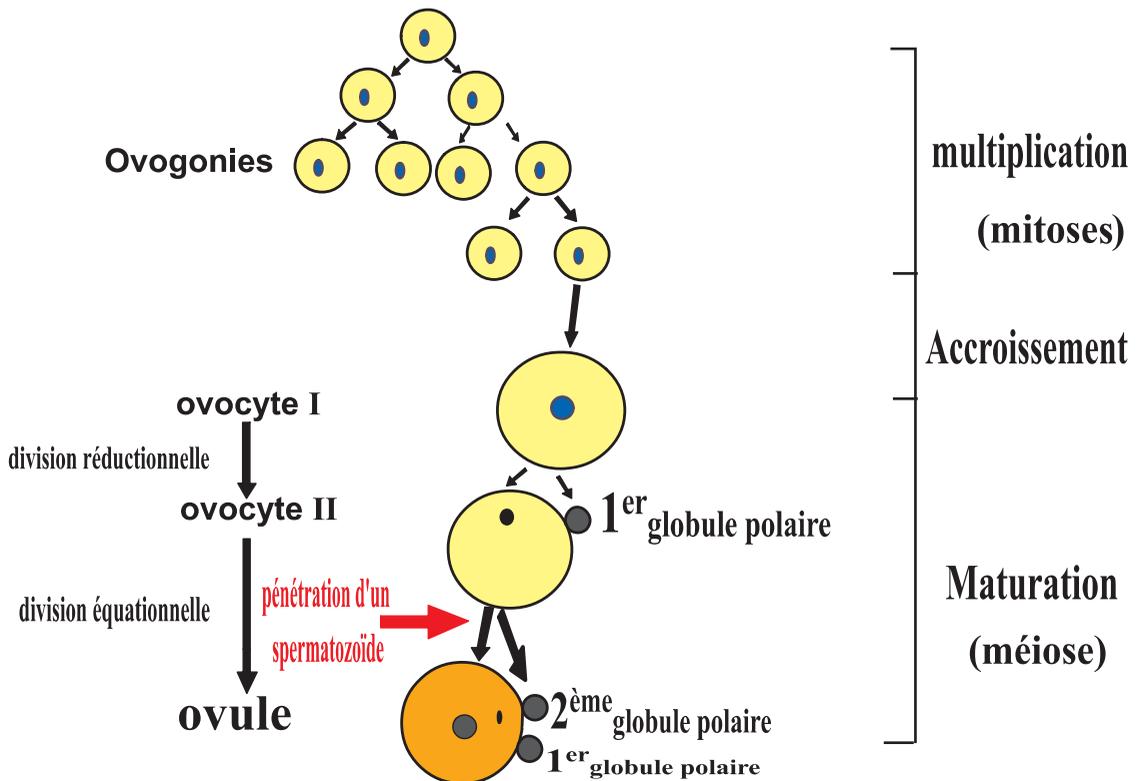


(activité 3)

b- Ovogenèse

L'ovogenèse commence avant la naissance et se déroule en trois phases : la multiplication, l'accroissement et la maturation:

- **la multiplication** : les cellules souches ou ovogonies (à 46 chromosomes) se multiplient par mitoses
- **l'accroissement** : les ovogonies subissent un accroissement et se transforment en ovocytes I. Chaque ovocyte I s'entoure de quelques cellules et constitue le follicule primordial. La petite fille naît avec un stock de follicules primordiaux. A partir de la puberté les follicules primordiaux commencent à évoluer.
- **la maturation** : juste avant l'ovulation, l'ovocyte I subit la 1ère division de méiose et donne deux cellules très inégales (du fait de la position excentrique du noyau) : une grosse cellule, l'ovocyte II (à 23 chromosomes) et une très petite cellule qui reste accolée à l'ovocyte II, le 1er globule polaire (à 23 chromosomes aussi). L'ovocyte II reste bloqué au stade métaphase II, il n'achève sa division équationnelle qu'après la pénétration du spermatozoïde lors de la fécondation



Déroulement de l'ovogenèse

La comparaison entre l'ovogenèse et la spermatogenèse, présentée par le tableau suivant, montre plusieurs points de différence :

Phases	Spermatogenèse	Ovogenèse
multiplication	division des spermatogonies et des ovogonies (cellules souches de la lignée germinale) par mitoses	
accroissement	faible accroissement	accroissement important
maturation	méiose continue, donnant 4 spermatozoïdes	méiose bloquée en métaphase II et s'achève lors de la fécondation, donnant un seul ovocyte II
différenciation	spermiogenèse: transformation des spermatozoïdes en spermatozoïdes	pas de différenciation

Autres points de différence:

- La spermatogenèse commence à la puberté, alors que l'ovogenèse commence avant la naissance
- Dans l'ovogenèse la phase d'accroissement et la phase de maturation ne sont pas séparées

(activité 4)

III Le cycle ovarien

Le cycle ovarien dure, en moyenne, 28 jours et comporte trois phases :

- la phase de développement des follicules ou **phase folliculaire** ou phase préovulatoire. Au cours de cette phase un follicule ovarien évolue en follicule mûr.
- l'ovulation qui se produit généralement au 14^{ème} jour. Le follicule mûr éclate et expulse l'ovocyte vers le pavillon de la trompe
- la phase du corps jaune ou phase lutéinique ou **phase lutéale** ou phase postovulatoire : le corps jaune se forme à partir du follicule mûr qui a expulsé l'ovocyte. Ce follicule conserve les thèques, se ferme, les cellules de la zone granuleuse se développent, se chargent d'un pigment jaune et deviennent des cellules lutéiniques

Le corps jaune atteint son maximum de développement vers le 21^{ème} jour

En absence de fécondation, le corps jaune régresse et perd son activité à la fin du cycle.

En cas de fécondation, le corps jaune persiste et continue son activité, c'est un corps jaune de gestation qui empêche le développement d'un nouveau follicule et donc le déclenchement d'un nouveau cycle.

(activité 5)

IV Le cycle utérin

Au cours du cycle utérin, on constate, au niveau de la muqueuse de l'utérus, les modifications histologiques suivantes :

- **La menstruation** ou « règles » : la partie supérieure de la muqueuse se nécrose, se fragmente et tombe entraînant des saignements qui durent 4 à 5 jours ,
- **Phase postmenstruelle** :
 - accroissement de l'épaisseur de la muqueuse (de 1 à 3 mm)
 - prolifération des vaisseaux sanguins
 - développement des glandes en tubes

- Phase prémenstruelle :

- la muqueuse s'épaissit encore (de 3 à 7 mm)
- les glandes deviennent plus longues et plus sinueuses donnant à la muqueuse un aspect de dentelle (on parle de dentelle utérine), elles se remplissent de sécrétions
- les artérioles se spiralisent.

Toutes ces modifications (l'épaississement de la muqueuse, le développement de la vascularisation et les sécrétions des glandes) préparent les conditions favorables à la réception de l'œuf, à son implantation dans la muqueuse et à son développement au cours de la grossesse. Lorsque la fécondation n'a pas eu lieu, toutes ces préparations deviennent inutiles. La partie supérieure de la muqueuse meurt par arrêt de la circulation sanguine et, en tombant, les artérioles s'ouvrent laissant sortir le sang qui s'écoule par le vagin. Avec ces règles, un nouveau cycle recommence.

(activité 6)

V Régulation du cycle ovarien

1- Origine et sécrétion des hormones ovariennes

Les cycles ovarien et utérin sont synchrones et coordonnés, il devrait exister une communication entre les ovaires et l'utérus, on peut supposer que cette communication est de nature hormonale. L'étude expérimentale montre que c'est l'ovaire qui commande le cycle utérin par des hormones. Ces hormones sont :

- **les oestrogènes**, principalement l'oestradiol, sécrété par la thèque interne des follicules cavitaires et mûrs et aussi par des cellules de la zone granuleuse ainsi que par le corps jaune
- **La progestérone**, sécrétée par des cellules lutéiniques du corps jaune

Le taux plasmatique (concentration dans le plasma) de ces hormones ovariennes varie en fonction du développement des structures ovariennes (follicules et corps jaune) et chute lorsque le corps jaune régresse et dégénère

2- Déterminisme du cycle utérin

Au cours de la phase folliculaire ou postmenstruelle, et sous l'action de l'oestradiol qui se fixe sur des récepteurs au niveau de la muqueuse utérine, celle-ci s'épaissit, se vascularise et forme des glandes.

- Pendant la phase lutéale ou prémenstruelle, le développement de la muqueuse s'accroît sous l'action combinée des deux hormones ovariennes : l'oestradiol et la progestérone.

- La chute du taux plasmatique de ces hormones à la fin du cycle, suite à la régression du corps jaune, provoque la mort et le détachement de la partie supérieure de l'endomètre, ce qui entraîne la menstruation au début du cycle suivant.

(activité 7)

3- Déterminisme du cycle ovarien

Des observations cliniques montrent que des lésions au niveau de l'hypophyse antérieure ou dans une zone déterminée de l'hypothalamus (noyau arqué) entraînent l'arrêt des cycles ovarien et utérin.

Des expériences ont confirmé que :

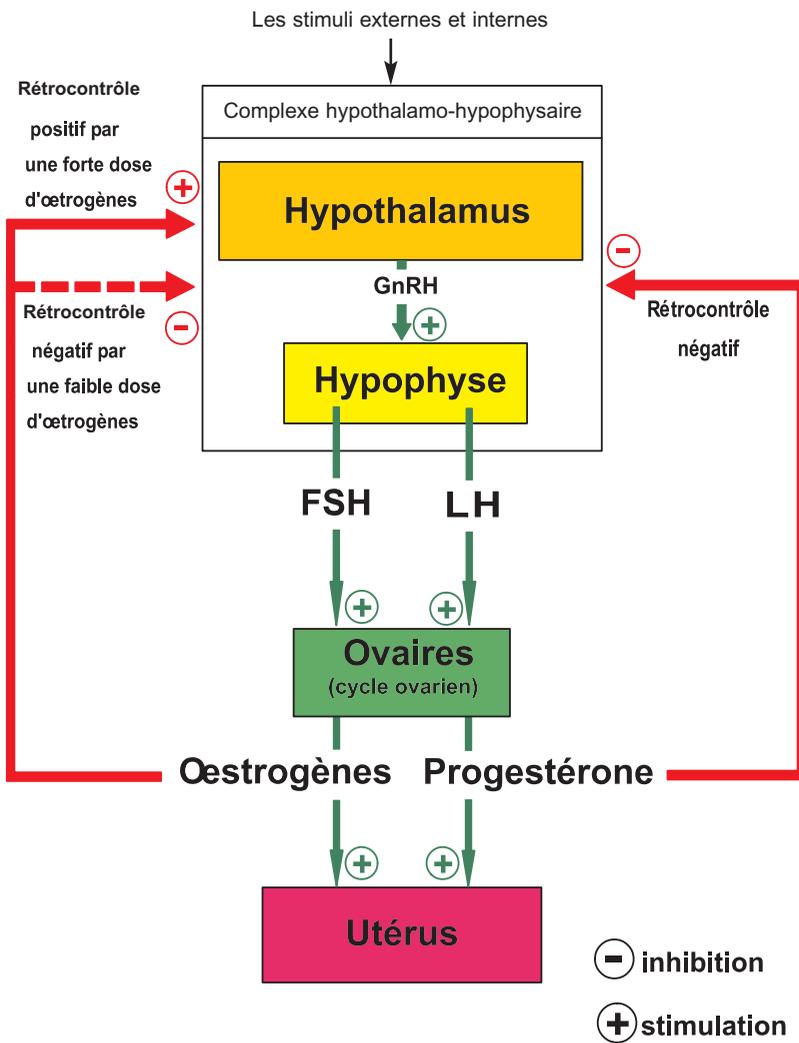
- le fonctionnement de l'ovaire est sous le contrôle direct de deux hormones sécrétées par l'hypophyse, ce sont :
 - La **FSH** (follicle stimulating hormon) qui stimule le développement des follicules ovariens pendant la phase folliculaire et la sécrétion de l'oestradiol par ces follicules
 - La **LH** (luteinizing hormon) qui déclenche l'ovulation, transforme le follicule rompu en corps jaune et stimule la sécrétion d'oestradiol et de progestérone par le corps jaune.
- L'hypothalamus contrôle la sécrétion hypophysaire par l'intermédiaire d'une neurohormone : la **GnRH** (gonadotrophin releasing hormon) ou gonadolibérine sécrétée par des neurones hypothalamiques au niveau des capillaires sanguins de la tige hypothalamo-hypophysaire (ou pituitaire)

(activité 8)

VI Rétrocontrôle ovarien sur le complexe hypothalamo-hypophysaire

Chez une femme ovariectomisée ou ménopausée, le taux de LH est élevé, la sécrétion est continue et n'est plus cyclique. Ainsi l'ovaire exerce, par l'intermédiaire de ses hormones, **une rétroaction (ou un rétrocontrôle ou un feed-back)** sur l'hypothalamus et l'hypophyse ou le complexe hypothalamo-hypophysaire. Le taux plasmatique de l'oestradiol a un rétrocontrôle sur la sécrétion de FSH et de LH . Ce rétrocontrôle peut être négatif ou positif selon la valeur du taux plasmatique de l'oestradiol. En faisant une analyse comparée des courbes de la variation du taux de l'oestradiol, de FSH et de LH, on constate que lorsque le taux d'oestradiol augmente, la sécrétion de FSH et de LH diminue, c'est un **rétrocontrôle négatif** qui se produit au début du cycle (jusqu'au 10^{ème} jour). On constate ensuite une augmentation rapide du taux d'oestradiol et aussi une augmentation brusque (pic) de **FSH** et de **LH**, c'est un **rétrocontrôle positif** qui se produit juste avant l'ovulation. Enfin, il y a un autre rétrocontrôle négatif exercé par les hormones ovariennes au cours de la phase lutéale. A la fin du cycle, la chute du taux des hormones ovariennes suite à la régression du corps jaune, entraîne une reprise de la sécrétion des hormones hypophysaires et un nouveau cycle recommence.

(activité 9)



Dodument 16 : schéma fonctionnel simplifié de la régulation hormonale du cycle sexuel chez la femme

(activité 10)

EXERCICE 1/Q.C.M

Relever, dans les items suivants, la ou les réponse(s) correcte(s)

- 1- Parmi les caractères cytologiques suivants ceux qui correspondent au gamète femelle de la femme sont :
 - a. un cytoplasme chargé de réserves nutritives
 - b. un noyau haploïde (à n chromosomes)
 - c. une taille plus petite que le gamète mâle
 - d. un noyau central
- 2- Au terme de l'ovogenèse le nombre d'ovules :
 - a. est le double du nombre d'ovocytes II
 - b. est 4 fois le nombre d'ovogonies
 - c. est le double du nombre d'ovocytes I
 - d. est égal au nombre d'ovogonies
- 3- L'utérus de la femme :
 - a. est le lieu de la fécondation
 - b. subit des modifications cycliques
 - c. est le lieu de menstruation
 - d. a une action stimulante sur l'ovaire
- 4- L'ovaire de la femme :
 - a. est à l'origine des œstrogènes et de la progestérone
 - b. est le lieu de la fécondation
 - c. a une action stimulante ou inhibante sur le complexe hypothalamo-hypophysaire
 - d. est le lieu des menstruations
- 5- Parmi les structures suivantes, celles qui sécrètent l'oestradiol sont :
 - a. le corps jaune
 - b. le follicule mûr
 - c. l'hypophyse
 - d. l'ovocyte II
- 6- Parmi les tissus suivants, ceux qui sécrètent l'oestradiol sont :
 - a. la thèque externe du follicule
 - b. la granulosa du follicule
 - c. la thèque du corps jaune
 - d. les cellules lutéales du corps jaune
- 7- Parmi les effets physiologiques suivants, ceux qui sont dus à l'action de l'oestradiol sont :
 - a. le développement des caractères sexuels secondaires féminins à la puberté
 - b. le déclenchement de l'ovulation à chaque cycle
 - c. le déclenchement des menstruations à chaque cycle
 - d. le développement cyclique de l'endomètre
- 8- Parmi les effets physiologiques suivants, ceux qui sont attribués à la FSH sont :
 - a. la croissance des follicules ovariens
 - b. le développement de l'endomètre
 - c. le développement du corps jaune
 - d. la stimulation de la sécrétion d'oestradiol par le follicule en croissance.

9- Au cours du cycle sexuel de la femme, la sécrétion d'un pic de LH :

- a. est lié à un rétrocontrôle positif de l'ovaire sur le complexe hypothalamo-hypophysaire
- b. provoque la transformation du follicule cavitaire en corps jaune
- c. est due au rétrocontrôle négatif de l'œstradiol sur la sécrétion de GnRH
- d. précède l'ovulation de quelques heures

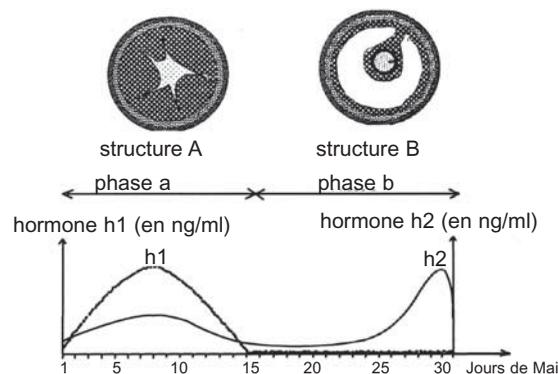
EXERCICE 2

1- Le document 1 représente les schémas de deux structures ovariennes qu'on peut observer dans les ovaires d'une femme au cours d'une période allant du 1er mai au 31 mai. Durant cette même période le dosage des hormones ovariennes chez cette femme a permis d'établir la courbe d'évolution des taux de ces hormones ovariennes (h1 et h2)

- Identifiez les structures A et B observées dans les ovaires de cette femme ainsi que les hormones h1 et h2.

b- A quelle période du cycle ovarien correspond chacune des phases a et b ?

2- Afin de comprendre la commande hormonale de la fonction reproductrice chez la femme, on expérimente sur une guenon (femelle du singe) dont la fonction reproductrice est voisine de celle de la femme.



document 1

Expérience 1 :

Chez une guenon, l'ablation de l'hypophyse provoque l'interruption du cycle ovarien et du cycle utérin. L'injection régulière à cette guenon de doses de FSH (hormone folliculostimulante) provoque le développement de follicules ovariens, mais il n'y a pas d'ovulation et la muqueuse utérine reste peu développée. L'injection ensuite d'une dose de LH (hormone lutéinisante), provoque l'ovulation après quelques heures.

Expérience 2 :

Chez une autre guenon, L'ablation des deux ovaires provoque une régression de l'utérus et une augmentation du taux sanguin de LH

Expérience 3 :

Des lésions effectuées au niveau de certaines zones de l'hypothalamus d'une guenon pubère provoquent l'arrêt des cycles utérin et ovarien, l'atrophie de l'utérus et une chute importante du taux sanguin de la FSH et de la LH chez cette femelle.

On observe le même résultat si on pratique une ligature au niveau de la tige reliant l'hypophyse à l'hypothalamus.

a - Que peut-on conclure des résultats de chaque expérience ?

b - Exploitez ces résultats expérimentaux pour établir sous forme d'un schéma fonctionnel annoté les relations entre l'ovaire, l'utérus, l'hypophyse et l'hypothalamus.

EXERCICE 3

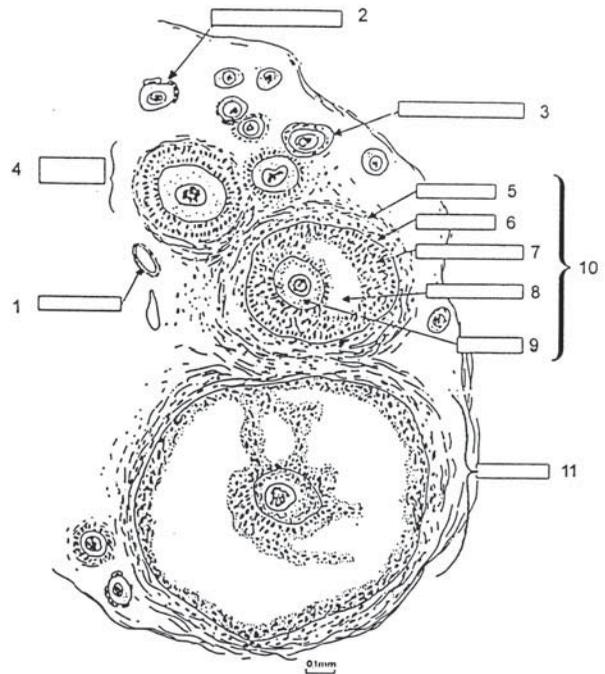
I. On se propose d'étudier quelques aspects de la physiologie de la reproduction chez la femme.

Le document 1 représente, de façon schématique, des structures observées dans une coupe d'ovaire.

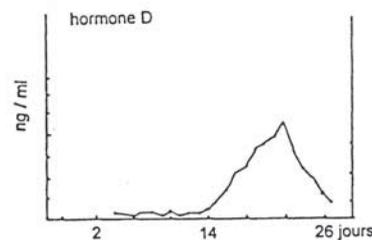
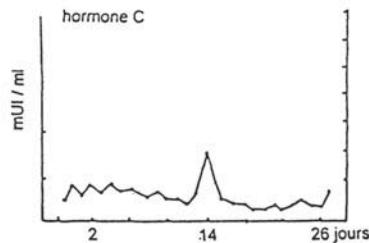
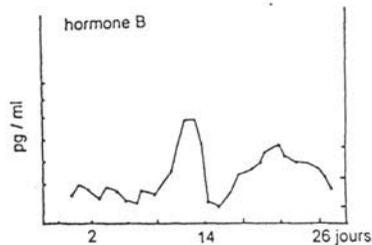
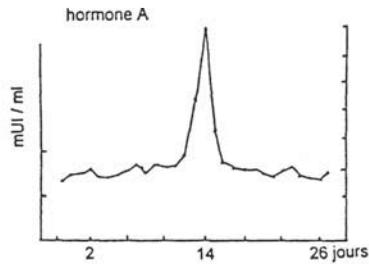
1- Annotez ces structures en utilisant les numéros indiqués sur le document 1 .

2- A quel moment de la vie sexuelle de la femme, il est possible d'observer ces structures ? Justifiez votre réponse.

II. Le document 2 représente les variations des taux plasmatiques de diverses hormones (A,B, C et D) qui interviennent dans un cycle sexuel normal



document 1



mUI : milliunité internationale. ng : nanogramme (10^{-9} g). pg : picogramme (10^{-12} gramme)
ml = millilitre

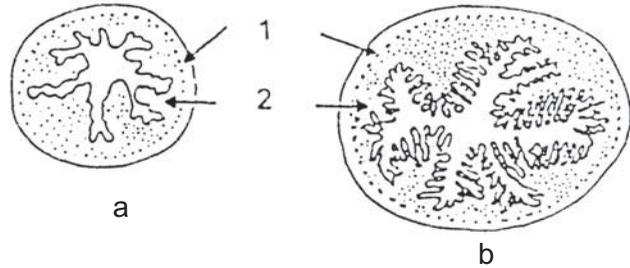
Document 2

1- identifiez, en le justifiant, chacune de ces hormones.

Par quels organes sont-elles secrétées ?

Quels sont les organes cibles de chaque hormone ?

2- A partir de l'exploitation des documents 2 et 3, précisez les conditions optimales pour l'ovulation.



document 3

3- Le document 3 représente deux états de développement différents a et b d'un organe cible au cours du cycle sexuel.

a - Titrez et légendez ce document (en vous reportant aux numéros indiqués).

b - Etablir les liens fonctionnels et chronologiques entre les informations présentées dans les documents 1 et 2 et les deux états et de l'organe du document 3

CORRIGÉ DE L'EXERCICE 3

I- En ce qui concerne le document 1

Légende du document I

1 : capillaire sanguin. 2 : follicule primordial. 3 : follicule primaire. 4 : follicule secondaire. 5 : thèque externe.

6 ; thèque interne. 7 : granulosa. 8 : cavité folliculaire. 9 : ovocyte I. 10 : follicule tertiaire. 11; follicule mûr ou follicule de De Graaf.

Ces structures sont observées dans la phase folliculaire de chaque cycle sexuel dès la puberté jusqu'à la ménopause, car la coupe d'ovaire montre des follicules en évolution, notamment le follicule mûr.

II- En ce qui concerne le document 2

1- Identification justifiée des hormones

- L'hormone A est l'hormone lutéinisante (LH). Cette hormone est sécrétée le long du cycle sexuel avec un pic important au 14^{ème} jour.

- L'hormone B est l'œstrogène. Cette hormone est sécrétée le long du cycle sexuel avec un pic important au 13^{ème} jour et un autre pic moins important vers le 21^{ème} jour.

- L'hormone C est la folliculostimuline (FSH). Cette hormone est sécrétée le long du cycle sexuel avec un pic peu important au milieu de la phase folliculaire et un deuxième pic plus important vers le 14^{ème} jour.

- L'hormone D est la progestérone. Sa sécrétion est très faible au cours de la phase folliculaire et plus importante dans la phase lutéinique avec un pic qui apparaît vers le 21^{ème} jour. Les organes responsables de la sécrétion de ces hormones :

L'hypophyse antérieure pour la LH et la FSH.

L'ovaire pour les œstrogènes et la progestérone.

Les organes cibles de chaque hormone les ovaires pour FSH et LH l'utérus, l'hypothalamus et l'hypophyse pour l'œstrogène et la progestérone. L'œstrogène agit aussi sur l'ensemble du corps pour donner les caractères sexuels secondaires.

2- La sécrétion importante et rapide d'œstrogènes par le follicule mûr vers le 13^{ème} jour déclenche l'apparition du pic de LH et de FSH par rétrocontrôle positif au milieu du cycle provoquant l'ovulation.

- Titre de la structure :

Coupe transversale de l'utérus dans la phase post-menstruelle (phase prolifératrice)

Titre de la structure :

Coupe transversale de l'utérus dans la phase prémenstruelle (phase progestative)

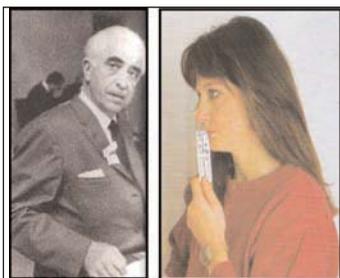
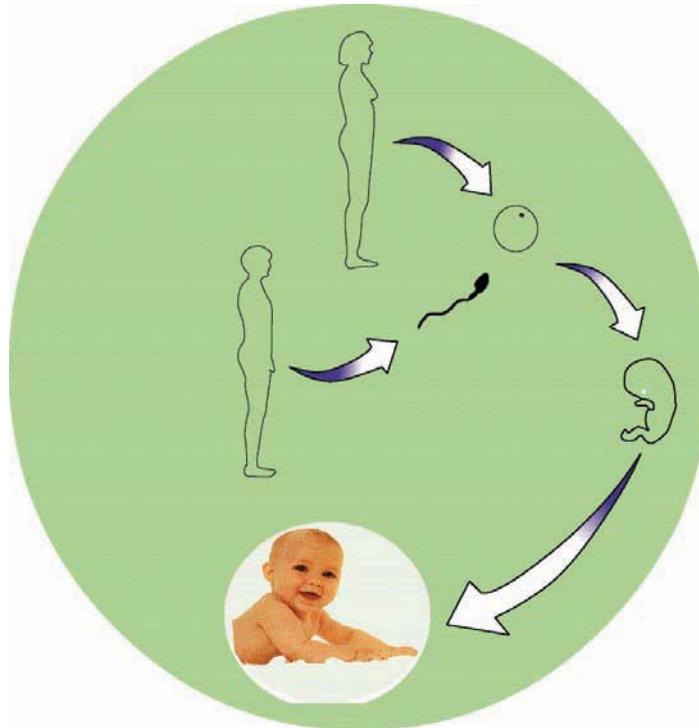
Légende : 1 : myomètre. 2 : endomètre ou muqueuse utérine

b- Au début de la phase folliculaire représentant les 14 premiers jours du cycle, il y a synergie entre les 2 hormones FSH et LH qui permettent le développement de follicule tertiaire et la sécrétion des œstrogènes favorisant la régénération et la prolifération des cellules de l'endomètre (structure).

Le pic d'œstrogènes apparu à la fin de la phase folliculaire provoque l'apparition du pic de FSH et LH responsables du déclenchement de l'ovulation (rétrocontrôle positif).

Après l'ovulation, le follicule rompu se transforme en corps jaune sous l'effet de FSH et de LH. Le corps jaune sécrète la progestérone et les œstrogènes par les cellules lutéinisées et l'effet conjugué des deux hormones permet la poursuite du développement de la muqueuse utérine et la formation de la dentelle utérine (structure).

Chapitre 3 : LA PROCRÉATION



La découverte de la pilule par Pincus en 1955 a facilité aux couples de mieux réguler les naissances.



La naissance d'un «bébé éprouvette», Louise Brown, le 26 juillet 1978, a fait croire que tout était devenu possible.

Le désir de mettre au monde un nouveau-né est l'un des désirs les plus naturels. Mais la possibilité de procréer existe réellement à chaque cycle sexuel alors que le nombre d'enfants désirés est limité et leurs naissances devraient être espacées selon la volonté du couple. D'autre part beaucoup de couples ne peuvent avoir d'enfants à cause de la stérilité qui affecte l'un des partenaires ou les deux.

Les progrès de la médecine ont permis de mettre au point des moyens contraceptifs et de remédier à certains cas de stérilité

OBJECTIFS

- Préciser les conditions et décrire les étapes de la fécondation.
- Connaître la composition et le mode d'action de la pilule contraceptive.
- Reconnaître quelques causes de stérilité et des techniques utilisées dans la procréation médicalement assistée (PMA).

S INTERROGER

- Quelles sont les conditions de la fécondation ?
- Quelles sont les étapes de la fécondation ?
- Comment éviter ou espacer les naissances ?
- En quoi le progrès de la médecine permet-il de remédier à certains cas de stérilité humaine ?

S SE RAPPELER

- **Les gamètes** sont des cellules haploïdes (contenant n chromosomes, chez l'homme, $n=23$).
- **L'ovocyte II, bloqué en métaphase II**, est expulsé vers la trompe de Fallope. Il achève la 2ème division de la méiose lors de la fécondation.
- **La contraception** est l'ensemble des procédés visant à éviter de façon temporaire et réversible la procréation
- **Le pH (potentiel hydrogène)** est un nombre caractérisant l'acidité ou la basicité d'une solution ou d'une substance. Il est déterminé en fonction de la concentration des ions H^+ . Une solution est acide si son PH est inférieur à 7, basique s'il est supérieur à 7, neutre s'il est égal à 7

I Les conditions de la fécondation:

Activité 1 : déterminer les conditions de la fécondation

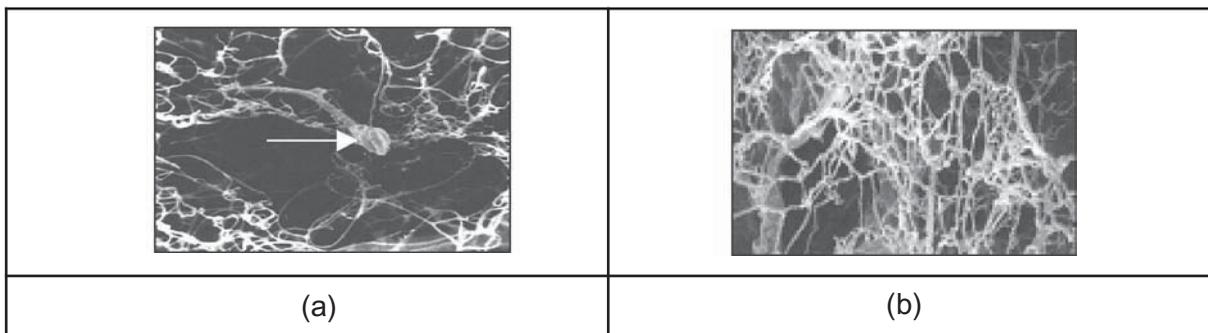
1- Caractéristiques d'un sperme fécondant

À partir d'études faites sur du sperme normal et du sperme d'individus stériles, on a dégagé les caractéristiques essentielles d'un sperme fécondant. Ils sont indiqués dans le tableau suivant (document 1)

Volume	2 à 6 ml
Nombre de spermatozoïdes par ml	60 millions à 150 millions
Pourcentage de spermatozoïdes normaux	70 %
Pourcentage de mobilité	70 % à la 1 ^{ère} heure et 50 % à la 6 ^{ème} heure
PH	7,5
Couleur	blanchâtre

Document 1 : caractéristiques d'un sperme fécondant

2- Des observations de la glaire cervicale entre le 11^{ème} et le 20^{ème} jour du cycle sexuel de la femme montrent les aspects (a), (b) ci-dessous :



Document 2 : états de la glaire cervicale

a : au moment de l'ovulation

b : en dehors de la période de l'ovulation

- Comparer ces deux aspects et déduire une condition que la glaire doit remplir pour permettre la fécondation.

4- Deux mariés cherchent à augmenter les chances de la fécondation. Ils ont appris que la durée de vie de l'ovocyte est de 2 jours et que les spermatozoïdes peuvent rester vivants durant 3 à 5 jours dans les voies génitales de la femme. Ils repèrent sur un calendrier la date et la durée des règles (document 3).

	Septembre				octobre						
L		4	11	18	25		2	9	16	23	30
M		5	12	19	26		3	10	17	24	31
Mc		6	13	20	27		4	11	18	25	
J		7	14	21	28		5	12	19	26	
V	1	8	15	22	29		6	13	20	27	
S	2	9	16	23	30		7	14	21	28	
D	3	10	17	24		1	8	15	22	29	

Document 3 : calendrier de cycles sexuels d'une femme

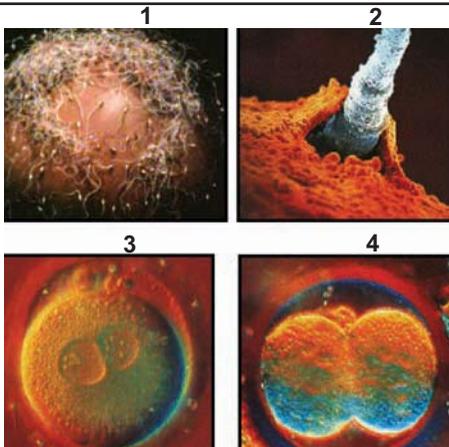
- Sachant que l'ovulation se produit 14 jours avant la menstruation, déterminer, pour ce couple, la période du cycle favorable à la fécondation.
- En exploitant les données précédentes, récapituler les conditions de la fécondation.

II Les étapes de la fécondation:

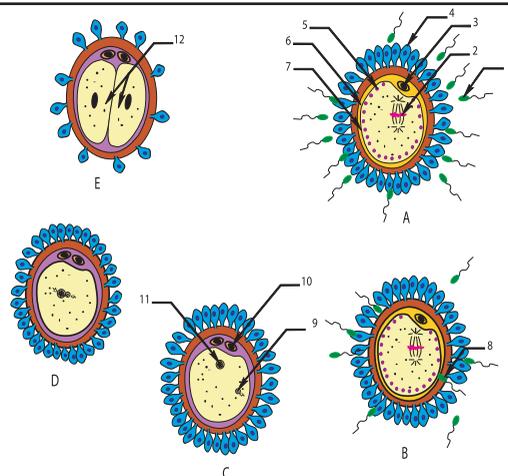
Activité 2 : décrire les étapes de la fécondation

1- Des spermatozoïdes capités (c'est-à-dire ayant un pouvoir fécondant) sont placés in vitro en présence d'un ovocyte mûr. On suit au microscope l'évolution de ces gamètes et on réalise :

- des microphotographies des évènements notables (Photos de 1 à 4 du document 4).
- des schémas d'interprétation des transformations conduisant à l'œuf et à la première division de l'œuf (document 4).



Document 4a : microphotographies de quelques stades de la fécondation



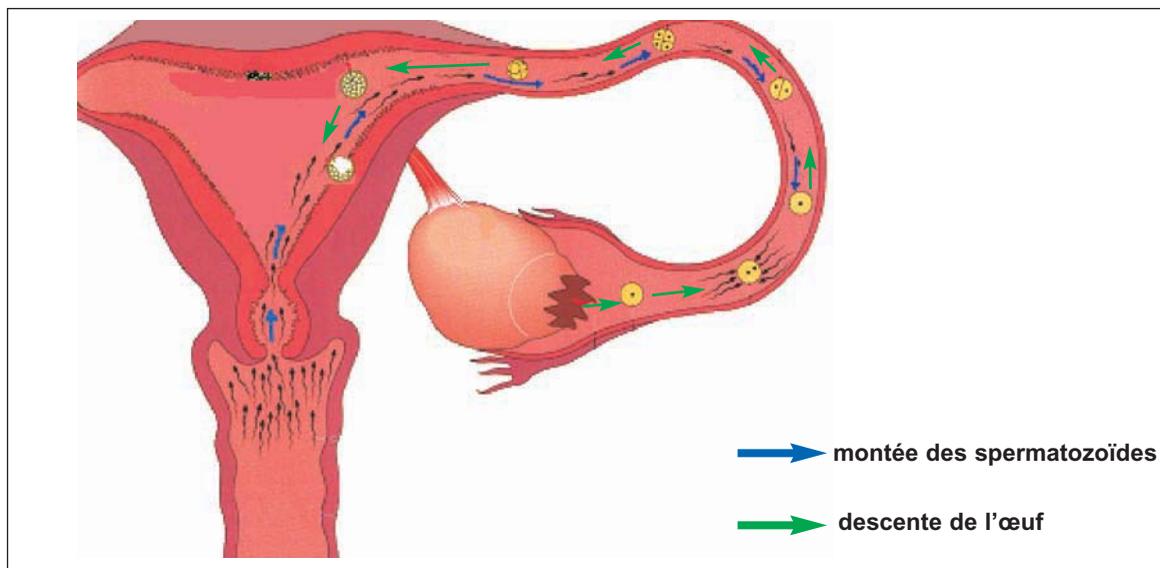
Document 4b : schémas d'interprétation

Document 4 : étapes de la fécondation

- Légender les schémas et proposer un titre à chaque stade.
- Décrire les stades A, B, C, D et E.

Au début de la pénétration d'un spermatozoïde les granules corticaux libèrent leur contenu sous la zone pellucide, ce qui permet la formation d'une membrane de fécondation autour de l'ovule. Cette membrane s'oppose à la pénétration d'autres spermatozoïdes. Elle empêche ainsi la polyspermie.

Au cours de la première semaine de la grossesse, l'œuf effectue une descente vers la cavité utérine tout en subissant des divisions et s'implante dans la muqueuse (document 5). Il se forme ensuite une structure appelée placenta entre l'embryon et le corps de la mère. Le placenta assure des échanges entre le sang foetal et le sang maternel.



Document 5 : schéma montrant le lieu de la fécondation et la migration de l'œuf vers l'utérus

III *La maîtrise de la procréation*

Les connaissances acquises sur le déterminisme du cycle sexuel et son déroulement ont permis la mise au point de méthodes permettant :

- soit de contrôler les naissances
- soit de remédier à la stérilité éventuelle d'un couple

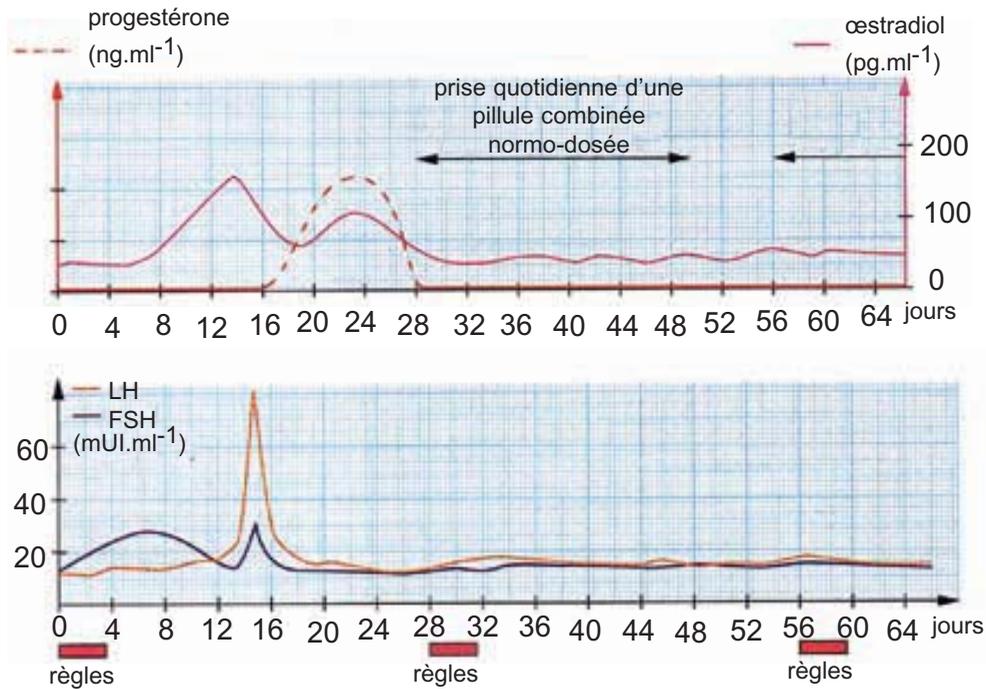
Activité 3 : déterminer la composition et le mode d'action de la pilule contraceptive

La pilule est le moyen contraceptif le plus répandu dans le monde.

La pilule combinée se compose des substances chimiques suivantes :

- Acétate de cyprotérone (progestatif).....2 mg
- Ethynyloestradiol.....0.035mg

Il s'agit donc d'une association de deux hormones de synthèse, œstrogène et progestatif. On a dosé chez une même femme les hormones ovariennes et les gonadostimulines lors d'un cycle normal et d'un cycle sous pilule (document 6).



Document 6 : résultats de dosage des hormones ovariennes et des gonadostimulines lors d'un cycle normal et d'un cycle sous pilule

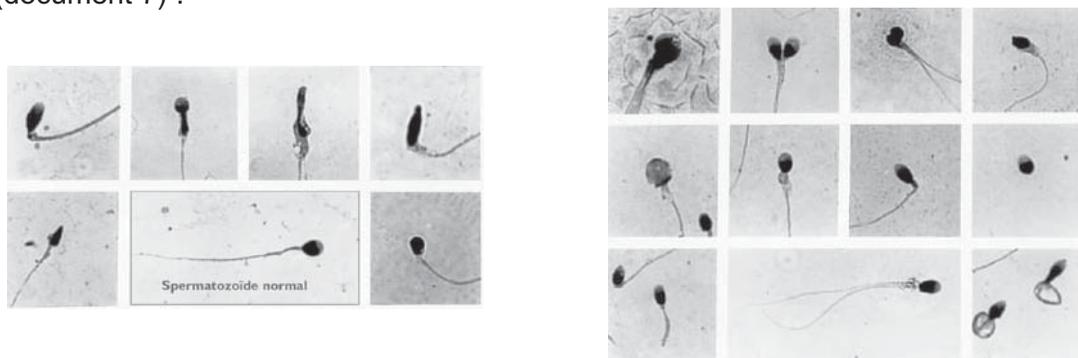
- Analyser les courbes et déduire le mode d'action de la pilule combinée.
- Expliquer l'apparition des règles le jour 56.

Activité 4 : Identifier les causes de la stérilité

A- Causes de la stérilité masculine :

La stérilité constitue un drame pour de nombreux couples, ses causes sont multiples.

- a- Des observations de sperme ont permis de détecter des spermatozoïdes anormaux (document 7) :



Document 7 : des spermatozoïdes anormaux

b- Des analyses médicales de spermatozoïdes non féconds ont fourni les résultats du tableau suivant :

		Sperme 1	Sperme 2
Volume		0,5 ml	0,5 ml
pH		7,6	7,4
Viscosité		Normale	Normale
Nombre de spermatozoïdes/ml de sperme		$2 \cdot 10^6$	0
Mobilité des spermatozoïdes	Après 1 heure	1 %	0 %
	Après 4 heures	0 %	0 %
Forme anormale		40 %	0 %

Document 8 : caractéristiques de spermatozoïdes non féconds

- En comparant les résultats présentés dans le tableau (document 8) et les caractéristiques du sperme normal (document 1), déduire certaines causes de stérilité masculine.

B- stérilité féminine

Des études médicales ont montré que la stérilité féminine peut résulter de:

- Causes hormonales dues à une anomalie de l'ovulation, d'origine ovarienne ou hypothalamo-hypophysaire.
- Troubles de réceptivité du sperme: glaire cervicale absente, infectée ou hostile aux spermatozoïdes.
- Cause mécanique: obstruction bilatérale des trompes (voir document 9) .

- Préciser quelles peuvent être les causes hormonales de la stérilité

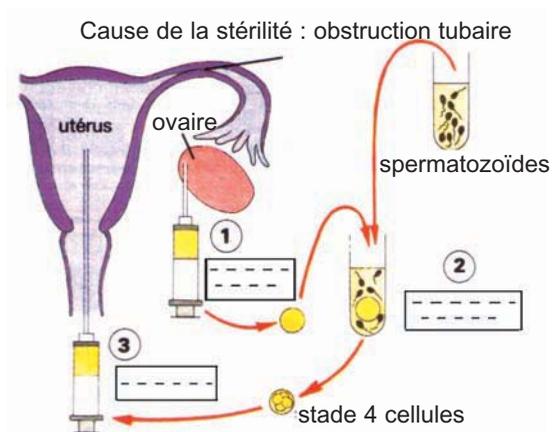
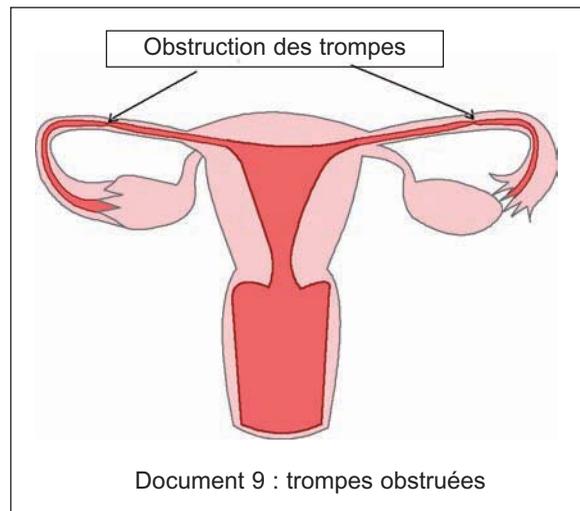
Comment peut - on lutter contre la stérilité?

C- La FIVETE (fécondation in vitro et transfert d'embryon)

Mme et Mr S sont mariés depuis 12 ans, ils n'ont pas eu la chance d'avoir un enfant. Les progrès des techniques médicales ont permis de prélever, cultiver et assurer la rencontre de leurs gamètes in vitro.

Le médecin a ensuite transféré l'embryon dans l'utérus de Mme S. C'est ainsi que ce couple a trouvé la solution à son problème.

- Les étapes de cette technique sont représentées par le document 10.



Cette technique exige également :

- La stimulation des ovaires par la FSH en vue de recueillir plusieurs ovocytes.
- Le traitement du sperme pour rendre les spermatozoïdes aptes de fécondation.

- Indiquer la cause apparente empêchant la procréation naturelle chez ce couple.
- Annoter les schémas du document 10.
- Exploiter ces schémas pour décrire les étapes essentielles de cette intervention médicalement assistée.

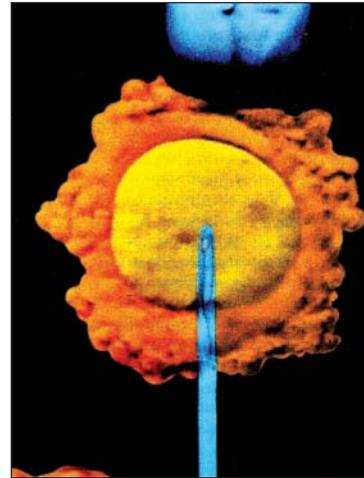
Pour en savoir plus

Autres techniques de PMA

Les recherches médicales ont permis de mettre au point d'autres types d'interventions médicales dont les plus importantes sont:

1- Technique 1 : L'insémination artificielle (IA) intra-utérine avec du sperme du conjoint (IAC) qui consiste à déposer des spermatozoïdes dans la cavité utérine à l'aide d'une sonde.

2- Technique 2 : L'ISIC ou injection spermatique intracytoplasmique qui se base essentiellement sur une sélection d'un spermatozoïde et son injection dans le cytoplasme ovocytaire à l'aide d'une micropipette (document 11 ci-contre).



Document 11 : fécondation in vitro par injection d'un spermatozoïde directement dans l'ovocyte

Bilan des activités et synthèse

1 - Les conditions de la fécondation :

La fécondation est la rencontre et la fusion du gamète mâle et du gamète femelle. Il en résulte un œuf qui est à l'origine d'un nouvel être vivant.

Elle nécessite :

- Un sperme normal :

Il est difficile de définir avec précision le sperme normal. Mais, le sperme est d'autant plus fécondant s'il présente certains caractères :

- Un volume entre 2 et 6 ml par éjaculation.
- Un pH alcalin et une viscosité facilitant la mobilité des spermatozoïdes.
- Une numération supérieure à 60 millions par millilitre.

La tératospermie c'est-à-dire un taux supérieur à 40 % de spermatozoïdes de forme anormale diminue la fécondité.

- Une glaire cervicale filante et perméable.
- Un rapport sexuel dans la période de fécondité:

La rencontre des gamètes n'est possible que pendant une courte période qui s'étend du 9^{ème} au 16^{ème} jour du cycle sexuel. Cette période est déterminée par :

- La date de l'ovulation (14 jours avant la menstruation).
- La durée de vie des gamètes : 2 jours pour l'ovocyte et 3 à 5 jours pour les spermatozoïdes.

Le rapport sexuel dans cette période favorise les chances de la fécondation.

- Des voies génitales féminines saines et perméables.

(activité 1)

2- Les étapes de la fécondation :

La fécondation comporte les étapes suivantes :

a- Rencontre des gamètes :

- La descente de l'ovocyte est assurée par les contractions utérines et le courant liquidien résultant des sécrétions des trompes.
- Les spermatozoïdes ayant traversé la glaire cervicale remontent à contre courant en nageant dans les sécrétions de l'utérus et des trompes.
- Les spermatozoïdes sont piégés entre les cellules de la corona radiata, la rétraction de celles-ci les amène au contact de l'ovocyte.

b- Pénétration d'un spermatozoïde :

Le premier spermatozoïde qui parvient en contact avec l'ovocyte le féconde. L'acrosome libère son contenu enzymatique qui hydrolyse et liquéfie localement la zone pellucide, la fusion des membranes plasmiques des deux gamètes permet la progression du noyau et de l'aster proximal dans le cytoplasme ovocytaire.

La pénétration du spermatozoïde déclenche un ensemble de transformations cytologiques et nucléaires :

Transformations cytologiques nucléaires

- Les granules corticaux déversent leur contenu sous la zone pellucide. Celle-ci devient imperméable à d'autres spermatozoïdes, ce qui assure la monospermie (pénétration d'un seul spermatozoïde)
- Achèvement de la 2^{ème} division de la méiose et expulsion du 2^{ème} globule polaire.
- Rapprochement des 2 pronucléi.
- Fusion des 2 pronucléi ou caryogamie.

(activité 2)

3 - Maîtrise de la procréation :

a- La contraception hormonale

La contraception est l'infécondité volontaire et temporaire assurée par l'emploi de méthodes contraceptives visant à espacer ou à éviter les naissances. La contraception hormonale, se basant sur l'utilisation de la pilule, est la plus importante.

- Composition de la pilule combinée :

Les pilules combinées se présentent sous forme de plaquettes de 21 ou 22 comprimés, formés d'œstrogène et de progestatif de synthèse. La femme pratiquant cette méthode, prend un comprimé par jour à partir du premier jour du cycle, avec un arrêt de 6 à 7 jours après chaque plaquette. Cet arrêt entraîne une hémorragie de privation semblable à celle de la menstruation.

- Mode d'action de la pilule combinée :

La pilule combinée agit à deux niveaux :

- Au niveau du complexe hypothalamo-hypophysaire : les oestro-progestatifs de synthèse exercent un rétrocontrôle négatif et freinent la sécrétion de FSH et LH ce qui entraîne l'arrêt de la croissance folliculaire et bloque l'ovulation.
- Au niveau de l'utérus : les oestro-progestatifs de synthèse ont une action anti-nidatoire. Le produit progestatif pris dès le début du cycle, modifie les caractéristiques de la muqueuse utérine qui devient impropre à la nidation.

(activité 3)

b- La fécondation in vitro et le transfert d'embryon (FIVETE) :

On réalise « in vitro » ce qui se déroule normalement à l'intérieur des trompes. L'embryon qui en résulte est transféré dans l'utérus de la femme disponible pour la nidation, c'est la FIVETE qui est appliquée dans les cas suivants :

- Stérilité due à une obstruction des trompes suite à une inflammation ou une malformation qui empêche la rencontre des gamètes.
- Une infertilité masculine due à une oligospermie.

Les principales étapes de la FIVETE sont :

- Induction de l'ovulation chez une patiente par injection de substances analogues à la FSH et à la GnRH afin d'obtenir un grand nombre d'ovocytes.
- Prélèvement des ovocytes par ponction des follicules sous contrôle échographique ou par coélioscopie (visualisation de la cavité abdominale)
- Traitement du sperme: capacitation et sélection des spermatozoïdes.
- Mise en contact des gamètes dans un milieu de culture à 37°C.
- Maintien en culture des œufs fécondés pendant 48 heures.
- Sélection des embryons ayant atteints les stades 2 et 4 cellules.
- Transfert de (ou des) l'embryon(s), à l'aide d'un cathéter, dans la cavité utérine de la femme disponible pour la nidation.

(activité 4)

Tester les acquis

EXERCICE 1/Q.C.M

Relever pour chacun des items suivants, la ou les réponse(s) correcte(s) :

1- En cas de fécondation, les cycles sexuels s'arrêtent car :

- a- le taux sanguin des hormones ovariennes augmente.
- b- le taux sanguin des hormones ovariennes diminue.
- c- la sécrétion de FSH diminue.
- d- le corps jaune régresse.

2- La fécondation chez la femme a lieu dans :

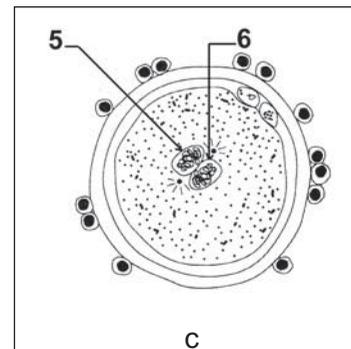
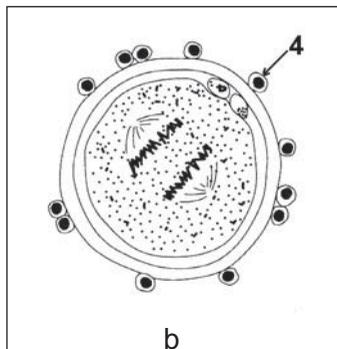
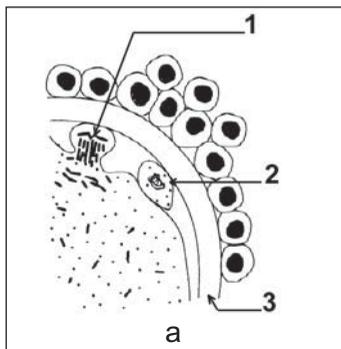
- a- l'utérus
- b- l'ovaire
- c- le vagin
- d- le tiers supérieur de la trompe

3- La prise de la pilule combinée pendant 21 jours :

- a- stimule la croissance du corps jaune.
- b- stimule la croissance des follicules ovariens.
- c- inhibe la sécrétion des gonadostimulines.
- d- stimule la sécrétion des gonadostimulines.

EXERCICE 2

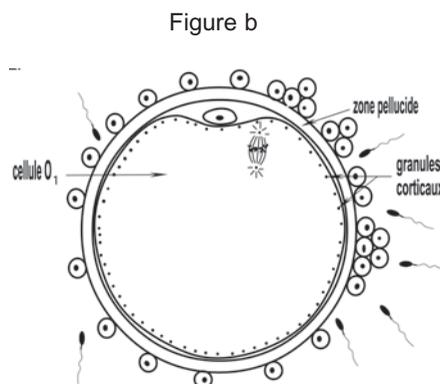
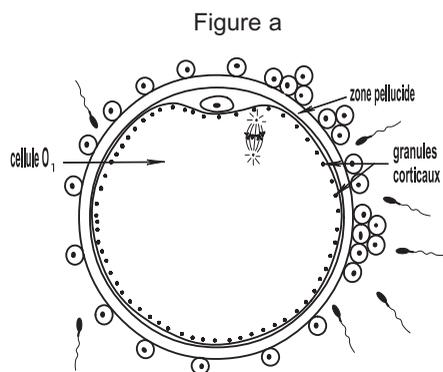
Le document suivant présente quelques étapes, en désordre, d'un phénomène important se produisant dans les voies génitales de la femme.



- 1- Nommer ce phénomène et préciser le lieu de son déroulement.
- 2- Annoter les éléments désignés par des numéros.
- 3- Préciser le nombre de chromosomes des éléments 2, 4, et 5.
- 4- Indiquer l'ordre chronologique de ces étapes.

EXERCICE 3

1 – Les figures a et b du document 2 correspondent à des formations prélevées dans les oviductes de guenons à deux instants différents.

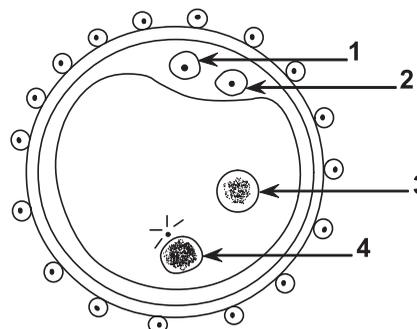


- 1- A partir des données des figures a et b, identifier les cellules O1 et O2 dans chaque cas, justifier.
- 2- Relater les transformations cytologiques et nucléaires subies par la cellule O1 aux cours des événements qui se déroulent entre les stades a et b. Illustrer la réponse par des schémas.

EXERCICE 4

La figure ci-contre représente une étape de la fécondation.

- 1- Donner une légende et un titre à cette figure.
- 2- Donnez deux arguments qui permettent d'affirmer que cette figure se rapporte bien à une étape de la fécondation.

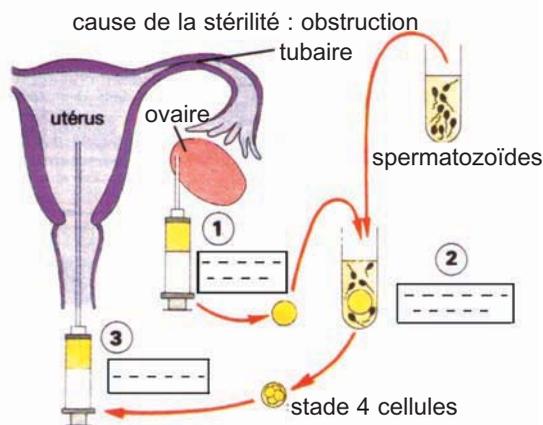


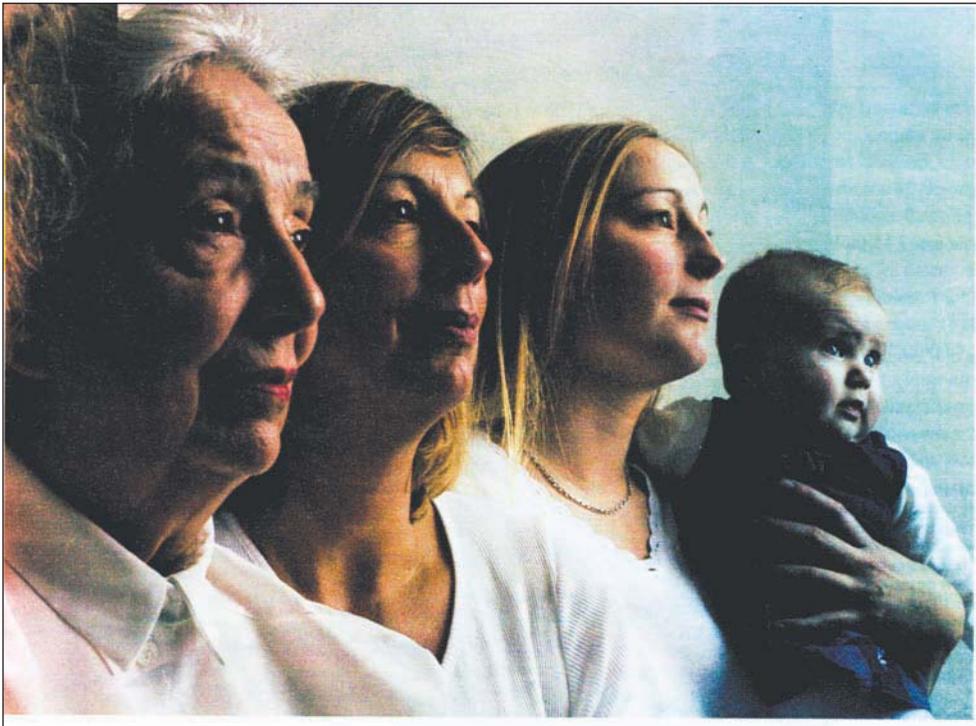
EXERCICE 5

La FIVETE offre aux couples présentant certaines formes de stérilité (oligospermie chez l'homme, obturation des trompes chez la femme) la possibilité de procréer.

L'étape «éprouvette» ne dure cependant pas plus de trois jours et ne correspond qu'à la fécondation et aux premiers stades de segmentation.

- 1- Compléter la légende du schéma proposé récapitulant les étapes de la FIVETE.
- 2- Expliquer en quelques lignes le principe de cette technique.





Longtemps centrée sur l'étude de la transmission de caractères morphologiques, la génétique humaine a aujourd'hui pour principal objet l'étude des maladies héréditaires et des anomalies chromosomiques. Ainsi 6678 maladies humaines d'origine génétique étaient recensées en 1994.

La génétique humaine essentiellement médicale, aujourd'hui, ne se contente plus de décrire des maladies, elle cherche les raisons de leur apparition et veut pouvoir prédire les maladies et les prévenir

Depuis une dizaine d'années, diverses techniques relevant de la biologie moléculaire, de la cytogénétique de la biochimie et de la médecine, permettent le diagnostic prénatal d'un nombre important et croissant de maladies génétiques et de malformations congénitales. Le **diagnostic prénatal** est de nature à lever les angoisses des parents désireux d'avoir un enfant sain.

OBJECTIFS

- Reconnaître les particularités de la génétique humaine.
- Expliquer le mode de transmission des caractères et des maladies héréditaires chez l'homme.
- Être conscient du danger de la consanguinité et de l'importance du diagnostic prénatal.

S INTERROGER

Les anomalies génétiques ne cessent d'apparaître dans l'espèce humaine. Les données proposées ci-dessous illustrent quelques exemples.



Document 1 : un enfant atteint de la trisomie 21

1- Trisomie 21 :

Appelée syndrome de down ou mongolisme, la trisomie 21 est une aberration chromosomique affectant le nombre de chromosomes (présence d'un chromosome surnuméraire à la paire 21, le mongolien a donc 47 chromosomes).

Les trisomiques ont un phénotype caractérisé par des yeux obliques vers le bas, des doigts courts et une arriération mentale plus ou moins prononcée.

Le risque d'avoir un enfant trisomique est très élevé pour les femmes enceintes âgées (plus de quarante ans)

2- La surdi-mutité : une situation épidémiologique de la surdité congénitale dans le village de Bordj Salhi

Le village de Borj Salhi appartient à la délégation d'El Haouaria (gouvernorat de Nabeul) il est enclavé entre la mer, au Nord, et quelques montagnes au Sud.

La population ainsi étudiée comporte quatre cent dix huit personnes et quatre vingt deux familles dont dix n'ayant pas d'enfants. Les tableaux suivants représentent la répartition de la surdité dans ce village et l'effet de la consanguinité sur cette répartition. (D'après une étude faite par Dr.Driss Laamari et des médecins collègues)

Répartition de la surdité congénitale chez les descendants selon son apparition chez les parents

	Effectif des enfants	Nombre d'enfants sourds	Proportions observées des sourds	Proportions théoriques dans une transmission autosomale récessive
Familles ayant des enfants sourds et parents indemnes	78	22	28%	25%
un seul parent est sourd	4	2	50%	50%
Les 2 parents sont sourds	5	5	100%	100%

Répartition des foyers selon la consanguinité des parents et l'existence de descendants sourds

	Effectif	Pourcentage de mariages consanguins
Familles ayant des enfants sourds	12	100 %
Familles n'ayant pas d'enfants sourds	60	45 %
Total	72	

Ces exemples permettent de soulever les questions suivantes :

- **Quel est le mode de transmission des gènes responsables des maladies héréditaires ?**
- **Comment expliquer l'origine des anomalies chromosomiques comme la trisomie 21 ?**
- **Quel est le danger du mariage consanguin ?**
- **Comment peut-on diagnostiquer et prévenir les maladies héréditaires avant la naissance ?**

SE RAPPELER

* **ADN** : Acide désoxyribonucléique, polymère de nucléotides désoxyribonucléiques. La succession des paires de bases est le support de l'information génétique.

* **Gène** : une information codée, déterminée par une séquence de bases et qui détermine en général un caractère héréditaire.

* **Allèle** : séquence d'ADN (gène) située sur le même site chromosomique (locus) et correspond à une version d'un même gène.

* **Allèle dominant** : version d'un gène qui s'exprime toujours au niveau du phénotype. Il est représenté souvent par une lettre majuscule.

* **Allèle récessif** : version d'un gène qui ne s'exprime pas au niveau du phénotype lorsqu'il est présent à un seul exemplaire dans le génotype (individu hétérozygote), Il est représenté souvent par une lettre minuscule.

* **Caryotype** : c'est l'ensemble des chromosomes caractéristiques d'une espèce ou d'un individu.

* **Hétérochromosomes ou hétérosomes** : chromosomes appartenant à une paire responsable de la détermination du sexe XX pour la femme et XY pour l'homme.

* **Autosome** : n'importe quel chromosome autre que les chromosomes sexuels.

Les deux autosomes d'une même paire sont strictement homologues, c'est-à-dire qu'ils possèdent la même succession de loci. Ils ont la même taille et ont un centromère situé au même endroit.

* **Hétérozygote** : individu qui possède sur chaque chromosome homologue de la même paire un allèle différent d'un même gène.

* **Homozygote** : individu qui possède pour un même gène le même allèle sur les deux chromosomes homologues de la paire.

* **Hybride** : descendant issu du croisement de deux parents de même espèce différents par

un ou plusieurs caractères héréditaires

* **Lignée pure ou race pure** : des individus sont de même lignée pure lorsque, croisés entre eux, ils donnent des descendants qui ont le même phénotype, à toutes les générations.

* **1^{ère} loi de Mendel (ou loi de l'uniformité de la F1)** : la F1 issue du croisement de deux lignées pures différentes par un caractère est uniforme

* **2^{ème} loi de Mendel (ou loi de la pureté des gamètes)** : un gamète ne contient qu'un allèle d'un couple d'allèles donné

* **Monohybridisme** : croisement dans lequel les deux parents diffèrent par un seul caractère.

* **Mutation** : modification de la séquence de nucléotides de l'ADN qui est transmissible à la descendance.

* **Génotype** : ensemble des gènes qui déterminent les caractères d'un individu.

* **Phénotype** : ensemble des caractères d'un individu résultant de l'expression de ses gènes.

Rechercher et construire

I Les particularités méthodologiques de la génétique humaine.

1- Difficultés de la génétique humaine

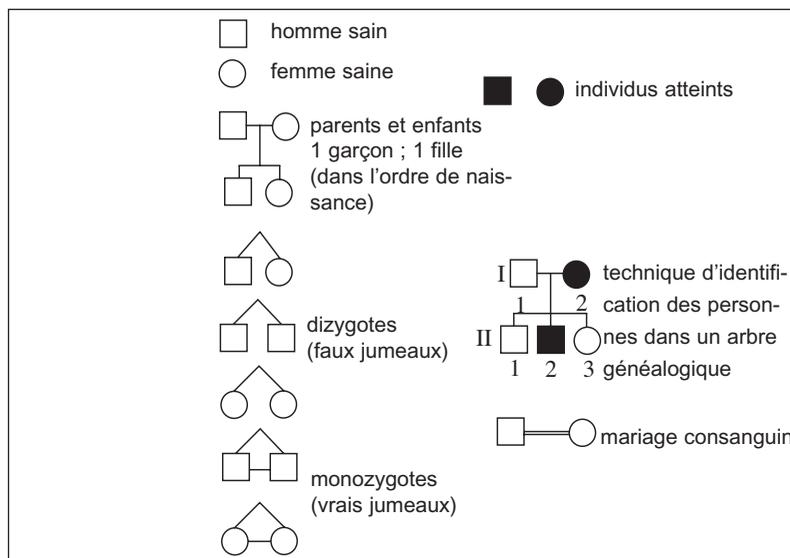
Le généticien se heurte à de nombreuses difficultés pour étudier l'hérédité humaine :

- La méthode des croisements dirigés est impossible, l'homme ne peut en aucun cas être considéré comme un matériel expérimental.
- La faible fécondité, la longue durée de la grossesse et de celle qui sépare deux générations rendent impossible l'application des lois statistiques.
- Le nombre de chromosomes est élevé et leurs combinaisons possibles sont considérables.

2- Réalisation d'arbres généalogiques

Chez l'espèce humaine comme chez les organismes expérimentaux, la transmission des caractères héréditaires se fait selon le mode autosomique et lié au sexe

Étant donné qu'on ne peut pas étudier, comme chez les animaux ou les végétaux, les descendants d'un croisement expérimental, on étudie la transmission d'un caractère au sein d'une famille en réalisant des arbres généalogiques et en utilisant les symboles conventionnels indiqués dans le document ci-dessous.



3- Techniques modernes

- La réalisation de caryotypes permet de diagnostiquer les malformations liées à une anomalie du nombre ou de la structure des chromosomes.
- L'analyse précise de l'ADN permet de détecter certains gènes anormaux.

Activité 1 : résoudre un exercice de monohybridisme

1er cas : hérédité autosomale

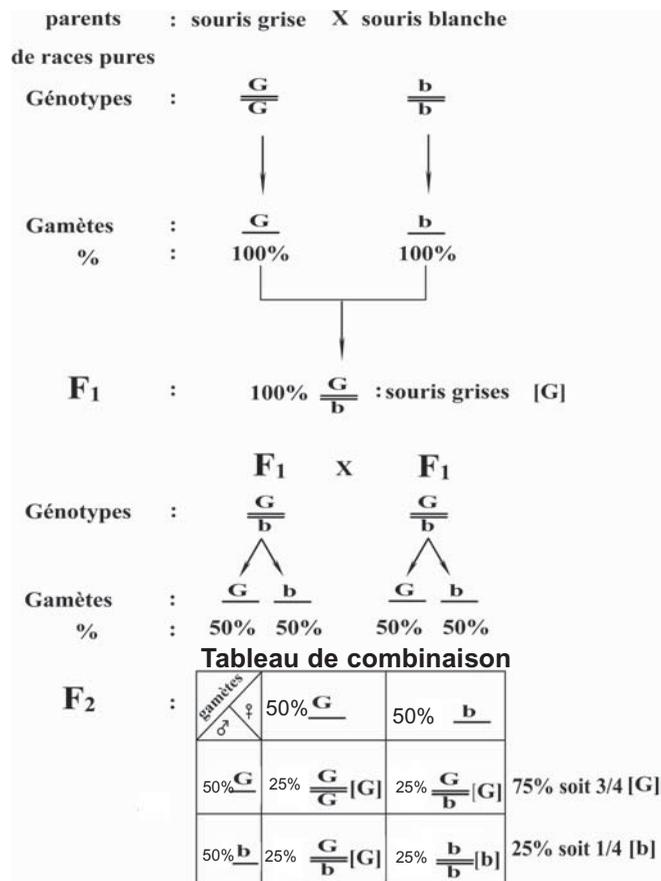
Le croisement de 2 souris de race pure, un mâle de couleur grise et une femelle de couleur blanche, donne à la F1 des souris de couleur grise. Croisées entre elles, les souris de la F1 donnent une F2 composée de 3/4 de souris grises et de 1/4 de souris blanches.

Interpréter ces résultats.

On rappelle :

- qu'un caractère héréditaire est contrôlé par un couple d'allèles.
- qu'une race pure est homozygote c'est-à-dire que son génotype est formé de deux allèles identiques.
- que la ségrégation de ce couple d'allèles au cours de la méiose donne des gamètes contenant chacun un seul allèle (2ème loi de Mendel).
- que deux parents de race pure donnent une première génération ayant le phénotype du parent qui a le caractère dominant.

Désignons le caractère gris qui est dominant (caractère de F1) par l'allèle **G** et le caractère blanc qui est récessif par l'allèle **b**.



2ème cas : hérédité liée au sexe

On dispose de deux lignées pures de drosophiles, l'une aux yeux rouges (lignée sauvage), l'autre aux yeux blancs (lignée mutante). On réalise deux croisements entre ces deux lignées :

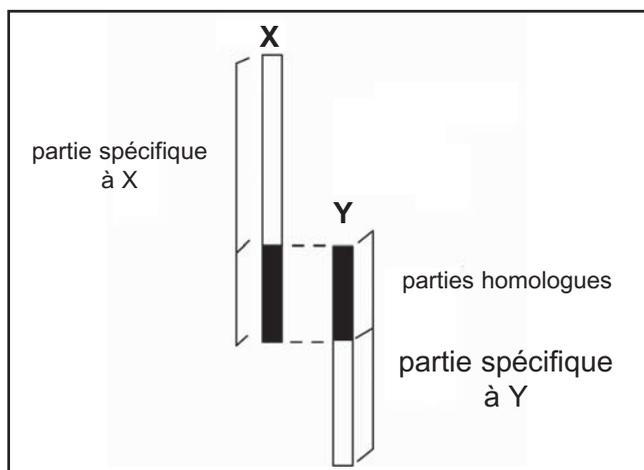
1er croisement	2ème croisement ou croisement réciproque
<p>Drosophile ♀ aux yeux rouges</p> <p>x</p> <p>Drosophile ♂ aux yeux blancs</p> <p>↓</p>	<p>Drosophile ♂ aux yeux rouges</p> <p>x</p> <p>Drosophile ♀ aux yeux blancs</p> <p>↓</p>
<p>F1 : 100% de drosophiles aux yeux rouges dont 50% ♂ et 50% ♀</p>	<p>F1 : 50% de drosophiles aux yeux rouges toutes ♀, 50% de drosophiles aux yeux blancs toutes ♂</p>

Interpréter ces résultats.

Analyse des données des croisements

- Dans les deux croisements les parents sont de même espèce et appartiennent à deux lignées différentes par un seul caractère héréditaire (couleur des yeux) : il s'agit d'un cas de monohybridisme
- Le premier croisement donne une F1 homogène de phénotype rouge : le caractère rouge est dominant, on le désigne par l'allèle R. Le caractère blanc est récessif, on le désigne par l'allèle b.
- La descendance du deuxième croisement issue de parents de lignées pures est hétérogène: la 1^{ère} loi de Mendel n'est pas vérifiée
- La composition du 1^{er} et du 2^{ème} croisement montre que le changement du sexe des parents entraîne un changement de la composition de la descendance : il y a une relation entre la composition de la descendance et le sexe des parents.

A partir de ces constatations, on peut émettre l'hypothèse suivante: le gène impliqué est porté par le chromosome sexuel X (il est porté par la partie spécifique à X).



Premier croisement		Deuxième croisement																																
parents :	P1 ♀ x P2 ♂	parents :	P1 ♀ x P2 ♂																															
Phénotypes :	[R] [b]	phénotypes :	[b] [R]																															
Génotypes :	$\frac{X_R}{X_R}$ $\frac{X_b}{X_b}$	génotypes :	$\frac{X_b}{X_b}$ $\frac{X_R}{Y}$																															
Gamètes % :	$\frac{X_R}{100\%}$ $\frac{X_b}{50\%}$ $\frac{Y}{50\%}$	gamètes % :	$\frac{X_b}{100\%}$ $\frac{X_R}{50\%}$ $\frac{Y}{50\%}$																															
F ₁ :	<table border="1"> <tr> <td>gamètes</td> <td>♂</td> <td>50 %</td> <td>50 %</td> </tr> <tr> <td>♀</td> <td></td> <td>$\frac{X_b}{X_b}$</td> <td>$\frac{Y}{Y}$</td> </tr> <tr> <td>100 %</td> <td></td> <td>50 %</td> <td>50 %</td> </tr> <tr> <td>$\frac{X_R}{X_b}$</td> <td>♀ [R]</td> <td>$\frac{X_R}{Y}$</td> <td>♂ [R]</td> </tr> </table>	gamètes	♂	50 %	50 %	♀		$\frac{X_b}{X_b}$	$\frac{Y}{Y}$	100 %		50 %	50 %	$\frac{X_R}{X_b}$	♀ [R]	$\frac{X_R}{Y}$	♂ [R]	<table border="1"> <tr> <td>gamètes</td> <td>♂</td> <td>50 %</td> <td>50 %</td> </tr> <tr> <td>♀</td> <td></td> <td>$\frac{X_b}{X_b}$</td> <td>$\frac{Y}{Y}$</td> </tr> <tr> <td>100 %</td> <td></td> <td>50 %</td> <td>50 %</td> </tr> <tr> <td>$\frac{X_R}{X_b}$</td> <td>♀ [R]</td> <td>$\frac{X_R}{Y}$</td> <td>♂ [R]</td> </tr> </table>	gamètes	♂	50 %	50 %	♀		$\frac{X_b}{X_b}$	$\frac{Y}{Y}$	100 %		50 %	50 %	$\frac{X_R}{X_b}$	♀ [R]	$\frac{X_R}{Y}$	♂ [R]
gamètes	♂	50 %	50 %																															
♀		$\frac{X_b}{X_b}$	$\frac{Y}{Y}$																															
100 %		50 %	50 %																															
$\frac{X_R}{X_b}$	♀ [R]	$\frac{X_R}{Y}$	♂ [R]																															
gamètes	♂	50 %	50 %																															
♀		$\frac{X_b}{X_b}$	$\frac{Y}{Y}$																															
100 %		50 %	50 %																															
$\frac{X_R}{X_b}$	♀ [R]	$\frac{X_R}{Y}$	♂ [R]																															

Les résultats théoriques sont conformes aux résultats expérimentaux, ce qui confirme l'hypothèse proposée.



Etude de la transmission de tares héréditaires

Déterminer le mode de transmission d'une maladie héréditaire consiste à :

- formuler des hypothèses concernant :
 - la relation de dominance entre l'allèle responsable de cette maladie et l'allèle normal.
 - la localisation du gène en question (sur un autosome ou un chromosome sexuel).
- vérifier la validité de ces hypothèses en exploitant les données présentées.

Activité 2 : déterminer le mode de transmission des tares héréditaires

1- L'albinisme

<p>Un enfant albinos</p>	<p>Document 1 : arbre généalogique d'une famille dont certains membres sont albinos</p>

Le sujet **albinos** ne peut synthétiser la mélanine, pigment brun de la peau et des poils. (Photo ci-dessus). L'arbre généalogique du document 1 représente la transmission de l'albinisme chez une famille.

Sachant que cette maladie est due à la mutation d'un seul gène qui existe sous deux formes alléliques, l'un normal, l'autre muté.

On peut choisir **A** pour l'allèle dominant, **a** pour l'allèle récessif

En exploitant les données du document 1,

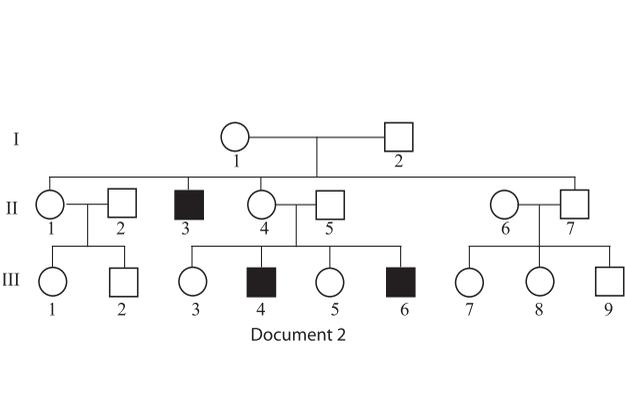
- Proposer une hypothèse concernant la relation de dominance entre les deux allèles.
- Argumenter l'hypothèse énoncée à partir de cette constatation : deux parents normaux peuvent avoir un enfant malade.

Pour préciser la localisation du gène qui contrôle l'albinisme, on peut envisager les hypothèses suivantes (tableau ci-dessous) :

	Hypothèse 1	Hypothèse 2	Hypothèse 3
	Le gène est porté par Y	Le gène est porté par X	Le gène est autosomal
Parents	II ₁ x II ₂	II ₁ x II ₂	II ₁ x II ₂
Génotypes	====	====	====
Gamètes	↙ ↘	↙ ↘	↙ ↘
%	• •	• •	• •
Descendance : Génotypes			

- Reproduire et compléter le tableau.
- Discuter la validité de ces hypothèses et conclure.

2- La myopathie de Duchenne :

	
<p>Myopathie de Duchenne: Noter la difficulté qu'a cet enfant pour se lever</p>	<p>Document 2 : arbre généalogique d'une famille dont certains membres sont myopathes</p>

La myopathie de Duchenne est caractérisée par une atrophie et une dégénérescence progressive des muscles. Le malade, tel qu'il est présenté sur la photo ci-dessus, présente une faiblesse au niveau des muscles de la cuisse et des bras. L'affection musculaire s'aggrave avec l'âge et finit par condamner le malade à la chaise roulante.

L'arbre généalogique (document 2) représente la transmission de cette maladie chez une famille tunisienne. Cette maladie est gouvernée par un gène qui existe sous 2 versions alléliques, un allèle normal, l'autre muté.

On symbolise chacun des deux allèles par une lettre :
N pour l'allèle normal, **m** pour l'allèle muté.

- Préciser la relation de dominance entre les deux allèles

Afin de déterminer la localisation de ce gène sur les chromosomes, on propose les deux hypothèses suivantes :

	Hypothèse 1	Hypothèse 2
	Le gène est porté par X	Le gène est autosomal
Parents	II ₄ x II ₅	II ₄ x II ₅
Génotypes		
Gamètes %		
Descendance : Génotype	III ₄	III ₄

- Reproduire et compléter le tableau en écrivant les génotypes possibles des individus II₄, II₅ et III₄.

- Vérifier la validité des deux hypothèses :

- l'allèle de la maladie peut-il être porté par le chromosome sexuel Y ? Justifier.

- On a montré que l'individu II₅ ne porte pas l'allèle muté,

Exploiter cette nouvelle information pour déterminer la localisation chromosomique du gène.

3- La Polydactylie :

Mains polydactyles	Document 3 : arbre généalogique d'une famille dont certains membres sont polydactyles

Le document 3 représente un arbre généalogique où la polydactylie se manifeste avec une haute fréquence

a- hypothèse sur la relation de dominance entre l'allèle responsable de la tare et l'allèle normal

Constatations :

- Tout sujet malade a au moins l'un des parents malade.
- Un enfant sain III₁ a deux parents malades.

- Que peut-on déduire de ces constatations ?
- Argumenter votre déduction.

b- hypothèses sur la localisation du gène

Afin de déterminer la localisation du gène responsable de la maladie, on envisage les deux hypothèses suivantes :

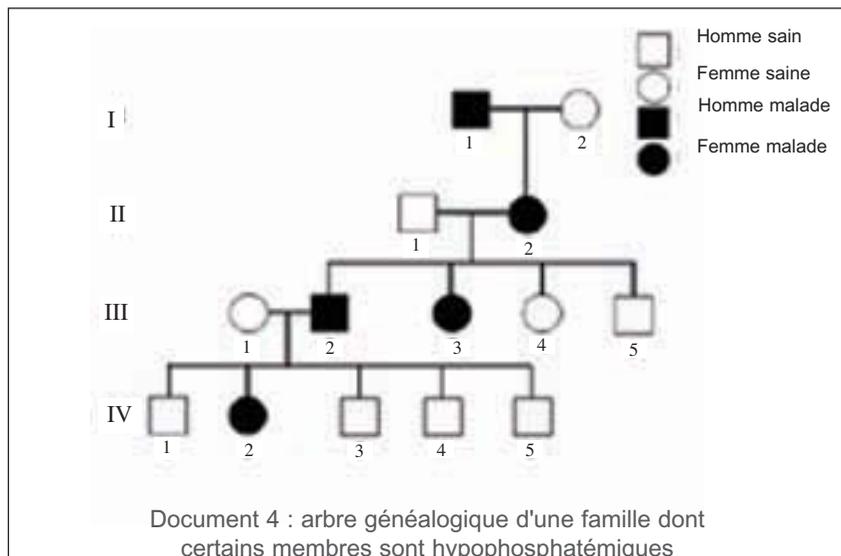
	Hypothèse 1	Hypothèse 2
	Le gène est autosomal	Le gène est porté par X
Parents	I ₁ x I ₂	I ₁ x I ₂
Génotypes	==	==
Gamètes %	↓ ↓ • • • •	↓ ↓ • • • •
Descendance : Génotype	II ₂ ==	II ₂ ==

- Reproduire et compléter le tableau précédent
- Discuter la validité de deux hypothèses et conclure.

4- L'hypophosphatémie :

C'est une sorte de rachitisme résistant à la vitamine D.

L'arbre généalogique illustré par le document 4 représente la transmission de cette maladie.



Cette maladie est due à la mutation d'un seul gène qui existe sous deux formes alléliques l'un normal, l'autre muté déterminant le rachitisme.

- Comparer phénotypiquement la descendance des couples (III₁ – III₂), (III₅ – III₆) d'une part et du couple (III₃ – III₄) d'autre part.
- Déterminer les génotypes des individus des générations I, II, III et IV
- Etablir une relation entre les mariages consanguins et l'apparition des tares héréditaires
- Essayer d'en donner une explication

- Calcul du risque d'apparition de la tare

La drépanocytose, encore appelée anémie à hématies falciformes, est une maladie qui se caractérise par des globules rouges en forme de faucille, incapables de jouer leur rôle respiratoire de transporteur d'oxygène. Les sujets atteints ont une **hémoglobine anormale** appelée **hémoglobine «S»** (S étant la première lettre de «sickle» qui, en anglais, signifie «faucille»). Il s'agit d'une maladie autosomale récessive.

Soit "A" l'allèle normal et "a" l'allèle responsable de la maladie.

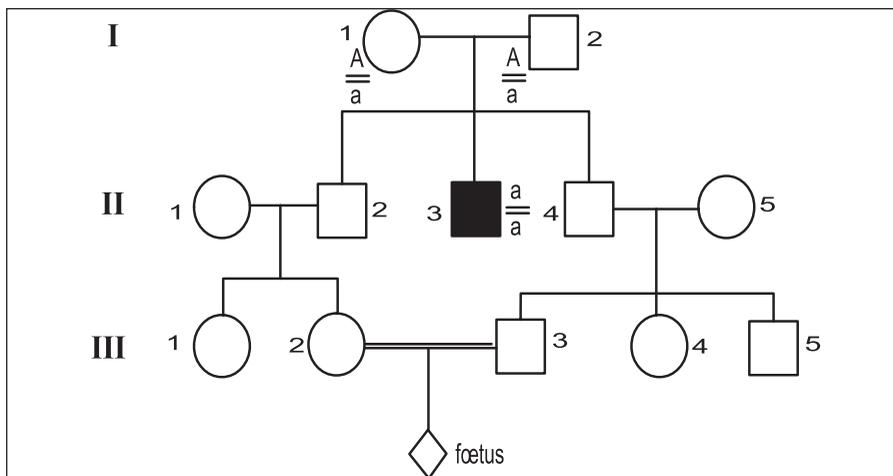
Dans une population normale, la fréquence des hétérozygotes A/a, pour la drépanocytose, est de 1/50.

Deux parents hétérozygotes ont une probabilité de 1/4 d'avoir un enfant homozygote a/a, donc atteint.

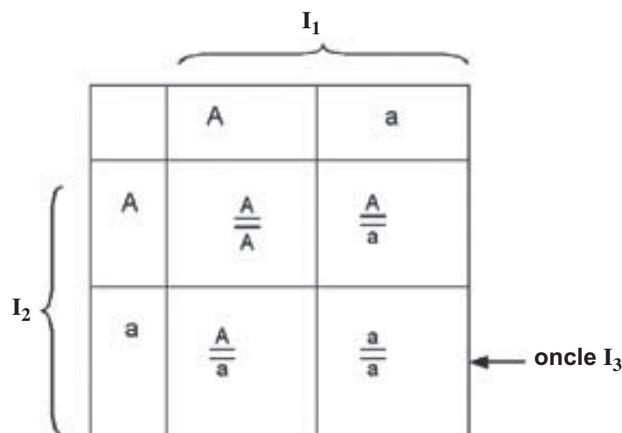
Dans le cas d'un mariage entre deux personnes non apparentées, le risque d'avoir un enfant atteint est de :

$$1/50 \times 1/50 \times 1/4 = 1/10\ 000$$

Soit l'arbre généalogique suivant :



Dans le cas de deux cousins (III₂) et (III₃), ayant un oncle (II₃) atteint, le risque pour leurs parents (II₂) et II₄) d'être hétérozygote est de 2/3, comme le montre le tableau suivant :



L'union des ovules (A et a) et des spermatozoïdes (A et a) se faisant au hasard, le risque d'être hétérozygote diminue de moitié à chaque génération. La probabilité pour chacun des deux cousins d'être porteur du gène a est de 2/6.

Le risque pour ces deux cousins d'avoir un enfant a/a est de ; $2/6 \times 2/6 \times 1/4 = 1/36$.

Le risque d'engendrer un enfant a/a, pour ces individus consanguins, est donc nettement plus élevé que celui encouru par des sujets non apparentés.

IV Prévention des maladies héréditaires

A. Le diagnostic prénatal

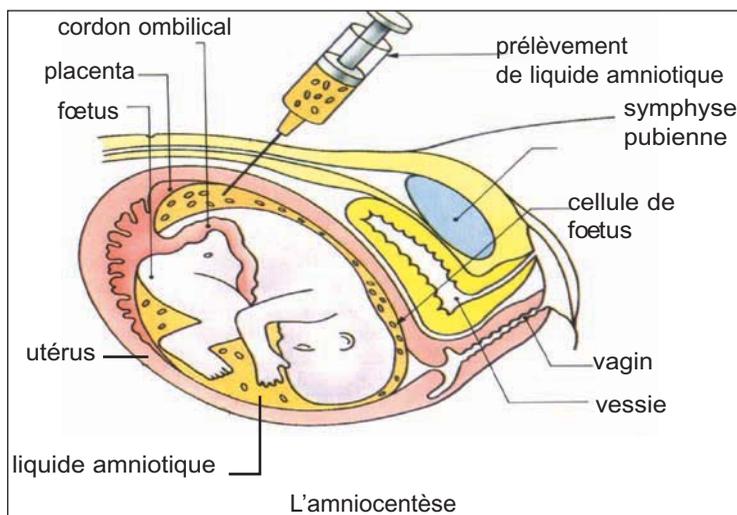
1- Intérêt du diagnostic prénatal

Le diagnostic prénatal permet d'identifier une aberration chromosomique ou un gène responsable d'une maladie chez un fœtus de quelques semaines. Il peut être conseillé dans le cas d'une grossesse «à risque». Il nécessite l'obtention de tissus foetaux que les techniques modernes permettent de prélever pour des diagnostics de plus en plus nombreux et de plus en plus précoces. La précocité du diagnostic est en effet très importante, car elle permet d'une part de raccourcir les délais d'attente difficiles à supporter pour les couples et d'autre part de rendre plus facile, techniquement et psychologiquement, un éventuel avortement thérapeutique.

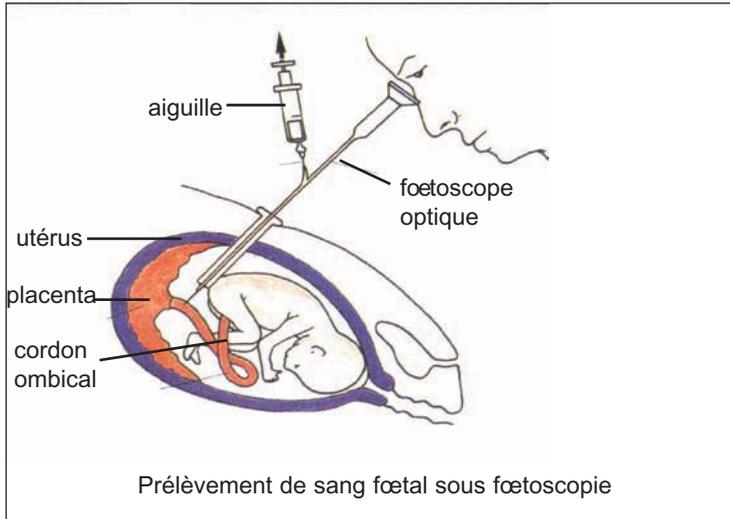
2- Les techniques de prélèvement de tissus foetaux.

a- L'amniocentèse :

C'est le prélèvement du liquide amniotique dans lequel se trouvent des cellules du fœtus. Il est pratiqué à la 17^{ème} semaine de la grossesse par ponction à l'aiguille sous contrôle échographique.



b- Le prélèvement du sang foetal :



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

3- Comment peut-on diagnostiquer les aberrations chromosomiques et les maladies géniques ?

Les cellules prélevées par l'une de ces deux techniques sont mises en culture à 37°C.

Les recherches effectuées sur ces prélèvements sont variées.

- Détection d'aberrations chromosomiques par réalisation du caryotype à partir des cellules fœtales.
- Détection des maladies géniques par la recherche des gènes anormaux.

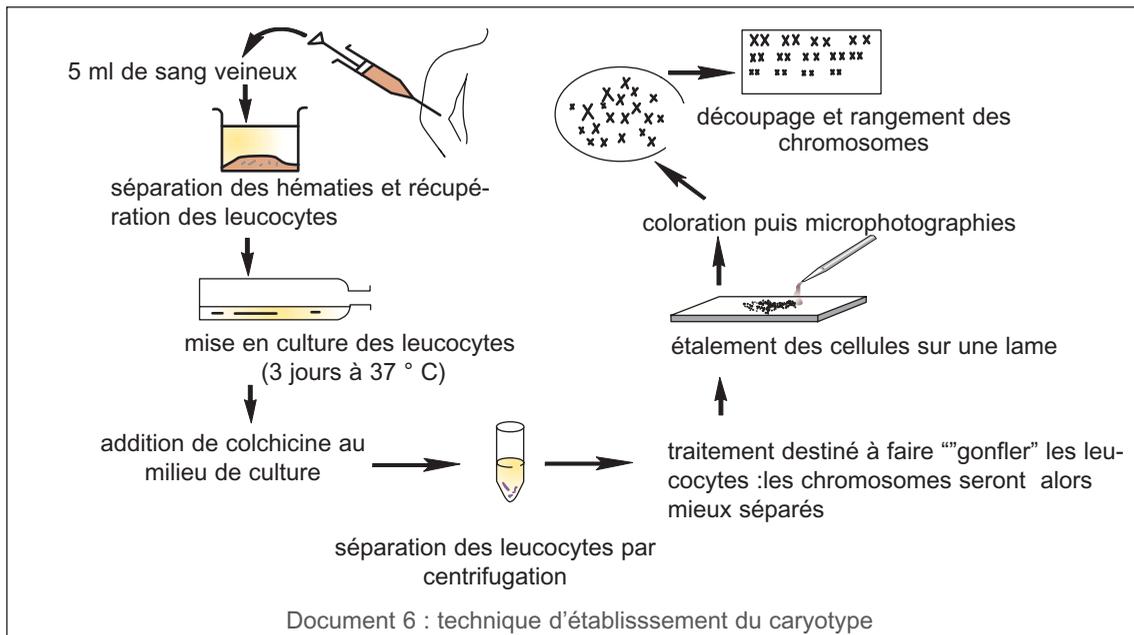
3- 1- Les aberrations chromosomiques

a- Comment réaliser un caryotype ?

Aujourd'hui des techniques de coloration et d'observation des chromosomes humains permettent, non seulement d'observer le nombre des chromosomes mais aussi de caractériser chaque chromosome par des bandes transversales plus ou moins sombres, permettant ainsi d'établir un **caryotype** précis de l'espèce humaine.

Les schémas ci-dessous résument la technique utilisée pratiquement de façon universelle dans les laboratoires de cytogénétique pour réaliser un caryotype.

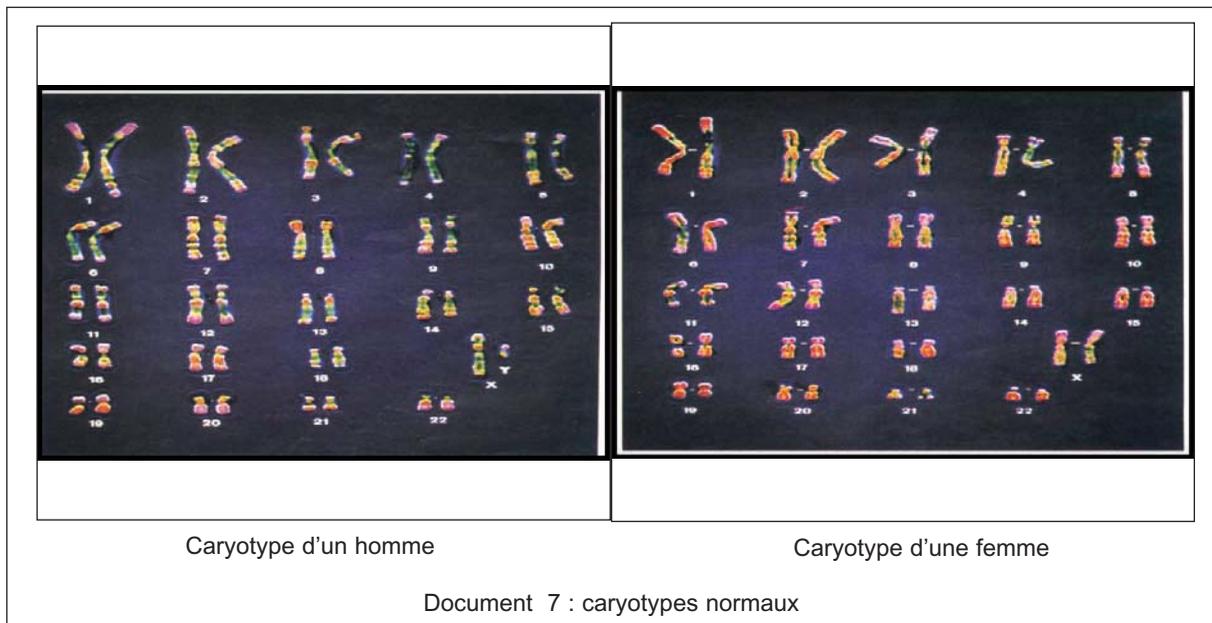
Une substance, la colchicine, ajoutée au milieu de culture, permet de bloquer les divisions cellulaires en métaphase, moment où les chromosomes sont le plus condensés; chaque chromosome est alors formé de deux chromatides unies par le centromère.



b- Le caryotype normal

Activité 3 : analyser le caryotype normal

Le document 7 représente des caryotypes normaux d'un homme et d'une femme.

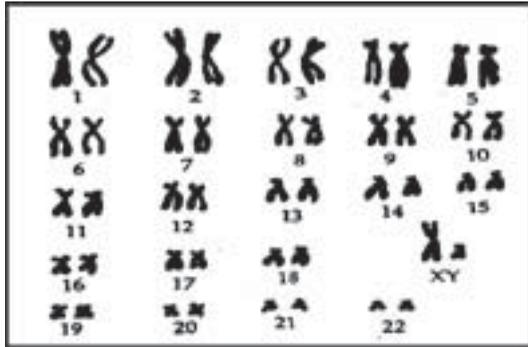


- Comparer ces deux caryotypes.
- Ecrire la formule chromosomique de chacun d'eux.

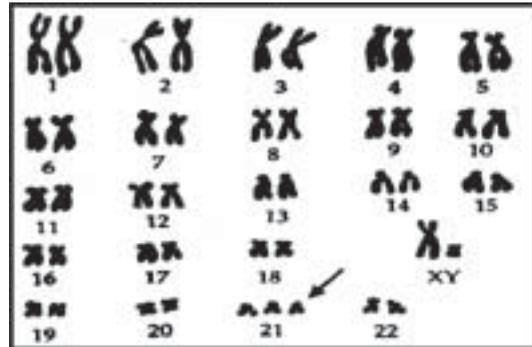
Activité 4 : détecter les anomalies chromosomiques

c- La Trisomie 21

Le document 8 représente les caryotypes d'un garçon normal et d'un garçon trisomique (mongolien).



Caryotype d'un garçon normal



Caryotype d'un garçon présentant la trisomie 21

Document 8

- Sachant que l'enfant trisomique est issu de l'union d'un gamète mâle normal à 23 chromosomes et, en général, un gamète femelle anormal à 24 chromosomes (avec 2 chromosomes n° 21 au lieu d'un seul), proposer une hypothèse expliquant l'origine du gamète à 24 chromosomes en se référant au comportement des chromosomes au cours de la méiose.
- En considérant uniquement la paire de chromosomes N° 21, expliquer, à l'aide d'un schéma montrant l'anaphase I, la télophase I et l'anaphase II de la méiose, l'origine du gamète anormal à 24 chromosomes.

3- 2 Les maladies géniques :

Activité 5 : détecter les anomalies géniques

On peut détecter ces anomalies en analysant l'ADN foetal correspondant au gène de la maladie par utilisation de la technique de l'électrophorèse.

Analyse de l'ADN :

a- Technique de l'électrophorèse :

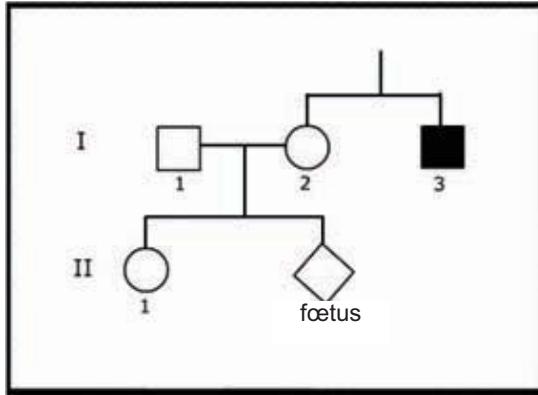
C'est une technique de séparation par un champ électrique des molécules chargées électriquement (acides nucléiques, protéines).

Les allèles du gène correspondant à la maladie diagnostiquée migrent dans un champ électrique avec des vitesses différentes selon la charge globale de l'allèle et sa masse. Ainsi les deux allèles forment des bandes (zymogramme) qu'il est possible de caractériser par des techniques appropriées (réaction de coloration, sonde radioactive, anticorps marqués...).

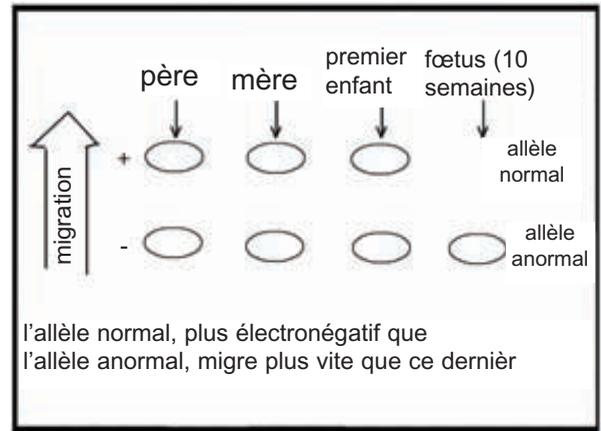
b- Application :

L'arbre généalogique suivant (document 9) représente la transmission de la drépanocytose (maladie autosomale récessive caractérisée par une hémoglobine anormale). La mère I₂ craint que le fœtus à naître soit atteint.

Le document 10 représente l'électrophorèse de l'ADN des parents, de l'enfant II₁ et du fœtus.



Document 9



l'allèle normal, plus électronégatif que l'allèle anormal, migre plus vite que ce dernier

Document 10

- Exploiter l'arbre généalogique et les résultats de l'électrophorèse de l'ADN pour vérifier si les craintes de la mère I₂ sont justifiées ou non.

Bilan des activités et synthèse

I Etude de la transmission de caractères héréditaires.

Les unions humaines présentent cinq modes de transmission héréditaire qui se dégagent de l'étude des maladies héréditaires par analyse généalogique. La maladie peut être autosomique récessive, autosomique dominante, récessive liée à X ou dominante liée à X. Elle peut être aussi liée à Y.

1- Hérité autosomale

- Une anomalie autosomale récessive :

- est aussi fréquente chez les garçons que chez les filles.
- en général, elle n'apparaît pas à toutes les générations
- est déterminée par un gène qui ne s'exprime au niveau du phénotype atteint qu'à l'état homozygote.

Exemple : l'albinisme

- Une anomalie autosomale dominante :

- tout sujet affecté a au moins l'un des parents malade.
- en général elle se manifeste dans toutes les générations.
- les sujets malades sont le plus souvent hétérozygotes.
- les sujets sains sont toujours homozygotes.

Exemple : la polydactylie

2- Hérité autosomale

- Une maladie récessive portée par le chromosome sexuel X :

- est plus fréquente chez les garçons que chez les filles.
- est déterminée par un gène dont l'allèle récessif s'exprime chez les garçons atteints.
- les garçons malades sont issus d'une mère conductrice.
- Toute fille atteinte devrait avoir un père atteint.

Exemples : - myopathie de Duchenne - l'hémophilie - le daltonisme

- Une maladie dominante liée à X présente les caractéristiques suivantes :

- Tout sujet atteint a au moins l'un des parents atteint.
- En général elle se manifeste dans toutes les générations.
- Les hommes affectés transmettent la maladie à toutes leurs filles
- Les femmes atteintes hétérozygotes (conductrices) mariées à des hommes non affectés transmettent la maladie à la moitié de leurs fils et de leurs filles.
- Tout garçon atteint devrait avoir une mère atteinte.

Exemple : l'hypophosphatémie.

Hérédité liée au chromosome Y :

Il s'agit de quelques curiosités dermatologiques assez exceptionnelles :

par exemple :

L'hypertrichose des oreilles : développement des poils sur le bord des oreilles.

Le mécanisme de transmission est facile à comprendre : toutes les filles naissant de l'union d'un homme atteint avec une femme normale sont normales car elles ne peuvent hériter que le X paternel. Par contre, tous les garçons, qui ont hérité de l'Y paternel, sont atteints.

3- Risques liés au mariage consanguin

Si dans une famille existe une tare récessive :

- le mariage consanguin augmente considérablement le risque d'avoir des enfants atteints, car il augmente la probabilité de rencontre des allèles récessifs.
- Le risque d'être porteur de l'allèle taré diminue de moitié à chaque génération.
- Un mariage entre cousins germains est déconseillé chaque fois qu'une tare récessive existe dans la famille ascendante ou chez les collatéraux.

Exemple : la surdi-mutité

(activité 2)



Prévention des maladies héréditaires

Le diagnostic prénatal

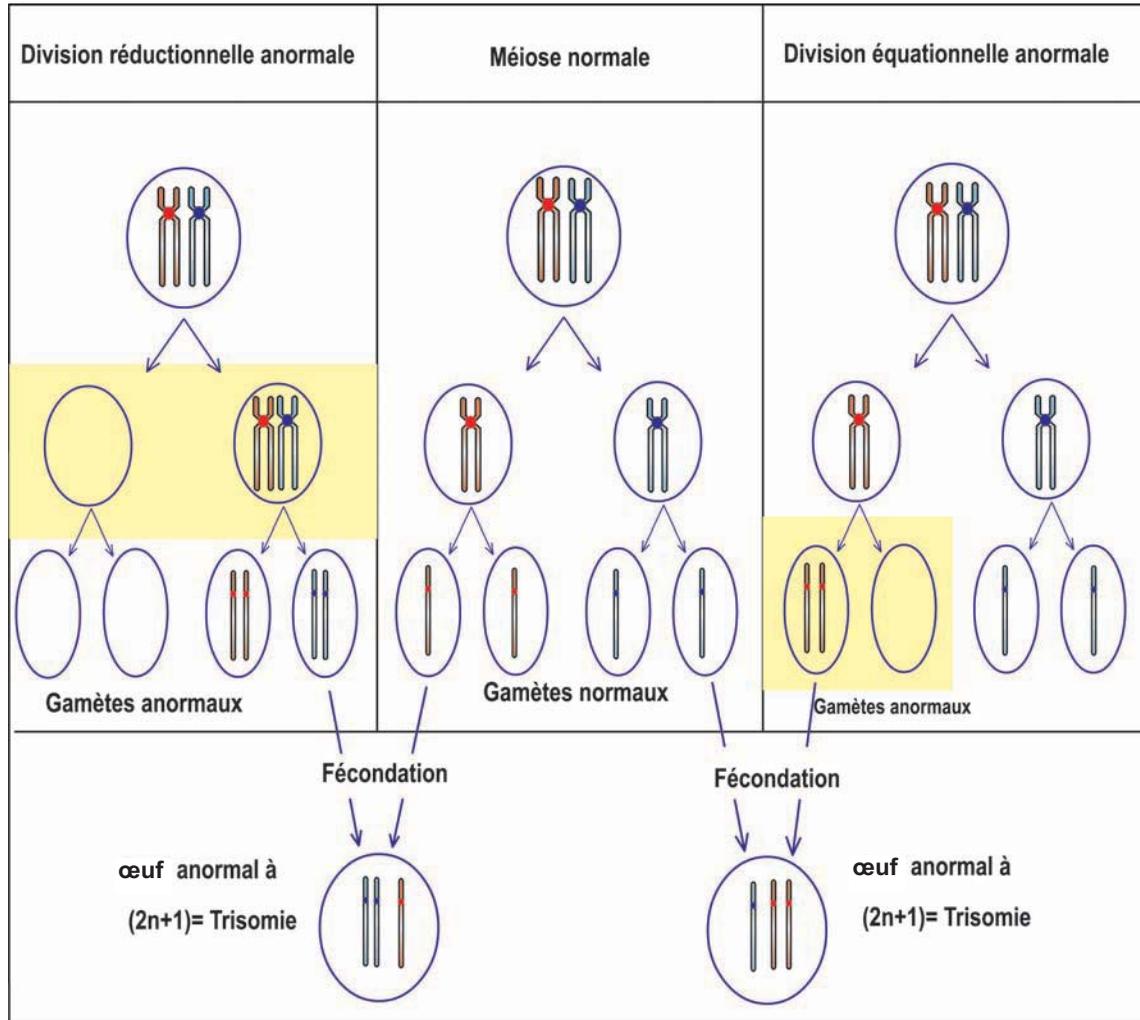
- Le diagnostic prénatal est conseillé pour toute femme enceinte présentant un risque de donner naissance à un enfant atteint d'une maladie héréditaire.
- Le diagnostic repose sur des analyses faites sur des tissus embryonnaires prélevés le plus tôt possible afin de détecter des aberrations chromosomiques et des maladies géniques chez le fœtus.

1- les aberrations chromosomiques : exemple la trisomie 21 :

La trisomie 21 est une anomalie qui consiste en une variation du nombre de chromosomes. L'analyse du caryotype du malade révèle la présence du chromosome 21 en trois exemplaires.

La trisomie 21 résulte d'un accident survenu au cours de la méiose chez l'un des parents surtout chez la mère dont l'âge s'approche de la ménopause : les 2 chromosomes de la même paire ne se séparent pas et passent ensemble dans la même cellule fille. Cela peut se produire lors de la division réductionnelle ou bien lors de la division équationnelle. Ainsi se forment des gamètes possédant 2 chromosomes 21. La fécondation d'un gamète anormal par un gamète normal entraîne la formation d'un œuf ayant 3 chromosomes 21.

Le doucement suivant explique l'origine de la trisomie 21



Document 11 : origine de la trisomie 21

(activité 3 et 4)

Autres anomalies chromosomiques

En plus de la trisomie, d'autres anomalies numériques peuvent affecter les chromosomes sexuels. Ils sont dus à la non disjonction des chromosomes X lors de la méiose. Ils sont à l'origine d'un ensemble de symptômes appelé syndrome :

- **Le syndrome de Turner** : il atteint le sexe féminin dont le caryotype est caractérisé par la présence d'un seul chromosome X au lieu de deux (formule chromosomique= **44 + X0**). Les femmes atteintes sont de petite taille, leurs caractères sexuels secondaires sont très peu développés et elles sont stériles.

- **Le syndrome de Klinefelter** : Il atteint le sexe masculin dont le caryotype comporte un chromosome X surnuméraire (formule chromosomique= **44 + XXY**). Les individus atteints présentent à la fois des caractères sexuels secondaires de type masculin et de type féminin leurs testicules sont très peu développés, ils sont stériles.

2- les maladies géniques :

On effectue des prélèvements de cellules du fœtus et on fait l'analyse de l'ADN.

- **Analyse de l'ADN** : la drépanocytose est une anomalie de l'hémoglobine qui est une protéine indispensable au transport de l'oxygène dans le sang.

On peut pratiquer le diagnostic de cette maladie par l'électrophorèse de l'ADN qui contrôle la synthèse de l'hémoglobine.

D'après cette technique on peut déterminer le génotype du fœtus.

La maladie est autosomale récessive.

Dans l'exercice du document 9 la femme I_2 est la sœur d'un homme malade I_3 de génotype $m//m$. Elle a une chance sur deux d'être hétérozygote $N//m$.

L'électrophorèse révèle que les parents possèdent chacun l'allèle normal et l'allèle anormal, ils sont donc hétérozygotes de génotype $N//m$.

Le fœtus possède 2 allèles anormaux (confondus).

On peut déduire que le fœtus est malade et de génotype $m//m$.

(activités 5)

Tester les acquis

EXERCICE 1/Q.C.M

Chaque série d'affirmations peut comporter une ou plusieurs réponse(s) exacte(s)
Repérer la ou les affirmations exacte(s).

- 1- Les difficultés de la génétique humaine sont :
 - a- la fécondité est restreinte
 - b- la durée des générations est longue
 - c- les croisements dirigés sont possibles
 - d- la garniture chromosomique est complexe.

- 2- Dans le cas d'une maladie déterminée par un allèle autosomal récessif :
 - a- tout individu sain est homozygote.
 - b- un couple de phénotype normal ne donne jamais de descendants atteints.
 - c- tout garçon atteint n'hérite la maladie que de sa mère.
 - d- le mariage consanguin augmente le risque d'apparition de la maladie chez les descendants.

- 3- Une femme atteinte d'une anomalie récessive liée au sexe
 - a- est issue obligatoirement d'un père atteint.
 - b- est issue d'une mère obligatoirement atteinte.
 - c- tous ses garçons sont atteints.
 - d- toutes ses filles sont atteintes.

- 4- Une anomalie autosomale dominante :
 - a- s'exprime à l'état homozygote et à l'état hétérozygote.
 - b- apparaît obligatoirement dans toutes les générations.
 - c- les descendants d'une mère atteinte sont tous atteints
 - d- les descendants d'un père atteint homozygote sont tous atteints.

- 5- Le mariage consanguin :
 - a- est une union entre deux individus ayant un ancêtre commun
 - b- augmente le risque de l'apparition des anomalies récessives.
 - c- est un mariage entre deux individus de même groupe sanguin.
 - d- est conseillé dans le cas de l'existence d'une anomalie récessive.

- 6- Le caryotype normal de l'espèce humaine présente :
 - a- 46 chromosomes et une paire de chromosomes sexuels.
 - b- 46 chromosomes identiques 2 par 2 chez la femme.
 - c- 22 paires d'autosomes et un chromosome sexuel X chez la femme.
 - d- 22 paires d'autosomes et une paire de chromosomes sexuels.

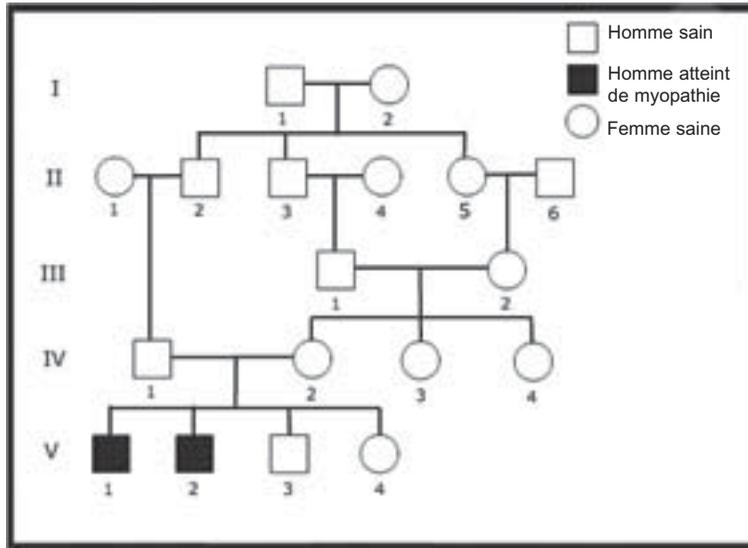
- 7- L'analyse du caryotype dans les cellules de l'embryon humain normal permet de :
 - a- détecter des gènes mutés.
 - b- de connaître le sexe de l'embryon.
 - c- dénombrer 23 paires d'autosomes.
 - d- dénombrer 22 paires d'autosomes.

- 8- le mongolisme est une aberration chromosomique :
- a- qui peut apparaître chez les deux sexes.
 - b- qui apparaît uniquement chez les garçons.
 - c- dû à un chromosome sexuel X supplémentaire.
 - d- dû à un autosome supplémentaire au niveau de la paire 21.
- 9- la détection d'anomalies géniques chez le fœtus :
- a- nécessite la réalisation du caryotype.
 - b- l'analyse de l'ADN par électrophorèse.
 - c- la détermination du groupe sanguin.
 - d- l'analyse des protéines.

EXERCICE 2

On connaît en Tunisie une forme de myopathie caractérisée par la faiblesse des muscles de la ceinture pelvienne et des troubles de la marche.

Le document 12 présente l'arbre généalogique d'une famille tunisienne dont certains membres sont atteints par cette forme de myopathie.



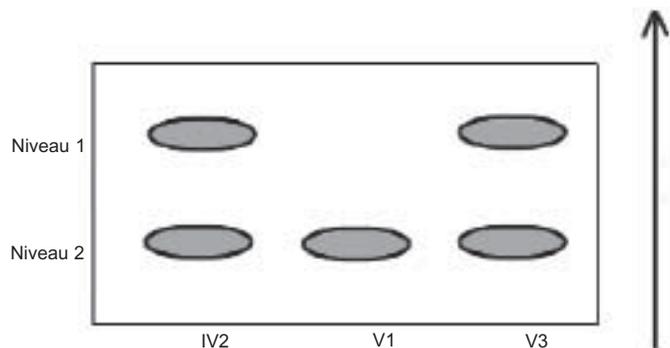
Document 12

A partir d'arguments tirés de l'analyse de l'arbre généalogique ci-dessus :

1- Indiquez si l'allèle responsable de la maladie est dominant ou récessif. Justifiez votre réponse.

2- Précisez si le gène de la maladie est porté par le chromosome sexuel X ou par un autosome. Discutez chacune des deux hypothèses.

L'électrophorèse de l'ADN correspondant au gène de la myopathie, effectuée sur certains membres de cette famille, donne les résultats présentés par le document 13.



Document 13 : résultat de l'électrophorèse de l'ADN correspondant au gène responsable de la myopathie

3. Expliquez en quoi ces résultats apportent plus de précisions quant à la localisation du gène de la myopathie.

4. Ecrivez les génotypes des individus IV_1 , IV_2 , V_1 et V_3

Corrigé exercice 2

1- L'allèle de la maladie est récessif.

Justification ; Les enfants V_1 et V_2 , malades, sont issus de deux parents IV_1 et IV_2 phénotypiquement sains.

2-

Soit le couple d'allèles (N, m) ; avec N l'allèle normal et m l'allèle malade ; avec $N > m$.

Hypothèse 1 : Le gène de la myopathie est autosomique.

Les enfants V_1 et V_2 malades seraient de génotype m/m , ce qui suppose que les parents IV_1 et IV_2 , normaux, seraient obligatoirement hétérozygotes N/m ce qui est possible. L'hypothèse est à retenir.

Hypothèse 2: l'allèle m est porté par le chromosome sexuel X.

Les garçons V_1 et V_2 , malades, seraient de génotype Xm/Y ; ce qui suppose que la mère IV_2 , phénotypiquement saine, aurait pour génotype XN/Xm ; ce qui est aussi possible. L'hypothèse est à retenir.

3- D'après le pedigree, V_3 est phénotypiquement sain. Le résultat de l'électrophorèse montre qu'il possède les deux allèles du gène, ce qui exclut l'hypothèse d'un gène porté par X (L'allèle m est donc autosomique)

4- Les génotypes

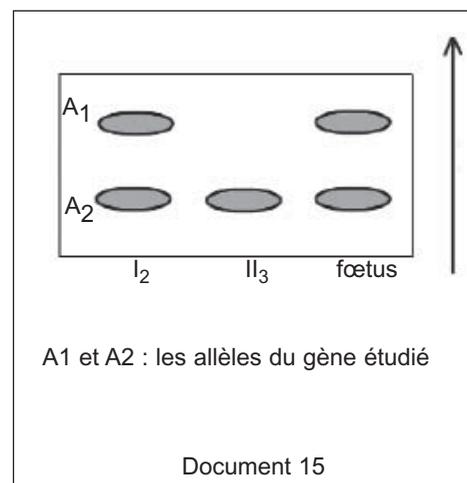
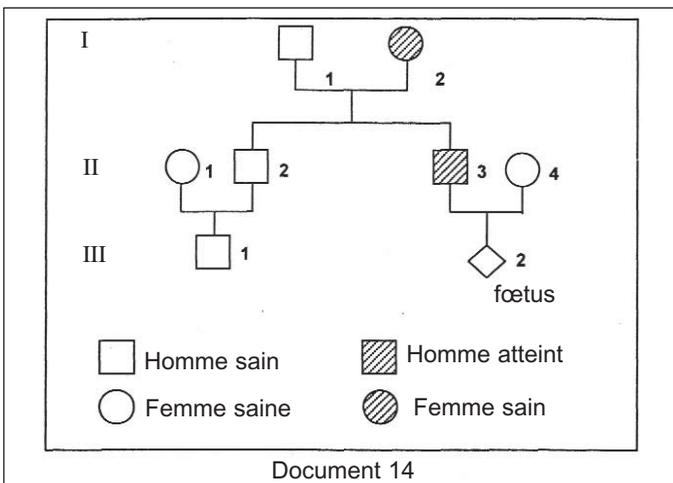
IV_1 : N/m , IV_2 : N/m , V_1 : m/m , V_3 : N/m .

Exercice 3

Le rachitisme vitamino-résistant est une maladie héréditaire qui affecte la rigidité du squelette.

Le document (14) représente l'arbre généalogique d'une famille dont certains individus sont atteints de cette maladie. Par une technique appropriée, basée notamment sur l'électrophorèse, on peut isoler le gène responsable de cette maladie et l'analyser.

Le document (15) montre les résultats de l'électrophorèse de fragments d'ADN correspondant au gène en question, chez certains individus de cette famille.



À partir de l'analyse des deux documents 3 et 4, déterminez :

- a- si l'allèle responsable de la maladie est dominant ou récessif
- b- si le gène correspondant est autosomal ou lié au sexe.

En vous basant toujours sur l'analyse des mêmes documents, montrez si le fœtus III₂ est :

- a- une fille ou un garçon
- b- normal(e) ou malade.

Commentaire

1. a- Observez les tâches relatives à l'individu I₂ du document 15. Ces tâches correspondent à des allèles. Si les allèles sont semblables, on aurait une seule tâche.

Dans ce cas, il y en a deux. Cette indication vous permettra de déterminer si l'individu I₂ est homozygote ou hétérozygote.

Observez le phénotype de l'individu I₂ dans le document 14. La composition allélique et le phénotype suffisent pour déduire la relation de dominance entre A₁ et A₂.

b- Il y a lieu de formuler les hypothèses suivantes :

1^{ère} hypothèse : le gène correspondant est autosomal

2^{ème} hypothèse : le gène correspondant est lié à Y

3^{ème} hypothèse : le gène correspondant est lié à X

les infirmer ou les confirmer en exploitant les données fournies par les documents.

2. a- La maladie est liée à X, le chromosome Y ne porte pas d'allèles. Le garçon devrait avoir une seule tâche et la fille, deux tâches. Cherchez sur le document et vous trouverez la réponse.

b- Pour répondre à cette question, il faut mobiliser les réponses aux questions suivantes :

- le fœtus est homozygote ou hétérozygote ? Quel est son génotype ? Quel est l'allèle qui est responsable de la maladie ? Est-il dominant ou récessif ?

Corrigé exercice 3

1. a- D'après le document 15 le sujet I₂ est hétérozygote, car il possède les deux allèles A₁ et A₂, et puisqu'il est atteint (document 3), alors l'allèle responsable de la maladie est dominant.

b- 1^{ère} hypothèse : le gène correspondant est autosomal

Le sujet II₃ étant atteint, si la maladie est autosomale, alors il doit hériter un allèle normal de son père et un allèle responsable de la maladie de sa mère. C'est à dire qu'il doit être hétérozygote. Or, le document 4 montre qu'il ne possède que l'allèle A₂ responsable de la maladie. Donc, la maladie n'est pas autosomale.

2^{ème} hypothèse : le gène correspondant est lié à Y, I₂ est atteinte alors qu'elle ne possède pas de chromosome Y, donc cette hypothèse est à rejeter.

3^{ème} hypothèse : le gène correspondant est lié à X

Dans ce cas, le sujet II₃ atteint aurait le génotype XA₂ // Y, il aurait hérité Y de son père (I₁) et XA₂ de sa mère (I₂) qui devrait être atteinte, ce qui est le cas, donc l'hypothèse est confirmée.

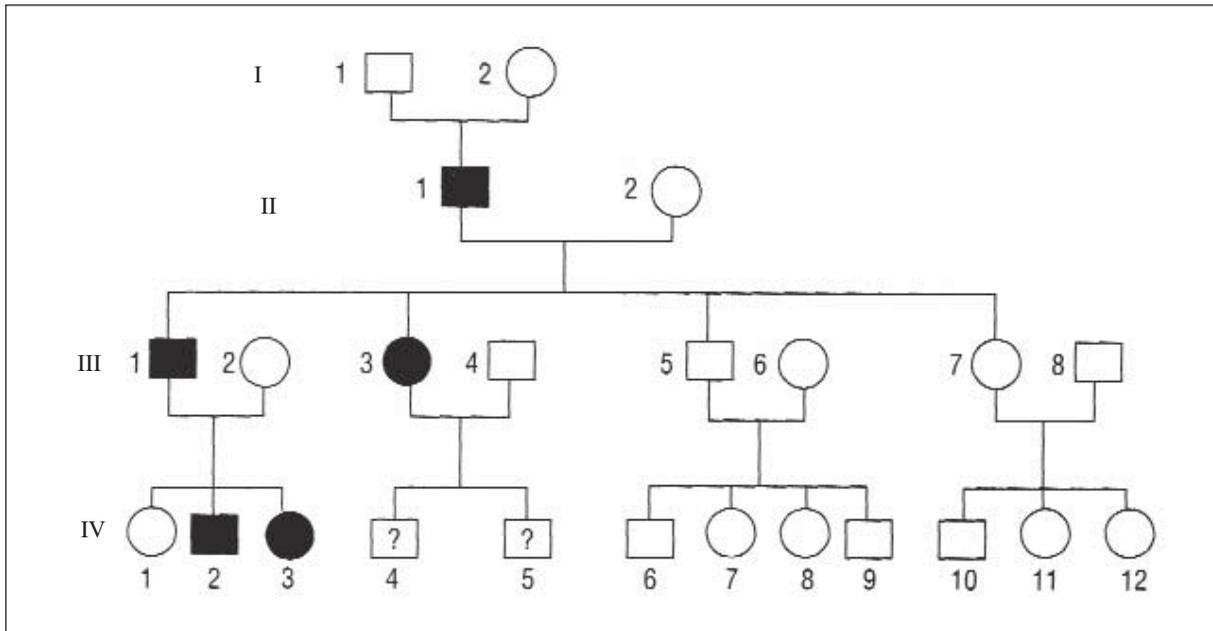
2. a- La maladie étant liée à X, le fœtus III₂ présente les deux allèles à la fois (A₂ et A₁) d'après le document 4. Donc, le fœtus ne peut être qu'une fille.

b- D'après le document 4, le fœtus est hétérozygote de génotype XA₂//XA₁ ; Or A₂ responsable de la maladie est dominant, donc, la fille sera atteinte.

Exercice 4

La chorée de Huntington est une maladie neurologique qui apparaît tardivement, entre 30 et 50 ans, et qui se caractérise par des mouvements épileptiques et la démence.

Voici l'arbre généalogique d'une famille dont certains membres figurés en noir sont atteints de cette maladie.



D'autres données permettent d'affirmer que le sujet II₂ est homozygote.

Questions :

1. Comment se fait la transmission de la maladie :

a- l'allèle de la maladie est-il récessif ou dominant ?

b- s'agit-il d'une hérédité liée au sexe ?

Justifiez vos réponses d'après le pedigree.

2. Comment expliquez-vous la maladie chez II₁ ?

3. Les sujets IV₄ et IV₅ risquent-ils d'être atteints ? Justifiez votre réponse.

4. Si IV₃ avait épousé IV₄ les risques que ce couple ait des descendants atteints de la maladie auraient-ils été plus grands que dans le cas de la question 3 ?

Signification de certains verbes d'action, utilisés dans les questions d'évaluation

Verbe-consigne (d'action)	Tâches demandées
Analyser	-Décomposer un ensemble en ses éléments constitutifs -Déterminer les rapports entre ces éléments
Analyser une courbe ou un graphique (en vue de déduire)	-Décomposer la courbe en parties séparées par des valeurs remarquables(maximum,minimum...) -Décrire la variation du phénomène étudié en fonction des coordonnées -Préciser à quoi correspond chaque partie -Déduire une conclusion
Analyser des résultats expérimentaux	-établir une relation entre les résultats et les conditions expérimentales
Analyser un tableau de données (en vue de déduire)	-Lire les données -Les mettre en relation -Déduire une conclusion
Analyser un texte scientifique (en vue de déduire)	-Lire attentivement le texte -Repérer les mots clefs -Dégager les idées essentielles -Mettre en relation ces idées

Remarque : souvent le verbe «analyser» est suivi (dans la même question ou la question suivante) d'un deuxième verbe qui vise l'exploitation de l'analyse (en vue de déduire, en vue de dégager une notion...)

Verbe consigne (d'action)	Tâches demandées
Expliquer	Rendre clair et compréhensible un fait ou un phénomène ou un concept, en exposant les causes ou les mécanismes du phénomène étudié.
Interpréter	Donner un sens à ce qui n'est pas compréhensible du premier coup,traduire sous une autre forme compréhensible. L'interprétation implique une analyse.
Commenter	Faire des remarques,des observations pour faciliter la compréhension
Définir	Préciser le sens d'une notion ou d'un concept en indiquant ses caractères essentiels,ses qualités propres.
Comparer	Rechercher les ressemblances et les différences de deux faits ou deux phénomènes en se référant à des critères bien définis.
Déduire	Tirer des conclusions,des conséquences logiques,des relations...à partir de résultats ou de données explicites.
Nommer	Donner le nom
Justifier, argumenter, montrer	Présenter les arguments ou des preuves en faveur de la réponse proposée Prouver par un raisonnement logique ou par des arguments la validité d'une affirmation

- A

Albinisme : Absence congénitale et totale de la mélanine (substance de couleur brun foncé) dans la peau, le système pileux et les yeux.

Allèle : l'une des formes possibles pour un même gène. Chez les organismes diploïdes, les gènes sont présents en deux exemplaires. Les deux allèles homologues peuvent être différents ou identiques.

Amniocentèse : prélèvement de liquide amniotique, et des cellules fœtales qui s'y trouvent, à travers la paroi abdominale, dans le but de détecter d'éventuelles anomalies chromosomiques ou génétiques.

ATP (Adénosine triphosphate) : composé riche en énergie, disponible pour toutes les réactions chimiques.

consommant de l'énergie.

Autosome : chromosome non sexuel. Les 22 paires d'autosomes sont identiques pour l'homme et la femme.

- B

Brassage intrachromosomique : création de nouvelles combinaisons de gènes (chromatides recombinées) entre deux chromosomes homologues, par crossing-over en prophase 1 de méiose.

Brassage interchromosomique : création de nouvelles combinaisons haploïdes de chromosomes qui a pour origine la ségrégation indépendante des chromosomes homologues à l'anaphase I de la méiose.

- C

Caryotype : garniture chromosomique d'une cellule, définie par le nombre et la forme des chromosomes métaphasiques. Il est caractéristique de l'espèce.

Coelioscopie : technique d'observation médicale qui consiste après injection d'air ou de gaz stérile dans l'abdomen à visualiser l'intérieur de la cavité abdominale.

Complexe hypothalamo-hypophysaire (CHH) : ensemble formé par l'hypothalamus et l'hypophyse. Le regroupement de ces deux organes sécréteurs est dû au fait que certaines hormones agissent sur l'un et sur l'autre. Au sein du CHH l'hypothalamus exerce une influence sur l'hypophyse par l'intermédiaire d'une neurohormone, la GnRH.

Contraceptif : molécule, dispositif ou technique qui empêche la fécondation ou la nidation d'un embryon.

Cryptorchidie : anomalie congénitale qui se caractérise par l'absence des testicules dans le scrotum à la suite de l'arrêt de leur descente dans la cavité abdominale.

- D

Daltonisme : trouble de la vision des couleurs dû à un allèle récessif porté par le chromosome X.

Diagnostic prénatal : recherche d'anomalies chromosomiques, géniques et congénitales sur le fœtus à naître.

- E

Echographie : technique médicale consistant à visualiser l'intérieur de l'organisme en transformant en images, à l'aide d'un ordinateur, des signaux émis sous forme d'ultrasons.

Effecteur : organe ou cellule différencié, assurant une réponse physiologique ou comportementale.

Electrophorèse : technique de séparation par un champ électrique des molécules chargées (acides nucléiques, protéines).

Endocrine : se dit d'une cellule ou d'une glande sécrétant des hormones dans le sang.

Exocytose : fusion de vésicules avec la membrane plasmique permettant la libération, à l'extérieur de la cellule, des substances contenues dans ces vésicules.

Excitabilité : capacité d'une cellule à répondre à un stimulus.

Fécondation : formation d'une cellule œuf par la fusion d'un gamète mâle et d'un gamète femelle.

FIVETE : abréviation de Fécondation In Vitro Et Transfert d'Embryon. L'embryon est transféré dans l'utérus après la fécondation in vitro.

Folliculostimuline (FSH) : hormone glycoprotéique, c'est une gonadostimuline ou gonadotrophine hypophysaire qui provoque la croissance du follicule ovarien chez la femme et stimule la spermatogenèse par l'intermédiaire des cellules de Sertoli chez l'homme.

- G

GABA : sigle anglais de Gamma Amino-Butyrique Acide : c'est un acide aminé qui agit comme neurotransmetteur inhibiteur. Il se fixe sur les canaux ioniques Cl^- et provoque leur ouverture.

GnRH ou gonadolibérine : neurohormone sécrétée par l'hypothalamus à destination de l'hypophyse dont elle stimule la sécrétion hormonale

Gène : unité génétique désignant une portion de molécule d'ADN déterminant un caractère héréditaire

Génome : totalité des gènes d'une cellule ou d'un organisme.

Génotype : ensemble des gènes présents chez un être vivant et gouvernant les caractères étudiés.

Gonadostimuline : hormone glycoprotéique qui agit sur le fonctionnement des gonades.

- H

Hétérozygote : se dit d'une cellule ou d'un organisme diploïde dont les gènes étudiés sont représentés par deux allèles différents.

Homozygote : se dit d'une cellule ou d'un organisme diploïde dont les gènes étudiés sont représentés par deux allèles identiques.

Hormone : messenger chimique, sécrété dans le sang par une cellule endocrine, distribué ainsi dans tout l'organisme, et modifiant le fonctionnement de cellules cibles possédant les récepteurs spécifiques de cette hormone.

Hybridation : croisement entre deux individus de lignées pures différents par un ou plusieurs caractères.

- O

Oligospermie : diminution du nombre de spermatozoïdes dans le sperme (inférieur à 60 000 par ml).

- P

Phénotype : ensemble des caractéristiques d'un organisme qui résultent de l'expression de ses gènes, les allèles dominants imposent leur information par rapport aux allèles récessifs.

- R

Récepteur (cellulaire, membranaire ou cytoplasmique) : protéine spécifique permettant la fixation d'un neurotransmetteur, d'une hormone, d'un antigène, etc.

Régulation : Mécanisme physiologique par lequel une variable du milieu intérieur est maintenue à une valeur définie .

Rétroaction (rétrocontrôle) : action en retour d'un paramètre sur le système qui l'a engendré. La rétroaction est négative si une augmentation du paramètre entraîne une diminution du paramètre qui l'a engendré. Elle est dite positive si l'augmentation du paramètre entraîne une augmentation du paramètre qui l'a engendré

- S

Site de transduction : zone de l'extrémité d'une dendrite d'un neurone sensitif où l'énergie du stimulus est convertie en une dépolarisation proportionnelle à celle-ci, cette dépolarisation est appelée potentiel de récepteur.

Somation : mutation somatique.

Sommation : propriété d'un neurone postsynaptique à réagir aux potentiels postsynaptiques inhibiteurs et aux potentiels post synaptiques excitateurs provenant des différents neurones faisant des synapses avec lui.

Sonde radioactive : séquence d'ADN ou d'ARN, marquée par un isotope radioactif, utilisé pour localiser et identifier le brin d'ADN complémentaire.

Stimulus : variation d'un paramètre de l'environnement ou de l'organisme, provoquant la réaction d'un récepteur sensoriel ou d'une cellule excitable.

- V

vaccination : stimulation des défenses immunitaires d'un individu par injection d'un antigène non pathogène

Virus : parasite cellulaire obligatoire constitué d'un acide nucléique et d'une enveloppe protéique. A l'inverse d'une Bactérie, le Virus ne peut se reproduire hors des cellules de l'organisme qu'il parasite.

BIBLIOGRAPHIE

- L'homme neuronal, Jean Pierre Changeux Edition Fayard, Paris, 1983
- Biologie, terminale D, collection ADN Hachette 1991
- Biologie terminale D, Nathan 1989
- Sciences de la vie et de la terre 1^{ère} S. Hachette 2006
- Biologie humaine 1^{ère} AB collection Escalier Nathan 1988
- Biologie géologie Terminale S, collection Calamand Hachette, 1994
- Sciences de la vie et de la terre Terminale S, Bordas 1994
- Sciences de la vie et de la terre Terminale S, Nathan 1994
- Biologie, Terminale D, Collection tavernier, Bordas 1994
- Sciences de la vie et de la terre, 3^{ème} année sciences expérimentales CNP 2006
- Sciences naturelles, 4^{ème} année de l'enseignement secondaire, section sciences expérimentales, édition CNP, 2005
- La cellule, De Boeck université, Bruxelles, Paris 1999
- Biologie, De Boeck Université, Bruxelles, Paris 2004.
- Histologie et biologie cellulaire, De Boeck Université Bruxelles Paris 2006.
- Cerveau et comportement, De, Boeck Université Bruxelles, Paris 2002.
- Physiologie humaine, Hervé Guénard Edition Paradel, Paris 2002
- Dictionnaire le petit Larousse, Larousse-Bordas, Paris 1998.
- Revue : science et vie (hors serie N° 190 mars 1995)
- Revue : science et vie junior (Dossier hors serie N°2 1990)
- SVT Terminale "S" obligatoire Nathan (2002)
- Revue science plus n° 33.
- collection synapses, Nathan, 1991
- Dictionnaire des Sciences de la Vie et de la Terre, Michel Breuil, Nathan, 1997.

Table des matières

		Pages
Préface		4
Thème 1	Neurophysiologie	6
Chapitre 1	Le tissu nerveux	7
Chapitre 2	L'activité réflexe	20
Chapitre 3	L'hygiène du système nerveux	57
Thème 2	Reproduction humaine et santé	70
Chapitre 1	Reproduction chez l'homme	71
Chapitre 2	Reproduction chez la femme	88
Chapitre 3	Procréation	115
Thème 3	Génétique humaine	128
Glossaire		156
Bibliographie		159