

RÉPUBLIQUE ISLAMIQUE DE MAURITANIE

Honneur - Fraternité - Justice



Ministère de l'Education et de la Réforme
du Système d'Enseignement

INSTITUT PEDAGOGIQUE NATIONAL

Sciences Naturelles

7^{ème} SN

Les auteurs :

Mohamed Mohamed Aly - Mohamed Mahmoud Abdella - Mamadou Salif Diop

Inspecteur

Inspecteur

Inspecteur

Maquette et mise en page:

Heibetna Yahya Brey

Designer à l'Institut Pédagogique National

2025

IPN



PREFACE

Collègues Educateurs,

Chers élèves,

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

Dans ce contexte, nous sommes heureux de mettre entre les mains des élèves de la 7^{ème}SN du secondaire, le manuel de Sciences Naturelles dans sa version révisée.

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

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

Concepteurs :

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

Le Directeur Général :
Dr. Cheikh Mouadh Sidi Abdallah



IPN

AVANT-PROPOS

Chers collègues Professeurs,

Chers élèves,

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

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

LA REPRODUCTION DES MAMMIFERES, LA REPRODUCTION DES SPERMAPHYTES,

LA GÉNÉTIQUE, LA PHYSIOLOGIE NERVEUSE, L'ACTIVITÉ CARDIAQUE ET LA PRESSION ARTÉRIELLE, LA RÉPONSE IMMUNITAIRE SPÉCIFIQUE.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Les auteurs :

Mohamed Mohamed Aly Mohamed Mahmoud Abdella Mamadou Salif Diop

Inspecteur

Inspecteur

Inspecteur

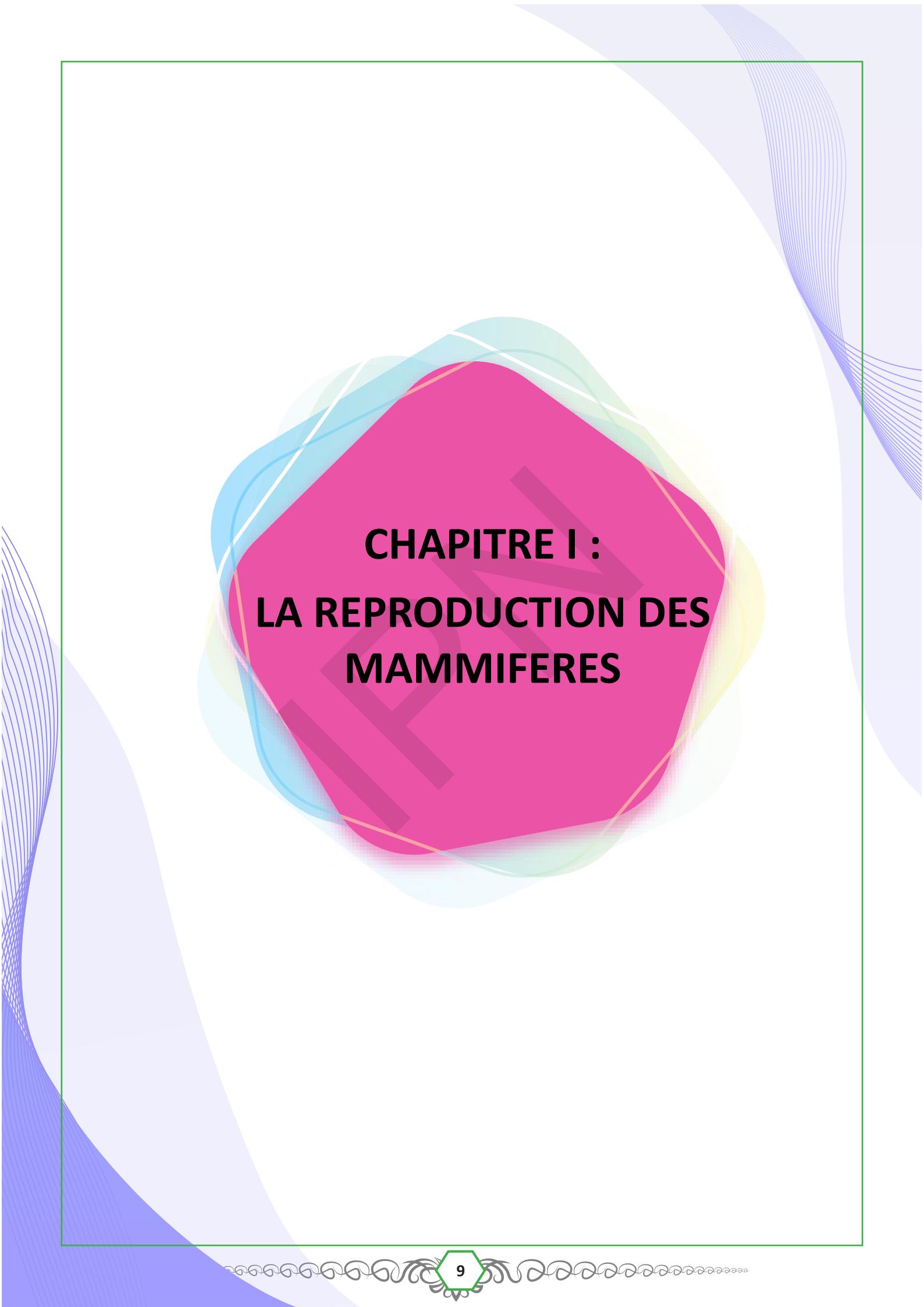
2025

IPN

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE I : LA REPRODUCTION DES MAMMIFERES.....	9
I- Activité sexuelle mâle.....	11
A- Appareil reproducteur.....	11
B- Fonctions du testicule.....	12
C- Régulation du fonctionnement de l'appareil génital de l'homme.....	16
II- Activité sexuelle femelle.....	19
A- Appareil reproducteur.....	19
B- Fonctions de l'ovaire.....	20
C- Cycle sexuel.....	25
D- Régulation de l'activité sexuelle femelle.....	31
III- Interruption du cycle sexuel.....	35
A- Fécondation.....	35
B- Gestation.....	40
C- Parturition.....	43
D- Allaitement.....	45
IV- Maîtrise de la procréation.....	48
A- Méthodes contraceptives et méthodes contagestives.....	48
B- Procréation médicalement assistée.....	50
C- Diagnostic prénatal.....	52
QCM.....	57
EXERCICES.....	63
CHAPITRE II : LA REPRODUCTION DES SPERMAPHYTES.....	81
I - Morphologie de la fleur.....	83
II- Les organes reproducteurs et la formation des gamètes.....	84
A- L'étamine.....	84
B- L'ovaire.....	87
III- Fécondation et formation de la graine.....	90
IV- Graine et germination.....	92
V- Cycle de développement et cycle chromosomique.....	97
QCM.....	99
EXERCICES.....	101
CHAPITRE III : LA GÉNÉTIQUE.....	111
I- Notions de base.....	113
II- Génétique formelle.....	114
A- Notions d'autofécondation et de fécondation croisée.....	114
B- Monohybridisme.....	115

C- Dihybridisme.....	128
III- Génétique humaine.....	144
A- Les outils et techniques.....	144
B- Etude de quelques cas.....	147
IV- Anomalies chromosomiques.....	152
A- Anomalies du nombre.....	152
B- Anomalies de structures.....	155
QCM.....	158
EXERCICES.....	159
CHAPITRE IV : LA PHYSIOLOGIE NERVEUSE.....	177
I- Organisation du système nerveux.....	179
II- Propriétés du tissu nerveux.....	184
A- Mise en évidence.....	184
B- Excitabilité.....	184
C- Conductibilité.....	186
III- Influx (message) nerveux.....	188
A- Dispositif d'enregistrement.....	188
B- Potentiel de repos.....	189
C- Potentiel d'action.....	190
IV- Les synapses.....	197
V – Réflexe inné.....	201
VI- Danger des psychotropes sur le fonctionnement du système nerveux.....	211
QCM.....	215
EXERCICES.....	218
CHAPITRE V : L'ACTIVITÉ CARDIAQUE ET LA PRESSION ARTÉRIELLE.....	231
I- Activité cardiaque.....	233
A- Structure du cœur.....	233
B- Etude expérimentale (grenouille).....	237
II- La pression artérielle et sa régulation.....	246
QCM.....	258
EXERCICES.....	261
CHAPITRE VI : LA RÉPONSE IMMUNITAIRE SPÉCIFIQUE.....	271
I- Réactions spécifiques.....	273
II- Dysfonctionnement du système immunitaire.....	283
III- Les aides à la réponse immunitaire.....	289
QCM.....	294
EXERCICES.....	295
BIBLIOGRAPHIE.....	306
REFERENCES.....	307



CHAPITRE I :

LA REPRODUCTION DES

MAMMIFERES

IPN

CHAPITRE I : LA REPRODUCTION DES MAMMIFERES

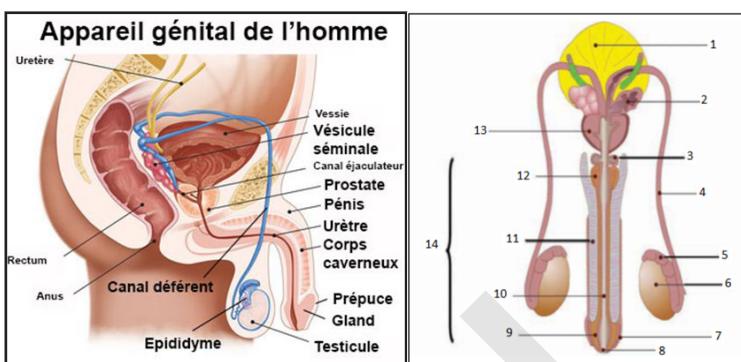
Je découvre :

I- Activité sexuelle mâle

A- Appareil reproducteur

Activité 1 :

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



Annoter la 2^{ème} figure du document puis dégager les principales parties de l'appareil génital mâle sous forme d'un tableau.

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

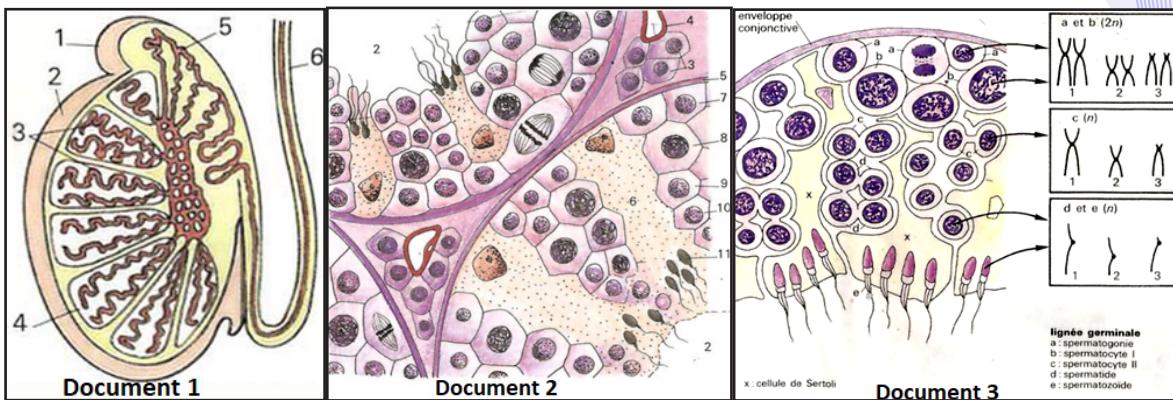
GONADES	Testicules	Glandes ovoïdes de 4 à 5 cm de long logées à l'extérieur du corps dans un sac cutané (scrotums ou bourses).
VOIES GÉNITALES	Epididymes	Organes coiffant les testicules contenant un long canal (6 m) pelotonné sur lui-même.
	Canaux déférents (Spérmiductes)	Fins canaux de 40 cm de long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

B-Fonctions du testicule

Activité 2 :

Connaitre les fonctions du testicule.

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



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

- Fonction exocrine du testicule :

✓ Mise en évidence des tubes séminifères :

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

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

✓ Examen de Coupes histologiques :

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

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

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

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

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

✓ Formation et caractères des gamètes mâles :

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

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

✓ Le déroulement de la spermatogenèse :

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

- Les cellules situées à la périphérie du tube (gonies ou cellules souches) subissent quelques mitoses qui

donnent naissance à plusieurs spermatogonies.

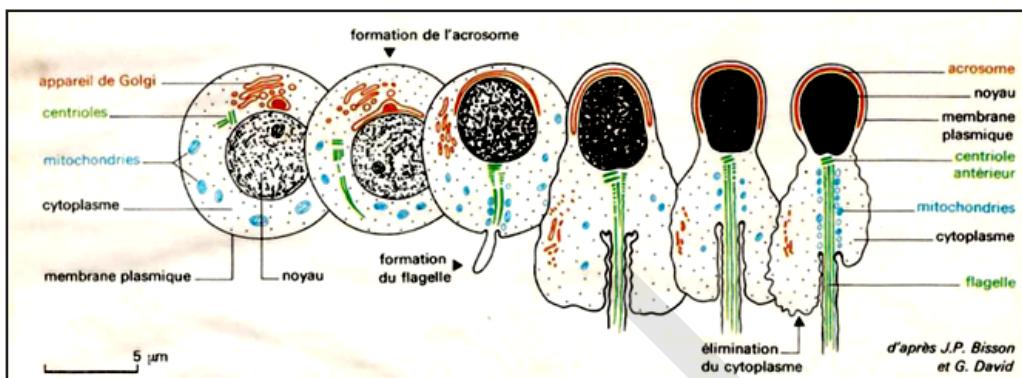
Ces mitoses renouvellent le capital en cellules souches et assurent une multiplication des cellules reproductrices.

- Les spermatogonies subissent un faible accroissement et deviennent des spermatocytes de premier ordre.
- Pendant cette phase, chaque spermatocyte de premier ordre se divise en 2 spermatocytes de deuxième ordre qui, à leur tour, se divisent chacun en 2 spermatoïdes.

Ces 2 divisions étroitement enchaînées constituent le phénomène de méiose.

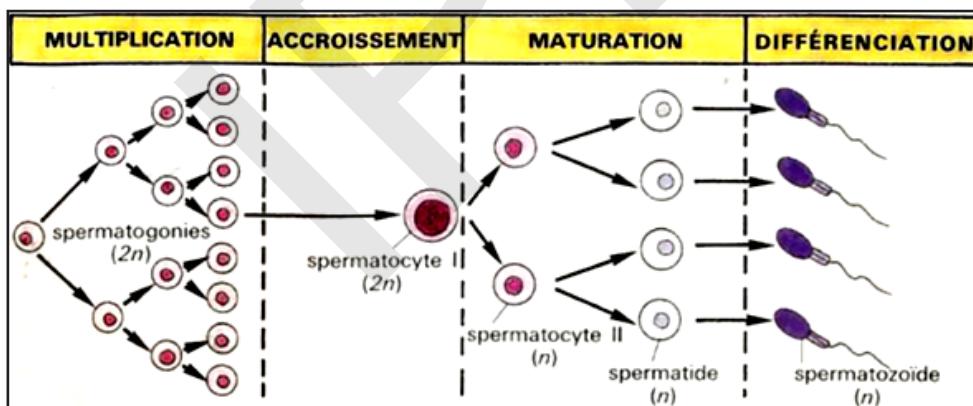
- Chaque spermatoïde se transforme ensuite en spermatozoïde au cours d'une phase de différenciation appelée spermiogénèse.

Le schéma suivant résume cette évolution :



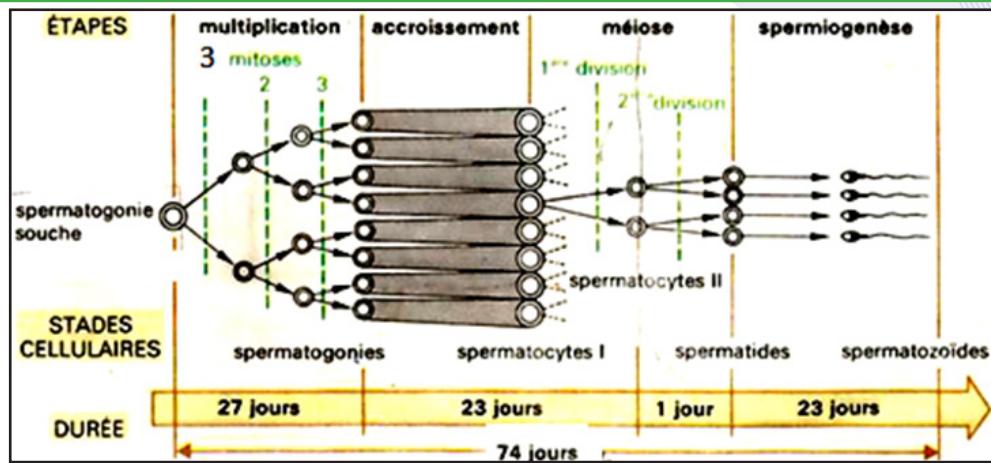
Ainsi la spermatogénèse comprend :

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



✓ La durée de la spermatogénèse :

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



Elle a été évaluée à 74 jours chez l'Homme (de la gonie souche au spermatozoïde) avec un temps sensiblement égal pour la phase de multiplication, de méiose et de spermogénèse.
La division du spermatocyte II en 2 spermatoïdes demande seulement 1 jour ; ce qui explique la rareté des spermatocytes II sur les coupes.

Les cellules de Sertoli

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

✓ Le résultat à la sortie du tube séminifère.

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

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

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

✓ Le transit dans les voies génitales :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Le sperme comprend :

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

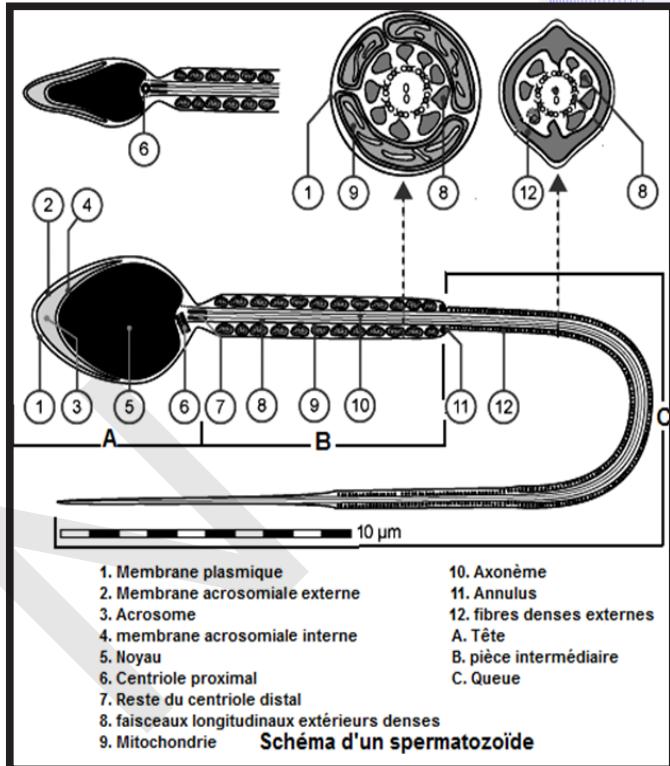
NB- Le volume de l'éjaculat et la concentration en spermatozoïdes varient suivant les espèces et chez un même individu en fonction de la fréquence des émissions.

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

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

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

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



- Fonction endocrine :

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

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

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

Activité 3 :

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

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

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

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

- L'hypophyse contrôle le fonctionnement des testicules :

- Mise en évidence expérimentale

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

- Action des hormones hypophysaires :

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

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

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

- L'hypothalamus contrôle l'hypophyse :

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

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

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

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

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

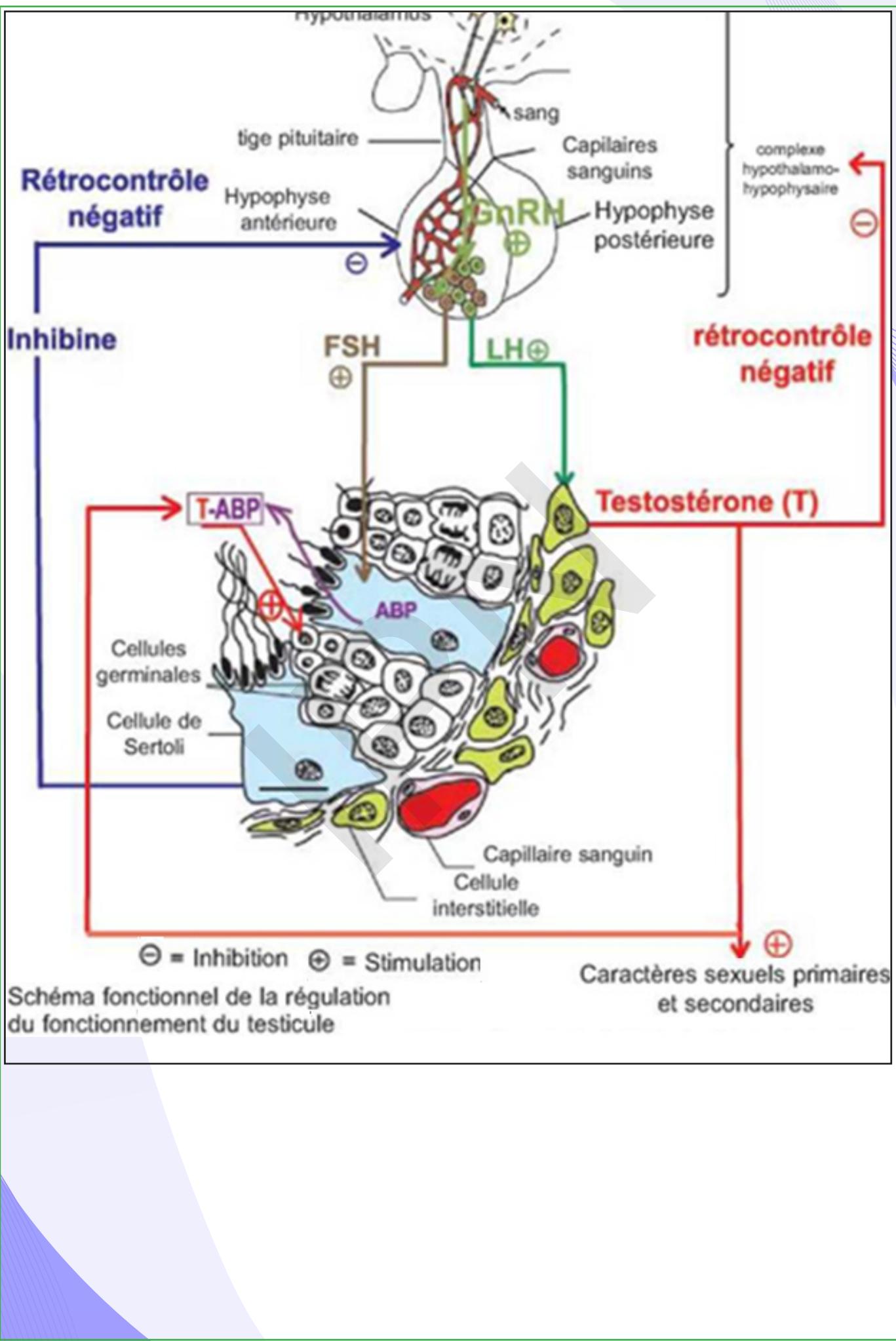
Hormones	Origine	Rôles
FSH	Hypophyse antérieure	- stimule la multiplication des gones
		- stimule la sécrétion d'ABP
LH (ICSH)		- stimule la sécrétion de la testostérone
GnRH	Cellules hypothalamiques.	- stimule l'hypophyse à sécréter la FSH et la LH.

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

Des expériences montrent que la testostérone exerce en permanence un effet modérateur sur l'axe hypothalamo-hypophysaire. Ce mécanisme, 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 des gonadostimulines et le testicule, moins stimulé, abaisse sa production de testostérone.

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

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



II- Activité sexuelle femelle

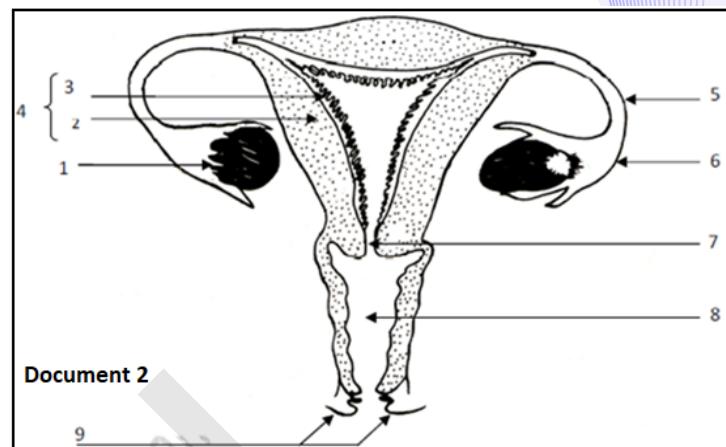
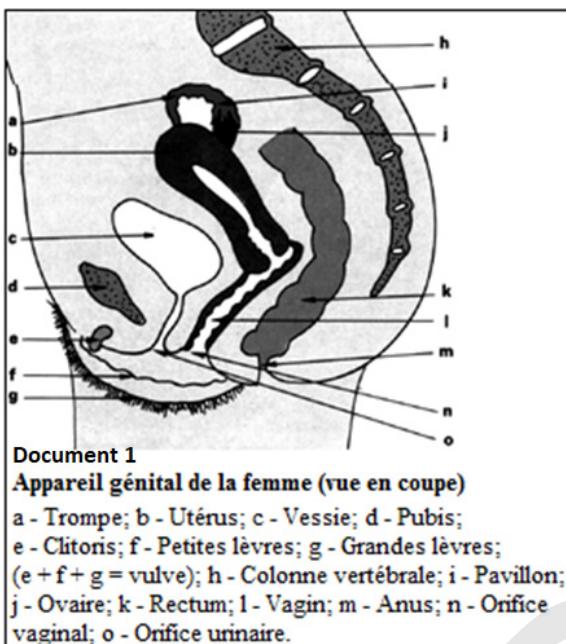
A- Appareil reproducteur

Activité 4 :

Organisation de l'appareil génital chez la femme.

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

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



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

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

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

B- Fonctions de l'ovaire

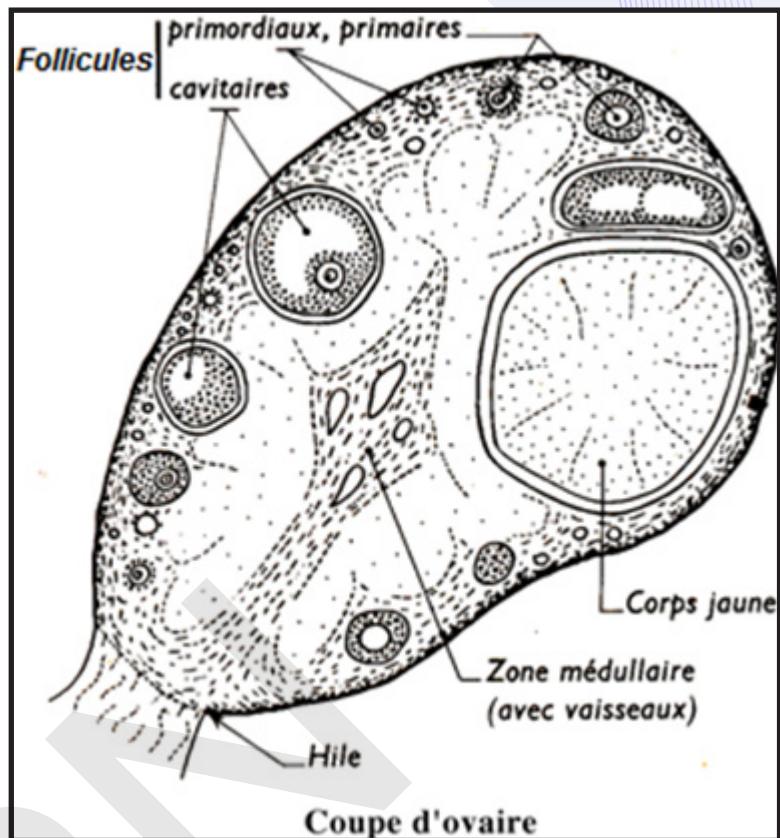
Activité 5 :

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

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

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

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



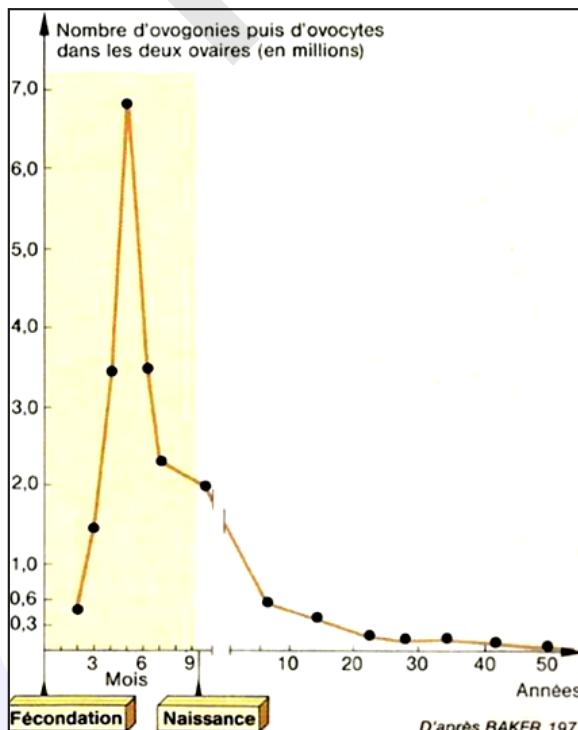
Activité 6 :

Etude de la fonction exocrine de l'ovaire.

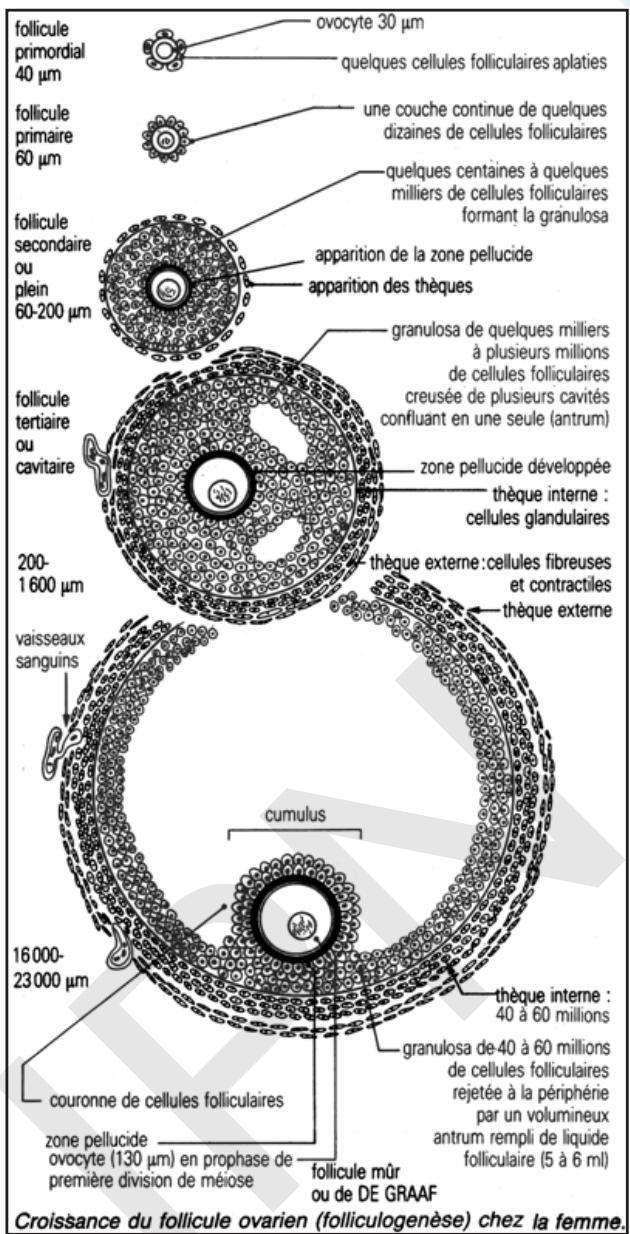
L'ovaire est une glande mixte ; c'est-à-dire ayant deux fonctions :

- Fonction exocrine : production des gamètes femelles
- Fonction endocrine : sécrétion des hormones.

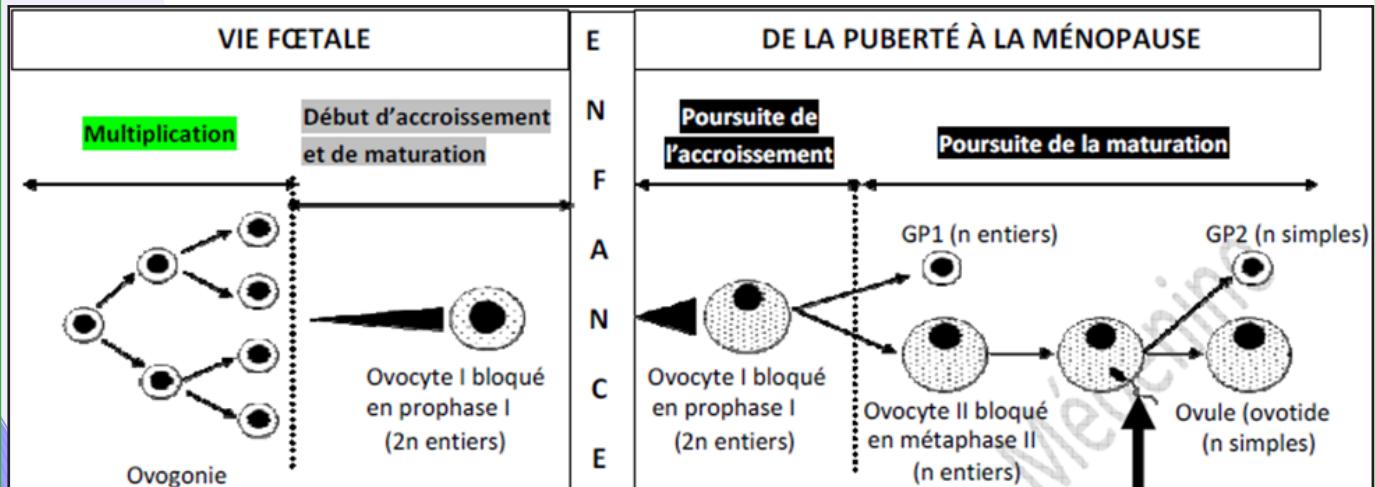
Document 1 : La variation du nombre d'ovogones puis d'ovocytes dans les deux ovaires en fonction de l'âge.



Document 2 : La folliculogenèse chez la femme.



Document 3 : Les étapes de l'ovogénèse.



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

Le graphe du document 1 montre une diminution du nombre de cellules germinales à partir du 6^{ème} mois qui aboutit à une valeur 0 vers 50 ans.

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

- la diminution la plus marquée a lieu après le 6^{ème} mois de la vie fœtale, après avoir atteint le nombre maximal de 7 millions de cellules germinales (6^{ème} mois) ;

- une autre période brève d'involution a lieu peu après la naissance ;

- la plus longue période de diminution dans le temps et la moins spectaculaire s'observe durant la puberté.

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

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

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

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

- **follicules secondaires ou pleins** : l'ovocyte I a encore grossi. Les cellules folliculaires se sont multipliées et forment autour de l'ovocyte un épithélium folliculaire pluri stratifié. Ce dernier va donc former la couche granuleuse ou granulosa. Autour de l'ovocyte, on distingue nettement une zone amorphe, non cellulaire, formée de glycoprotéines : c'est la zone pellucide. Les cellules adjacentes de la granulosa émettent des prolongements cytoplasmiques qui traversent la zone pellucide pour assurer l'approvisionnement de l'ovocyte I. Les cellules de la granulosa, comme l'ovocyte, sont nourries par diffusion à partir des capillaires de la thèque. Au-delà de la membrane basale, le stroma ovarien se transforme en thèque du follicule qui commence à se différencier en thèque interne faite de cellules à aspect glandulaire et en thèque externe fibreuse. Les thèques sont parcourues par des vaisseaux sanguins.

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

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

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

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

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

	diamètre moyen de l'ovocyte en µm	diamètre moyen du follicule en µm	nombre moyen de cellules folliculaires
follicule primordial	25	30	quelques unités
follicule primaire	45	60	quelques dizaines
follicules pleins	↓ 80	↓ 200	↓ 4 000
follicules cavitaire	↓ 130	↓ 16 000	↓ 47 000 000
follicule mûr	130	20 000	60 000 000

**Taille des follicules chez la femme
(d'après A; GOUGEON 1931)**

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

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

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

- Avant la puberté :

L'ovogenèse (document 3) commence approximativement au cours de la 7^{ème} semaine de la vie embryonnaire. Les cordons sexuels corticaux invaginés se débloquent en clones cellulaires isolés qui prolifèrent par la suite. Les ovogonies restent toutefois, reliées par des ponts cytoplasmiques permettant ainsi la synchronisation de la mitose et des étapes de la méiose. Au cours de la 12^{ème} semaine, les ovogonies entrent en méiose et donnent des ovocytes I qui se bloquent en fin de prophase I. Cette phase de repos peut durer jusqu'à l'âge adulte. Se libérant de leur réseau clonal, les ovocytes I s'entourent de cellules épithéliales somatiques aplatis (cellules folliculaires) et forment les follicules primordiaux quiescents. Vers le 7^{ème} mois, le cortex ovarien contient environ 7 millions de follicules primordiaux

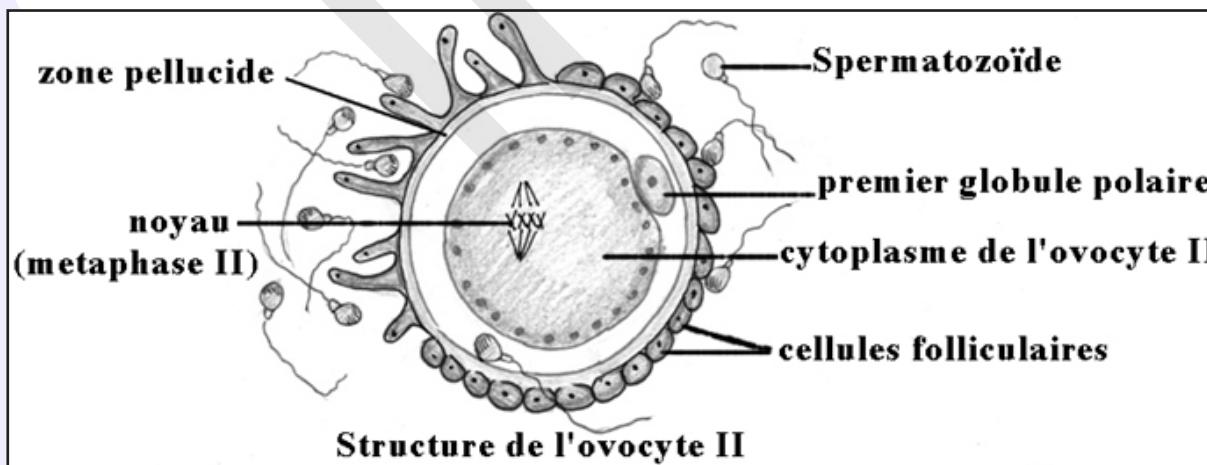
(7 millions d'ovocytes I). A la naissance, il n'en reste qu'environ 2 millions et après la puberté, encore environ 250 000 par ovaire. Les autres dégénèrent en masse : phénomène d'**atrésie**. Celle-ci constitue le destin normal d'un follicule ou d'une cellule germinale femelle alors que l'ovulation représente l'exception.

- Après la puberté.

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

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

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



- Particularités cytologiques de l'ovocyte II :

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

- Particularités chromosomiques :

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

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

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

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

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

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

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

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

Maturation et accroissement ne sont pas séparés en ovogenèse.

- La spermatogenèse commence à la puberté alors que l'ovogenèse commence avant la naissance reprend à la puberté d'une façon cyclique.
- L'ovogenèse s'achève en dehors des ovaires alors que la spermatogenèse s'achève dans les testicules.

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

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

C- Cycle sexuel

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

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

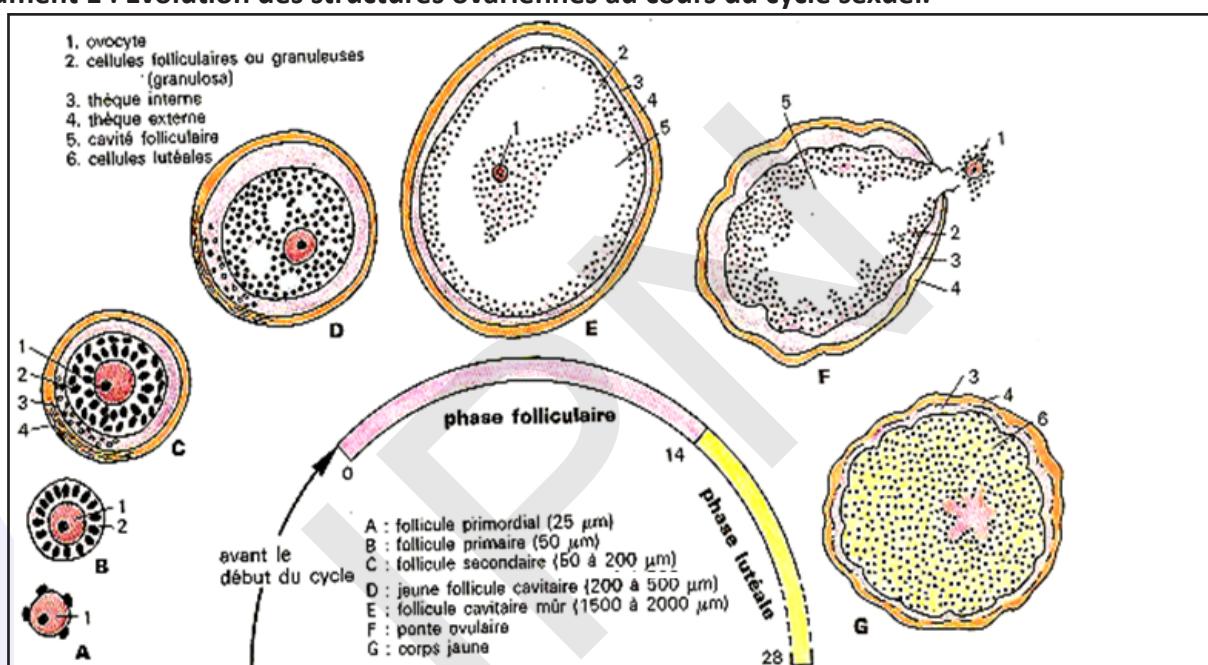
Chez le mâle, le fonctionnement de l'appareil génital est continu et ne se traduit extérieurement par aucun signe visible. Au contraire l'appareil génital de la femme est caractérisé par un fonctionnement cyclique qui débute de la puberté et s'achève à la ménopause. Le cycle génital, dont la durée moyenne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

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

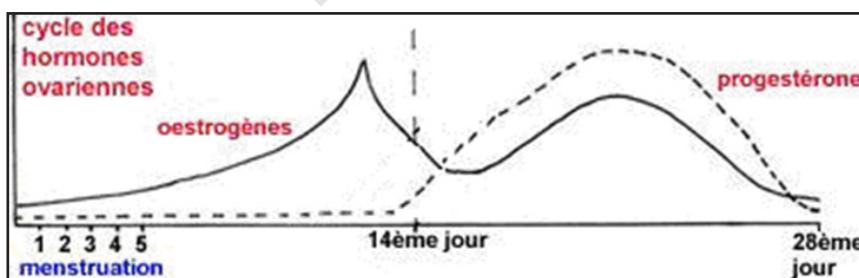
Activité 7 :

Comment se déroule l'activité des ovaires ?

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



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



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

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

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

- L'ovulation ou ponte ovulaire :

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

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

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

L'ovulation est un phénomène rapide (quelques minutes).

Le nombre des ovulations varie avec les espèces, en moyenne :

- ✓ 1 gamète chez la Femme et chez la Vache,
- ✓ 2 chez la Brebis,
- ✓ 8-30 chez la Truie,
- ✓ 6-17 chez la Ratte.

L'ovulation alternée, ovaire droit, ovaire gauche, semble la règle chez la Femme.

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

Chez certaines femelles (Chatte, Lapine, femelle du Furet, du Vison, de l'Ecureuil), au contraire, ce sont les stimuli de l'accouplement qui déclenchent la rupture ; c'est l'ovulation provoquée. Cette distinction est sans doute trop rigide et il est probable qu'il existe dans certains cas des ovulations provoquées chez la Femme.

- Phase lutéinique :

* Après l'ovulation, le follicule rompu se transforme en corps jaune. Il se referme, les vaisseaux sanguins pénètrent dans la granulosa dont les cellules se transforment en cellules lutéiniques ou lutéales.

Les cellules de la thèque interne accompagnent la pénétration des vaisseaux et participent à la constitution du corps jaune. Il persiste au centre du corps jaune une cavité occupée par un caillot sanguin.

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

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

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

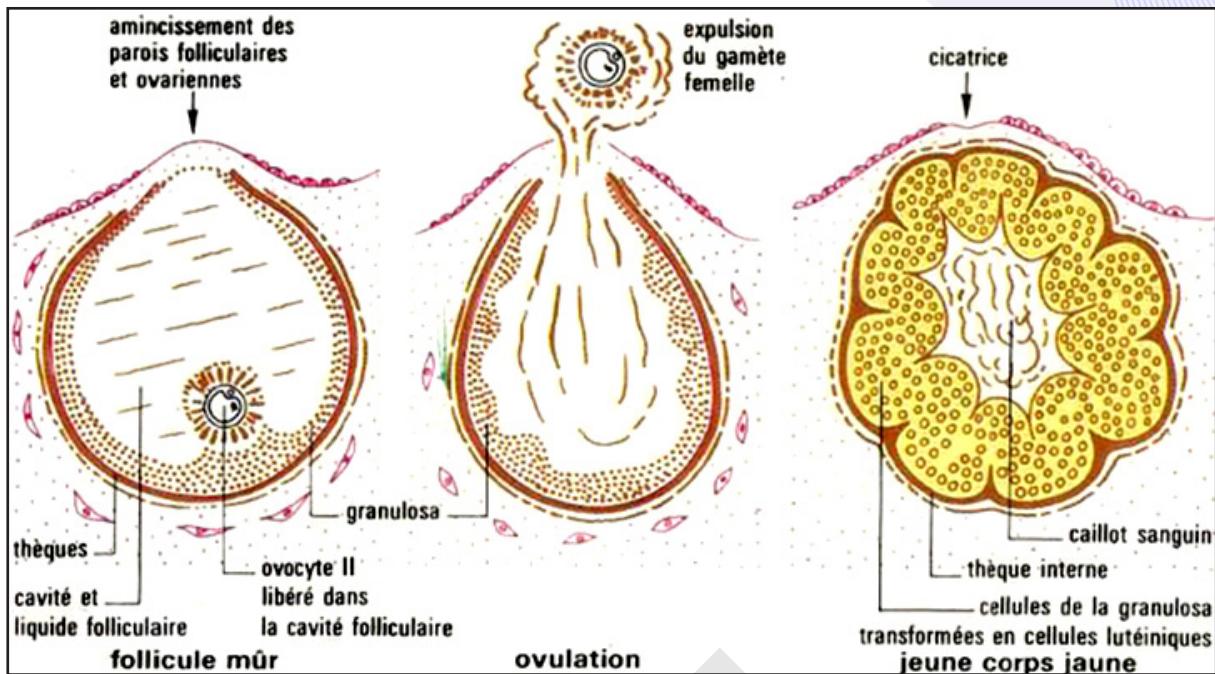
Si au contraire il y a fécondation et qu'un jeune embryon se fixe dans l'utérus le corps jaune persiste, se développe, et prend le nom de corps gestatif ou de grossesse.

Le cycle hormonal (document 2) se caractérise par :

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

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

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



Activité 8 :

Comment se déroule l'activité de l'utérus ?

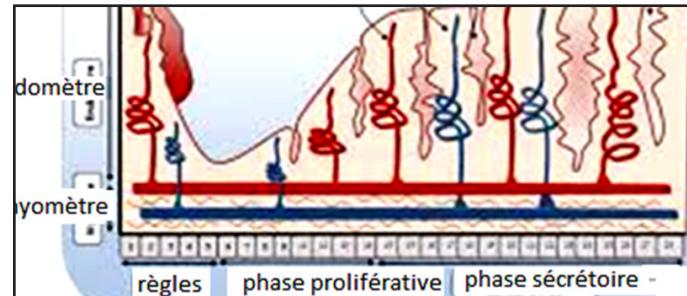
La paroi de l'utérus est constituée de 2 parties : une épaisse couche de muscles lisses (myomètre) tapissée intérieurement d'une fine muqueuse appelée endomètre.

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

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

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

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



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

* De J₁ à J₅ (phase de desquamation), la chute des taux plasmatiques d'oestrogènes et de progestérone liée à la dégénérescence du corps jaune provoque l'affaissement de la zone fonctionnelle de l'endomètre avec insuffisance d'apport de sang due aux contractions rythmiques des artéries. Ceci entraîne une nécrose des glandes, du chorion et des vaisseaux : d'où menstruations (phase menstruelle).

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

* De J₅ à J₈ (phase de régénération), la croissance de l'endomètre à partir des culs de sacs glandulaires

est stimulée par le 17 bêta-oestradiol. L'épithélium de surface se réforme, les glandes et les artéries s'allongent un peu. On note de nombreuses mitoses dans l'épithélium de surface, les glandes et le chorion.

* De J₉ à J₁₄ (phase de prolifération), la croissance de l'endomètre continue. On observe une légère sinuosité des glandes et un début de spiralisation des artères en profondeur dus à un allongement respectif des glandes et des artères plus rapide que celui du chorion. Les cellules épithéliales augmentent de hauteur présentant un pôle apical clair (phase postmenstruelle).

- Phase lutéinique (phase prémenstruelle) :

* De J₁₅ à J₂₁ (phase de transformation glandulaire), sous l'action combinée des œstrogènes et de la progestérone, les glandes deviennent plus longues et plus sinueuses et les artéries plus spiralées. La sécrétion débutante du glycogène au pôle basal des cellules est provoquée par la progestérone.

* De J₂₂ à J₂₈ (phase de sécrétion glandulaire), la lumière glandulaire est déformée par des pointes ou épines conjonctives du chorion. Ainsi, les glandes devenues très contournées sont dites glandes en dents de scie ou glandes ramifiées. Les artéries atteignent leur spiralisation maximale. Gagnant le pôle apical des cellules, le glycogène est excrété : c'est la phase de sécrétion-excrétion. Les 21 et 22^{ème} jours du cycle sont marqués par un œdème du chorion lié au taux plasmatique maximal des hormones ovariennes.

Durant la phase lutéinique, l'endomètre continue à proliférer et atteint son épaisseur maximum (8 mm chez la Femme). D'autre part les contractions utérines qui existaient lors de la phase folliculaire, cessent créant ainsi un silence utérin. Ces conditions sont optimales pour une éventuelle nidation. Ces transformations ne s'interrompent que pendant la gestation et la ménopause. A chaque cycle, l'endomètre se prépare ainsi à la gestation, d'où le nom de phase progestative donné également à la phase lutéinique.

A la fin du cycle (si aucun embryon n'est venu s'implanter), la chute du taux des hormones entraîne la régression de l'endomètre. Il se produit à la fin de la phase lutéinique une régression de l'endomètre. Chez la plupart des Mammifères, la régression progressive ne se manifeste par aucun signe extérieur. Chez la Femme et certaines femelles de Singes il se produit au contraire un « décapage » de la majeure partie de l'endomètre, accompagné d'hémorragie par rupture des vaisseaux sanguins. L'élimination à l'extérieur des débris de muqueuse mêlés de sang constitue les règles ou menstruation.

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

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

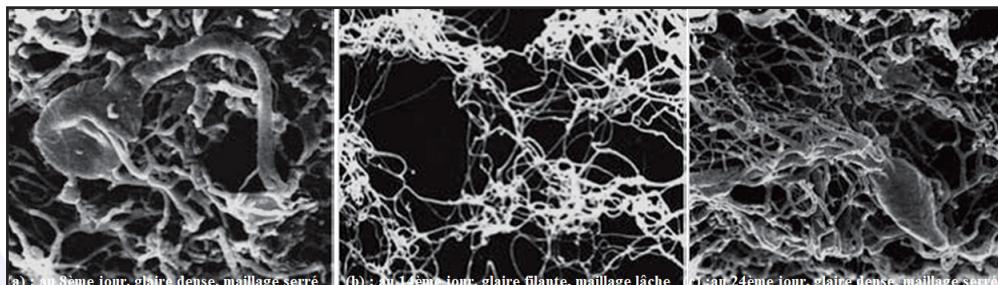
Si au contraire il y a fécondation et qu'un jeune embryon se fixe dans l'utérus, le corps jaune persiste, se développe, et prend le nom de corps gestatif ou de grossesse.

Activité 9 :

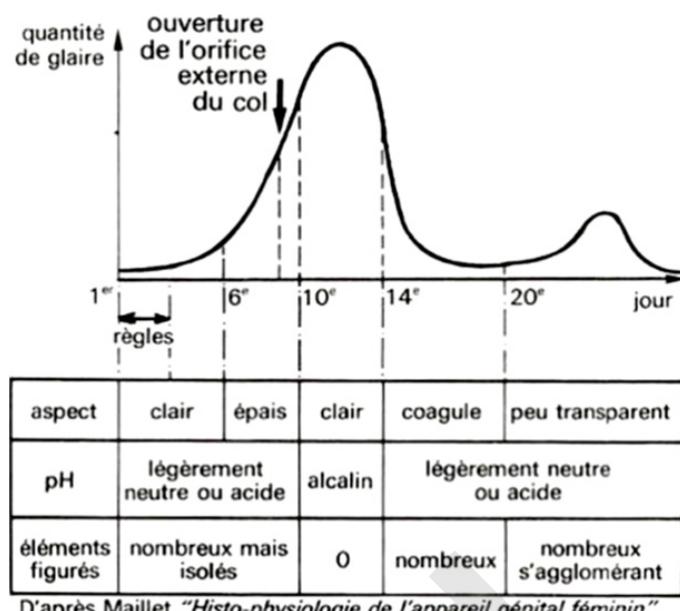
Quelles transformations observe-t-on au niveau du col de l'utérus ?

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

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



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



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

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

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

- créer un milieu basique favorable à la vie des spermatozoïdes (les sécrétions vaginales, très acides, sont hostiles) ;
- condamner l'accès de la cavité utérine en dehors de la période ovulatoire (de nombreux germes microbiens sont arrêtés par le maillage très serré) ;
- sélectionner les spermatozoïdes les plus vigoureux (les spermatozoïdes morphologiquement anormaux ou peu actifs ne passent pas le maillage).

Le cycle du myomètre comporte deux phases :

- En période postmenstruelle ou préovulatoire, le myomètre se contracte de façon rythmique.
- En période prémenstruelle ou post-ovulatoire, le myomètre se relâche : C'est le silence utérin. Le silence utérin constitue une condition favorable au bon déroulement de la gestation.

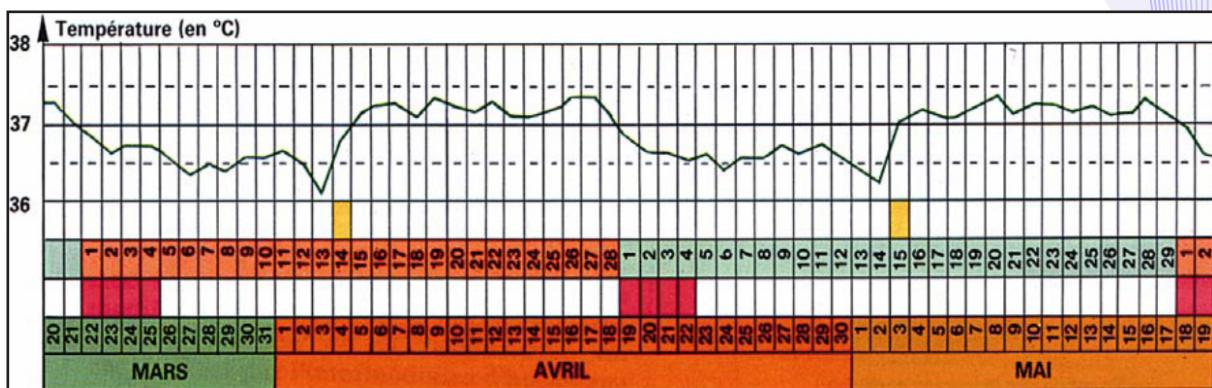


Activité 10 :

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

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

Le document ci-dessous exprime ces variations.



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

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

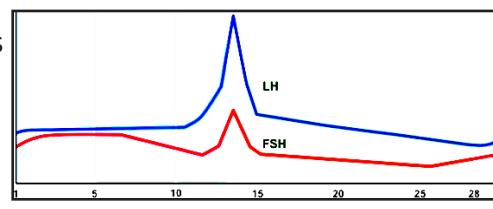
Autres effecteurs : Dès la puberté, les œstrogènes agissent sur l'organisme tout entier en faisant apparaître des caractères sexuels secondaires affectant, soit la morphologie (répartition du tissu adipeux, développement du système pileux, conformation du larynx et du bassin, croissance de la glande mammaire), soit la physiologie (métabolisme, équilibres nerveux et endocriniens), soit le psychisme et le comportement.

La glande mammaire est une glande en grappes dont chaque unité est formée d'un long canal galactophore terminé par un renflement, ou acinus, sécréteur. Les œstrogènes favorisent le développement des canaux galactophores et les sensibilisent à l'action de la progestérone, tandis que cette dernière contrôle la formation des acini (effets complémentaires). Mais ces deux hormones sont incapables, l'une et l'autre, de déclencher la sécrétion lactée. L'alternance des phases folliculaire et lutéinique entraîne de nombreuses variations périodiques d'ordre physiologique ou psychique : Chez de nombreuses femelles de mammifères, l'œstrus est marqué par un psychisme et un comportement spéciaux tendant à l'accomplissement de l'acte sexuel. Les œstrogènes agissent sur de nombreux organes et font apparaître tous les caractères de la féminité : ce sont les hormones de la femelle. La progestérone limite son action à la préparation du nid utérin et de la glande mammaire : c'est l'hormone de la mère. Les réactions vaginales, peu sensibles chez la femme, sont surtout remarquables chez les rongeurs. Ainsi, chez la ratte et la souris, l'examen d'un frottis vaginal montre principalement : avant l'œstrus, des cellules épithéliales normales, petites et nucléées ; pendant l'œstrus, des cellules kératinisées (cornées), grandes et anucléées ; après l'œstrus, des polynucléaires.

Activité 11 :

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

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



Analyser les graphes pour expliquer le cycle hypophysaire.

Deux gonadostimulines stimulent le fonctionnement ovarien :

*La FSH : son taux croissant au début régresse à partir du 7^e jour ; augmente ensuite et atteint son maximum vers le 13^e jour ; diminue après ovulation et se maintient faible pendant la phase lutéale mais

reprend deux jours avant la fin du cycle.

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

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

La sécrétion des gonadostimulines est pulsatile mais la fréquence et l'amplitude des pulses ne sont pas constantes au cours du cycle. Et c'est de la fréquence et de l'amplitude des pulses de gonadostimulines que vont dépendre les pulses d'œstrogènes et de progestérone.

D- Régulation de l'activité sexuelle femelle

Activité 12:

Connaitre les rôles de différents organes géniaux dans la régulation de l'activité sexuelle femelle.

Document 1 : Rôle de l'ovaire.

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

Document 2 : Rôle de l'hypophyse.

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

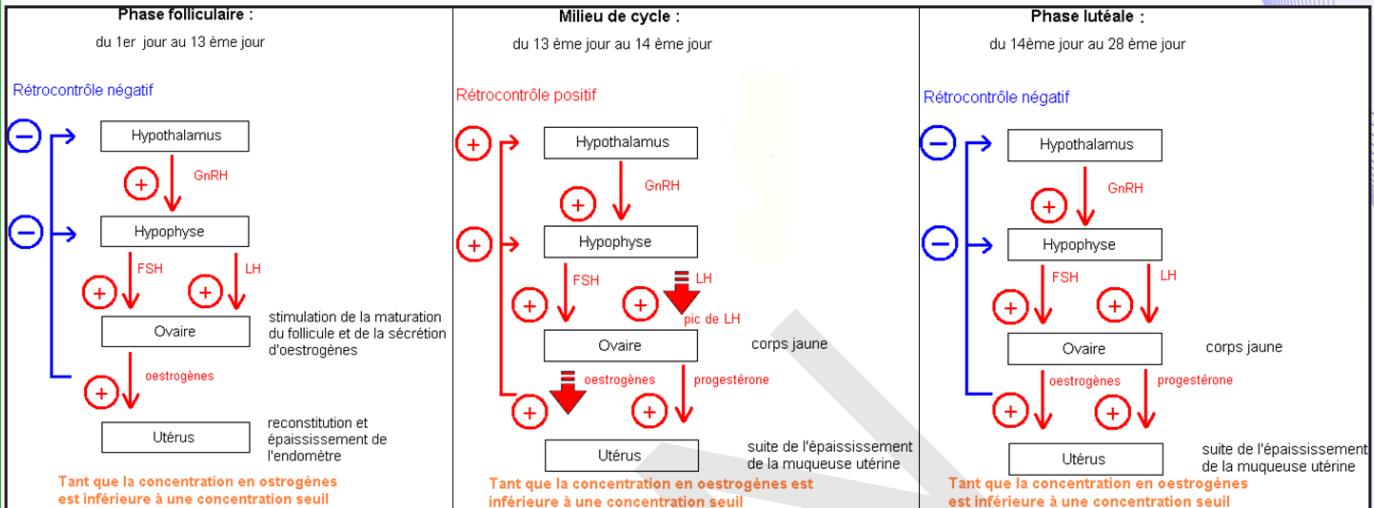
Document 3 : Rôle de l'hypothalamus.

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

* La destruction de certains amas de neurones hypothalamiques a provoqué l'arrêt de la libération de FSH et de LH par l'hypophyse antérieure.

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

Document 4 : Régulation du cycle sexuel.



Compléter les tableaux des documents 1 et 2 et avec l'aide des documents 3 et 4, montrer les interactions entre les différents organes cités puis établir un schéma fonctionnel résumant ces interactions.

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

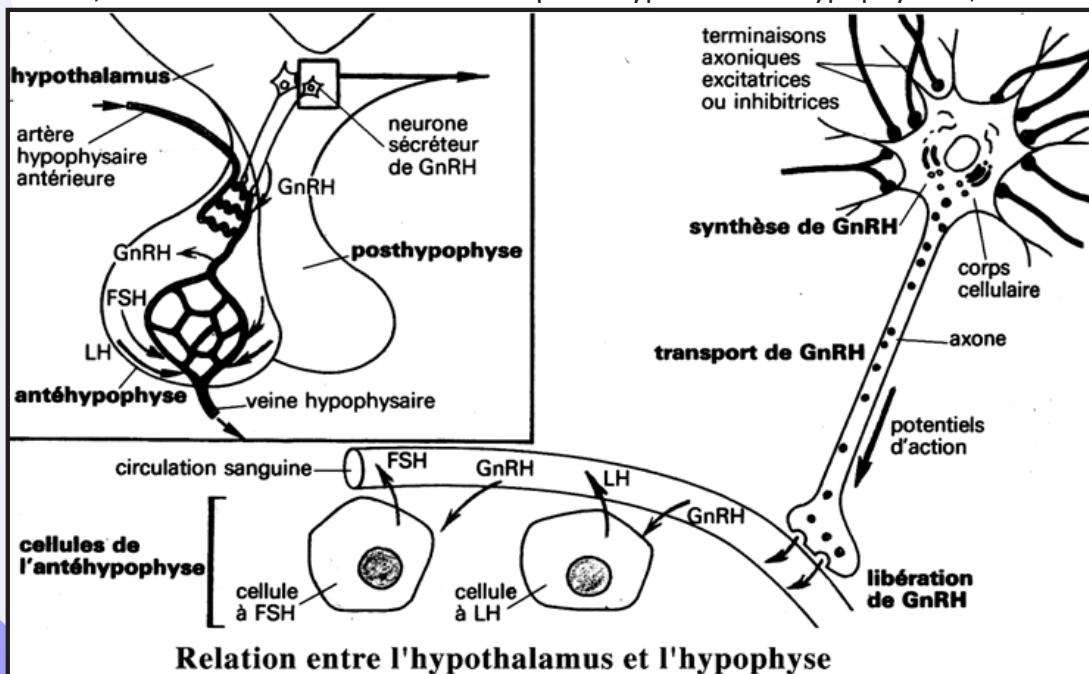
L'ablation des deux ovaires, expérimentalement chez l'animal ou pour des raisons médicales chez la femme, provoque un arrêt de l'évolution cyclique de l'utérus, régression des caractères sexuels primaires et secondaires, la stérilité et une hypertrophie de l'hypophyse. Ainsi, les ovaires contrôlent le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

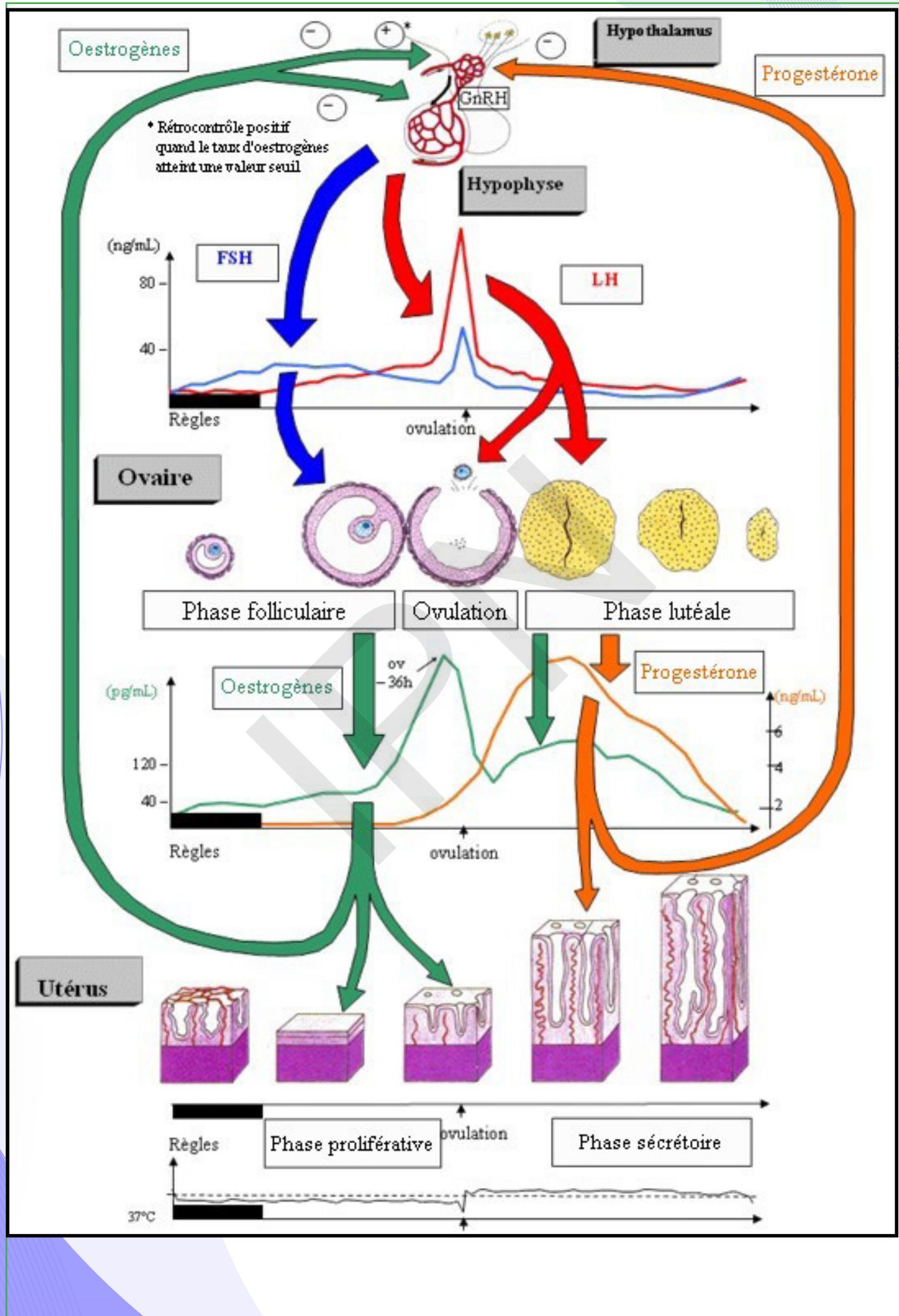
Expériences	Résultats	Conclusions
Hypophysectomie d'une ratte pubère.	Atrophie des ovaires et de l'utérus et disparition de leur cycle	L'hypophyse contrôle l'activité des ovaires et de l'utérus.
Greffé de l'hypophyse à sa place d'origine ou injections quotidiennes de ses extraits à des doses convenables.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

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

L'hypothalamus contrôle la sécrétion hypophysaire par l'intermédiaire d'une neurohormone : la GnRH ou gonadolibérine sécrétée par des neurones hypothalamiques au niveau des capillaires sanguins de la tige hypothalamo-hypophysaire (pituitaire). La sécrétion de GnRH est pulsatile dont la fréquence varie suivant la phase du cycle. La fréquence des pulses augmente au moment de l'ovulation (Document 3). L'ovaire exerce, par l'intermédiaire de ses hormones, un rétrocontrôle (feed-back) sur le CHH. Lorsque le taux d'œstradiol augmente, la sécrétion de FSH et LH diminue, c'est un RC(-) qui se produit au début du cycle (jusqu'au 10^{ème} j). On constate ensuite une augmentation rapide du taux d'œstradiol et aussi augmentation brusque (pic) de FSH et de LH, c'est un RC(+) qui se produit juste avant l'ovulation. Enfin, il y a un autre RC(-) exercé par les hormones ovariennes au cours de la phase lutéale. A la fin du cycle, la chute du taux des hormones ovariennes suite à la régression du corps jaune, entraîne une reprise de la sécrétion des hormones hypophysaires et un nouveau cycle recommence (Document 4).

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





III- Interruption du cycle sexuel

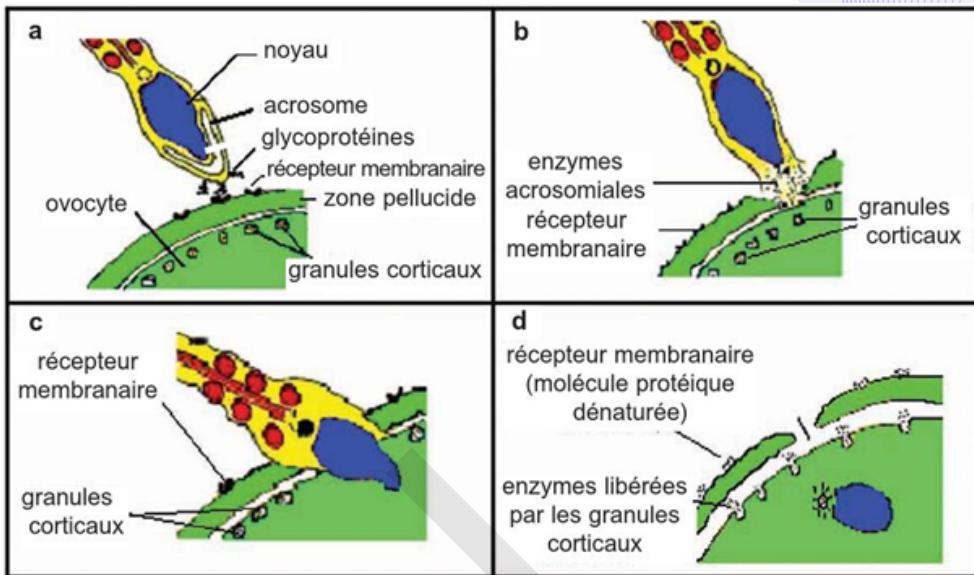
A- La fécondation

Activité 13:

Comment se fait la rentrée du gamète mâle dans l'ovocyte et quelles en sont les conséquences ?

Des observations au microscope électronique ont permis d'élucider le mécanisme de reconnaissance entre les gamètes. Elles ont aussi montré qu'un seul spermatozoïde franchit la zone pellucide et pénètre dans l'ovocyte (document ci-contre).

- En utilisant ces nouvelles données, expliquer la reconnaissance entre les gamètes.



- Décrire les transformations nucléaires et cytologiques déclenchées par la pénétration du spermatozoïde dans le cytoplasme ovocytaire.

- Expliquer le mécanisme assurant la monospermie.

- La reconnaissance entre les gamètes : Au moment de la fécondation, l'adéquation entre des récepteurs situés sur la zone pellucide qui entoure l'ovocyte et des protéines de reconnaissance situées sur le spermatozoïde permet la fixation du spermatozoïde à la zone pellucide. Cette fixation entraîne une réaction acrosomique, au cours de laquelle le contenu de l'acrosome, organite riche en enzymes digestives situé dans la tête du spermatozoïde, est répandu dans la zone pellucide. La zone pellucide, bien étudiée chez la souris, est composée de trois sortes de glycoprotéines appelées ZP₁, ZP₂ et ZP₃, de masses moléculaires respectivement égales à 200 000, 120 000 et 83 000. L'assemblage de ces trois glycoprotéines forme une enveloppe épaisse de 7 µm autour de l'ovocyte de souris. Chez toutes les autres espèces étudiées, la zone pellucide ne contient que quelques types de glycoprotéines. L'une de ces glycoprotéines, ZP₃ est le récepteur du spermatozoïde impliqué dans la fixation de ce dernier à la zone pellucide et est également impliquée dans la réaction acrosomique, probablement parce que la fixation rend la membrane plasmique des spermatozoïdes perméables aux ions calcium, facilitant ainsi la fusion des membranes plasmique et acrosomique du spermatozoïde.

La surface de la zone pellucide comporte ainsi des dizaines de millions de molécules ZP₃. Une molécule ZP₃ est elle-même une chaîne polypeptidique d'environ 400 acides aminés, sur laquelle sont fixées de courtes chaînes de sucres, les oligosaccharides, de plusieurs types. La chaîne polypeptidique n'intervient pas dans la fixation des spermatozoïdes. Les composants responsables de la fixation sont certains O-oligosaccharides de la molécule ZP₃. Par contre, la chaîne polypeptidique de la molécule ZP₃ est nécessaire pour déclencher la réaction acrosomique.

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

❖ Une réaction corticale avec formation de nombreuses vésicules, les granules corticaux, qui s'ouvrent à la surface libérant sous la zone pellucide du liquide périovulaire, constitue autour de l'ovocyte un espace (l'espace périvitellin) séparant l'ovocyte de la zone pellucide. Le contenu des granules semble modifier la

composition de la zone pellucide et pourrait expliquer le blocage des spermatozoïdes présents en périphérie, la zone pellucide assurerait ainsi le contrôle de la monospermie.

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

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

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

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

• Le blocage précoce de la polyspermie est dû à une modification de polarisation membranaire de l'ovocyte lors de la pénétration du spermatozoïde.

Le mécanisme moléculaire par lequel cette dépolarisation empêche la pénétration des nouveaux spermatozoïdes est mal connu mais il est bien réel. En effet, si l'on dépolarise artificiellement la membrane d'un ovocyte vierge à l'aide d'une microélectrode, les spermatozoïdes demeurent capables de se fixer sur cet ovocyte, mais ils ne peuvent y pénétrer. Cependant, rapidement après la pénétration du spermatozoïde, la membrane de l'œuf retrouve sa polarisation initiale. Un autre mécanisme de blocage de la polyspermie intervient donc : c'est le blocage tardif.

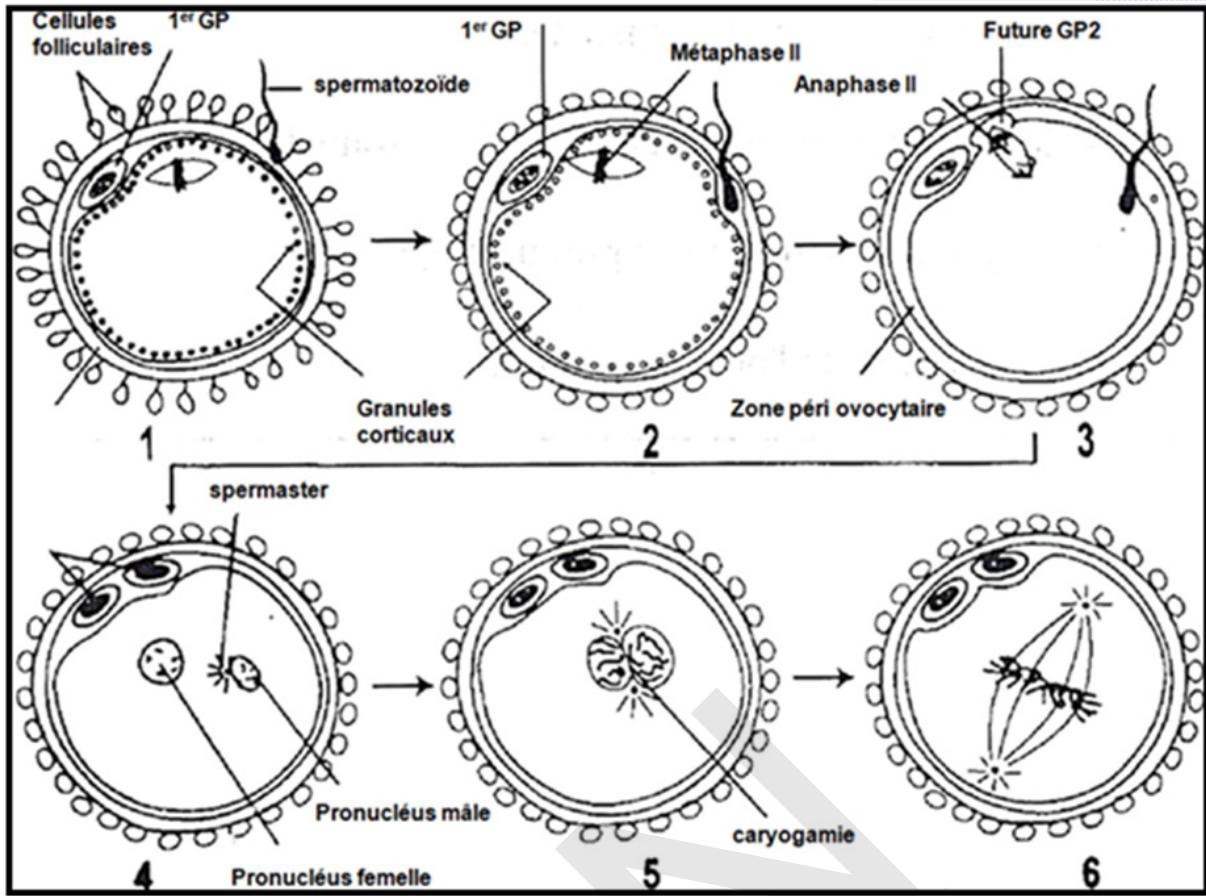
• Le blocage tardif de la polyspermie est dû à la libération du contenu des granules corticaux dans l'espace péri-ovocytaire. Parmi les substances libérées, diverses enzymes protéolytiques modifient les récepteurs protéiques de la zone pellucide et les rendent incapables de fixer des spermatozoïdes.

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

Activité 14 :

Décrire et caractériser les étapes de la fécondation.

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



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

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

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

La fécondation comprend les événements principaux suivants :

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

- Conditions de la fécondation :

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

➤ Éjaculation atteignant l'orifice du col et de bonne qualité : viscosité normale du liquide séminal, sperme aseptique, pH normal, nombre et qualité des spermatozoïdes. Les valeurs habituelles observées au cours

de l'examen du sperme sont le pH 7 à 8,7, la concentration en spermatozoïdes (40 à 100 millions/cm³) la mobilité (80 à 90 % de spermatozoïdes mobiles à l'émission) et l'aspect cytologique (moins de 25 % de formes anormales);

- Glaire cervicale de bonne viscosité et à pH alcalin ;
- Perméabilité des trompes (absence d'infection des voies génitales femelles) : Une bonne perméabilité tubulaire. Les trompes ne doivent pas être bouchées. Le sperme doit être déposé dans le vagin moins de 5 jours avant ou après l'ovulation. Le rapport doit avoir lieu dans la période féconde du cycle menstruel.

Rappel : Survie des spermatozoïdes 3 à 5 jours pouvant aller jusqu'à 7 jours.

- Délai entre rapport et ovulation inférieur à 3-4 jours, durée de la survie des spermatozoïdes dans les voies génitales de la femme. Survie de l'ovule 36 à 48 heures après l'ovulation.
- Réalité de l'ovulation: Une ovulation de moins de 36 à 48 heures avant l'acte sexuel. Toute perturbation de l'un de ces facteurs peut être une cause d'infertilité du couple.

- Déroulement de la fécondation :

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

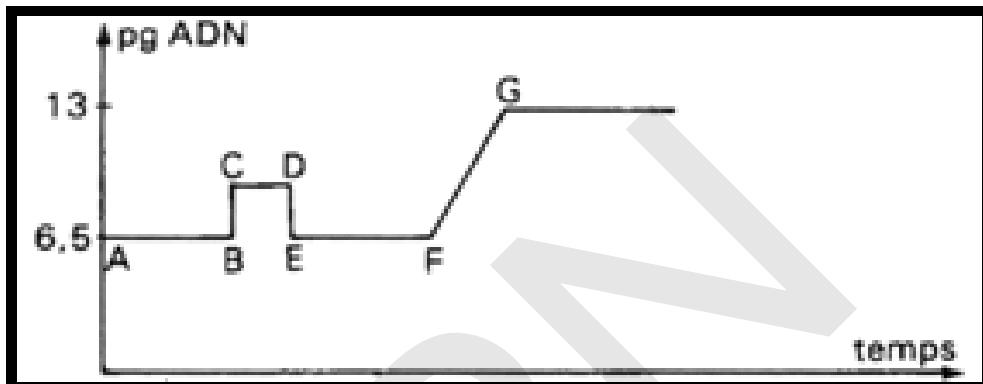
- Rencontre des gamètes (spermatozoïdes et ovocyte II) dans la partie supérieure de la trompe (tiers supérieur).
 - Pénétration de la « corona radiata » : Le processus de fécondation commence avec la pénétration des spermatozoïdes dans la couche de cellules folliculaires qui entourent l'ovocyte : la corona radiata. Les spermatozoïdes traversent cet ensemble de cellules grâce à la libération d'enzymes hyaluronidases et aux mouvements de leur flagelle.
 - Reconnaissance entre les gamètes : les spermatozoïdes se lient à des récepteurs situés dans la zone pellucide (ZP₃).
 - Réaction acrosomique : Après la libération des enzymes hydrolytiques contenues dans l'acrosome (acrosine) suite à l'entrée de Ca²⁺, les membranes de deux gamètes fusionnent et le noyau du spermatozoïde est injecté dans le cytoplasme de l'ovocyte II. Un réveil physiologique de l'ovocyte se produit.
 - Dépolarisation de la membrane qui s'oppose à l'entrée d'un autre spermatozoïde (pour éviter la polyspermie) : Un spermatozoïde ne peut fusionner avec la membrane de l'œuf que lorsqu'elle est à son potentiel de repos. Dès qu'un spermatozoïde pénètre, une protéine de l'acrosome fait ouvrir les canaux ioniques de la membrane de l'œuf et permet l'entrée de Ca⁺⁺ et Na⁺ dans l'ovocyte et la sortie de K⁺ et H⁺. Or, l'entrée de Na⁺ dans l'œuf, élève le potentiel. Cette dépolarisation (L'élévation de potentiel membranaire) empêche d'autres spermatozoïdes de fusionner avec la membrane de l'ovocyte pour éviter la polyspermie.
 - L'augmentation du taux de Ca²⁺ et du pH cytoplasmique qui déclenche l'activation de l'ovocyte.
 - Réaction corticale : Le potentiel membranaire de l'œuf retourne au repos alors que plusieurs spermatozoïdes y sont encore accolés. Un mécanisme lent les y enlève : la réaction corticale. Elle ressemble à la réaction acrosomienne : en présence d'ions Ca⁺⁺ la membrane des granules corticaux fusionne avec celle de l'ovocyte, libérant leur contenu enzymatique dans l'espace péri-ovocytaire contribuant à garantir la monospermie.
- Même si un seul spermatozoïde pénètre dans l'ovocyte, la présence de quelques centaines d'entre eux est indispensable à la fécondation car leurs sécrétions sont nécessaires pour fragiliser les enveloppes de l'ovocyte.
- La pénétration d'un spermatozoïde déclenche la reprise de la division équationnelle qui se termine pour donner deux cellules inégales et haploïdes à n chromosomes simples : un ovotide (ovule) et un deuxième globule polaire. C'est l'achèvement de la deuxième division de méiose et expulsion du 2^{ème} globule polaire.
 - Formation de 2 pro-noyaux (pronucléi) ainsi que de l'aster : synthèse d'ADN et duplication des chromosomes dans chacun de 2 noyaux gamétiques qui gonflent.

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

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

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

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



A : ovocyte II : n chromosomes dupliqués ;

BC : entrée de n chromosomes simples (spermatozoïde) ;

DE : perte de n chromosomes simples (expulsion du **GPII**) ;

EF : 2n chromosomes simples (**zygote**) ;

FG : 2n chromosomes dupliqués (**zygote**).

B- Gestation

Activité 15 :

Décrire et caractériser le devenir de l'œuf.

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

Elle se définit aussi comme la période de temps qui s'écoule entre la fécondation de l'ovule par le spermatozoïde et la naissance. Pendant toute cette période, l'embryon est porté dans l'utérus. La durée moyenne de la gestation chez l'homme est de 266 jours (9 mois environ). Au cours de la première semaine de la grossesse, l'œuf effectue une descente vers la cavité utérine (document). Au cours de cette descente, il subit un ensemble de transformations qui conduisent à l'embryon (Document 1).

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

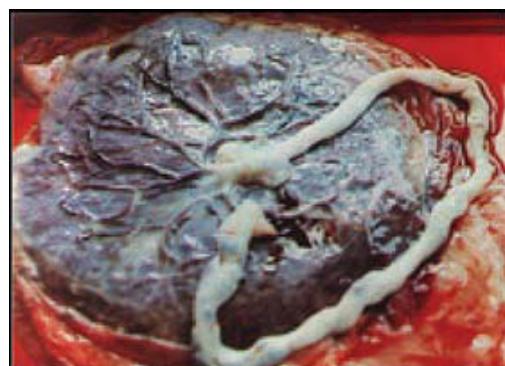
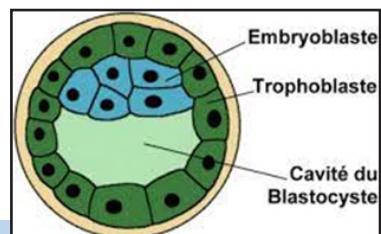
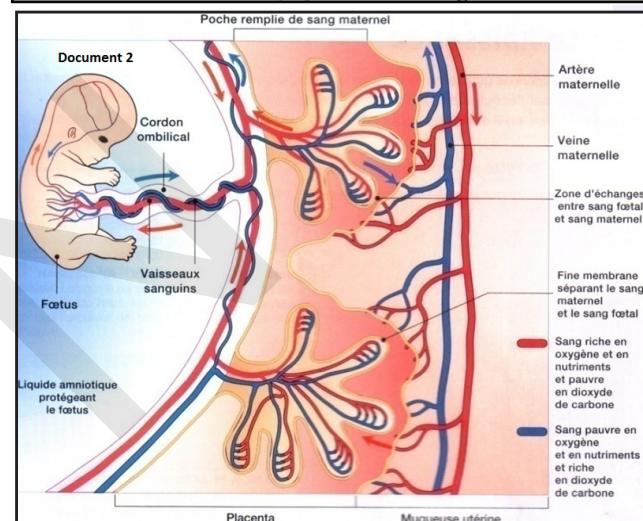
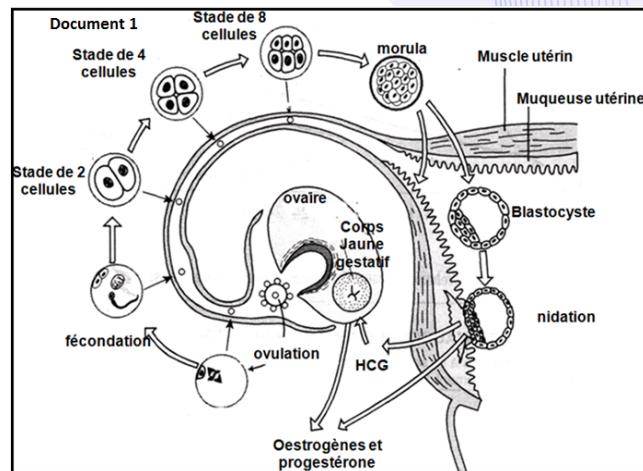
Exploiter ces documents en vue d'élucider le devenir de la cellule-œuf.

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

Les cellules qui se divisent rapidement possèdent le même patrimoine génétique. Jusqu'au 3^{ème} jour après la fécondation, ces cellules, une dizaine environ, sont dites totipotentes. Cela signifie que chacune d'entre elles prise isolément peut reprendre sa division et fournir un embryon complet. Lorsque, à ce stade, l'ensemble cellulaire provenant de la fécondation se scinde spontanément en deux, une grossesse gémellaire peut survenir, avec dans ce cas des jumeaux homozygotes (ou vrais jumeaux).

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

Six jours après la fécondation, alors que l'œuf est dans la cavité utérine, la membrane pellucide, qui l'entoure encore complètement, se rompt. Le blastocyste en sort et les cellules du trophoblaste qui sont à sa surface vont entrer en contact avec la muqueuse de l'utérus : l'endomètre. Durant quelques jours, ces cellules trophoblastiques se multiplient et s'incrustent en profondeur dans l'endomètre afin de mettre en place, avec l'organisme maternel, les échanges nécessaires au développement



de l'embryon. Ainsi, le trophoblaste s'intègre totalement à l'endomètre et se creuse de cavités formant bientôt une chambre placentaire envahie par le sang maternel ; celui-ci est injecté sous pression par les artères utérines partiellement érodées. De multiples replis d'origine embryonnaire (ou villosités choriales) baignent dans cette chambre. Ils contiennent un réseau sanguin capillaire très important (50 km), raccordé à l'appareil circulatoire de l'embryon (puis du fœtus), grâce à deux artères et une veine qui empruntent le cordon ombilical (dont la longueur atteindra 50 cm à terme). Le placenta provient donc en partie de l'embryon, en partie de l'endomètre. En fin de grossesse, il représente une «galette» (en latin, *placenta..*) de 500 g (20 cm de diamètre et 3 cm d'épaisseur). Il correspond à une surface d'échanges de 10 à 14 m² entre les sangs maternel et fœtal séparés par une membrane très fine (Document 2).

Au cours des semaines suivant la nidation, le corps de l'embryon se dégage progressivement de l'ancien trophoblaste auquel il restera relié par un pédoncule, le cordon ombilical. Parallèlement, l'amnios entoure l'embryon et place ce dernier dans une poche remplie de liquide amniotique.

Il s'agit d'une véritable greffe qui ne peut réussir que grâce à l'action «anti-rejet» du trophoblaste qui tend à «masquer» les antigènes embryonnaires. Sans cette action, l'embryon qui a un patrimoine génétique différent de celui de sa mère, devrait être reconnu comme un corps étranger et rejeté par le système immunitaire maternel.

Pour que cette implantation réussisse, il faut aussi que l'endomètre soit prêt à se laisser coloniser par le trophoblaste embryonnaire : l'implantation ne peut en effet se faire au cours d'un cycle normal qu'aux alentours du 21^{ème} jour, lorsque la muqueuse a reçu les stimulations hormonales idéales, essentiellement par les œstrogènes dans un premier temps, puis par la progesterone.

Une mince couche de cellules se développe à la surface de l'embryon, signalant le début de la gastrulation. C'est un processus au cours duquel les trois feuillets du fœtus, l'ectoderme (épiblaste), le mésoderme (ou mésoblaste) et l'endoderme, se développent. La couche de cellules commence par stimuler la croissance de l'endoblaste et du mésoblaste ; l'ectoblaste commence à croître rapidement grâce à des substances chimiques stimulatrices produites par le mésoblaste sus-jacent. Ces trois couches se développeront pour former toutes les structures du corps de l'embryon. L'endoblaste donnera la bouche, la langue, le tube digestif, les poumons, la vessie et plusieurs glandes. Le mésoblaste donne l'intérieur des poumons, le cœur, la rate, et le système reproducteur et d'excrétion. Il aidera aussi à la production des lignées sanguines. L'épiblaste (devenu neurectoblaste à la 4^e semaine) deviendra la peau, les ongles, les poils et les cheveux, les yeux, le revêtement interne et externe des oreilles, le nez, les sinus, la bouche, l'anus, les dents, les glandes mammaires, et toutes les parties du système nerveux (cerveau, moelle épinière).

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

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

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

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

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

Le placenta joue plusieurs rôles :

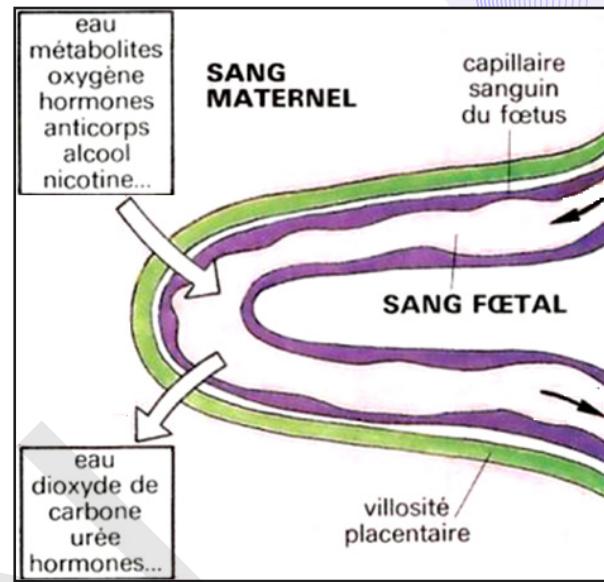
- Un organe d'échanges sélectif :

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

Les déchets du métabolisme fœtal sont évacués dans le sang maternel : CO_2 , urée,... D'autres petites molécules, malheureusement toxiques, comme la nicotine ou l'alcool, diffusent tout aussi facilement à partir du sang maternel.

- Le placenta constitue en revanche un barrage pour les grosses molécules et les microbes. Cette affirmation mérite toutefois d'être nuancée : Les protéines maternelles ne traversent pas la barrière placentaire, à l'exception des anticorps qui protégeront ainsi le nouveau-né au début de son existence. Les cellules sanguines de la mère et du fœtus restent séparées. Cependant, en fin de grossesse, des cellules fœtales peuvent pénétrer dans le sang maternel et être à l'origine de réactions d'immunisation (par exemple, dans le cas d'incompatibilité Rhésus). Les microbes présents dans l'organisme maternel ne sont malheureusement pas toujours arrêtés et peuvent être à l'origine de maladies et même de malformations congénitales (ce risque de malformations est très important au début de la gestation, lorsque s'ébauchent les différents organes). Parmi les microbes capables d'infecter l'embryon ou le fœtus, citons le tréponème de la syphilis (bactérie), le toxoplasme (protozoaire), le virus de la rubéole, celui du SIDA. Ces différentes remarques justifient la nécessité d'une surveillance diététique et d'une prévention contre les atteintes microbiennes pendant toute la durée de la grossesse.

Des échanges complexes entre la mère et son enfant.

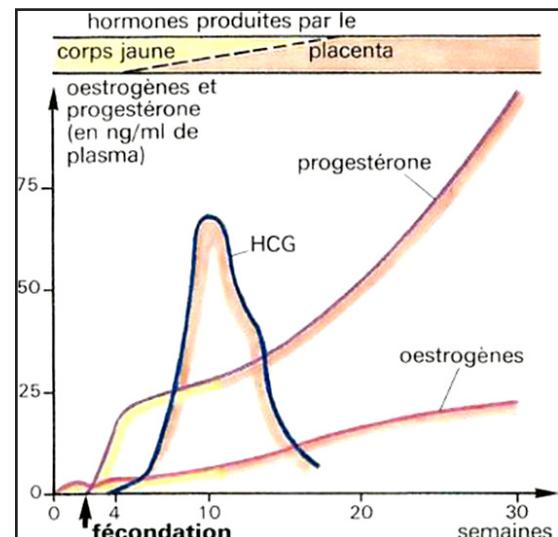


- Un organe producteur d'hormones

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

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

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



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

C- Parturition

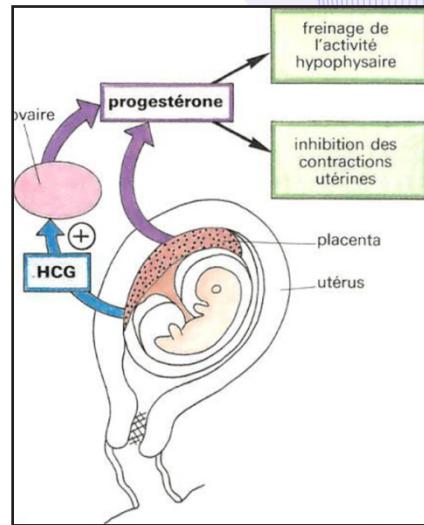
Activité 16 :

Décrire et caractériser l'accouchement.

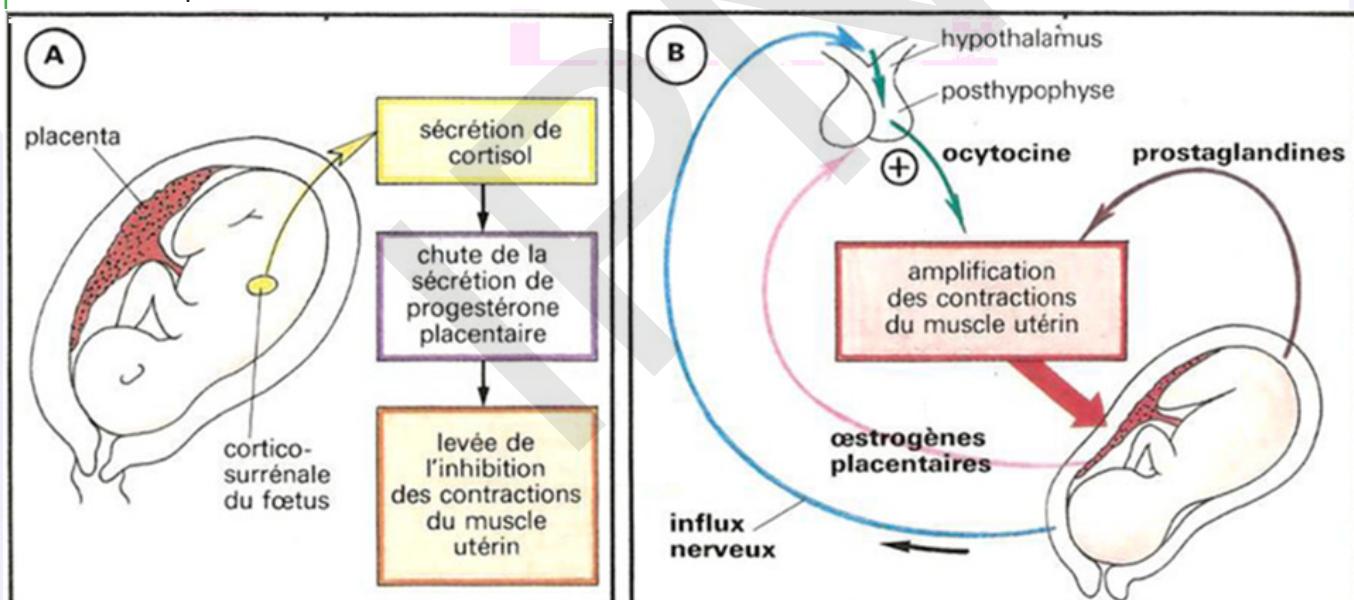
Document 1 : L'accouchement est manifestement le résultat des contractions de plus en plus violentes du muscle utérin ; mais quel est le signal (ou les signaux) qui déclenche(nt) la reprise de l'activité de ce muscle resté au repos depuis plusieurs mois ? Comment expliquer l'exaltation de ces contractions jusqu'au paroxysme qui expulse le fœtus ?

Le détail des mécanismes est discuté et diffère probablement d'une espèce de mammifère à l'autre.

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



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



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

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

- Une épreuve physiologique :

- Le premier signe annonçant la naissance est le début des contractions utérines : d'abord de simples crampes très espacées, elles se rapprochent progressivement et deviennent plus intenses. Parallèlement, le col de l'utérus se dilate lentement. Vers la fin de cette période la « poche des eaux » se rompt, libérant le liquide amniotique. L'expulsion du fœtus est alors imminente. Les contractions utérines intenses, prolongées et très rapprochées, poussent l'enfant à travers le canal vaginal ; la sortie de la tête, dernière épreuve délicate, est suivie de la sortie plus facile du reste du corps. Quelques minutes plus tard, de nouvelles contractions utérines expulsent le placenta : c'est la délivrance.

Pendant toute la grossesse, le fœtus est tributaire des échanges placentaires, en particulier en ce qui concerne sa respiration. Ses poumons ne sont pas fonctionnels et la circulation pulmonaire elle-même

est court-circuitée (grâce à une communication intracardiaque entre les deux oreillettes). Lors de l'accouchement, le fœtus risque une souffrance respiratoire consécutive à une compression des vaisseaux ombilicaux.

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

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

- De nombreux bouleversements hormonaux :

* Une «libération» du muscle utérin :

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

* Un mécanisme d'amplification des contractions :

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

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

En définitive, pour récapituler ces données, le fœtus lorsqu'il a atteint un certain stade de maturité sécrète du cortisol qui est l'hormone clé du déclenchement de la parturition sous l'effet de l'ACTH hypophysaire. Le cortisol modifie l'équilibre œstro-progestatif de la gestation : diminution des taux plasmatiques de progestérone, augmentation des taux d'œstradiol. Il en résulte une augmentation des sécrétions de prostaglandines F_{2α}. Cette modification de l'équilibre hormonal de la gestation est responsable du développement des contractions utérines. Lorsque la cascade d'événements endocriniens est déclenchée, elle aboutit inexorablement à la parturition. Le système noradrénergique est un système de contrôle instantané qui permet de retarder de seulement quelques heures le moment de la parturition. L'engagement du fœtus dans le canal pelvien, entraîne une décharge d'ocytocine par la post-hypophyse qui n'intervient qu'au cours du stade ultime d'expulsion du fœtus, c'est l'hormone finale de la parturition ou hormone de l'expulsion.

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

- La **phase de dilatation** est généralement la plus longue puisqu'elle implique un assouplissement des parois vaginales, un effacement puis une ouverture du col de l'utérus et une laxité ligamentaire au niveau du bassin pour permettre le passage du bébé. Le processus d'ouverture du col de l'utérus n'est pas le même pour les femmes n'ayant jamais accouché (primipares) et celles ayant déjà donné la vie (multipares). Pour une primipare, la durée moyenne est de 12 heures, contre 6 à 7 heures pour une multipare.

- La **phase d'expulsion** commence avec l'ouverture complète du col de l'utérus et se termine avec la naissance de l'enfant. Elle ne dure généralement pas beaucoup plus d'une heure pour une primipare et, au maximum, 30 minutes pour une multipare.

- La **phase de délivrance** s'étend de la naissance de l'enfant jusqu'à l'expulsion du placenta et dure en moyenne de 20 à 30 minutes.

D- Allaitements

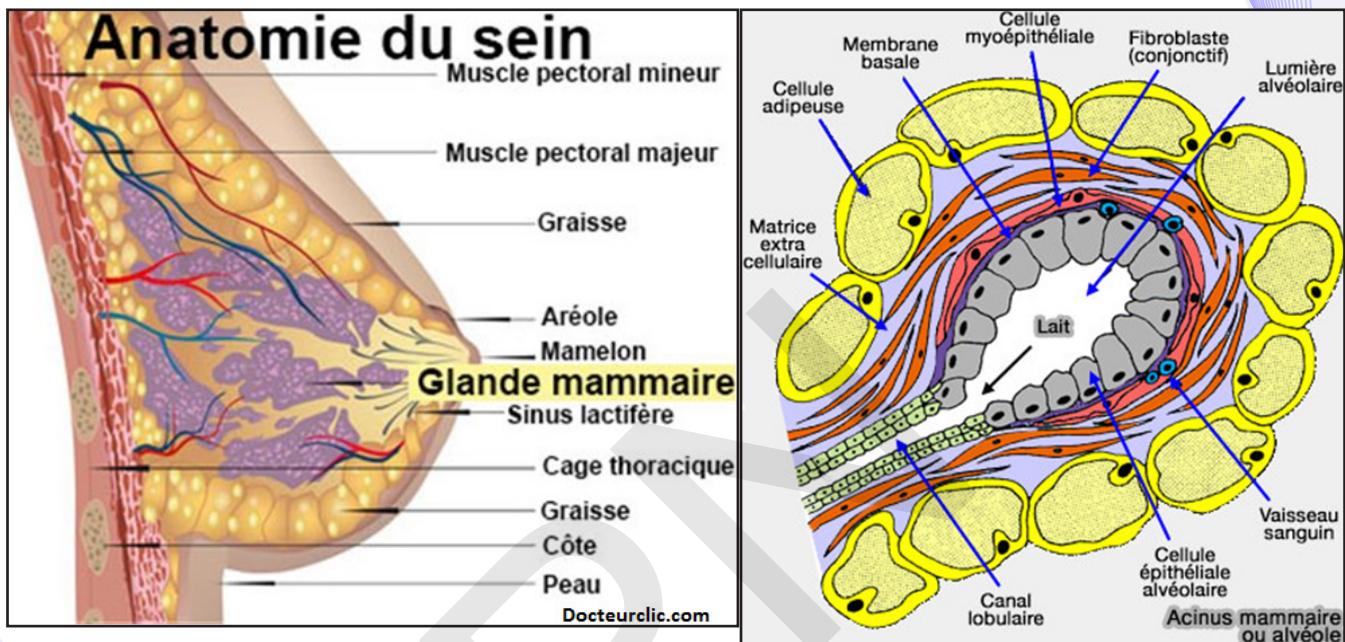
Activité 17 :

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

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

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

Document 1 : Structure du sein.



Document 2 : Série d'expériences :

Expérience 1 : Une hypophysectomie provoque une chute de la production de lait.

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

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

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

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

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

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

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

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

La structure de la mamelle est celle d'une glande en grappes : les cellules glandulaires sont regroupées en acini. L'acinus est l'unité de base de production du lait maternel. C'est une sphère creuse aux dimensions

microscopiques, connectée à un petit canal galactophore. Elle est tapissée d'une seule couche productrice (cellules sécrétrices).

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

- Développement de la glande mammaire

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

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

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

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

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

- Le contrôle de la sécrétion lactée :

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

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

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

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

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

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

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

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

• L'éjection du lait :

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

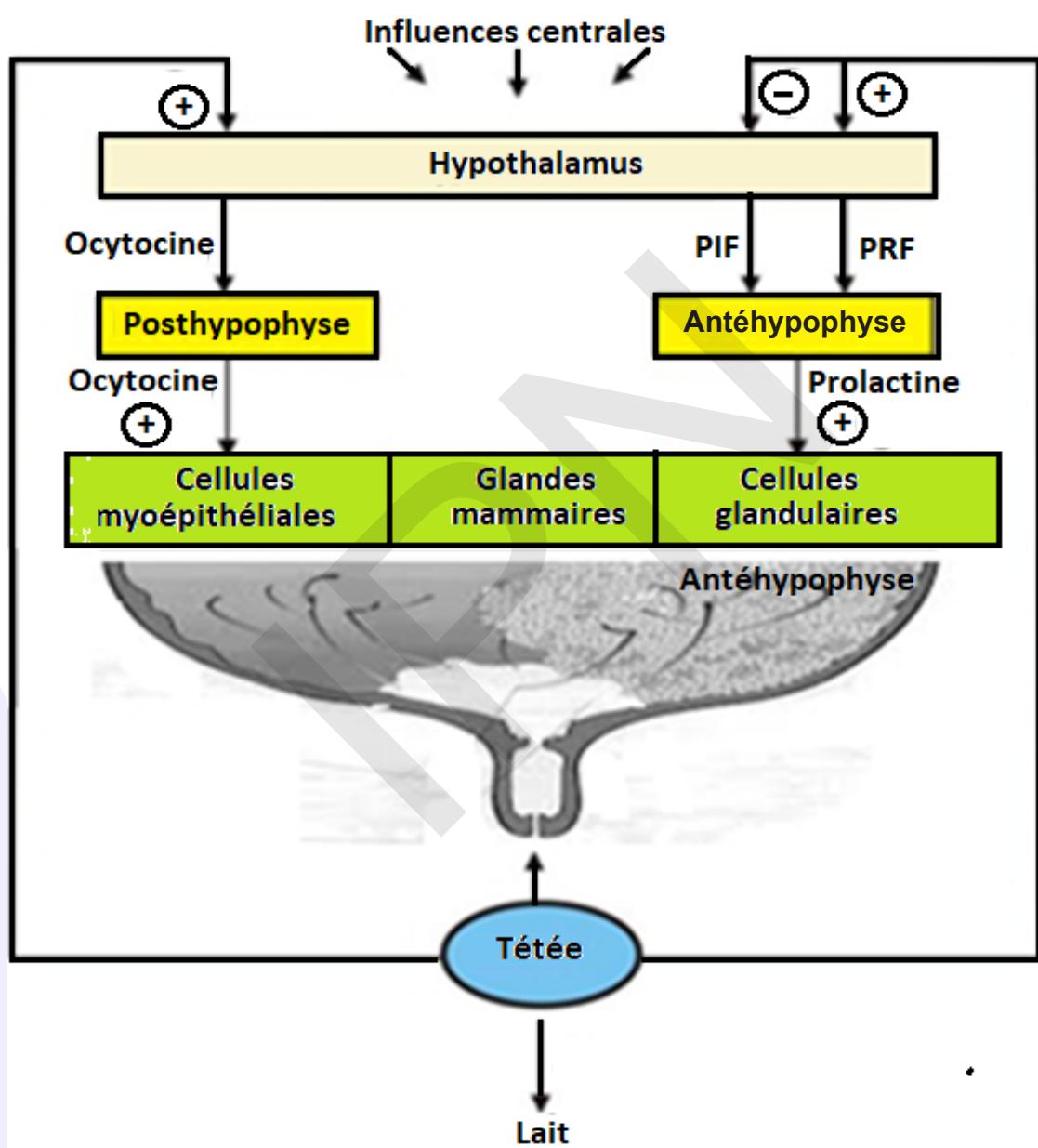
L'hypophyse antérieure sécrète de la prolactine, l'hypophyse postérieure libère de l'ocytocine. Ces deux hormones cheminent par voie sanguine et en quelques secondes arrivent au niveau de la mamelle.

- la prolactine agit sur les cellules des acini et entretient du lait.

- l'ocytocine agit sur les cellules contractiles et provoque l'éjection du lait.

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

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



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

IV- Maitrise de la procréation

A- Méthodes contraceptives et méthodes contragestives

Activité 18 :

Connaitre les méthodes contraceptives et contragestives les plus usuelles.

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

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

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

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

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

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

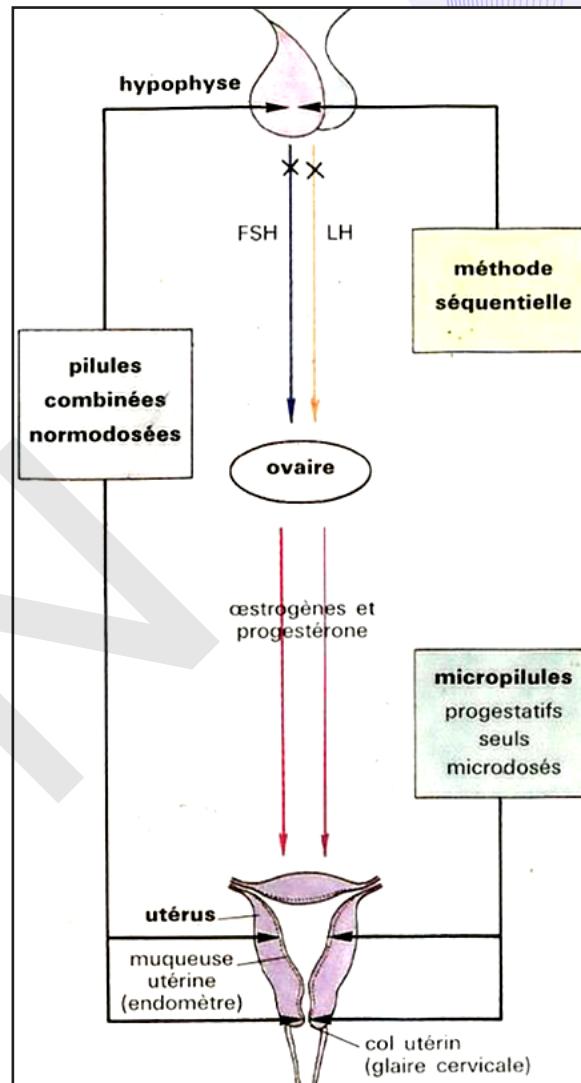
Les méthodes de continence périodique, autres méthodes naturelles, consistent à déterminer les périodes de la fécondité de la femme. Pendant cette période, le couple s'abstient de toute relation sexuelle. La méthode la plus simple est celle de la température. La prise matinale quotidienne de température indique des valeurs inférieures

à 37° du premier jour des règles à l'ovulation et des valeurs supérieures à 37° de l'ovulation au premier jour des règles suivantes. Elle permet donc de situer l'ovulation. D'une manière générale, celle-ci se produit le 14^{ème} jour pour un cycle de 28 jours ; mais il a été prouvé qu'elle peut être précoce (intervention sur l'hypothalamus de facteurs externes tels qu'émotions, changement de climat, rapports sexuels...). La période précédant l'ovulation est donc peu sûre. Par contre, compte tenu de la durée de vie de l'ovocyte limitée à 24 heures, la fécondation n'est plus possible deux jours après l'ovulation, jusqu'aux règles suivantes. Cette méthode est assez sûre ; elle présente pourtant un risque : celui de croire que l'ovulation s'est produite après une hausse quelconque de température.

• Méthodes mécaniques :

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

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



• Méthodes hormonales :

Elles sont basées sur l'utilisation de la pilule. Il existe différents types de pilules : la pilule combinée contient un œstrogène et un progestatif. La prise de ces **œstroprogestatifs** doit être quotidienne durant 21 jours à partir du premier jour des règles. Cette pilule a un effet sur le complexe hypothalamo-hypophysaire : la quantité d'hormones de synthèse que contiennent les comprimés exerce en permanence un rétrocontrôle négatif sur l'axe hypothalamo-hypophysaire, maintenant le taux de LH et FSH constamment bas. Par conséquent, le follicule ovarien en développement ne reçoit plus de FSH et sa croissance est arrêtée : il n'y donc pas de follicule de De Graaf au moment théorique de l'ovulation. De plus, l'absence de pic de LH empêche toute ovulation. La pilule a également une action sur l'endomètre : elle le rend impropre à la nidation d'un éventuel embryon. Elle modifie l'aspect de la glaire cervicale, la rendant imperméable aux spermatozoïdes. L'arrêt de la prise des pilules combinées à partir du 21^{ème} jour du cycle entraîne la diminution des taux des œstrogènes et de la progesterone et provoque une hémorragie de privation (règles de privation). Les pilules combinées représentent le moyen contraceptif féminin le plus efficace. La micropilule est à base de progestatifs de synthèse et microdosée. Elle est prise tous les jours (28 comprimés) y compris pendant les règles.

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

- Les pilules minidosées permettent à l'hypophyse de secréter des doses plus ou moins normales de gonadostimulines, y compris le pic de LH. L'ovulation se produit donc normalement. Ce type de traitement agit au niveau de l'utérus en rendant la glaire du col moins perméable aux spermatozoïdes, et en «désynchronisant» le développement de l'endomètre ; ce qui rend impossible la nidation de l'œuf même s'il y a eu fécondation.
- La méthode séquentielle consiste à utiliser les hormones de synthèse au moment du cycle où les hormones naturelles sont elles-mêmes sécrétées : au début du cycle l'œstrogène est administré seul (pendant 7 à 15 jours), puis il est associé à un progestatif (pendant 6 à 15 jours). Ce traitement agit essentiellement au niveau hypothalamo-hypophysaire en bloquant l'ovulation ; il est actuellement peu utilisé.
- Les produits à base de progestatifs seuls peuvent être administrés de deux-façons : en continu et à très faibles doses, les « micropilules » agissent essentiellement au niveau utérin et ne bloquent pas l'ovulation ou de manière discontinue, l'injection d'une forte dose de progestatif « retard » bloque, pendant deux ou trois cycles, à la fois les pics de LH et l'évolution de l'endomètre.

- Méthodes contragestives :

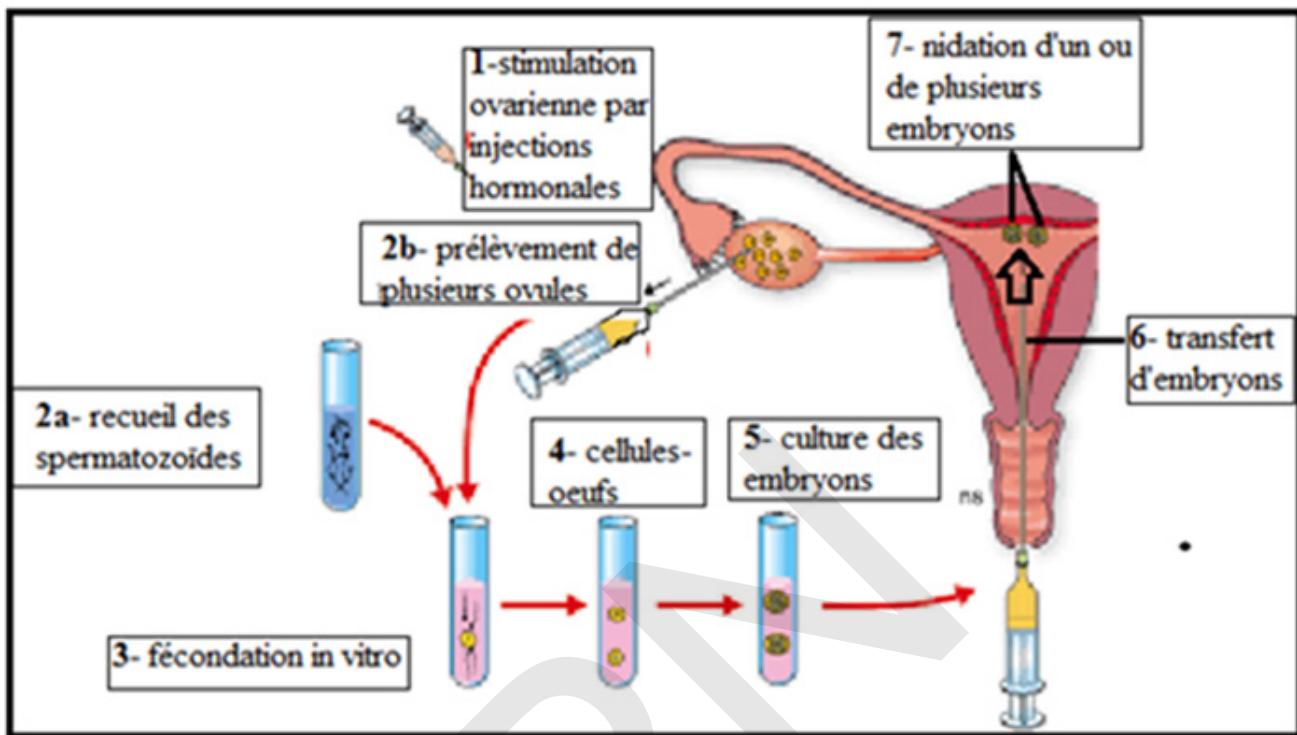
C'est l'ensemble des moyens permettant d'empêcher la gestation. Depuis 1980, on connaît une molécule, la mifépristone, appelée RU486, qui a un effet abortif. Il s'agit d'un stéroïde de synthèse doué d'une forte affinité pour les récepteurs à la progesterone. Il se fixe sur les récepteurs situés dans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

B- Procréation médicalement assistée

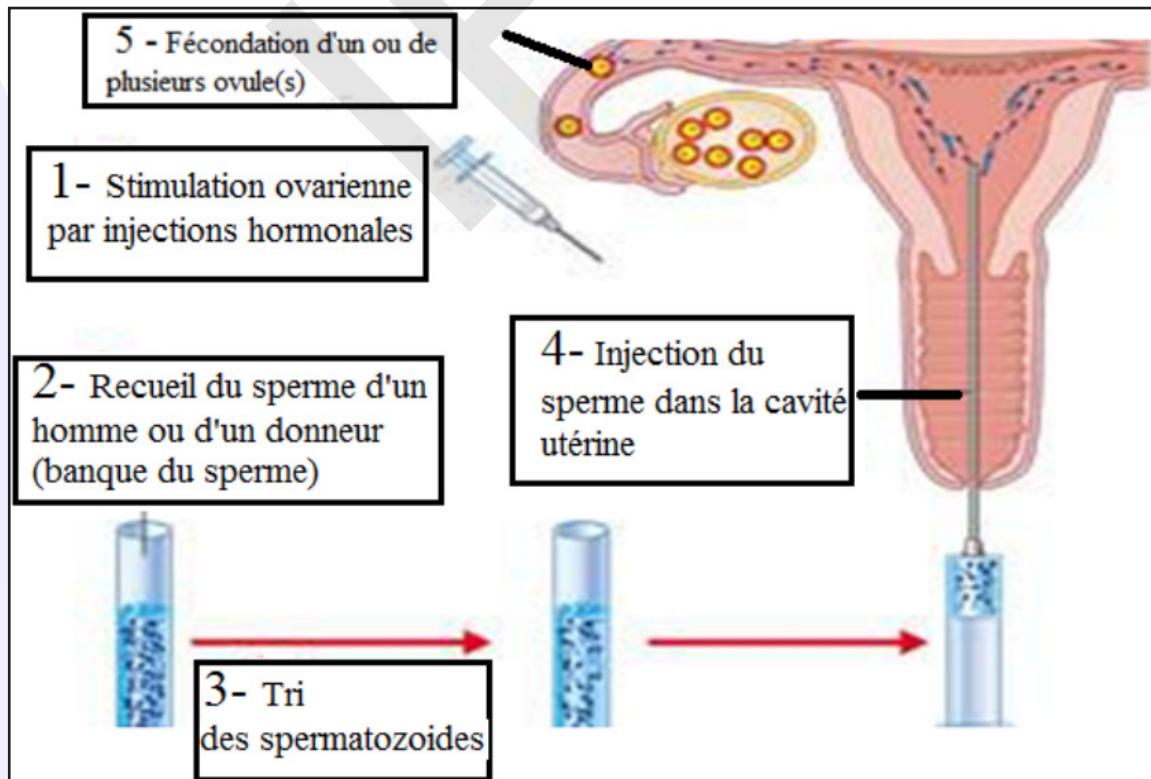
Activité 18 :

S'informer sur des techniques de la PMA.

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



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



Le tableau suivant donne les principales causes de stérilité :

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

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

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

- **Etape 1** : Stimulation hormonale de la maturation folliculaire :
 - ✓ Injection d'une substance analogue à la GnRH : inhiber le complexe hypothalamo-hypophysaire;
 - ✓ injection pendant plusieurs jours de la FSH : assurer la croissance et la maturation de plusieurs follicules;
 - ✓ Injection de la LH ou la HCG : reprise de la division réductionnelle.
- **Etape 2** : Prélèvement des ovocytes par ponction folliculaires;
- **Etape 3** : Prélèvement, traitement et capacitation des spermatozoïdes;
- **Etape 4** : Fécondation «in vitro»;
- **Etape 5** : Culture des embryons jusqu'aux stades 2 à 4 cellules;
- **Etape 6** : Transfert des embryons dans la cavité utérine de la mère.

C- Diagnostic prénatal

Activité 19 :

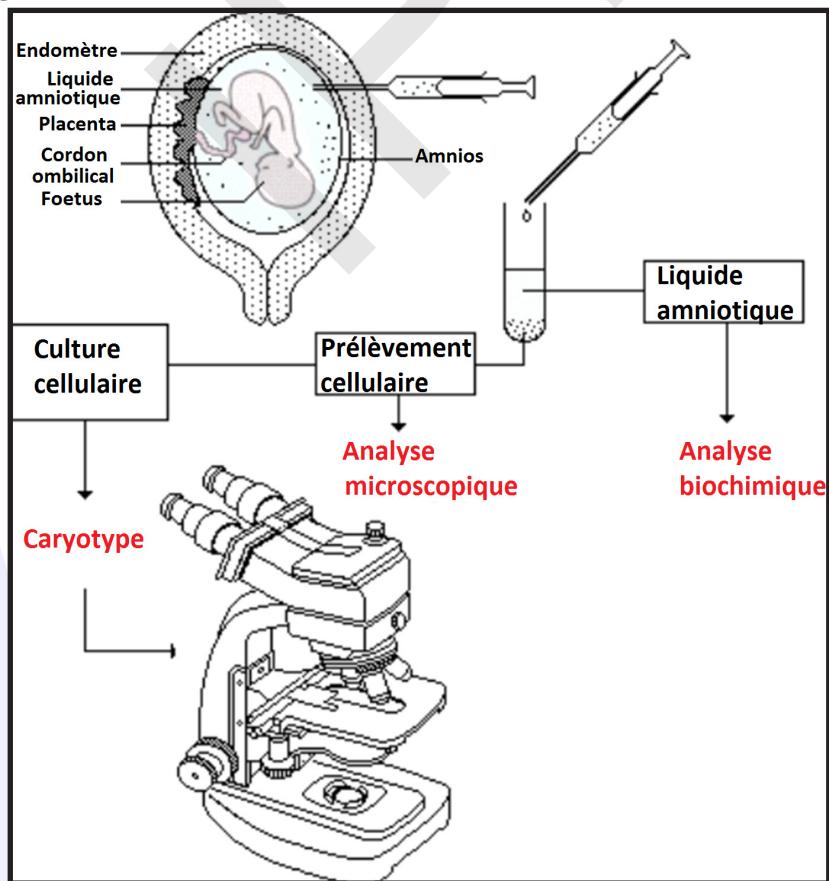
Décrire et caractériser quelques techniques du diagnostic prénatal.

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

- Une image d'échographie :



- L'amniocentèse



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

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

- L'échographie :

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

Elle permet une surveillance de la croissance normale de l'enfant et le dépistage de certaines malformations (anencéphalie, maladies du cœur, des reins, malformation des membres, ...). D'autre part, l'échographie sera souvent utilisée conjointement à d'autres méthodes de diagnostics qui demandent d'effectuer des prélèvements de cellules fœtales.

- L'amniocentèse :

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

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

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

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

- Biopsie des villosités choriales :

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

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

L'injection intra-cytoplasmique de spermatozoïdes, plus connue sous le nom d'ICSI (d'après ses initiales en anglais intracytoplasmic sperm injection), est une technique de PMA qui consiste en l'introduction directe d'un spermatozoïde dans l'ovule pour faciliter la fécondation. Cette technique permet de pallier certaines anomalies des spermatozoïdes qui les empêchent de féconder. Pour que la fécondation soit possible, il est nécessaire que les spermatozoïdes soient en nombre suffisant, qu'ils soient mobiles et qu'ils aient une morphologie normale. Dans certaines infertilités masculines, ces conditions ne sont pas remplies et les spermatozoïdes ne peuvent pas spontanément féconder l'ovocyte. Dans ces cas-là, on peut injecter directement, à l'aide d'une micropipette, un spermatozoïde dans l'ovocyte, ce qui augmente les chances d'obtenir des embryons (ovocytes fécondés). Cette intervention se fait au laboratoire après un traitement de stimulation ovarienne et une ponction des ovocytes identiques à une fécondation in vitro (voir l'information sur la FIV).

Je retiens :

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

Elle est responsable du développement :

- des caractères sexuels primaires, qui correspondent à l'ensemble des voies génitales, des glandes et organes annexes qui interviennent dans la reproduction ; ils se mettent en place au cours du développement embryonnaire ;
- des caractères sexuels secondaires, au moment de la puberté et de leur maintien chez l'adulte : les caractères morphologiques, anatomiques et physiologiques visibles et particulier à un sexe : voix devient plus grave, la pousse des poils est stimulée, la masse musculaire augmente... C'est une hormone stéroïde, dérivée du cholestérol. La testostérone exerce une action permanente et indispensable sur la spermatogénèse. Dès la puberté et jusqu'à la fin de la vie, la production de spermatozoïdes est continue (fonction exocrine). Sa libération est sous la dépendance des sécrétions de GnRH, FSH et LH de l'axe hypothalamo-hypophysaire. Un mécanisme de rétrocontrôle négatif assure une régulation de sa production.
 - La LH stimule la sécrétion par les cellules interstitielles de testostérone.
 - La FSH stimule indirectement la spermatogénèse dans les testicules. Elle stimule la sécrétion de l'inhibine et de l'ABP par les cellules de Sertoli. L'ABP est indispensable à l'action ultérieure de la testostérone sur la spermatogénèse.
 - Le rythme des pulses de FSH et LH étant stable, on peut considérer que le taux sanguin de testostérone est constant.

L'ovaire est une glande mixte :

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

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

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

* Les œstrogènes (l'œstradiol étant la principale hormone de ce groupe) sont sécrétés par les cellules de la thèque interne des follicules et du corps jaune et par les cellules de la granulosa. Elles stimulent la croissance de l'endomètre, les contractions du myomètre et assurent la différenciation et le maintien des caractères sexuels etc. L'œstradiol est responsable de l'apparition de l'œstrus.

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

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

fécondation.

Un cycle ovarien dure environ 28 jours chez la femme et l'ovulation a lieu vers le 14^e jour du cycle.

De nombreux follicules (une « cohorte ») débutent leur maturation à chaque cycle, mais un seul parviendra à maturité.

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

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

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

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

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

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

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

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

Les étapes du rétrocontrôle ovarien :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Les étapes de la fécondation sont :

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

À la suite de l'éjaculation, les spermatozoïdes, remontent les voies génitales de la femme : ils traversent d'abord le col de l'utérus qui sépare ce dernier de la cavité vaginale, puis gagnent les trompes. Au cours de leur remontée dans les trompes, les spermatozoïdes acquièrent la capacité à féconder l'ovocyte : c'est la capacitation. Sur les quelques 300 millions de spermatozoïdes émis, quelques centaines seulement parviennent à l'ampoule (1/3 supérieur), partie élargie de la trompe où peut se produire la fécondation si un ovocyte y est présent. Dès que l'un d'entre eux a pénétré, aucun autre ne peut plus le faire car il se forme immédiatement une membrane infranchissable. L'ovocyte II bloqué en métaphase II est entouré de plusieurs spermatozoïdes capacités. Un seul spermatozoïde se fixe grâce ses glycoprotéines sur les récepteurs spécifiques ZP₃ localisés à la surface de la zone pellucide.

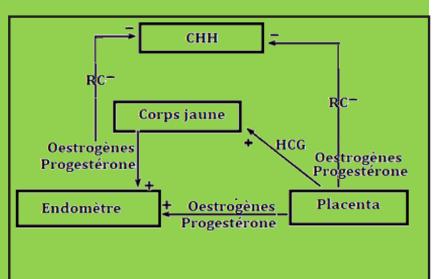
- Réaction acrosomiale : Après la libération des enzymes hydrolytiques contenues dans l'acrosome suite à l'entrée de Ca²⁺, les membranes de deux gamètes fusionnent et le noyau du spermatozoïde est injecté dans le cytoplasme de l'ovocyte II. Un réveil physiologique de l'ovocyte se produit.

- Réaction corticale : Immédiatement après la fusion du spermatozoïde et de l'ovocyte, se déroule une réaction corticale, au cours de laquelle des granules corticaux de l'ovocyte déversent leur contenu enzymatique dans l'espace périvitellin. Les enzymes diffusent alors vers la zone pellucide et y modifient les glycoprotéines ZP₃, probablement en modifiant spécifiquement les O-oligosaccharides, ce qui les rend incapables de fixer de nouveaux spermatozoïdes assurant ainsi la monospermie.

- Amphimixie : Les deux pronucléi mâle et femelle se rapprochent l'un de l'autre et finissent par fusionner pour donner un zygote ou cellule-œuf diploïde. Le pronoyau femelle complète sa deuxième division méiotique, avec émission du second globule polaire et expulsion du centriole. Le centriole mâle se dédouble et les deux s'éloignent du centre du cytoplasme ; les microtubules centriolaires forment deux asters. Les deux pronoyaux migrent l'un vers l'autre ; à leur rencontre, les membranes nucléaires se brisent, fusionnent et une membrane nucléaire unique se forme : C'est la caryogamie.

Le zygote subit plusieurs mitoses en donnant une masse cellulaire appelée Morula qui se différencie en blastocyste qui se fixe vers le 7^{ème} jour après la fécondation sur l'endomètre : c'est la nidation marquant le début de la gestation.

Les cellules du trophoblaste sécrètent, dès les premiers jours de la



grossesse la HCG dont l'action est voisine de celle de la LH. Cette hormone passe dans le sang maternel et empêche la régression du corps jaune. Celui-ci continue à produire des doses croissantes d'oestrogènes et de progestérone indispensables au maintien de la dentelle utérine.

Ces hormones exercent un RC sur le CHH.

Le mécanisme de l'accouchement est résumé par le schéma ci-contre :

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

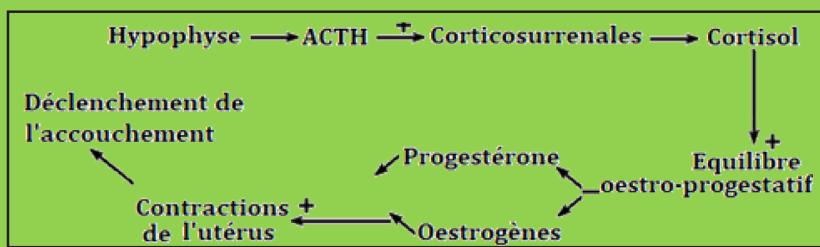
- Une voie ascendante (nerveuse) : A sa naissance, le petit suce le mamelon de sa mère ; d'où la naissance d'un message nerveux, d'une part, inhibant les PIF et stimulant les PRF ; d'où sécrétion de la prolactine et stimulant, d'autre part, la sécrétion de l'ocytocine.
- Une voie descendante (hormonale) : La prolactine刺激 la production du lait, l'ocytocine provoque l'éjection du lait d'où la sécrétion lactée qui est donc un phénomène neuro-hormonal.

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

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

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

- Diagnostic prénatal : Ensemble de techniques qui permettent de déceler les éventuelles anomalies et malformations du fœtus avant sa naissance.
- FIVETE qui se fait par étapes dont les principales sont :
 - Bloquer les cycles ;
 - Stimuler la folliculogenèse par FSH ;
 - Injecter la LH ou la HCG pour achever la DR des ovocytes ;
 - Mise en contact des ovocytes II avec les spermatozoïdes capacités ;
 - Remise des embryons de 2 à 4 cellules dans l'utérus dentellisé.
- Insémination artificielle : introduction de spermatozoïde dans l'utérus.



Je m'exerce :

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

1-Lorsqu'une femme prend une pilule combinée :

- Les concentrations en progestérone et œstrogènes sont nulles.
- Les concentrations en LH et FSH sont constantes.
- La concentration en progestérone est constante.
- On remarque un pic de LH et FSH au milieu de son cycle.

2- Chez la femelle de mammifère :

- Le follicule primordial ne produit pas d'œstrogènes.
- Le follicule rompu est observable le 26^{ème} jour du cycle.

c- Le follicule mûr produit la quantité d'œstrogènes la plus élevée du cycle.

d- Le follicule tertiaire produit la quantité d'œstrogènes la plus faible du cycle.

3- Parmi les cellules du tube séminifère qui sont à 2 n chromosomes, on peut citer :

a- les spermatides.

b- les spermatocytes I.

c- les spermatogonies.

d- les spermatocytes II.

4- La destruction sélective des cellules de Leydig (cellules interstitielles) chez un rat adulte provoque :

a- la baisse du taux des gonadostimulines.

b- l'absence de la sécrétion de testostérone.

c- la baisse de la fréquence des pulses de GnRH.

d- la régression des caractères sexuels secondaires.

5- La FIVETE est une technique appliquée dans le cas :

a- d'une oligospermie.

b- du blocage de la folliculogenèse.

c- de l'obstruction bilatérale des trompes.

d- d'une malformation des spermatozoïdes.

6- Les hormones artificielles contenues dans la pilule combinée ont pour effet :

a- De stimuler la production de LH.

b- De stimuler le fonctionnement de la gonade femelle.

c- D'inhiber le fonctionnement de l'hypophyse.

d- D'inhiber le fonctionnement de l'hypothalamus.

7- A propos du cycle sexuel,

a- Le pic de LH déclenche le pic d'œstrogènes.

b- L'hormone LH est sécrétée par l'hypothalamus.

c- Le pic d'œstrogènes déclenche directement l'ovulation.

d- Le pic de LH déclenche l'ovulation.

8- A la fin du stade de la maturation de la spermatogenèse les cellules obtenues sont :

a- des spermatides.

b- des spermatocytes I.

c- des spermatozoïdes.

d- des spermatocytes II.

9- Lors du cycle ovarien chez la femme :

a- La progestérone est sécrétée lors de la première partie du cycle.

b- L'œstrogène est sécrété lors de la deuxième partie du cycle.

c- Le pic de LH succède à l'ovulation.

d- Le pic de LH est la conséquence d'une augmentation de la concentration en œstrogènes.

10- Cochez l'affirmation correcte :

- a- L'utérus produit des hormones qui agissent sur les ovaires.
- b- Du premier au 14^{ème} jour l'oestradiol est produit par le corps jaune.
- c- L'oestradiol stimule l'épaississement de l'endomètre.
- d- Les follicules produisent la progestérone.

11- La baisse de sécrétion de LH peut être observée après une :

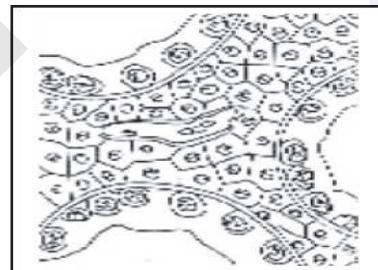
- a- injection d'inhibine.
- b- diminution du taux de testostérone.
- c- baisse de la sécrétion de GnRH.
- d- augmentation de taux de progestérone.

12- La prise de la pilule se fait pendant 21 jours suivis de 7 jours d'arrêt. Le déclenchement des règles chez une femme qui prend ce type de pilule :

- a- Est due aux hormones contenues dans la pilule combinée.
- b- Est due à l'arrêt de la prise de pilule.
- c- Est due à une augmentation des concentrations en œstrogènes et progestérone.
- d- Correspond à une destruction de la muqueuse vaginale.

13- Le schéma ci-contre représente une coupe testiculaire

- a- d'un individu impubère.
- b- d'un individu impubère suivie d'une injection de FSH.
- c- d'un individu pubère hypophysectomisé.
- d- d'un individu pubère hypophysectomisé suivie d'une injection de LH.

**14- Chez la femme, l'ovogenèse :**

- a- commence à partir de la naissance.
- b- est un phénomène continu.
- c- se déroule entièrement dans l'ovaire.
- d- ne s'achève qu'en cas de fécondation.

15- A propos des hormones ovariennes :

- a- Progestérone et œstrogènes sont deux hormones ovariennes.
- b- Progestérone et œstrogènes n'ont aucune influence sur les taux de LH et FSH.
- c- La chute de la quantité de FSH et de LH déclenche la sécrétion de progestérone.
- d- Progestérone et œstrogènes sont des gonadostimulines.

16- À propos du fonctionnement du follicule :

- a- Après l'ovulation, se forme le corps jaune qui synthétise surtout, de la progestérone.
- b- Le cycle se compose chronologiquement d'une phase folliculaire puis d'une phase lutéale.
- c- A la lutéolyse, le corps jaune dégénère totalement s'il n'y a pas fécondation.
- d- Le taux de progestérone chute à la lutéolyse et les menstruations débutent.

17- La gonade femelle :

- a- produit des gamètes.

b- produit la LH et la FSH.

c- correspond aux ovules.

d- fonctionne en continu.

18- Le dosage d'ADN montre que le spermatozoïde contient 3.75pg d'ADN, donc le spermatocyte II contient :

a- 3.75pg d'ADN.

b- 7.5Pg d'ADN.

c- 14.5pg d'ADN.

d- 15,5pg d'ADN.

19- À propos de l'ovogenèse :

a- Le gonocyte se forme très tôt pendant la vie embryonnaire, il se divise ensuite par simples mitoses et entre en méiose.

b- Pendant la vie fœtale, il n'y a pas d'ovocytes II.

c- A la naissance, le stock d'ovocytes est définitif (environ 400 000).

d- 1/1000 ovocytes II deviennent des ovules ; les autres dégénèrent par atrésie ou apoptose.

20- La fécondation

a- crée des allèles nouveaux.

b- crée des phénotypes nouveaux.

c- contribue à la diversité allélique.

d- assure le passage d'une phase haploïde à une phase diploïde.

21- Le rétrocontrôle exercé sur le complexe hypothamo-hypophysaire, entre le 1^{er} et le 10^{ème} jour d'un cycle sexuel normal, est :

a- positif.

b- négatif.

c- assuré par les œstrogènes.

d- assuré par la progestérone.

22- L'inhibine

a- est sécrétée par les cellules de Leydig.

b- est sécrétée par les cellules de Sertoli.

c- stimule la sécrétion de LH.

d-stimule la spermatogenèse.

23- L'utérus

a- possède une muqueuse renouvelable tous les 14 jours.

b- sécrète, au niveau du col, un mucus appelé glaire cervicale.

c- est sous le contrôle des œstrogènes et de la progestérone.

d- est le lieu de la fécondation.

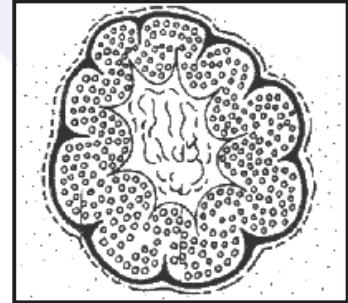
24- La structure observée dans le document ci-contre représente :

a- un corps jaune.

- b- un follicule mûr.
- c- un follicule cavitaire.
- d- une coupe transversale de l'utérus.

25- La progestérone est une hormone ovarienne sécrétée

- a- pendant la phase préovulatoire.
- b- pendant la phase postovulatoire.
- c- par le corps jaune.
- d- par les follicules en évolution.



26- La structure représentée par le document ci-contre est

- a- un ovocyte I bloqué en prophase I.
- b- un ovocyte II bloqué en métaphase II.
- c- un ovotide.
- d- une ovogonie.

27- Le corps jaune

- a- est sous le contrôle de la LH.
- b- est sous le contrôle de la FSH.
- c- se forme pendant la phase préovulatoire.
- d- se forme pendant la phase postovulatoire.

28- La pilule combinée

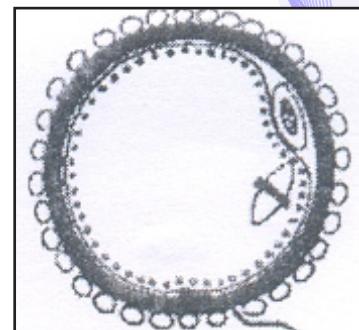
- a- stimule la folliculogenèse.
- b- inhibe la sécrétion des gonadostimulines.
- c- stimule la sécrétion des gonadostimulines.
- d- inhibe l'ovulation.

29- Au cours de la fécondation, la pénétration d'un spermatozoïde dans l'ovocyte précède

- a- l'expulsion du premier globule polaire.
- b- l'expulsion du deuxième globule polaire.
- c- l'achèvement de la division équationnelle de l'ovocyte II.
- d- l'achèvement de la division réductionnelle de l'ovocyte I.

30- Suite à la fécondation chez la femme :

- a- le taux sanguin des hormones ovariennes augmente.
- b- le taux sanguin des hormones ovariennes diminue.
- c- le corps jaune dégénère.
- d- le corps jaune se développe.



31- Au moment de la puberté, on peut observer chez la fille, l'apparition de CSII comme :

- a- la croissance des ovaires.
- b- le développement de la poitrine.
- c- le développement de la pilosité.
- d- la croissance des testicules.

32- Les règles proviennent

- a- de l'épaississement de la paroi de l'utérus.
- b- de l'élimination de la paroi de l'utérus.
- c- de la déchirure de l'ovaire au moment de l'ovulation.
- d- de la paroi du vagin.

33- La fécondation

- a- a lieu dans l'utérus.
- b-a lieu dans les trompes.
- c- correspond à l'émission d'un ovule par les ovaires.
- d- peut se produire à n'importe quel moment du cycle.

34- Les règles chez la femme

- a- marquent la fin d'un cycle.
- b- s'arrêtent à la ménopause et lors d'une grossesse.
- c- durent en moyenne 5 jours.
- d- correspondent à la destruction de la paroi du vagin.

35- L'appareil reproducteur féminin fonctionne

- a- de façon cyclique.
- b- de façon continue.
- c- durant toute la vie.
- d- de la puberté à la mort.

36- La testostérone est secrétée par

- a- l'hypophyse.
- b- les cellules interstitielles.
- c- les cellules de Sertoli.
- d- les cellules germinales.

EXERCICES

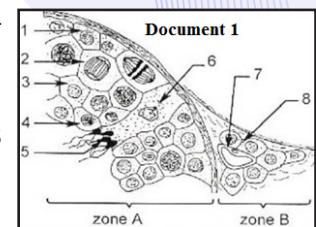
Exercice 1

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

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

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

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

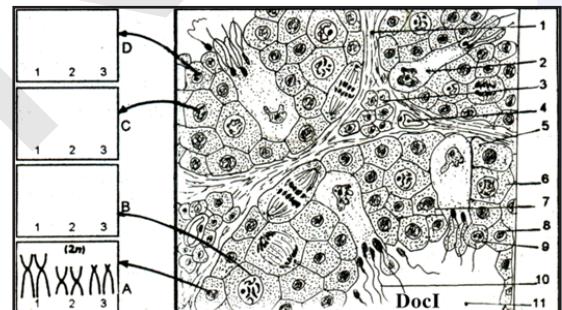


Doc. 2	Expériences	Résultats
Lot 1	1- Destruction par les rayons X des cellules de la zone A (voir document 1)	- stérilité - maintien des caractères sexuels secondaires
Lot 2	2- Destruction par les rayons X des cellules de la zone B (voir document 1)	- stérilité - régression des caractères sexuels secondaires

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

Exercice 2

Le document I représente le schéma d'une coupe transversale d'un testicule humain).



1) Identifiez les différentes structures en utilisant les numéros des traits de légende.

2) S'agit-il d'un animal pubère ou impubère ? Justifiez votre réponse.

3) En partant de la cellule désignée par le numéro 5, expliquez les étapes conduisant à la formation de la cellule désignée par le numéro 10.

4) En vous limitant à trois paires de chromosomes et en adoptant le modèle des chromosomes représentés dans la case A, représentez dans les cases B, C, et D les chromosomes correspondant aux cellules n° 6, 7 et 8.

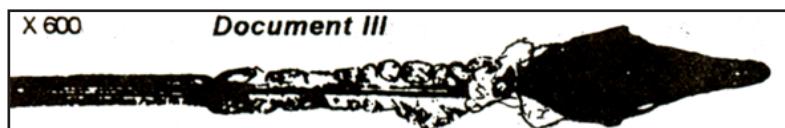
5) Le tableau du document II traduit l'évolution de la quantité d'ADN par noyau dans les cellules au cours de la spermatogénèse chez l'homme.

ADN $\times 10^{-12}$ g	Document II							
Jours	7,3	7,3	14,6	14,6	7,3	7,3	14,6	14,6
ADN $\times 10^{-12}$ g	7,3	7,3	14,6	14,6	7,3	7,3	3,6	3,6
Jours	19,51	41,5	45,2	49,5	49,51	50,8	50,81	70

a- Représentez le graphe de cette variation en fonction du temps.

b- Expliquez la variation de la quantité d'ADN au cours du temps en vous référant aux chromosomes schématisés dans les cases A, B, C et D (question n°4).

- c- Déterminez les cellules du doc. I qui correspondent aux jours : 0 ; 19,5 ; 19,51 et 45,2.
- d- En adoptant le modèle de la case A, représentez les chromosomes des cellules n° 2 et 3 en interphase. Justifiez votre réponse.
- 6) L'élément numéro 10 en coupe longitudinale est observé au microscope électronique. On a obtenu le document III. Faîtes un schéma légendé de l'élément observé.



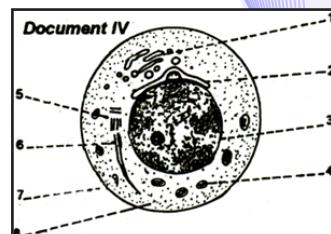
7) La figure du document IV représente une photo prise au microscope électronique d'un stade de la spermatogenèse :

a- Annotez ce schéma.

b- Précisez le rôle des éléments 2, 3 et 4.

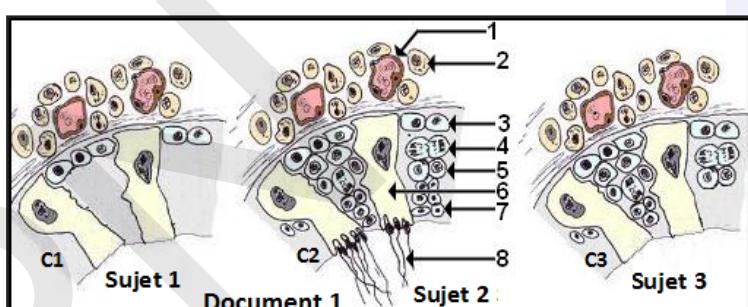
c- Faîtes-lui correspondre un stade de la spermatogenèse.

d- Décrivez, schéma à l'appui, les transformations que doit subir cette cellule pour donner un spermatozoïde mûr.



Exercice 3

Le document 1 montre les schémas des trois coupes C₁, C₂ et C₃ microscopiques transversales et partielles des testicules d'un sujet impubère et de deux sujets pubères dont l'un est normal et l'autre stérile.



1- Légendez ce document.

2- Comparez les coupes C₁, C₂ et C₃ afin de préciser parmi les sujets S₁, S₂ et S₃ quel est le sujet impubère, le sujet normal et le sujet stérile.

3- Proposez sous forme d'hypothèses, les causes possibles de la stérilité de ce sujet. Pour préciser la cause de la stérilité, on a injecté chez le sujet stérile des doses quotidiennes des hormones qui interviennent dans la régulation de l'activité testiculaire : H₁, H₂, H₃, et H₄. Les résultats des injections sont présentés dans le tableau suivant.

Les hormones injectées	Les résultats obtenus
H ₁ : La testostérone	Production des spermatozoïdes
H ₂ : La LH	Sans effet
H ₃ : LA FSH	Sans effet
H ₄ : La GnRH	Sans effet

4- L'analyse de ces résultats confirme-t-elle une hypothèse émise dans la question précédente.

5- Prévoir les résultats de l'injection de l'hormone H₁ chez le sujet impubère. Justifiez vos réponses.

Exercice 4

Afin de comprendre le mécanisme régulateur de la sécrétion de la testostérone, on réalise deux séries d'expériences sur des bœufs.

1. Première série d'expériences : Les trois graphes du document ci-contre correspondent à l'enregistrement, chez le bœuf, des variations des taux plasmatiques de trois hormones : GnRH, LH et la testostérone.

Les prélèvements sanguins sont réalisés au niveau de la tige hypophysaire pour le graphe 1 et dans la circulation générale pour les graphes 2 et 3. Analysez ces résultats afin de déduire les interactions fonctionnelles entre l'hypothalamus, l'hypophyse et les testicules.

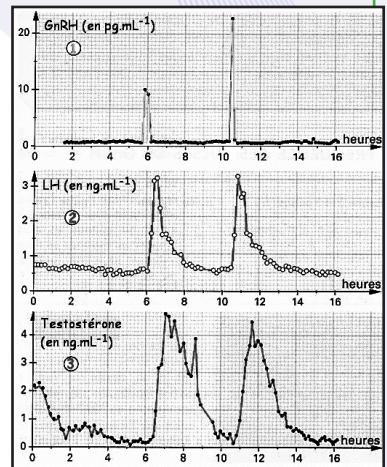
2. Deuxième série d'expériences : On suit l'évolution du taux plasmatique de l'hormone LH ainsi que l'état des cellules de Leydig chez un animal normal pubère placé dans les 3 situations suivantes :

-**Situation 1** : Animal présentant une testostéronémie (taux plasmatique de la testostérone) voisine aux valeurs de référence normales.

-**Situation 2** : Animal présentant une baisse de la testostéronémie par rapport aux valeurs de référence normales.

-**Situation 3** : Animal présentant une augmentation de la testostéronémie par rapport aux valeurs de référence normales.

Situations	Situation 1	Situation 2	Situation 3
Evolution du taux plasmatique de l'hormone LH			
L'aspect des cellules de Leydig			

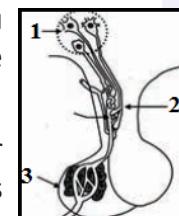


A partir de l'analyse des résultats de ces situations et de vos connaissances, expliquez :

- le mécanisme régulateur de la baisse de la testostéronémie par rapport aux valeurs de référence normales.
- le mécanisme régulateur de l'augmentation de la testostéronémie par rapport aux valeurs de référence normales.

Exercice 5

Afin de comprendre les relations fonctionnelles entre l'hypothalamus, l'hypophyse et les testicules, on réalise des expériences sur des singes. On rappelle que la physiologie de la reproduction du singe est voisine de celle de l'homme. Le document 1 représente la structure anatomique du complexe hypothalamo-hypophysaire.

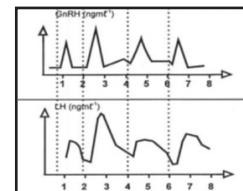


Expérience 1 : Chez un singe normal, on a mesuré d'une part la sécrétion de GnRH par les neurones de la zone 1 (du document 1) et, d'autre part, la sécrétion des cellules hypophysaires (la LH).

Le document 2 présente les résultats obtenus.

Expérience 2 : L'ablation de l'hypophyse chez un autre singe entraîne une chute de la sécrétion de la testostérone.

L'injection d'une dose de LH rétablit la sécrétion normale de la testostérone chez cet animal.



Expérience 3 : On dose le taux plasmatique de LH chez un singe castré depuis 6 jours, on constate une augmentation de la sécrétion de LH par rapport à un singe normal.

L'injection d'une dose de testostérone à ce singe castré, ramène la sécrétion de LH à sa valeur normale.

1- Analysez les tracés a et b du document 2 en vue de déduire la relation fonctionnelle entre l'hypothalamus et l'hypophyse.

2- Expliquez les résultats des expériences 2 et 3. Que peut-on en déduire à propos du mécanisme régulateur de la sécrétion de la testostérone ?

3- En utilisant les informations tirées des expériences précédentes, représentez par un schéma de synthèse le mécanisme régulateur de la sécrétion de la testostérone.

Exercice 6

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

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

2- Légendez la structure c.

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



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

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

B- On cherche à comprendre quelques aspects de la gestation chez une chèvre dont la gestation dure environ 135 jours. On dose au cours du premier mois la quantité des hormones : X, Y et Z dans le sang de cette femelle (graphes ci-contre).

1- Identifiez les hormones X, Y et Z.

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

a- A lieu la nidation

b- Commence la régression du corps jaune.

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

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

- Lot A : Ablation de l'hypophyse.

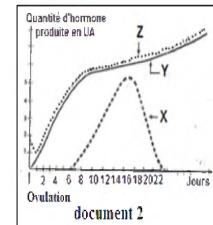
- Lot B : Ablation des ovaires.

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

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

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

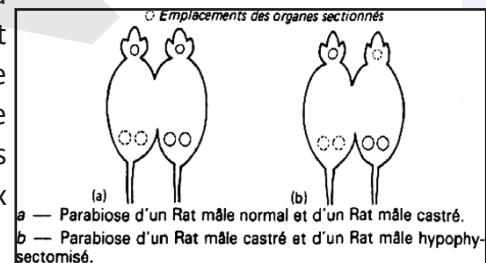
5-2- Quelles sont les conséquences de cette chute ?



Exercice 7

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

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



Comment est contrôlé le développement des vésicules séminales ?

2- L'ablation de l'hypophyse (hypophysectomie) chez un rat mâle normal provoque les symptômes suivants : dégénérescence des testicules, arrêt de la spermatogenèse, régression des vésicules séminales. On réalise la parabiose d'un rat hypophysectomisé et d'un rat castré (document 1b). Les vésicules séminales des deux rats ont alors un poids comparable à celui des vésicules séminales d'un rat témoin. Les testicules du rat hypophysectomisé sont normaux ; la spermatogenèse aussi. Quel rôle joue l'hypophyse sur le fonctionnement des organes sexuels mâles ?

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

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

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

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

Exercice 8

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

1) Nommez les structures A, B, C, D, E, F, G et H.

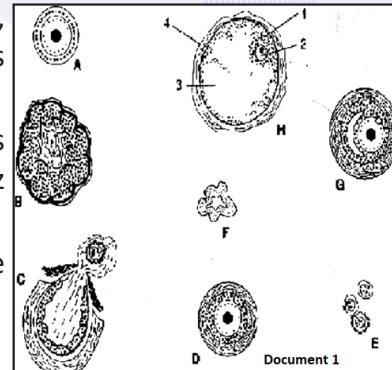
2) Annotez la structure H suivant les chiffres indiqués.

3) Précisez, en justifiant votre réponse, si l'organe considéré est prélevé avant ou après la puberté.

4) Donnez l'ordre chronologique de l'évolution des structures représentées, en expliquant sommairement les transformations qui affectent ces structures.

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

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



Exercice 9

Sur le document 1 ci-contre figurent diverses formations visibles dans un ovaire humain.

1- Reconnaissez les formations a, b, c, d et e. Donnez la légende correspondant aux numéros (de 1 à 6).

2- Quelles sont les structures ovariennes observées :

a- au cours de la vie fœtale.

b- pendant l'enfance.

c- au cours du cycle ovarien.

3- Quel est le mécanisme hormonal qui explique :

a- Le passage d'un follicule cavitaire (tertiaire) à un follicule mûr ou de De Graaf.

b - Le passage d'un follicule mûr à un corps jaune.

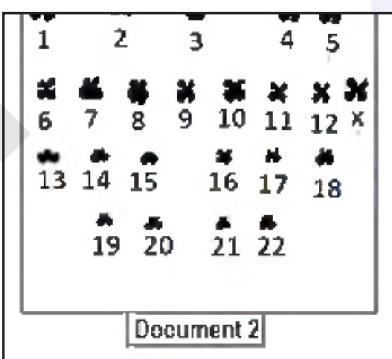
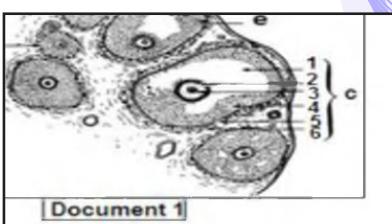
4- Un événement important du cycle ovarien est l'expulsion d'un ovocyte au 14^{ème} jour. La photographie du document 2 ci-contre représente le caryotype de cette cellule au moment de l'expulsion.

a- Préciser la formule chromosomique de cette cellule.

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

a- Cette cellule est fécondée par un spermatozoïde normal.

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



Exercice 10

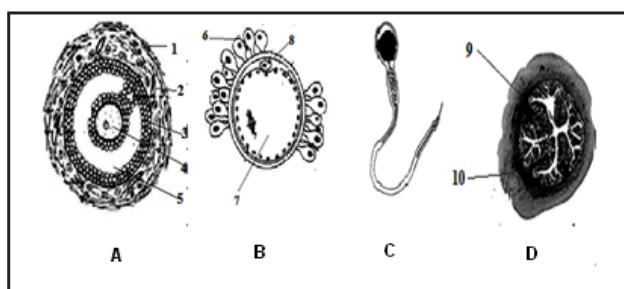
Les éléments A, B, C et D sont prélevés de certaines parties des organes génitaux mâle et femelle.

1- Identifier ces éléments et compléter la légende.

2- Préciser le lieu et le moment de prélèvement de chacun.

3- En choisissant $2n=6$ dont une paire sexuelle, représenter les garnitures chromosomiques des cellules de la structure B et la cellule C.

4- Citez brièvement l'ensemble des relations et interactions entre ces différents éléments.



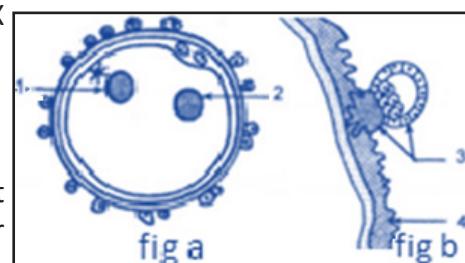
Exercice 11

La figure a du document ci-contre illustre une phase d'un phénomène X et la figure b illustre un phénomène Y.

1- Légendez ce document.

2- Identifiez les phénomènes X et Y.

3- Citez les transformations cytologiques et nucléaires qui se déroulent depuis la pénétration du spermatozoïde jusqu'à la phase illustrée par la figure a.



- 4- Expliquez comment l'élément désigné par la flèche n°3 contribue au maintien de la grossesse.
- 5- Représentez l'évolution des hormones ovariennes (O et P) et hypophysaires (FSH et LH) pendant la période qui commence à partir de la figure b, justifiez votre réponse.

Exercice 12

La régulation de la fonction reproductrice humaine (féminine) fait intervenir des interactions entre différents organes grâce à des hormones.

- 1) Définissez le mot « hormone ».
- 2) Recopiez le tableau suivant tout en complétant pour chacune des hormones données l'origine, les cellules cibles et les effets physiologiques sur les cellules cibles.

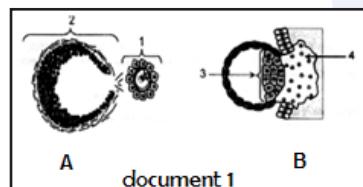
Hormones	Origine	Cellules cibles	Effets physiologiques
FSH			
HCG			
Progesterone			

- 3) Les figures A et B du document 1 suivant illustrent deux événements qui se déroulent au niveau de l'appareil génital de la femme.

a- Légendez le document 1 en reportant les numéros sur votre copie.

b- Identifiez les deux événements illustrés par les figures A et B

c- Précisez les lieux de leur déroulement.



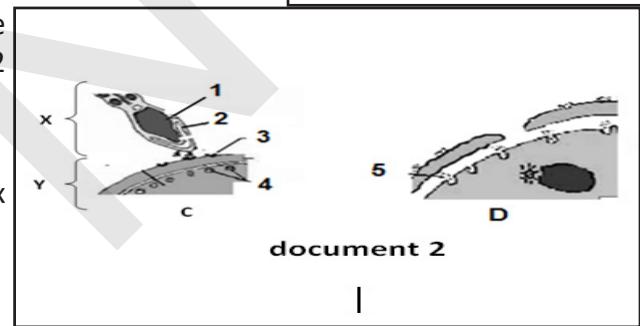
- 4) Un événement manquant permet le passage de l'étape A à l'étape B . Les figures C et D du document 2 élucident deux étapes de cet événement.

a- Nommez l'événement manquant.

b- Donnez une légende et un titre à chacune des deux étapes C et D présentées par le document 2.

- 5) Comment se fait l'étape C ?

- 6) Indiquez la cause et la conséquence de l'étape D.



Exercice 13

Le graphe ci-dessous représente le nombre d'ovogones puis d'ovocytes présents dans les ovaires depuis le temps embryonnaire jusqu'à l'âge adulte.

- a) Faire l'analyse de ce graphe en précisant les différentes phases que l'on peut distinguer.

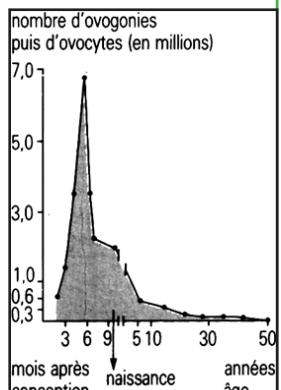
b) À quel moment, sur le graphe, se situe le stade de la multiplication des ovogones ?

c) Pourquoi peut-on dire d'un ovocyte qui vient d'être pondu qu'il a l'âge de la femme ?

d) Soit le cas d'une femme pubère à 13 ans et ménopausée à 50 ans, ayant eu 2 enfants. Faire le calcul durant sa vie génitale :

- du nombre d'ovocytes ovulés et du nombre d'ovules produits. Calculer le rapport entre le nombre d'ovocytes ovulés et le nombre d'ovocytes présents chez le fœtus (6800000) ;
- du nombre de corps jaunes (périodiques et de grossesse) formés et de l'âge minimal et maximal des ovocytes ovulés.

(On supposera des cycles réguliers de 30 jours et des « suites de couches » de 60 jours).

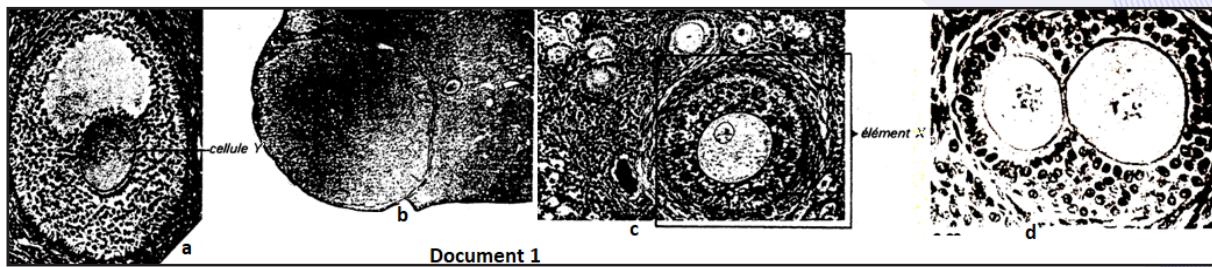


Exercice 14

- I- Les photographies du document 1 montrent des coupes partielles d'ovaires observées au microscope photonique, à différents grossissements.

- 1) Mettre une légende au document 1a et donner un titre à chacun des documents 1a et 1b

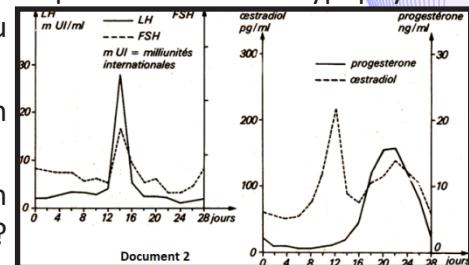
2) Mettre une légende au document 1c. Quelle peut être l'évolution ultérieure de l'élément X encadré ?



Document 1

II- Les graphes du document 2 représentent l'évolution du taux plasmatique des hormones hypophysaires (FSH et LH) et ovariennes (œstradiol et progesterone) au cours du cycle menstrual chez la femme.

- 1) Décrire l'évolution des sécrétions ovariennes ; les mettre en relation avec les structures représentées sur le document 1.
- 2) À un moment du cycle, les sécrétions hypophysaires montrent un maximum. Quelles en seront les conséquences au niveau de l'ovaire ?



III- La cellule Y visible sur le document 1a est libérée (dans la cavité folliculaire) peu de temps avant l'ovulation, par dissociation des cellules qui l'entourent. Dans cette cellule Y la première division de la méiose, qui était bloquée en prophase, reprend alors pour donner deux cellules. Le document 3 montre après l'ovulation.

A) 1- Identifier ces deux cellules.

2- Faire un schéma annoté de l'anaphase de cette première division en supposant que la garniture chromosomique est $2n = 4$.

B) On veut déterminer quelques conditions qui permettent la reprise de la méiose.

1- expériences de culture in vitro :

a- cette cellule Y cultivée isolément reprend sa méiose.

b- cultivée en contact avec des cellules folliculaires, elle reste bloquée en prophase.

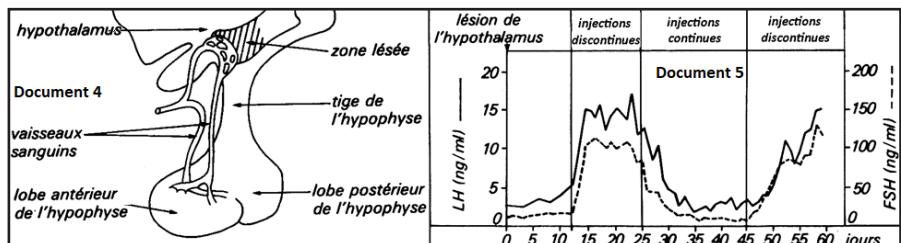
c- cultivée avec des cellules de la thèque, elle reprend sa méiose.

Quels renseignements peut-on tirer de l'analyse de ces expériences ?

2- Expérience effectuée sur l'animal : On empêche l'élévation du taux de LH ; les cellules entourant Y ne se dissocient pas, la cellule Y reste bloquée en prophase. En quoi cette expérience, jointe aux précédentes, permet-elle de comprendre comment est déclenchée la reprise de la méiose de Y ?

IV - Chez les Singes, des lésions pratiquées au niveau de l'hypothalamus (document 4) entraînent de profondes perturbations dans le fonctionnement de l'appareil génital. Dans l'hypothalamus a été isolée une substance : la GnRH.

A) Les courbes du document 5 représentent l'évolution de la sécrétion de LH et FSH lorsque sont pratiquées des perfusions (voie intraveineuse) de GnRH chez une femelle de Singe dont l'hypothalamus a été détruit.



Ces perfusions de GnRH sont, soit discontinues (pulsatiles) à raison de 1µg/l pendant 6 minutes toutes les heures, soit continues (avec des doses variant entre 0,001 à 1µg/l). Le résultat obtenu par une perfusion continue est le même quelle que soit la dose utilisée.

B) chez la femelle de Singe rhésus ayant atteint la maturité sexuelle, le fonctionnement de l'appareil génital montre une activité cyclique, comparable à celle de la femme. Après destruction de l'hypothalamus (jour 0) Knobil pratique des injections discontinues de GnRH à raison de 1µg/l pendant 6 minutes toutes les

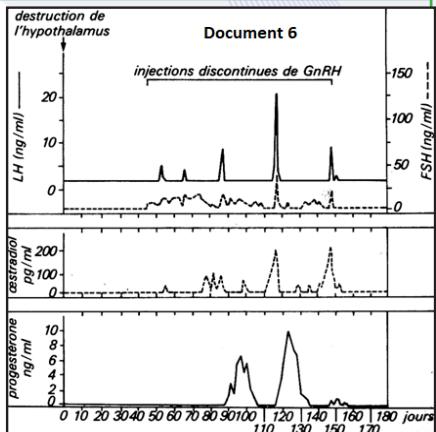
heures. Les graphes du document 6 montrent alors l'évolution du taux des hormones ovariennes et hypophysaires.

1) En comparant les documents 2 et 5, exprimer :

- a- Par quoi se traduit la destruction de l'hypothalamus ?
- b- Quelles sont les conséquences des injections de GnRH ?
- c- Quel rôle joue l'hypothalamus chez l'animal intact ?

2) Comment le document 6 permet-il d'évaluer la durée d'un cycle ovarien chez la femelle de Singe rhésus ? Quelle est cette durée ?

V- Indiquer, sur un schéma simple, à partir des données fournies les relations qui existent entre les différents organes cités dans ce sujet.



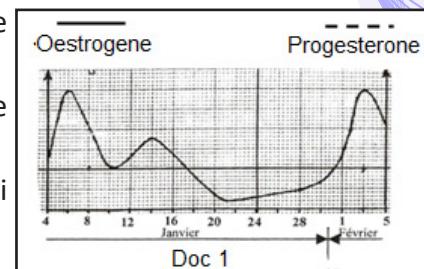
Exercice 15

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

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

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

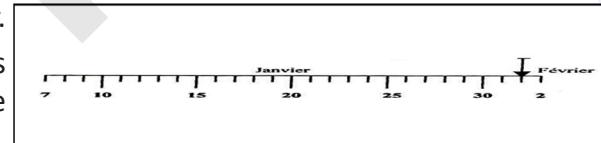
- une ovulation;
- début de menstruation;
- un maximum de développement du corps jaune.



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

3- Reproduisez le document suivant sur lequel vous représenterez l'évolution des structures ovaries durant la période située entre le 07 janvier et le 02 février.

4- Reproduisez le document suivant sur lequel vous représenterez l'évolution de l'endomètre de cette femme durant la période indiquée en 3°)



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



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

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

Exercice 16

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

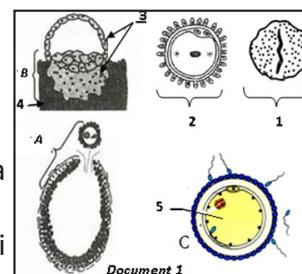
1- Nommez les structures désignées par les flèches de 1 à 5

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

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

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

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



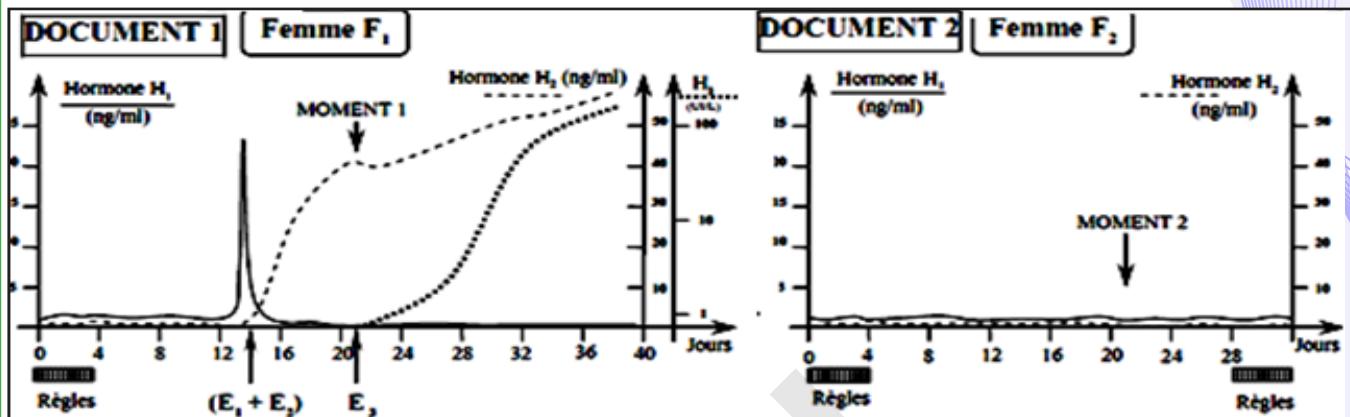
5- La pilule combinée est un contraceptif chimique qui permet l'arrêt des évènements A et B chez la femme. Expliquez son mode d'action.

Exercice 17

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

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

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



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

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

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

B- Le document 2 ci-contre, montre deux structures A et B observables à deux temps différents dans les voies génitales de la femme F_1 .

1-Identifiez et légandez ces structures.

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

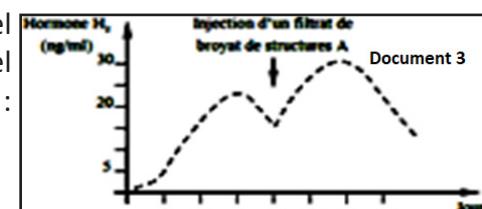
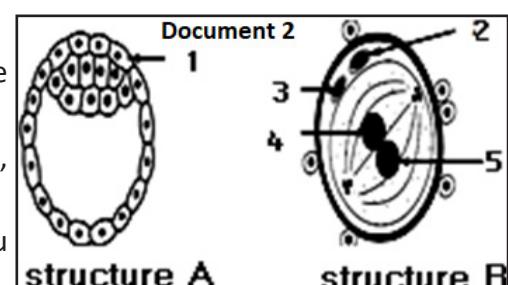
3- Afin de déterminer le rôle de certaines cellules de la structure A, on réalise l'expérience suivante :

On injecte à une guenon vers la fin de son cycle, un filtrat purifié du broyat de plusieurs structures A et on dose le taux de l'hormone H_2 chez cette guenon. On obtient le tracé du document 3 ci-contre :

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

4- En intégrant l'ensemble des informations, et en faisant appel à certaines de vos connaissances, faites un schéma fonctionnel montrant les interactions hormonales entre les organes suivants :

- Complexe hypothalamo – hypophysaire ;
- Structure A ;
- Ovaire Utérus (endomètre + myomètre) et ce dans les jours qui suivent le moment 1.



Exercice 18

A- On se propose d'étudier quelques aspects de la reproduction chez la femme. Pour cela, on réalise des dosages sanguins de deux hormones H_1 et H_2 chez une femme au cours de deux cycles sexuels successifs.

Les résultats sont consignés dans le document ci-dessous.

1- Analysez ce document afin d'(e) :

- a- identifier les hormones H_1 et H_2
 b- reconnaître les évènements E_1 , E_2 et E_3 .
 c- déterminer la nature des cycles C_1 et C_2 .

2- Précisez le déterminisme hormonal :

a- des règles à la fin du cycle C_1 .

b- de l'événement E_1 .

3- Précisez le type de rétro-contrôle aux temps : T_1 , T_2 , T_3 et T_4 .

4- Représentez :

a- les structures ovariennes constatées aux temps : T_2 et T_3 .

b -l'état de l'endomètre aux temps : T_1 et T_2 .

B- On suit l'évolution du taux plasmatique de l'hormone H_1 chez deux guenons adultes.

L'une est à cycle sexuel normal et l'autre ayant reçu des doses de l'hormone H_2 du 21^{ème} au 24^{ème} jour de son cycle. La courbe ci-contre montre les résultats de ce dosage.

1- Analyser ces données et déduire l'effet de l'hormone H_2 .

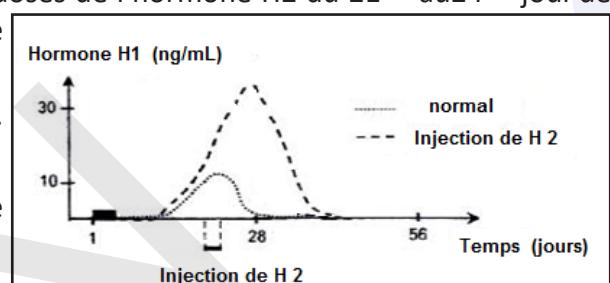
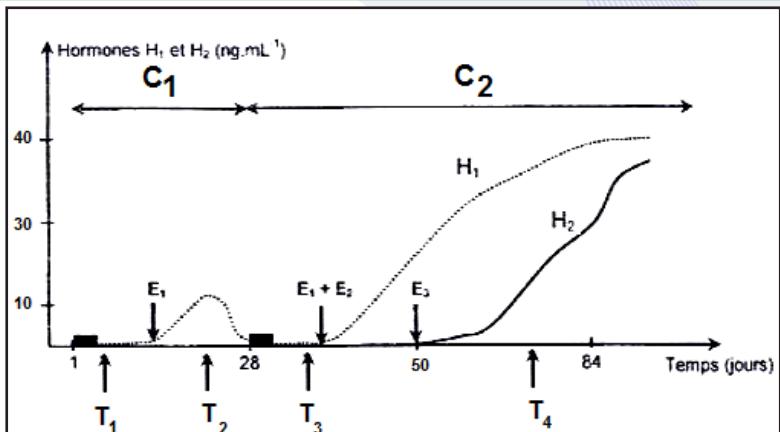
2- Etablir la relation entre les hormones H_1 et H_2 .

C- On pratique chez deux guenons G_1 et G_2 une ovariectomie pendant deux temps différents de leur gestation :

Pour G_1 : au début, de la gestation.

Pour G_2 : au cours de la gestation.

Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :



	Guenon G_1	Guenon G_2
Résultats	Avortement. Arrêt de la sécrétion de H_1	La gestation se poursuit normalement. Sécrétion croissante de H_1 et H_2

1- Exploitez les résultats de cette expérience en vue d' (e) :

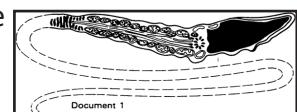
a- dégager les structures responsables de la sécrétion de H_1 chez la guenon G_1 .

b- expliquer le mécanisme de la poursuite de la gestation chez la guenon G_2 .

2- A partir des informations dégagées des expériences précédentes et en faisant appel à vos connaissances, représentez, à l'aide d'un schéma fonctionnel, les relations hormonales qui s'établissent entre les organes mis en jeu chez une femme enceinte.

Exercice 19

I- Le dessin du document 1 a été réalisé d'après une coupe de spermatozoïde observée au microscope électronique ?



Annotez ce dessin avec précision.

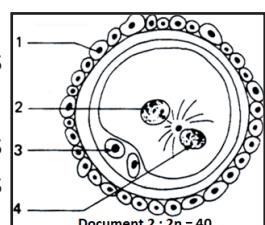
II- Le document 2 représente un stade précis d'un phénomène que vous nommerez.

Décrivez-en sommairement les principales étapes, en situant, arguments à l'appui, celle qui est représentée ici.

Vous annoterez le document 2 ; vous indiquerez également combien les éléments notés 1, 2, 3 et 4 comportent de chromosomes.

III- Les hormones ovariennes sont éliminées dans l'urine sous forme de phénolstéroïdes pour les œstrogènes et sous forme de prégnandiol pour la progestérone. Ces substances ont été dosées régulièrement chez une femme pendant un certain temps.

Les résultats ont permis de construire le graphe du document 3.

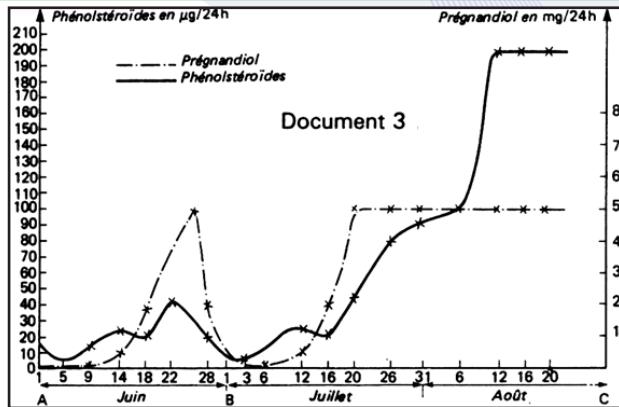


1- Analysez et interprétez la partie AB du graphique et indiquez, en vous appuyant sur vos connaissances, quelle est l'origine des hormones ovariennes ?

2- Placez sur le graphique, le phénomène étudié en II.

3- À quel phénomène correspond la partie BC du graphique ? Justifiez votre réponse.

IV- 1- La castration d'une lapine gestante entraîne l'interruption de la gestation, quel que soit le moment où on la pratique. La destruction des corps jaunes entraîne le même résultat.



2- Chez la lapine, c'est l'accouplement qui provoque l'ovulation. Si on accouple des lapines avec des mâles rendus stériles par la ligature des spermiductes, les phénomènes utérins préparatoires à la nidation se produisent ; ils atteignent leur apogée au 7^{ème} jour puis régressent. La destruction des jeunes corps jaunes, trente heures après l'accouplement, empêche cette évolution : l'utérus reste au repos.

3- Si on castre des rates en début de gestation, la nidation ne se produit pas. Elle s'effectue dès qu'on administre aux rattes opérées de la progestérone, ou mieux, un mélange, progestérone/estrogènes.

Analysez successivement ces expériences et dites quelle(s) information(s) chacune d'elle(s) apporte. Concluez.

V- 1- Chez la femme enceinte, l'ablation des ovaires, pratiquée avant trois mois, provoque l'avortement.

Par contre, si cette intervention est effectuée plus tard, elle n'a pas d'influence majeure sur la grossesse qui se poursuit normalement.

2- Le document 4 a été établi au cours de la surveillance hormonale de la grossesse d'une femme (grossesse normale), chez laquelle on a dosé régulièrement les formes d'élimination urinaires des principales hormones.

3- Chez la femme non enceinte, l'injection de HCG (hormone gonadotrope chorionique) pendant 10 jours en phase lutéale entraîne le maintien du corps jaune, et des taux d'élimination urinaire d'œstrogènes et de progestérone comparables à ce que l'on observe en début de grossesse.

4- Toutes les mesures effectuées chez la femme enceinte montrent que la masse de pregnandiol dosée dans les urines augmente parallèlement à la masse et l'activité fonctionnelle du placenta. Par contre, on observe que le taux des œstrogènes éliminés croît en fonction de la masse du fœtus, particulièrement en fin de grossesse. Analysez successivement ces données et dites quelle(s) information(s) chacune d'elle(s) apporte.

VI- En conclusion, vous construirez avec soin et précision un grand schéma de synthèse qui résumera les interactions hormonales évoquées aux questions II, IV et V.

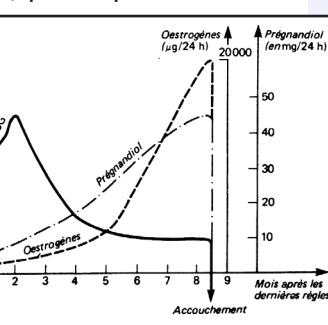
Exercice 20

La fécondation interne constitue la première étape de la gestation. On se propose d'étudier le devenir de l'œuf issu de cette fécondation dans l'espèce humaine.

I- Document 1 : La figure 1 représente une coupe partielle de l'appareil génital féminin ; la figure 2 indique, dans le désordre, le détail de ce qui se passe depuis l'ovulation jusqu'à la nidation.

1- Annotez avec soin (figures 1 et 2). A chacune des lettres de la figure 1, faites correspondre un des numéros de la figure 2, en respectant l'ordre chronologique des événements.

2- Précisez le nombre des chromosomes des lettres A, B, C, D, E, G, H et dites quel est le principal intérêt des phénomènes révélés par les schémas de la figure 2.

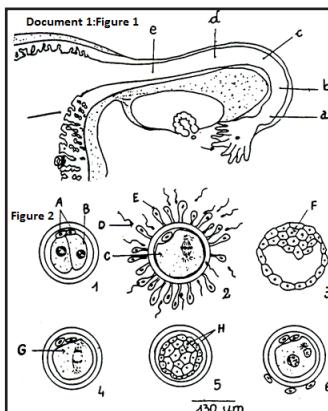


L'unité Lapine est la plus petite dose de gonadotrophine qui fasse apparaître en quarante-huit heures chez une Lapine pubère vierge de 2 kilogrammes environ au moins un follicule hémorragique sur au moins un ovaire.

1 UL = 7 UI (unités internationales).

1 mg d'HCG a une activité biologique de 10 000 UI.

Document 4



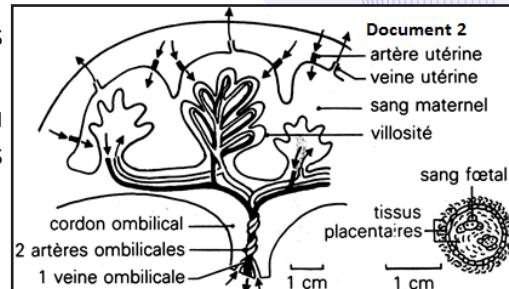
II- Dès la nidation, on peut noter le développement d'un organe particulier, le placenta.

A- Document 2 :

1- La figure 1 représente la structure anatomique du placenta, et la figure 2, la coupe microscopique d'une villosité placentaire (microscope optique).

Quelle est l'implication de ces structures sur les rapports des vaisseaux sanguins maternels et fœtaux ?

2- Le tableau suivant rend compte de la pression partielle du dioxygène et du dioxyde de carbone (en mm Hg) dans ces vaisseaux. Les expériences ont été réalisées chez la vache.



	Artères utérines	Veines utérines	Capillaires artériels du fœtus	Capillaires veineux du fœtus
O ₂	70	41,5	5,5	11,5
CO ₂	41	46,5	50	48

Quelles informations apporte l'analyse de ce tableau sur les échanges gazeux placentaires ? Pouvez-vous expliquer ces échanges gazeux ?

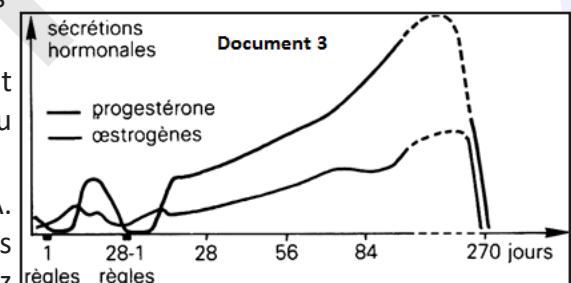
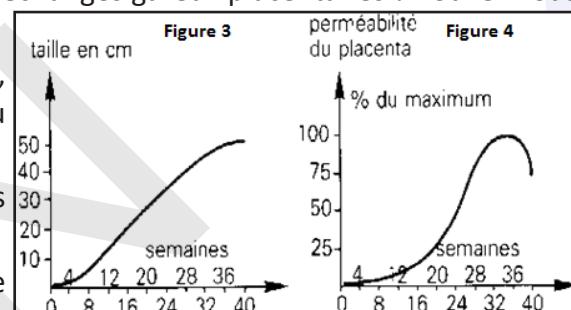
3- La courbe de la figure 3 traduit la croissance du fœtus, et celle de la figure 4, les variations de la perméabilité du placenta au cours de la grossesse.

Analysez ces deux courbes ; quel rôle du placenta vous suggèrent-elles ?

B- Document 3 : Ce document représente, chez une femme normale, l'évolution du taux de quelques hormones sécrétées au cours d'un cycle non fécondant suivi d'une grossesse.

1- Après avoir rappelé ce que sont les règles, comment expliquez-vous, d'après ce document 3, leur disparition au cours de la grossesse ?

2- Pour des raisons médicales, on a pratiqué chez Mme A. l'ablation des ovaires avant le 2^{ème} mois : Mme A. avorte les jours suivants par dégradation de sa muqueuse utérine. Chez une autre femme, Mme B., l'ablation a lieu après le 2^{ème} mois : sa grossesse s'est déroulée normalement. Expliquez ces deux cas à l'aide du document 3.



Exercice 21

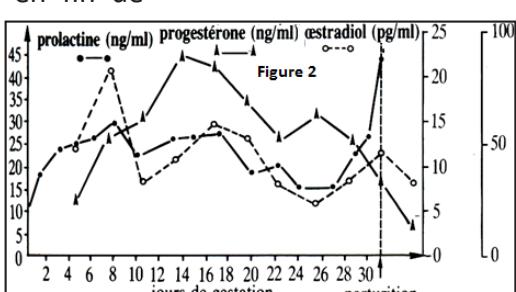
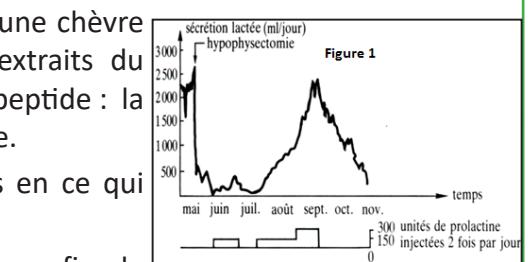
A- On réalise l'ablation de l'hypophyse (hypophysectomie) chez une chèvre en période d'allaitement, puis on injecte à cet animal des extraits du lobe antérieur de l'hypophyse contenant notamment un polypeptide : la prolactine. La figure 1 traduit les résultats de cette expérience.

a- Analysez ce graphique. Quelles conclusions en dégagiez-vous en ce qui concerne le rôle de la prolactine ?

L'administration de prolactine à des femelles de mammifères en fin de gestation a pour effet d'augmenter la quantité de poly ribosomes liés aux membranes du réticulum endoplasmique et la quantité des ARNm codant pour les caséines.

b- Quelles précisions vous apportent ces informations quant au mode d'action de la prolactine ?

B- On cherche à savoir pourquoi la montée laiteuse (afflux de lait aux mamelles) n'est possible qu'après la parturition. Les



observations suivantes ont été réalisées chez la lapine.

1- L'administration de progestérone du 2^{ème} aux 24^{ème} jours de gestation s'oppose à la montée laiteuse qui aurait normalement lieu au 20^{ème} jour.

2) La figure 2 représente les concentrations plasmatiques d'oestradiol, de progestérone et de prolactine au cours de la gestation et de la lactation.

A partir de ces documents, comment pouvez-vous envisager les interactions entre ces hormones ?

Exercice 22

1- Les courbes 2 et 3 du document 1 donnent la concentration plasmatique de deux hormones ovariennes d'une femme ; la courbe 1 donne le taux plasmatique d'une hormone hypophysaire.

- a- Déterminez le nom et l'origine de chacune d'elles.
- b- Déterminez la durée du cycle sexuel et la date approximative de l'ovulation.

2- Le document 2 représente des coupes transversales d'un organe féminin :

a- De quel organe s'agit-il ?

b- Situez les coupes obtenues par rapport aux phases du cycle sexuel.

3- Afin de chercher le déterminisme des transformations que subit cet organe au cours du cycle sexuel, on réalise les expériences suivantes :

- l'ovariectomie totale d'une ratte entraîne la disparition de telles modifications alors qu'une greffe d'un fragment d'ovaire les fait rétablir.
- des lapines impubères reçoivent des injections quotidiennes d'oestradiol (E) ou de progestérone (P) durant un certain nombre de jours (doc. 3).

Les organes concernés sont ensuite prélevés et comparés par rapport à un organe témoin :

a- Que peut-on conclure ?

b- Décrivez les modifications que subit cet organe au cours du cycle.

Quel est l'intérêt de telles modifications ?

4- Le document 4 correspondant à des dosages réalisés chez une femme prenant des pilules combinées.

a- Comparez les courbes obtenues à celles du document 1.

b- Déterminez d'après vos connaissances le rôle des pilules absorbées.

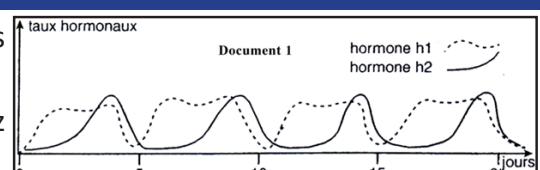
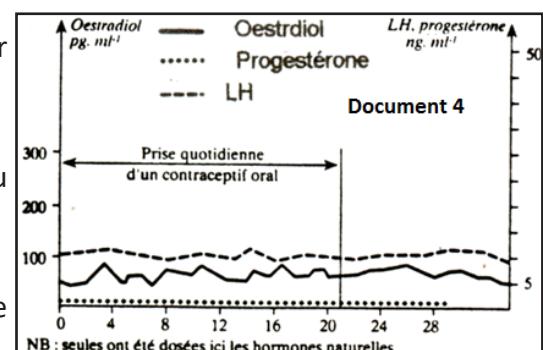
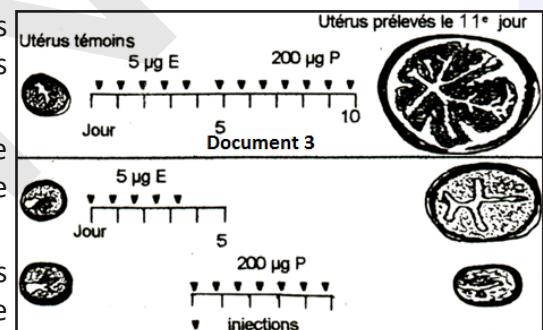
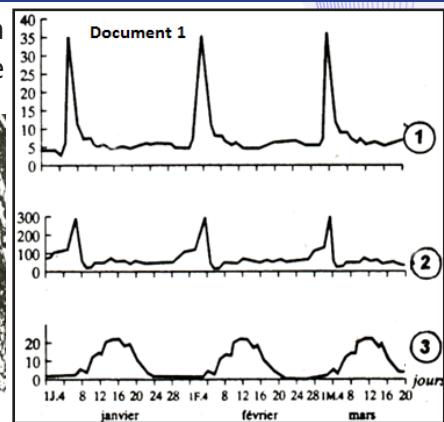
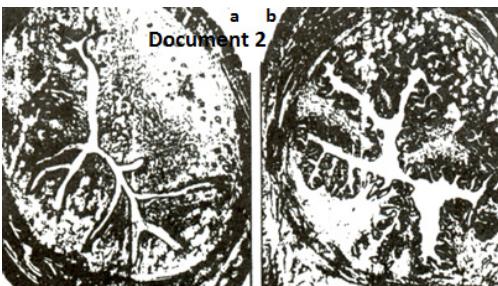
c- Peut-on observer les modifications habituelles au niveau de l'organe considéré ? Expliquez.

d- L'arrêt de la prise de la pilule à partir de la 21^{ème} journée est suivi de règles presque normales. Expliquez le maintien de la menstruation.

Exercice 23

A- Les graphes du document 1 représentent les taux sanguins des hormones ovariennes chez une ratte.

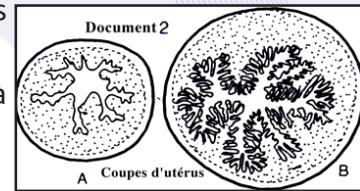
1- Quelle est la durée du cycle sexuel chez la ratte ? Justifiez votre réponse.



2- Identifiez les hormones h_1 et h_2 en justifiant votre réponse. Par quelles structures ovariennes sont-elles sécrétées ?

B- Le document 2 représente les coupes transversales de l'utérus de la ratte à deux moments différents du cycle sexuel.

3- Comparez les deux coupes de l'utérus.



A quelle période du cycle ovarien correspond chacune d'elles ? Justifiez votre réponse.

Exercice 24

A-1- Le document 1 donne les résultats de deux spermogrammes (analyse du sperme) : celui d'un témoin dont la fertilité est normale et celui de Monsieur R.

Monsieur R.	
VOLUME d'un éjaculat : 0,5 ml	pH : 7,6
NUMÉRATION : Spermatozoïdes : $2.10^6/ml$	
MOBILITÉ :	après 1 heure après 4 heures
% à mobilité normale :	1 0
% à mobilité diminuée :	6 0
% de formes immobiles :	93 100
VITALITÉ :	50 % de formes vivantes (1 ^{ère} heure)
AGGLUTINATS SPONTANES :	par le flagelle : Rares
Par la tête :	Nombreux
SUR 100 SPERMATOZOÏDES OBSERVÉS, on a relevé :	
- Formes typiques :	60 %
- Formes atypiques :	40 %

Monsieur et Madame R ne peuvent avoir d'enfant.

Des examens effectués chez Madame R n'ont montré aucune anomalie, ni de l'anatomie, ni du fonctionnement de l'appareil génital.

En vous appuyant sur une comparaison issue d'une analyse méthodique du document 1, dites quelles sont

les causes possibles de cette stérilité.

2- Un éjaculat humain comprend en moyenne 100 à 400 millions de spermatozoïdes. Il n'en parvient que 1% environ dans l'utérus et seulement une centaine au niveau des trompes.

Expliquez les causes de cette disparition d'un grand nombre de spermatozoïdes dans les voies génitales de la femme.

3- On s'est demandé si les nombreux spermatozoïdes qui ne parviennent pas jusqu'aux trompes jouaient un rôle. On a alors réalisé l'expérience dont les résultats figurent dans le tableau ci-dessous, sur plusieurs souris.

Nombre de spermatozoïdes utilisés lors d'une insémination des souris	Nombre d'œufs en division observés dans les trompes	Nombre d'ovocytes pondus au total	Pourcentage de fécondation réussie
$6 \cdot 10^5$	121	215
$7,7 \cdot 10^6$	161	207

a- Calculez le pourcentage de fécondation réussie dans les deux cas.

b- En quoi cette expérience apporte-t-elle une réponse au problème posé ?

c- Si se confirme le fait que des observations semblables peuvent être réalisées pour l'espèce humaine, quelle réponse donnerez-vous au problème de la stérilité du couple étudié ?

B- Dans certains cas, le spermogramme ne montre aucune anomalie et pourtant il y a stérilité. On oriente alors les recherches sur les phénomènes observés lors de la rencontre des gamètes.

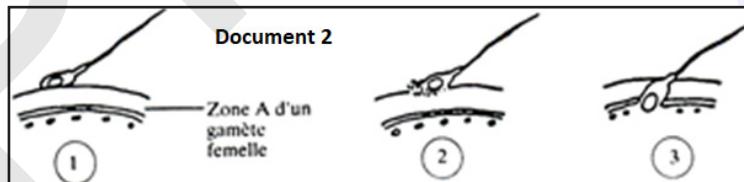
1- Les schémas du document 2 montrent quelques aspects de cette rencontre des gamètes.

Indiquez quelles sont les trois phases ainsi schématisées.

2- Dans quelques cas de stérilité, on constate, que les spermatozoïdes ne réalisent jamais la phase (2).

Que révèle cette observation ?

3- Dans d'autres cas, on n'observe même pas la phase (1). Pour comprendre cette dernière anomalie, on peut s'appuyer sur des expériences réalisées chez la souris et dont les conclusions sont applicables à l'espèce humaine.



Expérience : La zone A du gamète femelle

(document 2) est riche en glycoprotéines (protéines associées à des sucres). On extrait certaines de ces glycoprotéines et on les place in vitro en présence de sperme de souris. Elles s'associent alors aux spermatozoïdes.

Les spermatozoïdes ainsi traités sont ensuite mis en présence de gamètes femelles de souris et parallèlement on réalise une expérience avec du sperme non traité. Dans le premier cas, on n'observe plus la phase (1) alors que cette phase est visible dans l'expérience témoin.

a- Quelles explications pouvez-vous donner à ces résultats ?

b- Cette expérience apporte-t-elle une réponse nouvelle au problème de la stérilité ?

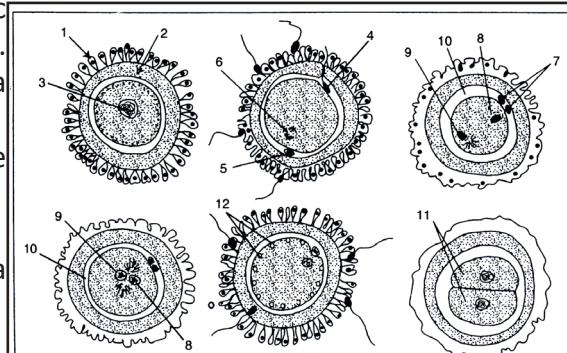
Exercice 25

Il est possible chez les femelles de mammifères (et plus facilement encore chez la femme) de prélever des gamètes femelles et de les mettre en contact in vitro avec des spermatozoïdes. On réalise ainsi la fécondation in vitro. Les documents ci-après représentent quelques étapes de la fécondation.

1- Identifier les structures désignées et rétablir l'ordre chronologique normal des événements.

2- Comparer brièvement gamète mâle et gamète femelle.

3- Conclure en donnant les conséquences essentielles de la fécondation.



Exercice 26

Dans le but de comprendre les causes de certains cas de stérilité humaine et les remèdes possibles, on vous propose d'exploiter les résultats d'analyses et d'examens médicaux réalisés chez quatre couples qui présentent des difficultés de concevoir des enfants.

Examens des ovaires :

Durant deux mois, les ovaires des quatre femmes X, Y, Z et T des couples concernés ont été examinés. Les résultats sont consignés dans le tableau (A) ci-dessous.

Femmes	Ovaires
X	- Absence de follicules cavitaires - Absence de follicules mûrs - Absence de corps jaune
Y	- Présence de tous les types de follicules - Tous les follicules ont une structure et une activité normale - absence de corps jaune
Z	- Présence de tous les types de follicules - Tous les follicules ont une structure et une activité normale - Présence de corps jaune dont la structure et le fonctionnement sont normaux
T	- Présence de tous les types de follicules - Tous les follicules ont une structure et une activité normale - Présence de corps jaune dont la structure et le fonctionnement sont normaux.

1- Analysez les résultats obtenus en vue de :

- Précisez lesquelles des femmes X, Y, Z et T ont une stérilité confirmée.
- Proposez des hypothèses permettant d'expliquer les causes de leur stérilité.
- Représenter, l'allure de la variation du taux des hormones ovariennes chez les femmes X, Y, Z et T (on considère un cycle sexuel normal de 28 jours)

Dosage du taux plasmatique des gonadostimulines :

On a dosé le taux plasmatique des gonadostimulines chez les femmes X et Y avant et après des injections pulsatiles de GnRH.

Le tableau (B) ci-dessous présente les concentrations moyennes de FSH et LH chez ces femmes par comparaison à celles d'une femme normale.

	Concentration moyenne en UL^{-1}			
	Avant l'injection de GnRH		Après l'injection de GnRH	
	FSH	LH	FSH	LH
Femme normale	Entre 3 et 16	Entre 1 et 35	Entre 12 et 32	Entre 10 et 54
Femme X	0.2	0.8	0.2	21
Femme Y	12	0.5	24	0.5

2- Analysez les résultats en vue de préciser la cause de stérilité de chacune des femmes X et Y.

Exploration des voies génitales :

On a injecté au fond du vagin des femmes Z et T une substance fluorescente, quatre heures plus tard, on cherche la fluorescence dans leurs voies génitales. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau (C)

Femmes	Trompes		Pavillons	Autour des ovaires
	Le tiers inférieur	Le tiers supérieur		
Z	+	-	-	-
T	+	+	+	+

(+) : présence de fluorescence.

(-) : absence de fluorescence

3- En exploitant les résultats des tableaux (A) et (C) précisez si les femmes Z et T sont normales ou stériles.

Analyse du sperme :

Le tableau (D) ci-dessous montre les résultats d'analyse du sperme du mari de la femme T.

	Volume d'éjaculat	Nombre de Spermatozoïdes	Pourcentage des spermatozoïdes normaux
Sperme fécondant	ml 1.5≤	millions / ml 20≤	60%≤
Sperme du mari de femme T	2.1	millions / ml 5	75%

4- A partir de l'analyse de ces résultats, déterminez la ou les cause(s) de stérilité chez le mari de la femme T.

5- D'après vos réponses précédentes, proposez un remède possible à la stérilité de chaque couple.

Pour l'un des couples, le médecin propose comme remède la FIVETE qui est une technique de procréation médicalement assistée (PMA). Les étapes de la FIVETE sont les suivantes :

- Traitement du sperme : Le sperme est recueilli dans une éprouvette stérile pour subir un traitement.

6- Dans quel but ce traitement est-il réalisé ?

7- Y a-t-il une date précise pour recueillir le sperme ? Justifiez.

- Induction de l'ovulation : Les équipes médicales qui pratiquent actuellement la FIVETE préfèrent prendre le contrôle hormonal du cycle sexuel chez la femme. Pour cela :

- Ils bloquent le fonctionnement hypophysaire par une administration continue d'un analogue de GnRH.
- Ils assurent un traitement hormonal spécifique qui permet la croissance de plusieurs follicules à la fois.
- Ils induisent la maturation de ces follicules et l'ovulation par injection d'une dose unique de HCG au 14^{ème} jour du cycle.

8- Proposez :

- une hormone qui peut être utilisée pour stimuler la croissance folliculaire.

- une durée de traitement.

9- Pourquoi dans un cycle sexuel naturel, un pareil résultat n'est-il pas obtenu ?

10 - Pourquoi l'administration de HCG à une date précise, provoque-t-elle la maturation des follicules et l'ovulation ?

Prélèvement des ovocytes : Un jour après l'injection de HCG sur une patiente anesthésiée et sous contrôle échographique, le clinicien examine les ovaires et repère des follicules de 17 mm de diamètre. Il aspire leur contenu.

11- De quel follicule s'agit-il ? Représentez-le par un schéma soigné et bien annoté.

12- A part l'échographie, un autre contrôle existe pour prévoir la date convenable de la ponction. Précisez lequel ?

- Fécondation in Vitro : l'insémination des ovocytes par les spermatozoïdes est réalisée in vitro.

Des fécondations peuvent avoir lieu.

13- Comment l'embryon par sa présence dans l'utérus, va-t-il modifier l'activité sexuelle de la femme ?

J'approfondis mes connaissances :

Document : Tableau comparatif de divers moyens contraceptifs

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

Projet de classe :

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

- Groupe 1 : Interprétation de graphes, de données statistiques en rapport avec la reproduction chez les mammifères (Consulter le professeur des Mathématiques).
- Groupe 2 : Protocole pour la nutrition pour une femme enceinte (Consulter le professeur des SVT, le médecin et documents).
- Groupe 3 : Compte rendu sur l'apport de la Chimie (Nature des hormones et leurs dérivés, pilules contraceptives, implants etc.).
- Groupe 4 : Dépliant ou affiche sur le suivi des grossesses, planning familial, mariage précoce. (Consulter le professeur de l'Instruction religieuse et civique).
- Groupe 5 : Exposé sur le comportement respectant les valeurs de la société sur la reproduction chez les mammifères (Consulter le professeur de l'Instruction religieuse : Allaitement naturel, contraception, Contraception,...).

Groupe 6 : Préparer une fiche métier d'un gynécologue et d'une sage-femme (Activités, compétences, - .(formation, carrière



CHAPITRE II : LA REPRODUCTION DES SPERMAPHYTES

IPN

CHAPITRE II : LA REPRODUCTION DES SPERMAPHYTES

Je découvre :

I- Morphologie de la fleur

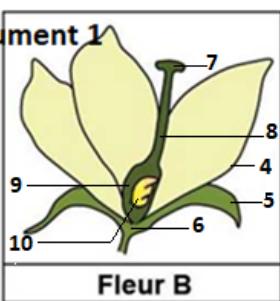
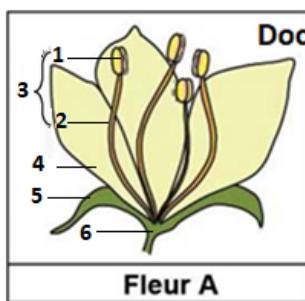
Activité 1 :

Comment est organisé l'appareil reproducteur d'une spermophage ?

Les figures A et B du document 1 représentent des schémas de deux fleurs qu'un jardinier a trouvées sur des palmiers dattiers différents.

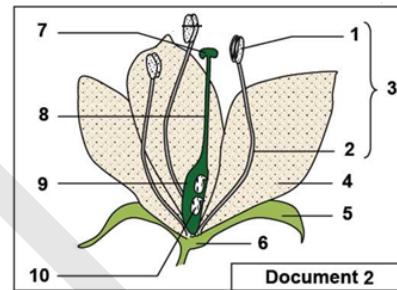
La fleur A, a été retrouvée sur le palmier dattier n°1 alors que la fleur B a été retrouvée sur le palmier dattier n°2.

Le document 2 représente une coupe de fleur d'une autre plante spermophage.



Légende :

- 1- Anthère
- 2- Filet
- 3- Étamines
- 4- Pétales
- 5- Sépales
- 6- Réceptacle
- 7- Stigmate
- 8- Style
- 9- Ovaire
- 10- Ovule



Après avoir comparé la fleur A à la fleur B, légendez la figure du document 2 et conclure.

La structure florale varie d'une espèce à l'autre. Ainsi on peut trouver des fleurs simples ou des fleurs composées (association de plusieurs fleurs en une structure unique), des fleurs monosexuées comportant les éléments reproducteurs uniquement mâles ou femelles (Document 1), ou des fleurs bisexuées présentant les éléments des 2 sexes (Document 2). On parle d'une plante :

- dioïque : quand les fleurs mâles et les fleurs femelles sont portées par deux plantes séparées. C'est le cas du palmier dattier par exemple.

- monoïque : quand une plante possédant à la fois des fleurs mâles et des fleurs femelles. C'est le cas de la majorité des Angiospermes (tomate, arachide, haricot, maïs ...).

La coupe schématique d'une fleur montre qu'elle est constituée de pièces florales insérées sur un réceptacle floral. Elle comprend, de l'extérieur vers l'intérieur

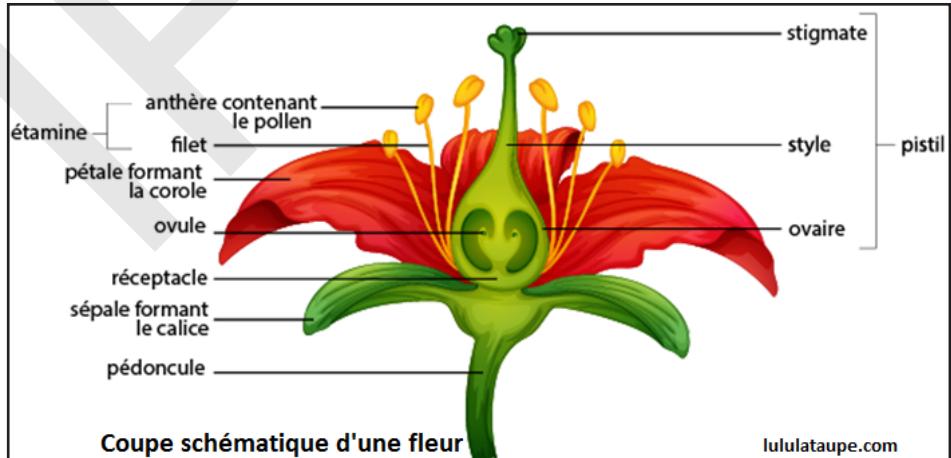
- Les organes de protection ou périclase (pièces florales stériles qui assurent la protection des organes reproducteurs) qui comprennent :

- le calice : souvent de couleur verte, il est formé par l'ensemble des sépales.
- la corolle : de formes et couleurs variables, elle est formée par l'ensemble des pétales.

- Les organes reproducteurs sont :

- l'androcéa (organe mâle) : c'est l'ensemble des étamines formées de deux parties, l'anthère et le filet où se forme le pollen.
- le gynécée ou pistil (organe femelle) : formé par l'ensemble des carpelles. Le carpelle est formé de trois parties : le style, l'ovaire, l'ovule et le stigmate.

Toutes ces pièces sont insérées sur le réceptacle, lui-même porté par le pédoncule.



Coupe schématique d'une fleur

lululataupe.com

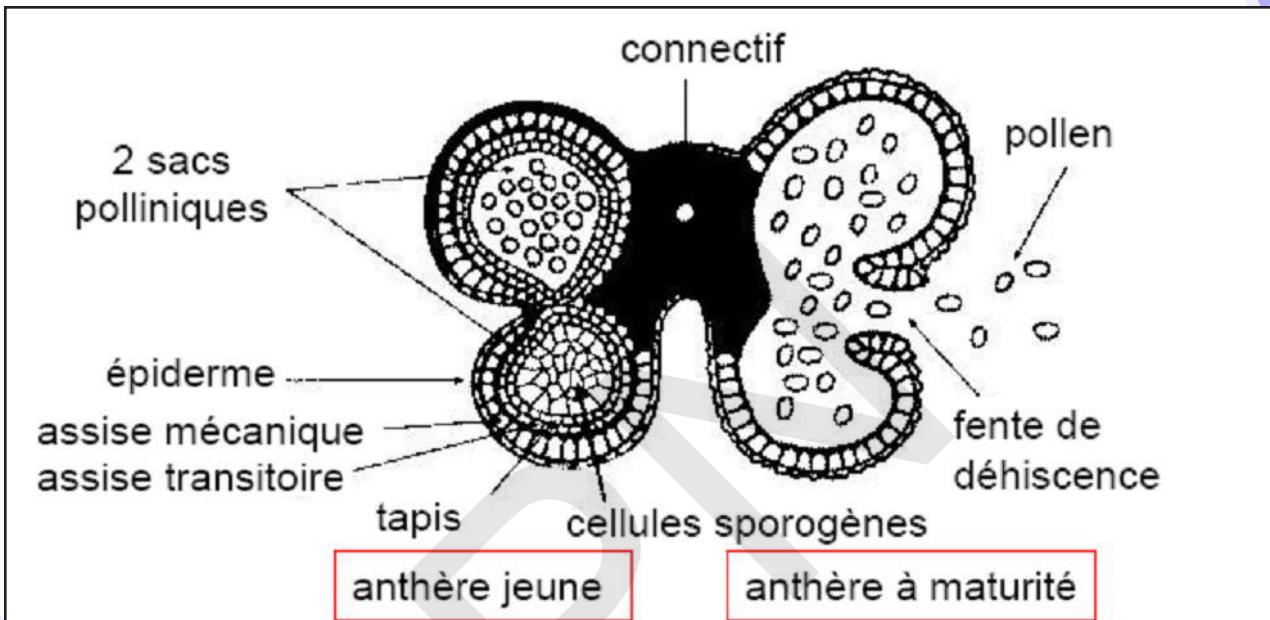
II- Les organes reproducteurs et la formation des gamètes

A- L'étamine

Activité 2 :

Comment étudier la structure de l'anthère ?

- Pincer une anthère jeune entre deux demi-cylindres de moelle de Sureau ;
- Faire, au rasoir, quelques coupes transversales très fines ;
- Procéder de même avec une anthère mûre ;
- Monter une coupe de chaque sorte entre lame et lamelle dans une goutte d'eau.
- Observer les résultats (voir figure ci-dessous)



A partir d'une étude comparative des deux coupes, étudier les deux structures.

- Dans les deux coupes, on distingue les 4 sacs polliniques des autres tissus : épiderme à stomates, tissu banal ou parenchyme, faisceau conducteur;
- Dans l'anthère jeune, l'examen des différentes parties d'un sac pollinique montre :
 - ✓ au contact de l'épiderme, la future assise mécanique faite de grandes cellules non encore différenciées ;
 - ✓ au-dessous, plusieurs assises de cellules nourricières ;
 - ✓ au centre, les cellules-mères du pollen.
- Dans l'anthère mûre :
 - ✓ le pollen est formé ;
 - ✓ les cellules nourricières sont en partie résorbées ;
 - ✓ l'assise mécanique, interrompue suivant la future ligne de déhiscence, est prête à fonctionner.

Chaque étamine comprend une partie mince, le filet, surmontée de l'anthère. Une coupe transversale dans une jeune anthère montre plusieurs sacs polliniques. L'anthère s'ouvre par une fente longitudinale (fente de déhiscence). Les bords de la fente s'enroulent vers l'extérieur, exposant ainsi les grains de pollen.

Les loges polliniques sont séparées par un sillon profond appelé connectif. Chaque loge pollinique est formée de sacs polliniques séparés par un sillon appelé fente de déhiscence : c'est par là que s'ouvrira l'anthère pour libérer le pollen.

L'observation microscopique d'un sac pollinique montre des cellules d'aspects

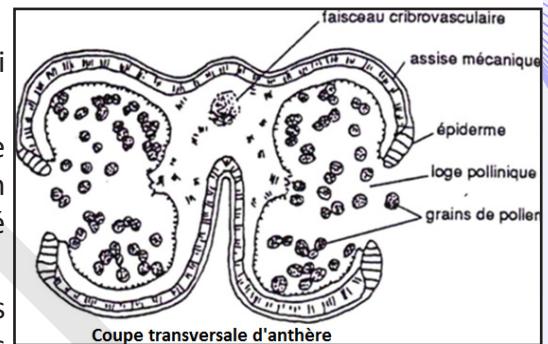


différents et disposées en couches concentriques. Il s'agit de l'extérieur vers l'intérieur de l'épiderme à stomates, de la future assise mécanique, les deux assises nourricières et la masse centrale des cellules mères du pollen. Dans la zone du connectif, on distingue un faisceau conducteur et un parenchyme. Une anthère est composée de deux thèques possédant chacun deux sacs polliniques avant maturité (nombre constant chez les Angiospermes). Ceux-ci fusionnent à maturité pour donner deux loges (anthère biloculaire), parfois une seule (anthère uniloculaire). Elles s'ouvrent, généralement par déhiscence, pour répandre les grains de pollen à l'extérieur.

La forme des anthères est très variable : elles peuvent être allongées, globuleuses, réniformes, etc.

Dans une section transversale d'une anthère, les couches suivantes sont observées de l'extérieur vers l'intérieur :

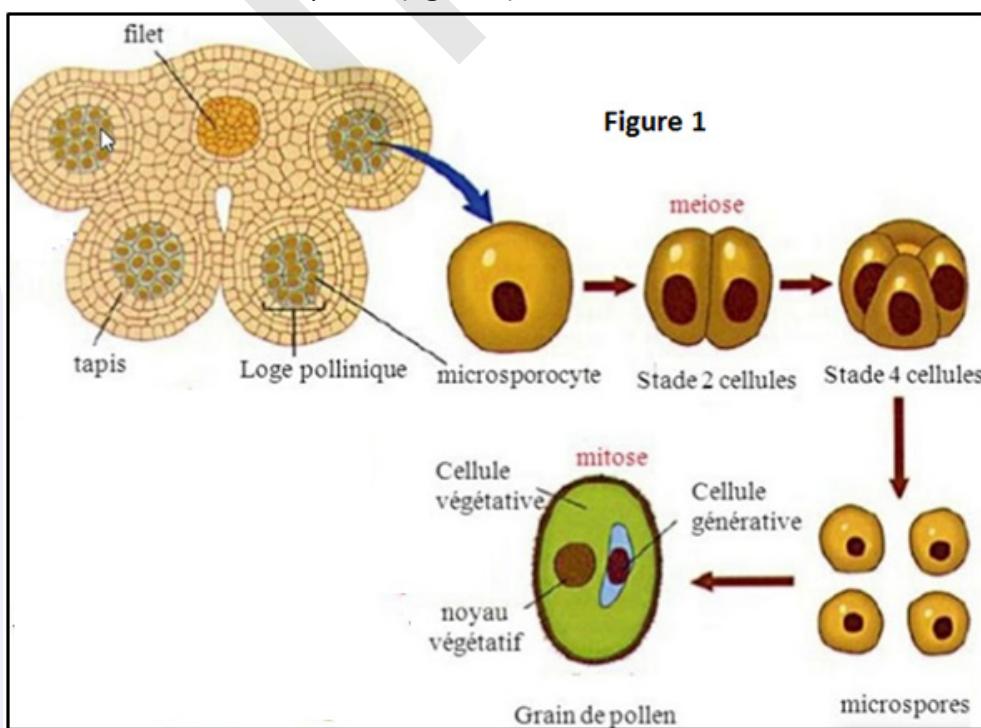
- l'épiderme ou exothécium, mince et continu. Parfois, il peut casser ou s'effondrer ou être interrompu.
- le tissu mécanique ou endothécium, couche fibreuse sur les bords extérieurs des sacs polliniques. Parfois, il continue dans le connectif.
- les 2 à 4 couches pariétales de cellules parenchymateuses, qui disparaissent rapidement écrasées, ou dégénèrent rapidement.
- le tapetum ou tissu nutritif : le tapetum est une couche spécialisée de cellules nutritives trouvées dans le sporange, en particulier dans l'anthère, des plantes à fleurs, où il est situé entre le tissu «sporogène» et la paroi de l'anthère.
- le tissu du sporangiospore constitue chaque sac pollinique. Les cellules du tissu «sporogène» forment par division mitotique les cellules souches du pollen ou microsporocytes, cellules assez volumineuses, avec un noyau volumineux.



Activité 3 :

Connaître le processus de formation et la structure du grain de pollen.

- A l'aide d'une pince fine et d'une aiguille lancéolée, disséquer sous la loupe binoculaire des boutons floraux d'une plante à fleurs (de votre région) ;
- Ecraser les jeunes anthères dans une goutte d'eau entre lame et lamelle ;
- Suivre les phases de la formation du pollen (figure 1) ;



- Observer le grain de pollen (figure 2).

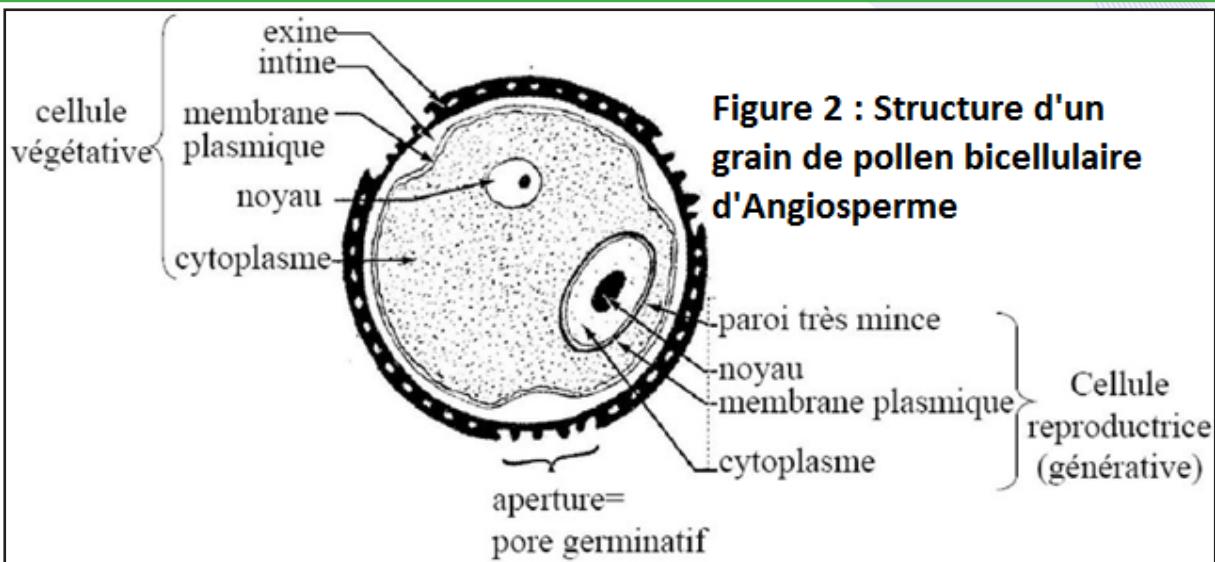


Figure 2 : Structure d'un grain de pollen bicellulaire d'Angiosperme

Commenter les deux figures afin de dégager les étapes de formation du grain de pollen et sa structure.

L'anthere est formée de deux types de tissus :

- * les tissus foliaires constitués d'un épiderme à stomates, d'un parenchyme, et d'un faisceau conducteur ;
- * les tissus du sac pollinique qui sont l'assise mécanique, les assises nourricières et les cellules mères du pollen.

Le grain de pollen est le gamétophyte mâle. Il produit et contient les gamètes mâles, et permet leur déplacement. Le gamétophyte mâle se développe et atteint sa maturité dans une anthere immature. Dans les organes reproducteurs mâles d'une plante, le développement du pollen a lieu dans une structure connue sous le nom de microsporange (sac pollinique). La gaméogenèse mâle s'effectue dans l'étamine au niveau l'anthere jeune (à l'intérieur des sacs polliniques) juste après sa formation.

Le gamétophyte mâle se forme en deux phases :

■ **La microsporogénèse :** C'est la formation de microspores à partir des microsporocystes (cellules sporogènes diploïdes) qui vont subir chacune deux méioses. Chaque sporocyste va former une tétrade (4 microspores haploïdes). Les microspores vont alors former leur paroi pollinique constituée d'une couche externe, l'exine avec des apertures et d'une couche interne, l'intine.

■ **La microgamétagénèse :** c'est le passage des microspores aux grains de pollen matures haploïdes. Les microspores sont séparées les unes des autres ; chacune va subir une mitose asymétrique formant une grande cellule végétative (contient des réserves et intervient dans la germination du grain de pollen) et d'une petite cellule génératrice (contient les gamètes mâles).

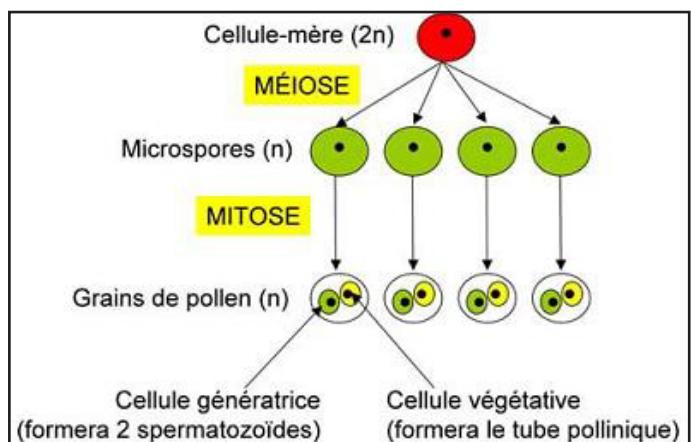
Chaque grain de pollen va ensuite modifier sa structure extérieure.

A la fin de cette évolution, la paroi qui unissait la tétrade est hydrolysée ; les microspores devenues grains de pollen sont libérées dans la cavité du sac pollinique.

En effet, après s'être déshydraté, il va dupliquer sa paroi en une paroi interne ou intine et une paroi externe ou exine.

Une couche interne de cellules, connue sous le nom de tapetum, fournit une nutrition aux microspores en développement et contribue aux composants clés de la paroi pollinique.

Le grain de pollen est constitué de deux cellules de tailles très inégales : une grosse cellule appelée cellule végétative comportant un noyau végétatif et une petite cellule appelée cellule reproductrice comportant un noyau reproducteur. Cette dernière va se diviser par mitose en 2 spermatozoïdes (anthérozoïdes). Ces



deux cellules sont enveloppées par deux membranes, l'une externe, épaisse, garnie d'épines et percée de pores : l'exine et l'autre interne, mince : l'intine.

Les grains de pollen des Angiospermes ont des parois ornementées diverses et souvent élaborées caractéristiques de l'espèce.

B- L'ovaire

Etude de la structure de l'ovaire.

- Faire une coupe transversale très fine dans un ovaire de plante à fleurs (de votre région) ;
- Monter entre lame et lamelle dans une goutte d'eau.
- Observer le résultat (figure ci-contre).

Observer la figure afin de dégager la structure de l'ovaire d'une plante à fleurs.

L'ovaire est formé de carpelles soudés. Chaque carpelle comporte des tissus foliaires (épiderme à stomates, parenchyme et faisceau conducteur), une cavité (cavité carpellaire), des placentas (bords épaissis de carpelle) qui portent des ovules.

Une coupe transversale de l'ovaire observé à la loupe binoculaire ou au microscope optique montre des cavités renfermant chacune des ovules (masses plus ou moins sphériques), c'est la chambre carpellaire ou loge carpellaire. Le carpelle est formé de bas en haut d'une partie renflée, l'ovaire, prolongée par un axe, le style, terminé lui-même par une région papilleuse, le stigmate. Les carpelles sont soudés par les ovaires et par les styles ; seuls les stigmates sont distincts permettant de dénombrer les carpelles qui forment le pistil. Sa section triangulaire montre des loges renfermant chacune des rangées de masses plus ou moins sphériques, les ovules attachés par un pied, ou funicule, à l'axe de l'ovaire formant le placenta.

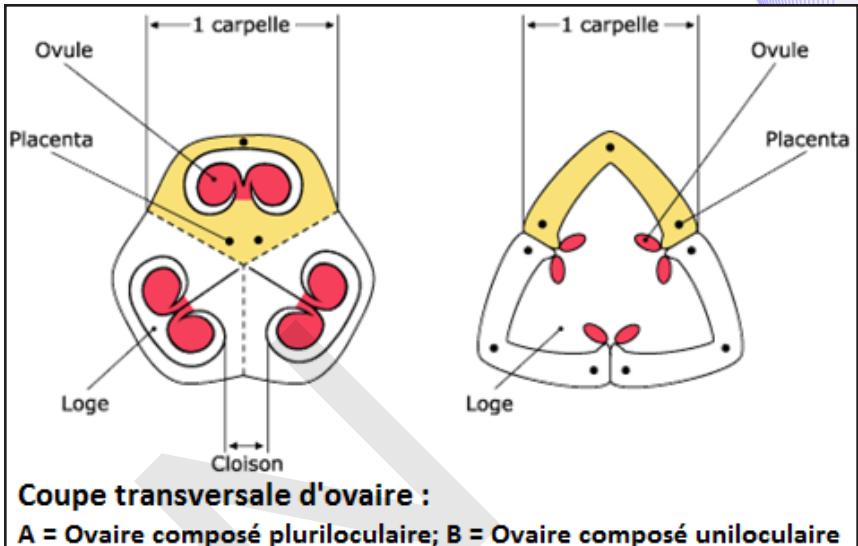
La structure d'un carpelle rappelle celle d'une feuille : un tissu banal, ou parenchyme, limité par deux épidermes et parcouru par des faisceaux conducteurs (nervures).

Chaque feuille carpellaire est refermée sur elle-même et ses bords, épaissis et parcourus d'une nervure supplémentaire, portent les ovules : ce sont les placentas. Les placentas s'unissant suivant l'axe du pistil, on dit que la placentation est axile. L'ovaire présente ainsi des loges distinctes renfermant chacune des rangées d'ovules.

Suivant l'axe de l'ovaire, on note l'existence d'un parenchyme aux membranes gélifiées qu'empruntera le tube pollinique au cours de sa progression (tissu conducteur). Un tissu papilleux, situé entre les placentas d'un même carpelle, joue un rôle analogue.

Suivant les modalités de la soudure des ovaires, on distingue principalement

- les carpelles unis bord à bord, dits ouverts, donnant un ovaire à une loge quel que soit le nombre des carpelles (placentation pariétale) ;
- les carpelles soudés par leurs faces latérales, dits fermes, donnant un ovaire avec autant de loges qu'il y a de carpelles. Les ovules sont portés dans l'axe de l'ovaire (placentation axile).



Activité 5 :

Connaitre la structure de l'ovule et ses différents types.

La figure 1 ci-dessous montre une coupe longitudinale d'ovule de plante à fleurs.

La figure 2 qui suit présente différents types d'ovules.

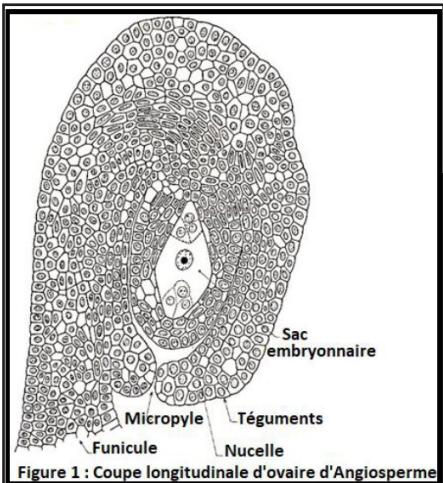


Figure 1 : Coupe longitudinale d'ovaire d'Angiosperme

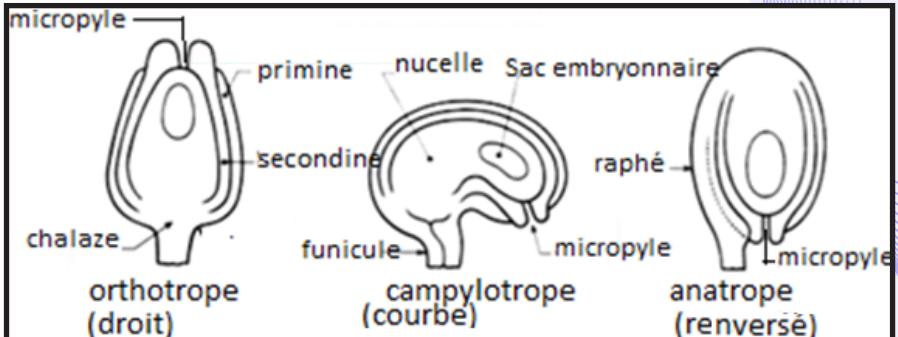


Figure 2 : Les trois types d'ovules d'Angiospermes

A partir de l'analyse des deux figures, dégager la structure d'un ovule et les différents d'ovules qu'on peut rencontrer.

Aux ovules renversés, les plus répandus, on oppose les ovules *recourbés* (Haricot) et *droits* (Sarrasin) qui s'en distinguent par les caractères suivants :

- Hile situé loin du micropyle : Embryon droit, pas de raphé → Ovule droit.
- Hile situé près du micropyle :
 - Embryon courbe, pas de raphé → Ovule recourbé.
 - Embryon droit, un raphé → Ovule renversé.

L'ovaire est constitué d'un ou plusieurs ovules qui sont attachés dans la cavité ovarienne par le placenta.

L'observation microscopique d'un ovule montre les différentes parties suivantes :

- le funicule ou pédicelle se prolonge sur le côté de l'ovule proprement dit et constitue le raphé. Il fixe l'ovule sur le placenta, son point d'attache sur la partie renflée de l'ovule étant le hile (limite funicule-raphé) ; le point où le faisceau conducteur issu du placenta s'irradie dans l'ovule est la chalaze.
- deux téguments (primine et secondine) étroitement accolés entourent l'ovule et ménagent une étroite ouverture, le micropyle.
- au centre, une masse cellulaire, le nucelle, abrite une grosse cellule claire accompagnée à chacune de ses extrémités de trois cellules ; l'ensemble forme le sac embryonnaire. Le parenchyme de l'ovule est le nucelle, dans lequel se trouve le sac embryonnaire.

Selon la forme de l'ovule par rapport au funicule, on distingue 3 types d'ovules :

- ✓ l'ovule droit ou orthotrope dont le micropyle est dans l'axe du funicule ;
- ✓ l'ovule recourbé ou campylotrope dont le micropyle et le funicule forment un angle d'environ 90° ;
- ✓ l'ovule renversé ou anatrophe dont le micropyle et le funicule forment un angle de 180°.

Activité 6 :

Comment se forme le sac embryonnaire chez les Angiospermes ?

- Observer une série de préparations montrant les étapes de la formation du sac embryonnaire (figure ci-dessous) :

Commenter la figure afin de décrire le mode de formation du sac embryonnaire chez une Angiosperme.

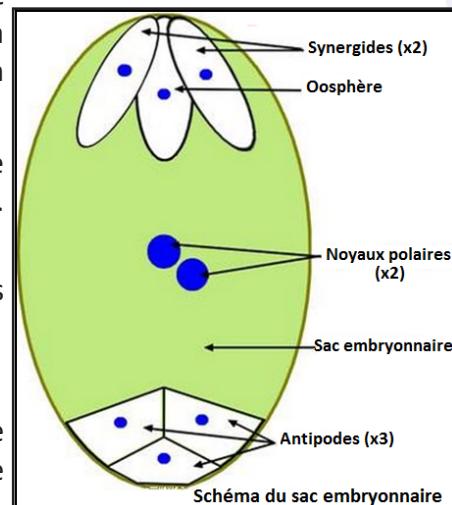
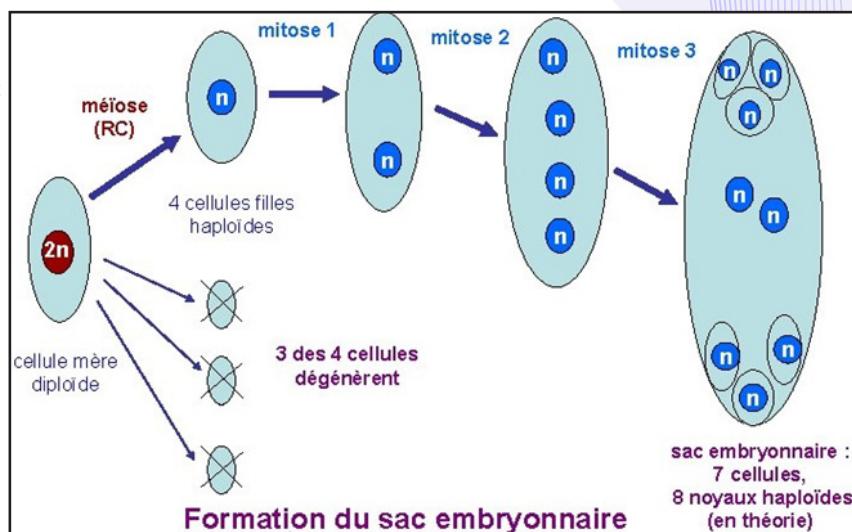
La figure ci-contre montre la formation du sac embryonnaire. Le sac embryonnaire représente la partie essentielle de l'ovule. Dans l'ovule jeune, il n'est formé que d'une grosse cellule diploïde située dans le nucelle au voisinage du micropyle : c'est la cellule-mère du sac embryonnaire.

- **La macrosporogénèse :** C'est la formation des macrospores dans les ovules. Au pôle micropylaire du nucelle encore jeune, une cellule se distingue par sa grande taille et son noyau volumineux : c'est la cellule-mère du sac embryonnaire. La cellule mégasporogène diploïdes subit une méiose et forme quatre mégaspores (macrospores) dont trois dégénèrent. La cellule qui reste va se développer considérablement au détriment des cellules du nucelle qui l'entourent : c'est la spore femelle, ou mégaspoare (macrospore).

- **La macrogamétogénèse (formation du sac embryonnaire) :** Elle correspond à la formation du sac embryonnaire à partir de la macrospore fertile. Le noyau de la macrospore se divise en 2, en 4, puis en 8 (trois mitoses successives sans cytodièse). Les noyaux-fils se répartissent alors en 7 cellules dont l'ensemble constitue le sac embryonnaire. A la suite de cette formation, le sac embryonnaire prend son organisation définitive et se présente comme suit (figure ci-contre) :

- A son pôle micropylaire se dispose une grosse cellule, le gamète femelle ou oosphère, flanquée de deux autres cellules appelées synergides. Ces 3 cellules sont entourées d'une membrane cytoplasmique ;
- Au pôle opposé (pôle chalazien), symétriquement, se regroupent les trois cellules antipodes.
- Au centre, les deux derniers noyaux se rapprochent : les noyaux du sac.

Le sac embryonnaire est considéré comme le gamétophyte femelle des Angiospermes (plantes à fleurs) car c'est la structure qui produit le gamète femelle ou oosphère.

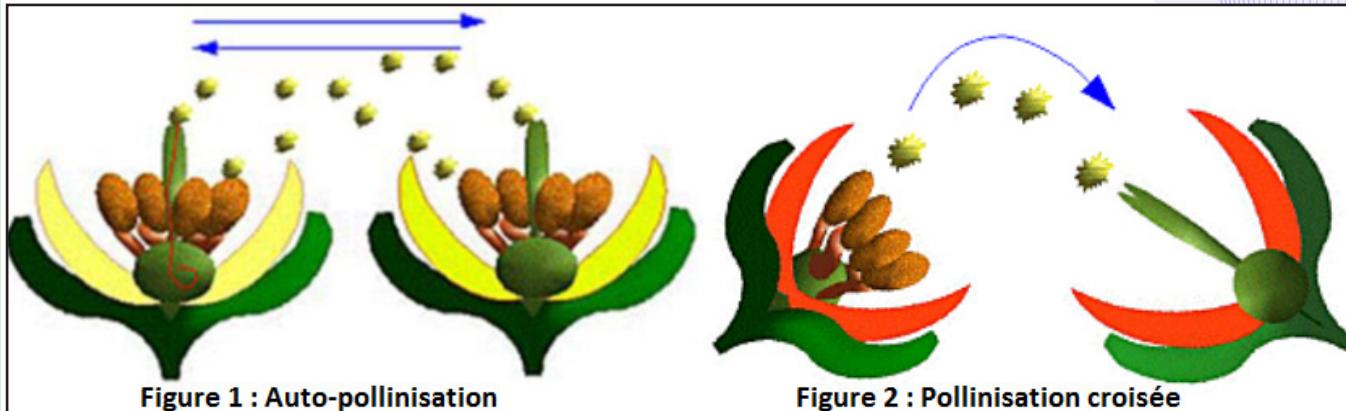


III- Fécondation et formation de la graine

Activité 7 :

Comment se fait la pollinisation chez les Angiospermes ?

Les figures suivantes illustrent deux modes différents de pollinisation chez les Angiospermes.



Comparer les deux figures et dégager les principaux modes de pollinisation illustrés.

La pollinisation correspond au transport de grains de pollen d'une anthère déhiscente jusqu'à leur dépôt sur un stigmate arrivé à maturité. Etant donné que la majorité des fleurs est bisexuée (fleurs hermaphrodites), le pollen libéré par l'anthère peut donc être facilement transporté de l'étamine sur le stigmate de la même fleur : c'est la pollinisation directe ou autopollinisation ou autogamie (figure 1).

Dans le cas des fleurs unisexuées, le pollen d'une fleur est obligatoirement déposé sur le stigmate d'une autre fleur : c'est la pollinisation indirecte ou croisée ou allogamie (figure 2). Si les fleurs unisexuées sont portées par le même pied (espèce monoïque), on se retrouve dans les conditions peu différentes de la pollinisation directe. Si au contraire elles sont portées par des pieds différents (cas rare des espèces dioïques), une véritable pollinisation croisée est nécessaire.

La majorité des Angiospermes et les gymnospermes ont une fécondation croisée.



Dans ce cas, les patrimoines génétiques sont différents et il y a brassage génétique.

Dans le cas de la pollinisation directe, le patrimoine génétique est le même et il n'y a pas de brassage génétique.

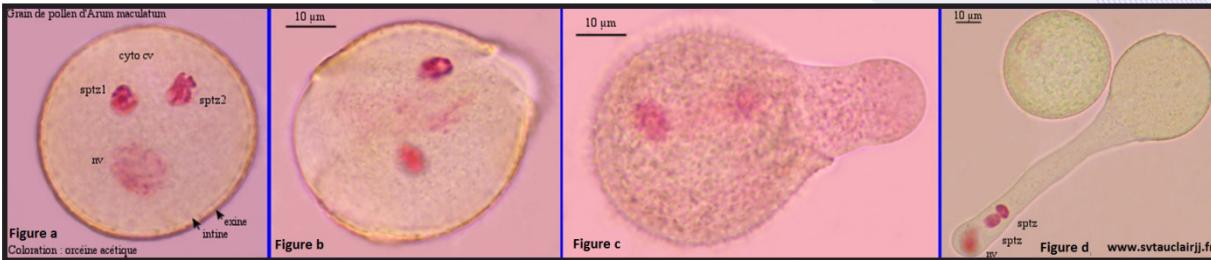
Le pollen étant dépourvu de mobilité propre, le transport du grain de pollen des anthères vers le stigmate des ovaires est assuré par des agents extérieurs ; dans la plupart des cas ce sont le vent (pollinisation anémophile ou anémogamie) et les insectes (Pollinisation entomophile) qui assurent le transport. Le transport peut se faire par d'autres agents de pollinisation comme l'eau (pollinisation hydrophile), les animaux (pollinisation zoïdophile), en particulier les insectes et les oiseaux (ornithophilie).



Activité 8 :

Comprendre le déroulement de la germination du grain de pollen et la croissance du tube pollinique.

- A l'aide d'une pince fine et d'une aiguille lancéolée, disséquer sous la loupe binoculaire des boutons floraux d'une plante à fleurs (de votre région) ;
- Ecraser les jeunes anthères dans une goutte d'eau entre lame et lamelle ;
- Ajouter de l'orcéine acétique pour permettre de colorer les noyaux cellulaires.
- Suivre les phases de la formation du tube pollinique (figures ci-dessous).



Analyser les figures afin d'expliquer la germination du pollen et la formation du tube pollinique.

Les figures montrent la succession des phénomènes observables lors de la germination du grain de pollen. Juste après l'émission du grain de pollen, on constate qu'il a une structure bien définie présentant un noyau de la cellule végétative (nv), un cytoplasme de la cellule végétative (cyto cv) et 2 spermatozoïdes 1 et 2 (sptz) comme le montre la figure a.

Après hydratation du grain, il y a rupture de l'exine sous l'effet de la poussée de la turgescence. Le cytoplasme (+ l'intine) de la cellule végétative fait saillie à 2 endroits (fig.b).

En début de la croissance du tube pollinique, la zone de croissance est repérable à l'apex du jeune tube et l'unité germinale mâle (nv + sptz1 + sptz2) n'est pas encore passée dans le tube (fig. c). Le noyau de la cellule végétative (nv) et les 2 sptz passent dans le tube pollinique alors que sa croissance a déjà commencé. Ensuite, ils sont tractés ensemble vers l'extrémité apicale du tube où se trouve la zone de croissance (figure c).

L'observation détaillée des 2 gamètes mâles dans le tube pollinique montre qu'ils sont restés associés.

Ainsi, l'eau contenue dans les sécrétions des cellules stigmatiques permet l'hydratation de grain de pollen. Ce qui entraîne l'émission de plusieurs excroissances de l'intine à travers les pores de l'exine. Parmi elles, une seule va s'allonger : c'est le tube pollinique.

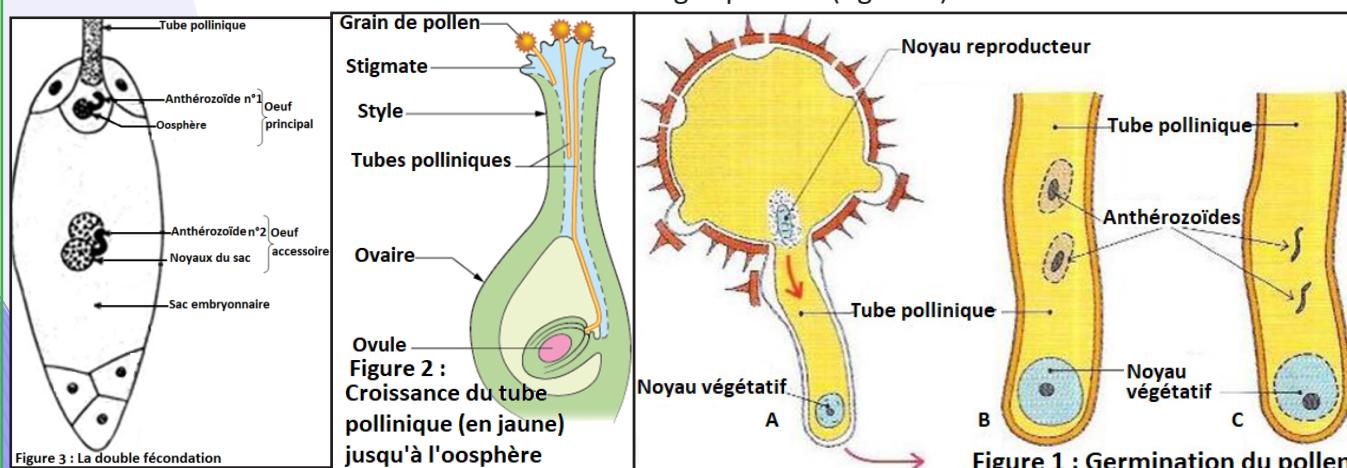
Les tubes polliniques des différents grains de pollen en s'allongeant s'engagent à travers des canaux fins situés dans le style, en direction des ovules situés dans l'ovaire généralement par le micropyle. La croissance du tube est essentiellement une synthèse de paroi par le cytoplasme localisé à l'extrémité. Cette croissance est possible :

- au début, grâce aux réserves fournies par la cellule végétative ;
- par la suite, grâce aux éléments fournis par les sécrétions ou les cellules gélifiées du style.

Activité 9 :

Comment se déroule la double fécondation chez les Angiospermes ?

- Ecraser doucement dans une goutte d'eau sucrée un stigmate garni de pollen ;
- Observer les grains en voie de germination et les tubes plus ou moins engagés dans les tissus (figure 1).
- Observation de la germination sur le stigmate (figure 2) ;
- Observation de la double fécondation chez les Angiospermes (figure 3).



Exploiter ces observations pour expliquer le mécanisme de la double fécondation.

Après la pollinisation, le grain de pollen trouve des conditions favorables à sa germination à la surface du stigmate. Il吸吸水, se réhydrate et passe à nouveau à l'état de vie active. La germination commence par l'extension de la membrane interne après rupture locale de la membrane externe. Cette extension se développe en un tube de plusieurs centimètres de longueur appelé tube pollinique dont la croissance est dirigée par le noyau végétatif situé à son extrémité (Figure 1). Ce tube progresse à travers les tissus du style et finit par atteindre la cavité de l'ovaire (Figure 2). Au niveau du sac embryonnaire, le tube pollinique termine sa croissance. Le noyau végétatif se désorganise et dégénère alors que le noyau reproducteur, qui s'était engagé lui aussi dans le tube pollinique, subit une mitose pour donner naissance à deux gamètes mâles allongés et spiralés, les deux anthérozoïdes (Figure 3). Il y a donc une double fécondation caractéristique des Angiospermes :

- Après pollinisation, le pollen germe sur le stigmate et la cellule végétative forme le tube pollinique qui transporte deux noyaux ; il traverse le style et l'ovaire pour arriver à l'ovule.
- Le tube pollinique permet le transport de deux gamètes mâles jusqu'au niveau du sac embryonnaire, il entre dans l'ovule soit par le micropyle (porogamie), soit par la chalaze (chalazogamie) puis, traverse le nucelle de l'ovule et parvient au sac embryonnaire.
- Le tube pollinique pénètre entre l'oosphère et une cellule synergide. A son extrémité se trouvent 2 noyaux ou anthérozoïdes. Le noyau végétatif du grain de pollen dégénère à ce stade, l'extrémité du tube pollinique se déchire. Son contenu, notamment les deux gamétophytes mâles, se libère dans le sac embryonnaire. L'un des deux noyaux féconde l'oosphère pour donner l'œuf principal ($2n$). Ce dernier se développe par mitoses, pour donner l'embryon. Le deuxième anthérozoïde fusionne avec les deux noyaux du sac (noyaux polaires) pour donner une cellule triploïde ($3n$) appelée œuf accessoire (œuf secondaire) qui se développe par mitoses pour donner l'albumen (tissu de réserves nutritives de la graine).

Après la fécondation, les synergides et les antipodes dégénèrent. L'ovaire se transforme en fruit ; l'ovule se transforme en graine avec son embryon et ses réserves.

Parallèlement, la paroi de l'ovaire se transforme et devient un fruit. Sépales, pétales, pistil, étamines, style, flétrissent, sèchent, tombent et disparaissent.

Après la fécondation donc, le sac embryonnaire cède la place à l'embryon et l'albumen. Le nucelle régresse. Les téguments de l'ovule deviennent les téguments de la graine.

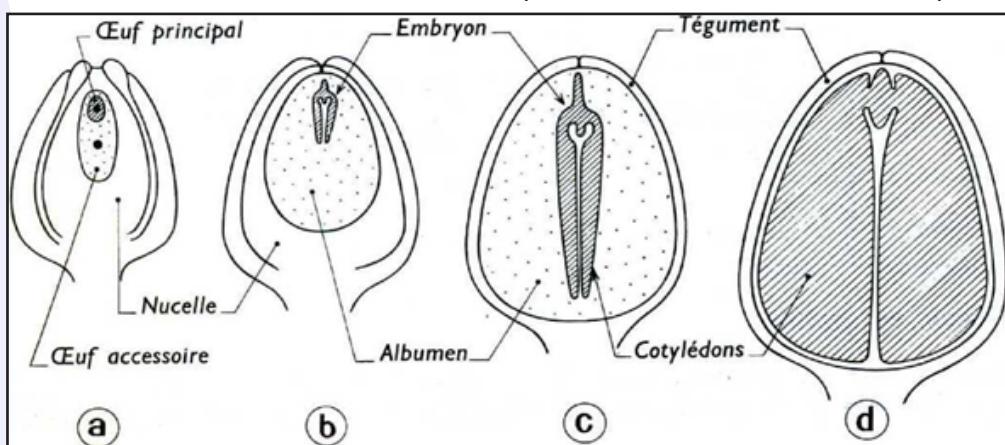
L'essentiel du volume de la graine est occupé par les cotylédons pour certaines espèces ou par l'albumen pour d'autres. L'albumen et les cotylédons sont des tissus riches en réserves nutritives. Ils assurent la nutrition de l'embryon au moment de la germination de la graine.

IV- Graine et germination

Activité 10 :

Comment se forme la graine des Angiospermes ?

La figure ci-dessous montre le devenir des différentes parties de l'ovule et de l'ovaire après la fécondation.



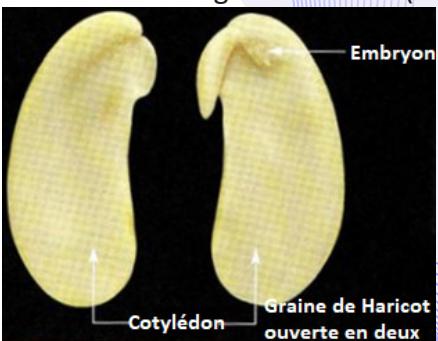
Exploiter la figure ci-dessus pour dégager l'origine des différentes parties des graines et des fruits des Angiospermes.

La transformation de l'ovule fécondé en graine s'accomplit en 3 temps (figure ci-dessus) :

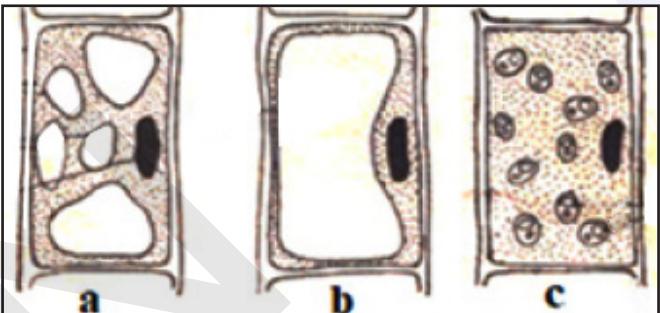
- **L'embryon** : Après la fécondation, le zygote principal va subir une première mitose et donner deux cellules : une cellule basale située du côté du micropyle, donnant après division, une file de cellules qui constituent **le suspenseur** et une cellule terminale qui, en se divisant, donne un **embryon globuleux**. Cet embryon globuleux change de forme à mesure que ses organes se différencient : une radicule, une tigelle (hypocotyle), deux feuilles (parfois une seule), un ou deux cotylédons et un bourgeon terminal (la gemmule). L'embryon s'agrandit lentement aux dépens de l'albumen.

- **L'albumen** : La cellule à noyau triploïde central se divise activement. Les cellules résultantes se chargent de réserves formant un tissu nourricier, l'albumen, autour de l'embryon. L'albumen peut servir de réserve pour le développement futur de l'embryon au cours de la germination ou consommer par l'embryon au cours de son développement.

- **Le tégument** : Le micropyle se ferme, les téguments de l'ovule se transforment et donnent les téguments sclérifiés de la graine. Ces téguments jouent un rôle protecteur.



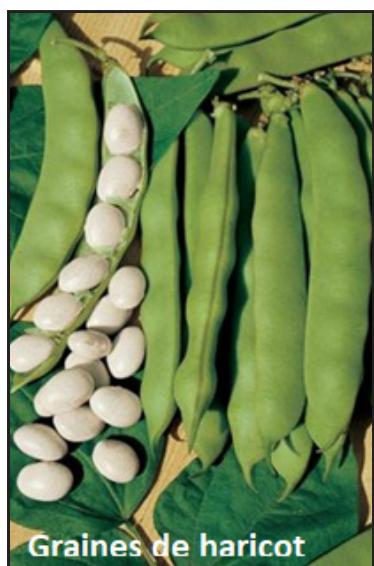
Le document a, représente une cellule végétale dont le cytoplasme contient cinq vacuoles et un noyau. En b la cellule possède une seule vacuole de grande taille. La cellule c est dépourvue de vacuole, mais contient des grains d'aleurone et correspond à une vacuole déshydratée dans laquelle les réserves protidiques ont cristallisé



C'est au cours de la maturation de la graine que s'effectue la déshydratation des vacuoles aboutissant aux grains d'aleurone : d'abord la vacuole unique (b) se fragmente (a) par perte d'eau ; celle-ci se poursuivant, la réduction de chaque vacuole s'accentue en même temps que les protides cristallisent (c). Au cours de la germination le phénomène inverse se produit : réhydratation des grains d'aleurone, donnant plusieurs vacuoles qui fusionnent (c, a, b).

- **Maturation de la graine** : Elle se traduit par un arrêt complet du développement.

Le tégument devient épais et résistant. La maturation de la graine se termine par une déshydratation du cytoplasme. La déshydratation s'accompagne d'un très fort ralentissement de l'activité physiologique : la graine entre en vie ralenti (l'embryon entre en dormance). La graine peut rester dans cet état pendant des durées variables : Pouvoir germinatif des graines ou longévité : de quelques jours (peuplier) à quelques années (parfois quelques siècles ?). Durant la vie ralenti, les rythmes de la nutrition et de la respiration sont très faibles (faible niveau d'absorption de O₂ et faible niveau du rejet de CO₂).



Lorsque les conditions deviennent favorables, la graine germe. L'embryon est donc le point de départ d'un nouvel organisme.

Suivant le degré de développement de l'albumen et de l'embryon, les substances de réserve de la graine sont contenues dans un reste de nucelle (= périsperme) ou, plus souvent, dans l'albumen (graines à albumen) ou dans les cotylédons (graines sans albumen).

Ainsi, la fonction de réserve peut être assurée par les cotylédons seuls (Haricot), par les cotylédons et l'albumen (Chanvre), par l'albumen seul (Ricin), par l'albumen et le périsperme (Poivrier), par le périsperme seul (Canna).

NB. Le fruit provient de la transformation de l'ovaire.

Activité 11 :

Connaître les conditions de la germination.

Des expériences simples permettent de préciser les conditions climatiques favorisant la germination des graines.

On met à germer le même nombre de graines de haricot, de maïs ou de lentille dans des conditions différentes pour déterminer l'influence des facteurs climatiques (température ou humidité) sur la germination des graines. Un seul facteur doit varier au cours de l'expérience.

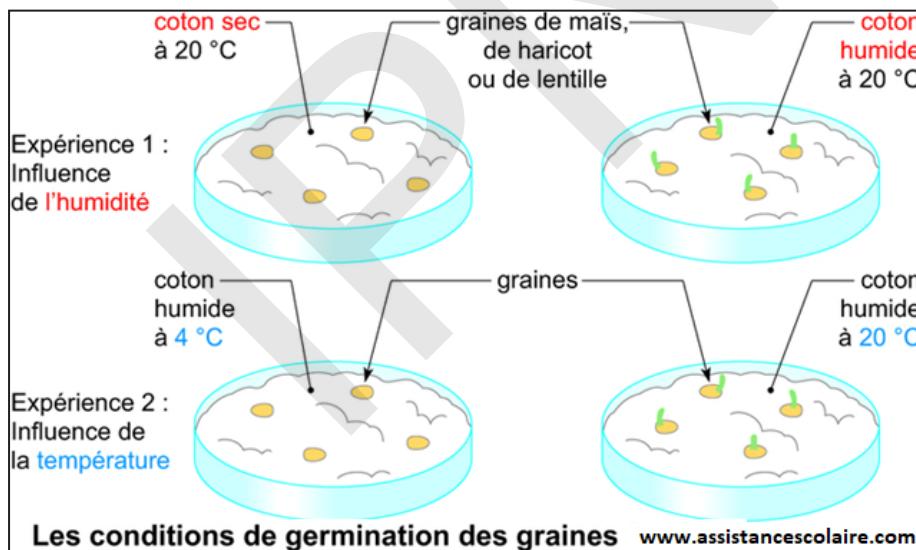
Expériences 1 : Influence de l'eau.

- On place des graines dans deux boîtes de Pétri à une température de 20°C en faisant varier le taux d'humidité.
- Ou bien placer des pots témoins dans des conditions normales et des pots expérimentaux à côté mais ne seront pas arrosés.

Expériences 2 : Influence de la chaleur.

- On place des graines dans deux boîtes de Pétri à taux d'humidité convenable en faisant varier la température ambiante.
- Ou bien placer des pots témoins dans des conditions normales et des pots expérimentaux dans un endroit frais (mais avec de la lumière). Il ne faut pas placer les pots au réfrigérateur, car ils n'auraient pas de lumière. On peut par exemple les positionner dans une glacière contenant de la glace. À la place du couvercle, couvrir avec un film plastique transparent. Veiller à renouveler la glace fréquemment pour maintenir une température basse.

Observer les résultats obtenus (voir figure ci-dessous).



Expérience 3 : Influence de la lumière.

Placer des pots témoins dans des conditions normales et des pots expérimentaux dans un carton fermé et bien opaque à côté des pots témoins.

Expérience 4 : Influence de la terre.

Placer des pots témoins dans des conditions normales. Dans des pots expérimentaux, disposer du coton sur lequel seront posées les graines. Comme pour la terre, veiller à ce que le coton soit toujours humide. Positionner les pots expérimentaux à côté des pots témoins.

Résultats :

- Seules les graines arrosées germent.
- Seules les graines placées à 20°C sur du coton humide germent.
- Les graines germent en absence de lumière.
- Placées sur du coton humide dans un récipient et laissées à la température de la pièce, les graines germent.

Analyser toutes ces expériences afin de dégager les conditions de la germination des graines.

Pour germer, les graines ont besoin d'une humidité suffisante, d'une température convenable. :

Après quelques jours, les graines germent. Lorsque des graines de pois sont placées en condition de germination sur du coton humide, on constate une augmentation de la masse de matière fraîche.

Cette augmentation se réalise en deux phases :

1. Une première augmentation rapide correspond à une simple imbibition de la graine sèche. Cette phase est réversible.

2. Lorsque la radicule sort, une augmentation exponentielle de la masse correspond alors à la croissance de la racine puis de la tige épicotylée. Cette deuxième phase est irréversible.

On peut essayer de caractériser les facteurs essentiels nécessaires à la germination :

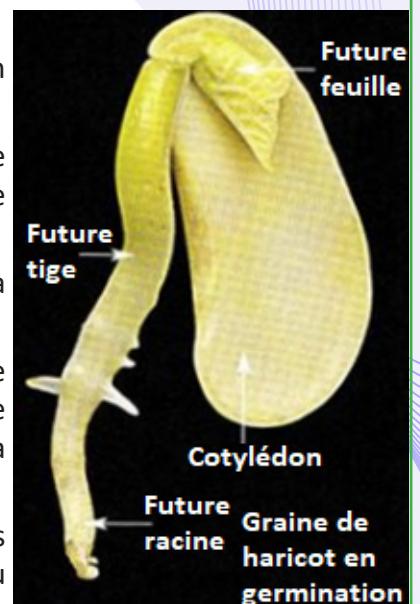
- L'eau : Elle est absolument nécessaire. En son absence, la graine reste sèche et peut être conservée longtemps sans changer d'état. La première phase de la germination est un gonflement qui est dû à l'imbibition de la graine.

- L'oxygène : En même temps que l'imbibition, on constate que les graines qui étaient en vie ralentie, se remettent à respirer. Si l'on met trop d'eau dans le récipient, les graines ne germent pas. C'est en fait que la pellicule d'eau empêche l'oxygène, peu soluble de parvenir à la graine.

- La température : La vitesse de germination est fonction de la température. L'optimum est variable selon les plantes. Le pourcentage de germination montre une relation plus complexe dans le cas de graines dormantes.

- La lumière : Notre haricot pouvait germer aussi bien à la lumière qu'à l'obscurité. Il n'en est pas de même de toutes les graines.

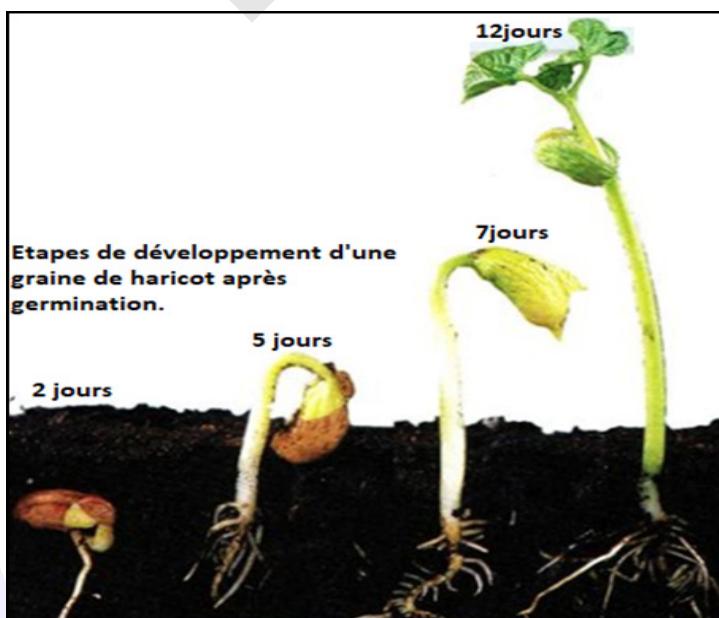
- La terre n'est pas indispensable à la germination des graines.



Activité 12 :

Connaître les aspects morphologiques de la germination.

Le schéma ci-dessous présente le développement de la graine depuis sa forme de graine jusqu'à sa forme de plante.



Commenter ce schéma afin de montrer le processus morphologique de germination d'une graine de haricot.

Tant que la graine est dans le fruit, elle est en dormance et l'embryon présente un métabolisme fortement ralenti. La germination désigne la reprise du développement de l'embryon à partir des réserves contenues dans la graine. Pour que la germination se déclenche, une hydratation importante est nécessaire. La levée de dormance implique souvent une exposition au froid pendant une durée variable. Certaines graines ont également besoin de lumière pour germer.

La germination est le déclenchement du développement d'une graine, d'une semence, en une cellule végétative quand les conditions extérieures redeviennent favorables. Elle n'a lieu que lorsque les conditions extérieures et l'état physiologique de la graine sont favorables.

Lorsque les conditions sont favorables (O_2 ; humidité ; température...), la graine germe, elle passe ainsi de la vie ralentie à la vie active. Les étapes de la germination sont :

Au stade 1 : la graine d'où se détache la radicule poussant vers le bas.

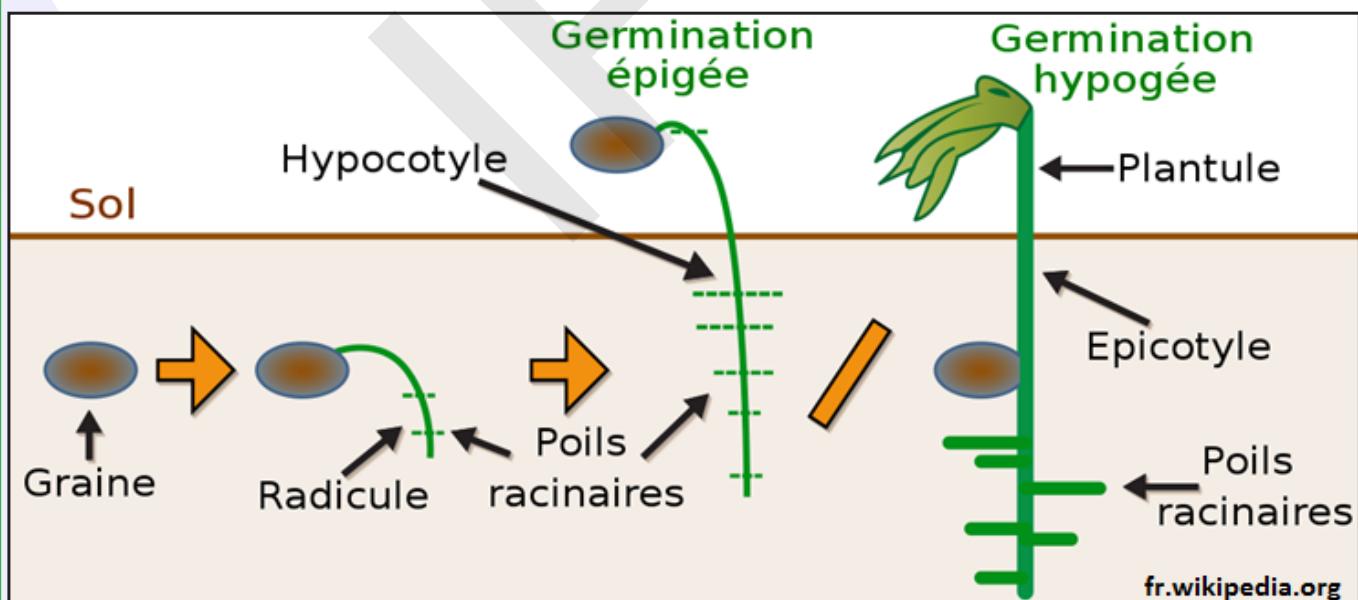
Au stade 2 : la graine s'ouvre et dégage le cotylédon relié à une tige qui commence à sortir de terre. Elle est représentée par 2 traits parallèles. La tige est reliée aux racines sous terre.

Au stade 3 : les racines se développent, hors de terre, le cotylédon a grossi, des feuilles apparaissent.

Au stade 4 : les racines s'amplifient sous terre, le cotylédon se dédouble et les feuilles ont grandi.

L'embryon se nourrit durant les premiers jours de la germination des réserves de la graine. La croissance de l'embryon donne lieu à une plantule constituée de racines, tige ; cotylédons, feuilles et bourgeon terminal. Les réserves s'épuisent au fur et à mesure de la croissance de la plantule. Après le développement des racines et des feuilles, la plantule devient autonome sur le plan de sa nutrition. Ainsi l'absorption de l'eau et des ions minéraux se fait au niveau des racines ; la photosynthèse a lieu au niveau des feuilles (Ions minéraux + H_2O + CO_2 atmosphérique + Substances organiques).

La germination épigée et hypogée constituent les deux types de germination présentées par les graines au cours de leur développement en une plante mature. La germination est dite épigée si les cotylédons émergent du sol tandis qu'elle est hypogée, si les cotylédons restent à l'intérieur du sol. Cela signifie que l'hypocotyle présente un allongement plus important dans la germination épigée alors qu'il reste court en germination hypogée.

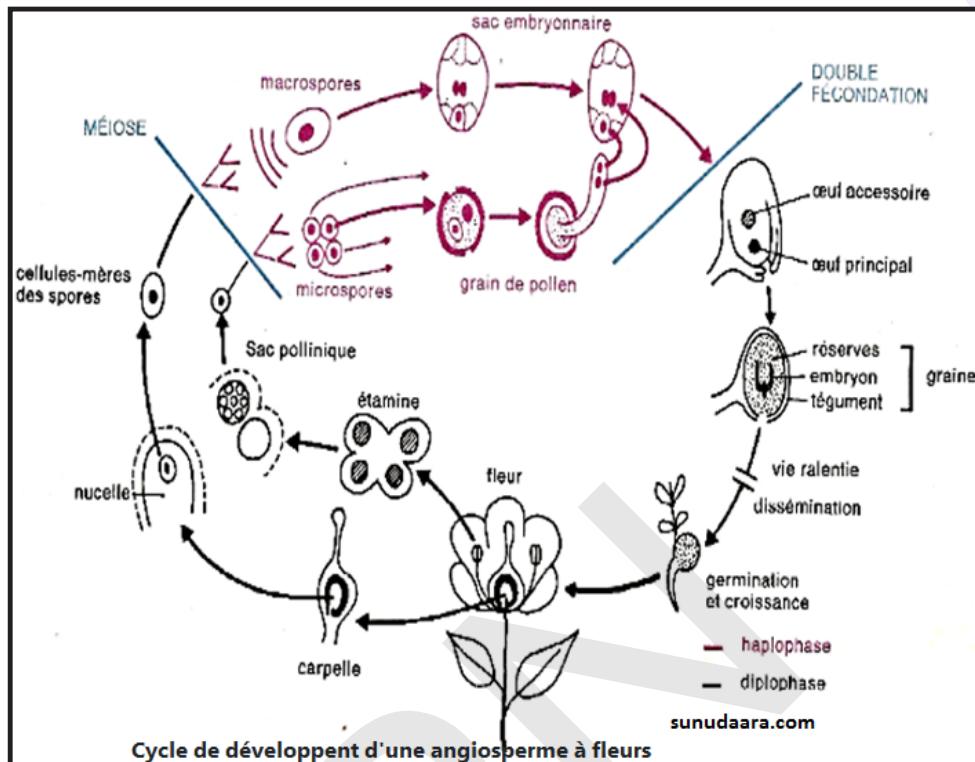


V- Cycle de développement et cycle chromosomique

Activité 13 :

Quelles sont les caractéristiques d'un cycle de développement d'une plante à fleurs.

La figure ci-dessous représente le cycle de développement d'une Angiosperme à fleurs bisexuées.



Décrire le cycle de développement (de reproduction) de cette plante et faire son cycle chromosomique en le qualifiant.

La fleur portant les organes reproducteurs donne naissance aux gamètes mis en contact par la pollinisation et la germination des grains de pollen. Ces œufs issus de cette double fécondation se développent pour donner la graine. Après la germination, cette graine donne un appareil végétatif donnant lieu à une plante qui sera à l'origine de nouvelles fleurs : c'est le cycle de développement.

La plante feuillée représente le sporophyte ($2n$) ; l'ovule représente le mégasporange qui produit les mégaspores ; le sac pollinique représente le microsporange qui produit les microspores. Le sac embryonnaire est le gamétophyte femelle (n). Le grain de pollen est le gamétophyte mâle (n).

Pour passer d'une génération à une autre, deux phases de longueur différente alternent :

- Le **sporophyte** : représenté par la plante feuillée qui porte la fleur, il est issu d'un zygote et produit des spores ;
- Le **gamétophyte** : représenté par le grain de pollen et le sac embryonnaire issus respectivement des microspores mâles et des mégaspores femelles.

NB. Le cycle de développement des spermaphytes présente deux discontinuités correspondant l'une à la dissémination des grains de pollen, l'autre à la dissémination des graines.

Le cycle chromosomique est marqué par l'alternance de deux phénomènes compensateurs, la méiose et la fécondation, partageant le cycle en 2 phases :

- Une phase à $2n$ chromosomes, ou **diplophase**, représentée par l'œuf, la graine, la plante feuillée. Cette phase se termine par la production de spores par les étamines et les ovules ; la plante feuillée est un sporophyte.
- Une phase à n chromosomes, ou **haplophase**, représentée par les grains de pollen d'une part, le sac embryonnaire d'autre part. Ces deux organes producteurs de gamètes sont des gamétophytes. C'est un cycle **haplo-diplophasique**.

Je retiens :

Les plantes à fleurs ou phanérogames sont des plantes composées de deux parties : les éléments de reproduction et le périanthe ou éléments de protection qui est composé de différentes parties appelées pièces florales. On subdivise ces plantes à fleurs en deux grands groupes :

- Les angiospermes : Végétaux dont les organes reproducteurs sont condensés en une fleur bien individualisée et dont les graines sont enfermées dans un fruit.

- Les gymnospermes : Végétaux à fleurs réduites aux organes de reproduction et à graines nues.

Chez les angiospermes, l'appareil reproducteur est constitué des fleurs qui se transforment en fruits. C'est l'appareil reproducteur des Angiospermes ; il est constitué de multiples pièces qui s'insèrent sur un réceptacle floral, relié au reste de la plante par un pédoncule. A sa base se trouve toujours une petite structure foliacée appelée bractée. Les pièces florales s'organisent en couronnes nommées verticilles.

Une fleur typique d'angiosperme comporte les organes mâles et les organes femelles ; en plus des organes protecteurs.

Le périanthe est l'ensemble des pièces florales stériles qui assurent la protection des organes reproducteurs ; il est constitué d'un calice et d'une corolle.

- Le calice : c'est le verticille externe du périanthe de la fleur formé par un ensemble de sépales. Ressemblant à des feuilles; ils sont souvent de couleur verte.

- La corolle, située au-dessus du calice, elle est constituée par l'ensemble des pétales, de formes et couleurs variables.

Les organes reproducteurs mâles sont les étamines dont l'ensemble constitue l'androcée.

Une étamine est formée d'une anthère et d'un filet. L'anthère comporte plusieurs sacs polliniques qui à maturité libèrent les grains de pollen, suite à l'ouverture des fentes de déhiscence.

Le pistil, appelé aussi gynécée est l'appareil reproducteur femelle des fleurs. Il est constitué de trois parties : le stigmate, le style et l'ovaire. L'ovaire est formé d'un ou plusieurs carpelles. Le carpelle est une enveloppe protectrice du pistil définissant une cavité contenant un ou plusieurs ovules.

L'ovule est attaché au placenta par le funicule et le point d'attache du funicule sur le placenta se nomme le hile. Le parenchyme de l'ovule est le nucelle dans lequel se trouve le sac embryonnaire, Le nucelle est entouré d'un ou de deux téguments qui laissent une ouverture entre eux appelée micropyle. L'ovule est un macrosporange qui renferme le gamétophyte femelle des angiospermes ou sac embryonnaire contenant le gamète femelle, l'oosphère. Les ovules sont droits ou orthotropes (funicule, hile, nucelle et micropyle alignés), courbes ou campylotropes, renversés ou anatropes (nucelle basculé, funicule soude au tégument externe en un raphé). On peut trouver des fleurs simples ou des fleurs composées (association de plusieurs fleurs en une structure unique) ; des fleurs monosexuées comportant les éléments reproducteurs uniquement mâles ou femelles, ou des fleurs bisexuées comportant les éléments des deux sexes. On parle d'une plante :

- dioïque : quand les fleurs mâles et femelles sont portées par deux plantes séparées ;

- monoïque : quand une plante possédant à la fois des fleurs mâles et femelles.

- Gamétagénèse mâle : Les étamines des Angiospermes, sont de petites écailles qui portent sur leur face inférieure deux sacs polliniques. Au sein du sac pollinique (microsporange), chaque cellule mère du pollen, diploïde ($2n$) subit une première division de méiose pour donner deux cellules filles haploïdes qui subissent immédiatement la deuxième division de méiose donnant quatre cellules haploïdes (microspores) enfermées dans la paroi cellulosique de la cellule mère : on parle alors de tétrade et chaque microspore subit une mitose donnant deux cellules inégales, emboîtées dont l'ensemble constitue le grain de pollen. Au niveau de l'anthère, à maturité, l'assise mécanique se rompt suivant la fente de déhiscence, libérant ainsi les grains de pollen.

Le grain de pollen possède à sa périphérie deux membranes : une interne, l'intine, qui est mince et cellulosique et une externe cutinisée et hérissée de poils ou d'épines, l'exine.

Le cytoplasme renferme deux noyaux :

- L'un des noyaux, le plus gros, a un rôle trophique ; c'est le noyau végétatif ;

- L'autre, le plus petit, souvent légèrement aplati, a une fonction purement reproductrice ; c'est le noyau reproducteur.

- Gamétopénèse femelle : Les ovules sont nus sur l'écailler ovulifère, ou feuille carpellaire, directement accessibles au pollen. L'ovule des Angiospermes est toujours entouré par un seul tégument protecteur qui renferme la nucelle ou macrosporange dans lequel se forme la cellule mégasporogène diploïde. Celle-ci subit une méiose et forme quatre mégaspores (macrospores) dont trois dégénèrent. La cellule qui reste, va se développer considérablement au détriment des cellules du nucelle qui l'entourent : c'est la spore femelle, ou mégasporite (macrospore) dont le noyau se divise en 2, en 4, puis en 8 noyaux-fils se répartissant alors en 7 cellules dont l'ensemble constitue le sac embryonnaire. Ce dernier est généralement composé de huit noyaux individualisés en cellules : 3 antipodes, 2 synergides, 1 oosphère et 2 noyaux polaires situés au sein d'un même cytoplasme.

Après pollinisation, la germination des grains de pollen débute par la formation du tube pollinique à partir de la cellule végétative. Le noyau reproducteur subit une mitose et engendre deux anthérozoïdes qui ne sont autre que les gamètes mâles. Ils sont allongés et plus ou moins spiralés. Le tube pollinique se développe au détriment du noyau végétatif qui après avoir dirigé sa croissance disparaît au voisinage de l'ovule.

Après pénétration dans le sac embryonnaire des deux anthérozoïdes, l'un d'eux féconde l'oosphère engendrant ainsi un œuf diploïde appelé œuf principal tandis que l'autre en s'unissant avec les deux noyaux du sac embryonnaire formera un œuf triploïde ou œuf accessoire : On dit qu'il y a une double fécondation du sac embryonnaire. Ce phénomène est caractéristique des Angiospermes. Par la suite, les synergides et les cellules antipodes dégénèrent. Il ne reste plus que les deux œufs dans le sac. L'ovule se transforme ainsi en graine et l'ovaire en fruit.

Dès que la fécondation est opérée, l'œuf se cloisonne tout en restant enfermé au sein de l'endosperme et subit des mitoses successives pour obtenir quatre embryons dont trois dégénèrent. Celui qui subsiste cesse momentanément de croître, passe à l'état de vie ralenti et l'ovule prend le nom de graine. D'où la définition suivante : Une graine est un ovule dont l'oosphère a été fécondée et transformée en une plantule .

Le fruit obtenu par transformation de l'ovaire contient les graines qui assurent la dissémination de l'espèce et la résistance lors de la mauvaise saison.

Je m'exerce :

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

1- Lors de la reproduction sexuée,

- a- il y a toujours une fécondation.
- b- il y a toujours un accouplement.
- c- plusieurs cellules reproductrices mâles peuvent pénétrer l'ovule.
- d- le pollen n'est pas indispensable chez les végétaux.

2- La reproduction sexuée animale comme végétale comporte obligatoirement

- a- un accouplement.
- b- l'union d'un organe mâle et d'un organe femelle.
- c- l'union d'une cellule reproductrice mâle et d'une cellule reproductrice femelle.
- d- une fécondation.

3- Chez les Angiospermes, la fécondation

- a- est toujours interne.
- b- est toujours externe.
- c - peut être interne ou externe.
- d- donne une seule cellule-œuf.

4- La fleur

- a- produit du pollen au niveau du pistil.
- b- a une organisation contrôlée par des gènes de développement.
- c- attire toujours des insectes polliniseurs.
- d- se transforme en graine après fécondation.

5- Le cycle chromosomique des angiospermes est

- a- diplophasique.
- b- haplophasique.
- c- haplo-diplophasique.
- d- toutes les réponses sont fausses.

6- Chez les angiospermes le gamétophyte femelle est

- a- l'ovule.
- b- le grain de pollen.
- c- le sac embryonnaire.
- d- la graine.

7- La fleur

- a- n'attire pas toujours des insectes polliniseurs.
- b- produit du pollen au niveau du carpelle.
- c- a une organisation contrôlée par des gènes de développement.
- d- se transforme en fruit après fécondation.

8- La plante produit

- a- des graines qui renferment les fruits.
- b- des fruits qui renferment les graines.
- c- des graines puis des fruits.
- d- des fruits puis des graines.

9- La fleur permet la

- a- dissémination des graines.
- b- dissémination des fruits.
- c- reproduction sexuée.
- d- reproduction asexuée.

10- La fleur contient souvent les éléments

- a- mâles seulement.
- b- mâles et femelles.
- c- femelles seulement.
- d- aucun des 2.

11- Les étamines contiennent

- a- les ovules (cellules sexuelles femelles).
- b- les ovules (cellules sexuelles mâle).
- c- le pollen (= gamétophyte femelle).
- d- le pollen (= gamétophyte mâle).

12- Le pistil renferme

- a- les ovules (cellules sexuelles mâles).
- b- les ovules (cellules sexuelles femelles).
- c- le pollen (= gamétophyte femelle).
- d- le pollen (= gamétophyte mâle).

13- La Pollinisation est le déplacement et la rencontre

- a- du pollen.
- b- du pistil.
- c- des cellules sexuelles.
- d- des ovules.

14- Le pistil se transforme en

- a- fruit qui renferme les ovules.
- b- fruit qui renferme les graines.
- c- fruit qui renferme les grains de pollen.
- d- fruit qui renferme le pistil.

15- Les spores sont des éléments de

- a- dissémination.
- b- précipitation.
- c- dissémination des fleurs.
- d- précipitation des fleurs.

16- Une reproduction sexuée fait intervenir

- a- des cellules sexuelles mâles et des cellules sexuelles femelles.
- b- seulement le pollen (= cellule sexuelle mâle).
- c- seulement les ovules (cellules sexuelles femelles).
- d- Je ne sais pas.

EXERCICES**Exercice 1**

Les affirmations ci-dessous sont relatives à la reproduction chez les spermaphytes :

- 1- L'ensemble des sépales forment la corolle.
- 2- L'ensemble des pétales forment le calice.
- 3- L'ensemble des étamines forme le gynécée.
- 4- Le calice et la corolle forment le périanthe.
- 5- L'anthère est constituée de deux types de tissus : les tissus du sac pollinique et les tissus foliaires.
- 6- L'exine est perforée de pores.
- 7- La cellule mère du grain de pollen est triploïde.
- 8- L'ovaire est constitué de carpelles soudés.
- 9- L'ovule renversé a le micropyle tourné vers le haut.
- 10- La double fécondation est la fécondation des deux noyaux centraux.

Répondre par vrai (V) ou faux (F) aux affirmations et corriger celles qui sont fausses.

Exercice 2

1- Légendez le schéma ci-contre.

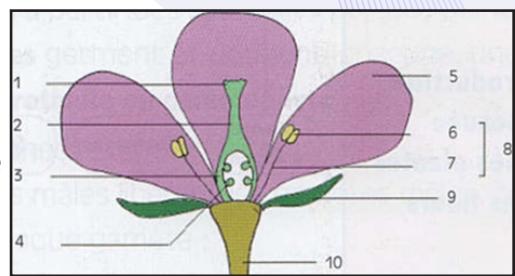
2- Nommez les différentes parties de la fleur et leur rôle dans la reproduction sexuée des végétaux.

3- Faire un schéma annoté de la coupe transversale d'un grain de pollen.

4- Après la formation du tube pollinique, que devient :

a) le noyau végétatif.

b) le noyau reproducteur.



Exercice 3

A- Voici une liste de mots : Ovaire – étamine – Sépale – Pistil – filet – stigmate – ovule – style- pédoncule – anthère – pollen.

1) Trace un tableau à trois colonnes.

2) Dans la 1^{ère} colonne regroupe les éléments se rapportant à la partie mâle de la fleur.

3) Dans la 2^{ème} colonne regroupe les éléments se rapportant à la partie femelle de la fleur.

4) Dans la 3^{ème} colonne regroupe les éléments stériles de la fleur.

B- Recopie chaque liste de mots et souligne l'intrus, c'est-à-dire le mot ou groupe de mots sans relation avec les autres :

Liste 1 : Pistil -- Anthère -- filet -- pollen – étamine.

Liste 2 : Tube pollinique — stigmate — pollinisation — corolle – pollen.

Liste 3 : graine — fruit — filet — ovaire — ovule – fécondation.

C- Définis chacun des termes suivants : Pollinisation, tube pollinique, stigmate, anthère.

Exercice 4

Sur une fleur, on prélève une fine tranche de pistil à différents niveaux que l'on dépose sur un milieu nutritif convenable.

Du pollen est prélevé sur une autre fleur de la même plante angiosperme et déposé de façon régulière autour de la tranche du pistil au bout d'un certain temps, des tubes polliniques croissent en direction de la tranche du pistil.

Le comptage des tubes polliniques a permis de noter les résultats du tableau suivant :

Tranche Prélevée dans	Stigmate	Style	Ovaire	Ovule
des tubes polliniques germant %	88	48	65	26

1- Comparez les résultats obtenus.

2- Que déduisez-vous ?

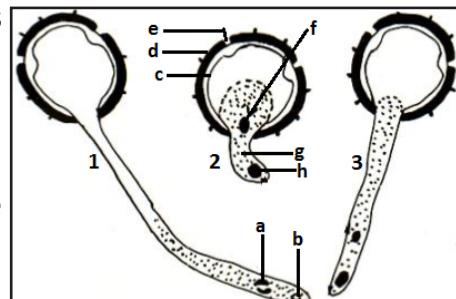
Exercice 5

Le document ci-dessous représente de façon schématique certaines étapes d'un phénomène qui se déroule sur le pistil d'une fleur.

1- Annotez ces différents schémas en utilisant les lettres.

2- Identifiez le phénomène observé sur ce document.

3- Expliquez brièvement le phénomène qui succède à celui observé sur ce document.



Exercice 6

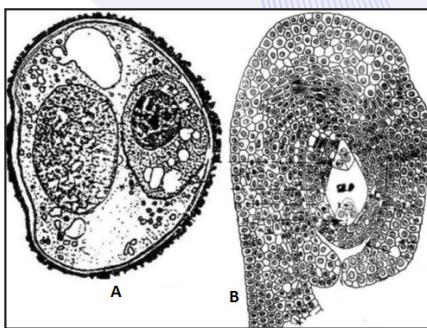
Les figures A et B représentent l'ultrastructure de deux éléments importants chez les plantes à fleurs.

1- Identifiez les éléments du document ci-dessus.

2- Expliquez :

a) La formation de l'élément indiqué sur la figure A avec un schéma à l'appui.

b) Les phénomènes conduisant à la formation de la graine à partir des éléments des figures A et B.



Exercice 7

On réalise l'expérience suivante dans une parcelle comportant deux lots de plants de haricot.

Lot 1 : on sectionne toutes les étamines des fleurs.

Lot 2 : les fleurs sont laissées intactes.

Quelques semaines plus tard tous les plants de la parcelle portent des gousses (fruits).

Explique ces résultats.

Exercice 8

En visite dans un jardin, un élève remarque que des papillons se posent sans cesse sur certaines fleurs.

1) Formule une hypothèse pour expliquer ce qui attire les papillons.

2) Pour tester cette hypothèse, un groupe d'élèves réalise l'expérience suivante avec un papillon : ils utilisent des fleurs en papier de différentes couleurs et comptent le nombre de fois que le papillon se pose sur la fleur (réactions positives).

Les résultats de l'expérience sont mentionnés dans le tableau ci-dessous :

Couleur de la fleur	Réactions positives
Blanc	0
Noir	0
Brun	0
Rouge	1
Vert	3
Bleu	33
Jaune	26

a) Ces résultats confirment-ils ou infirment-ils ton hypothèse ?

b) Tire une conclusion

Exercice 9

1) Donnez un titre et une légende au dessin des figures 1, 2 et 3.

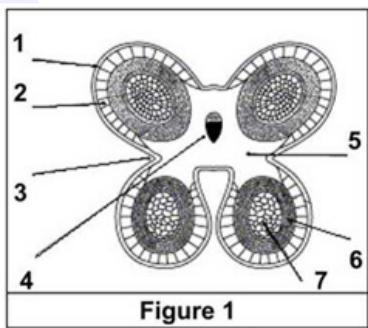


Figure 1

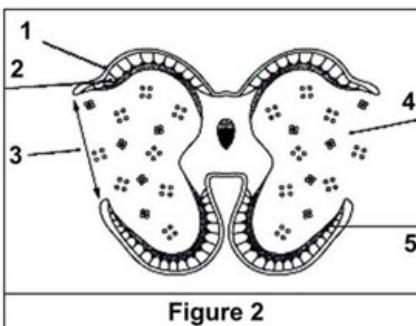


Figure 2

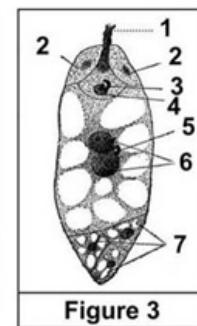


Figure 3

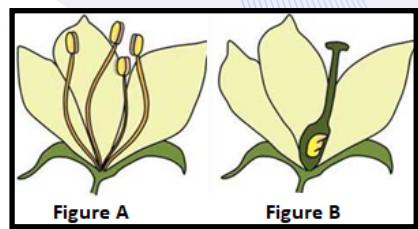
2) Quel est le phénomène représenté par la figure 3 ?

3) Quel sera le résultat de ce phénomène ?

Exercice 10

Les figures ci-contre représentent des schémas de deux fleurs qu'un jardinier a trouvées sur des palmiers dattiers différents.

La fleur A, a été retrouvée sur le palmier dattier n°1 alors que la fleur B a été retrouvée sur le palmier dattier n°2.



1) Comparez la fleur A à la fleur B.

2) Si le palmier dattier n°2 ne comporte que des fleurs B, comment peut-il produire des fruits (Les dattes) ?

Exercice 11

1) Légendez le schéma du document 1, représentant une partie d'un végétal.

On réalise la coupe transversale au niveau (a) sur le dessin du document 1.

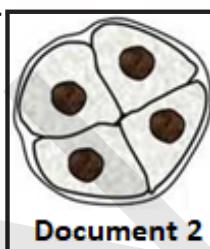
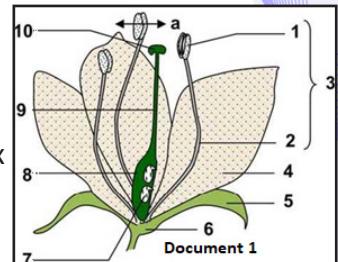
2) Représentez schématiquement ce que l'on peut observer au microscope.

Au fort grossissement du microscope on observe sur la coupe (a) de nombreux éléments identiques à celui représenté par le document 2.

3) a- Identifiez cet élément et expliquez sa formation.

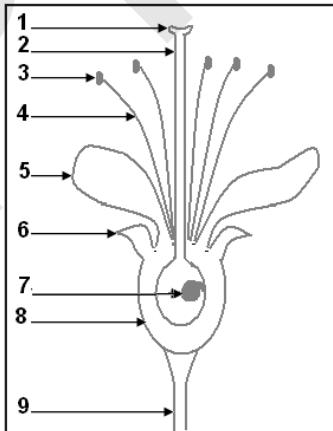
b- Ces éléments vont-ils subir d'autres transformations ?

c- Quel rôle vont- ils avoir ?



Exercice 12

Le document ci-dessous représente une coupe schématique d'une fleur.



Utilise les numéros pour annoter ce document.

Exercice 13

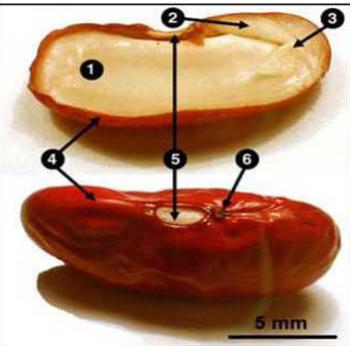
- Soit le document ci-contre se rapportant à la morphologie et à la structure d'une graine de haricot :

1) Faites deux dessins à partir de ce document ; mettre les légendes appropriées (1 à 6), ainsi que des titres précis.

- Une graine provient de la transformation d'un ovule après fécondation.

2) A l'aide d'un schéma, établir une correspondance entre les différentes parties d'une graine et celle de l'ovule d'origine.

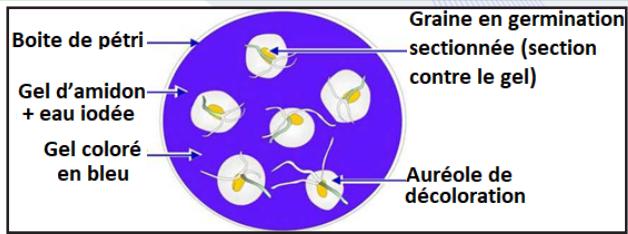
- On dispose d'un extrait de graines se présentant sous forme d'une poudre blanchâtre. Une pincée de cette dernière est introduite dans un tube à essais contenant de la liqueur de Fehling. La réaction est légèrement positive (apparition d'un précipité rouge brique).



3) En vous aidant d'un schéma annoté, décrivez la réaction chimique.

- Cette même poudre contient de l'amidon :

4) Quel est le réactif qui caractérise l'amidon ? Y'aurait-il un autre moyen d'identifier l'amidon dans le mélange poudreux ?



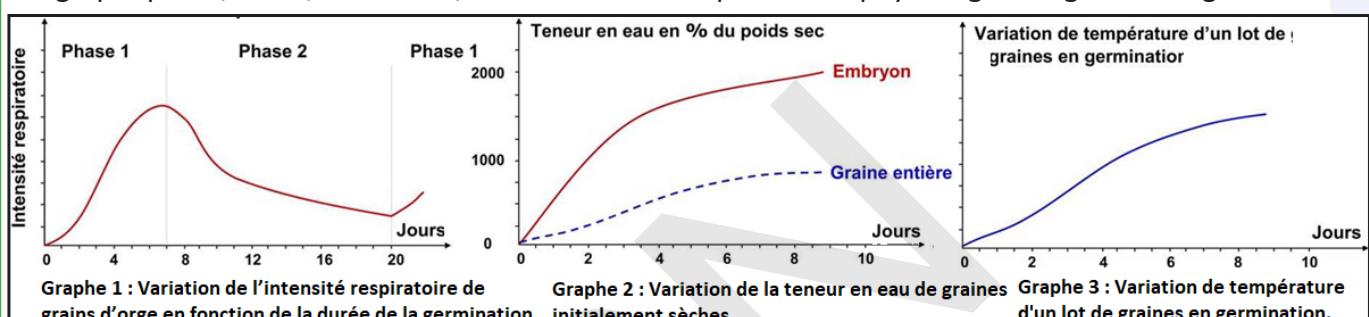
- Soit l'expérience dont les modalités sont indiquées par le document ci-contre :

En fin d'expérience, on observe autour des graines des auréoles de décoloration. Le teste à la liqueur de Fehling est positif. Le gel contient du maltose ($C_{12}H_{22}O_{11}$).

5) Quelle conclusion tirez-vous de ces résultats ? Ecrivez et caractérissez la réaction chimique mise en évidence par cette expérience. Qu'est-ce qui rend possible une telle réaction ?

6) Pour être sûr que l'expérience caractérise bien la physiologie des graines en germination, quelle précaution aurait dû prendre l'expérimentateur ?

Les graphiques 1, 2 et 3, ci-dessous, concernent trois aspects de la physiologie des graines en germination.



7) A l'aide d'un schéma, décrivez le montage expérimental qui permet de suivre les variations de l'intensité respiratoire et de la température au cours de la germination.

8) Commentez les trois graphiques.

Pour le graphique 1, sachant que la phase 2 voit l'épuisement des réserves alimentaires, interprétez les deux autres phases.

Montrez que les données physiologiques mises en évidence ne sont pas indépendantes.

Exercice 14

Le tableau ci-dessous montre les résultats de la production de différents fruits, en deux situations différentes : en présence et en absence d'abeilles.

		Oranger	Amandier	Tournesol	Lavande
Quantité de fruit (Kg)	En présence d'abeilles	100	10.5	300	110
	En absence d'abeilles	40	0.15	100	100

1- Comparer les résultats obtenus, puis déduire le rôle que jouent les abeilles dans ce cas.

2- Quel est le type de phénomène représenté par cette expérience ?

3- Que peut-on déduire ?

Exercice 15

Pour mettre en évidence les conditions indispensables à la germination, on réalise les expériences suivantes :

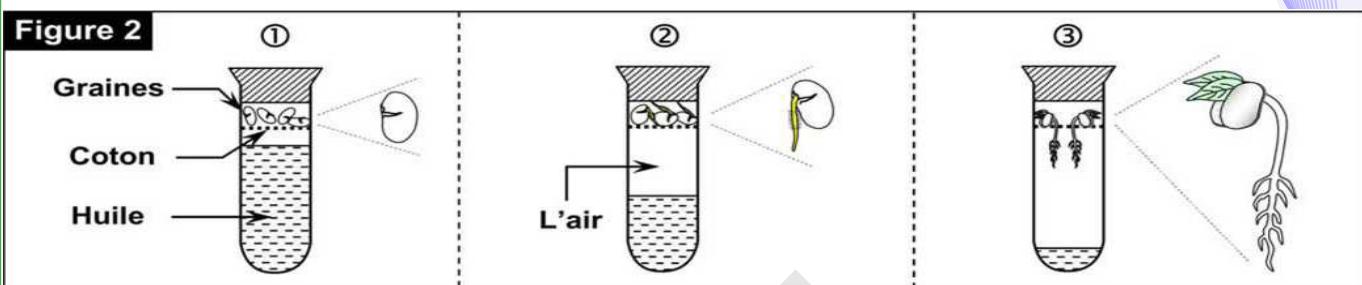
Expérience 1 : Dans une boîte de Pétri, on met du coton et des graines de haricot. Puis on suit la germination de ces graines dans des conditions différentes.

Le tableau ci-dessous (figure 1) montre les conditions et les résultats de cette expérience.

Les conditions du milieu		L'état des graines
La température (°C)	L'état du coton	
20	Imbibé d'eau	Germination
20	Sec	Pas de germination
6	Imbibé d'eau	Pas de germination

1- Que peut-on déduire à partir de l'analyse de ce tableau ?

Expérience 2 : Dans 3 tubes à essais (1, 2 et 3) remplis d'huile à des niveaux différents, on met en haut du tube du coton imbibé d'eau contenant des graines de haricot, puis on ferme les trois tubes. Après quelques semaines on obtient les résultats indiqués sur la figure 2 :



1- Analysez les résultats obtenus.

2- Comment expliquez-vous ces résultats ?

3- En se basant sur les résultats des deux expériences, déduisez les conditions de germination.

Exercice 16

Pour comprendre certains aspects de la reproduction des spermaphytes, on réalise les expériences suivantes :

Première expérience : De fines tranches de pistil sont prélevées à différents niveaux du gynécée d'une fleur issue d'une plante A.

Du pollen prélevé d'une plante B de la même espèce, est disposé régulièrement autour des tranches de pistil placées dans un milieu de culture convenable.

1. Analysez avec précision les résultats de la figure 1, qui représente cette expérience.

On détermine le pourcentage de tubes polliniques autour de tranches prélevées à différents niveaux du pistil. On obtient les résultats suivants :

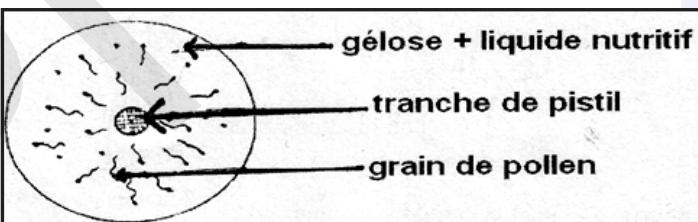


Figure.1

	Stigmate	Style	Ovaire	ovule
A de tubes germant	88	48	65	26

2.1 Analysez ces résultats.

2.2 Formulez une hypothèse permettant d'expliquer ces résultats.

3. On remplace les tranches de pistil par des extraits issus de broyats de cellules prélevées aux mêmes niveaux où les tranches ont été faites.

Les résultats obtenus sont identiques à ceux du tableau précédent.

En quoi ces résultats permettent-ils de confirmer ou d'inflammer votre hypothèse formulée à la question 2.

Deuxième expérience : Chez une plante C, on réalise les opérations représentées par les figures 2, 3 et 4.

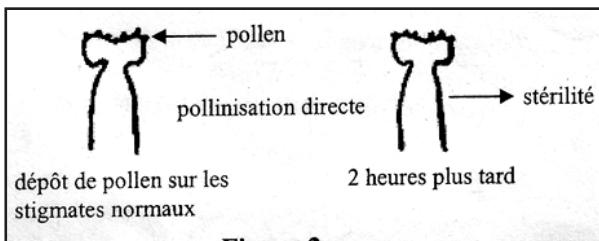


Figure 2

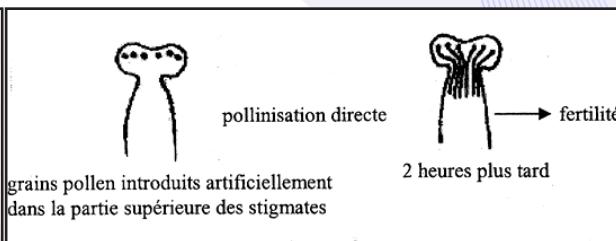


Figure 3

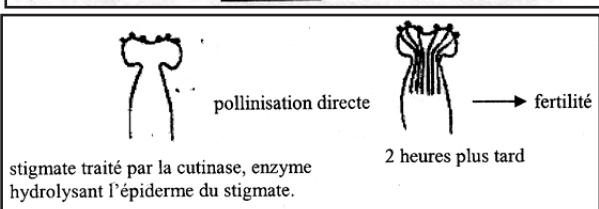


Figure 4

4. Analysez les résultats des figures 2, 3 et 4.

5. Expliquez les différences constatées

Exercice 17

Le Tournesol présente au stade de la floraison de très nombreuses petites fleurs rassemblées en une inflorescence appelée capitule (Voir document A).

1. Ces fleurs sont de deux types (Voir documents A et B) :

- La couronne jaune externe est formée par des fleurs ligulées (schéma B₁) ;
- Le disque marron central comprend de nombreuses petites fleurs appelées fleurons (schéma B₂).

1.1. Précisez à quoi correspondent les structures a, b, c, d, et e des fleurs représentées par le schéma B₂.

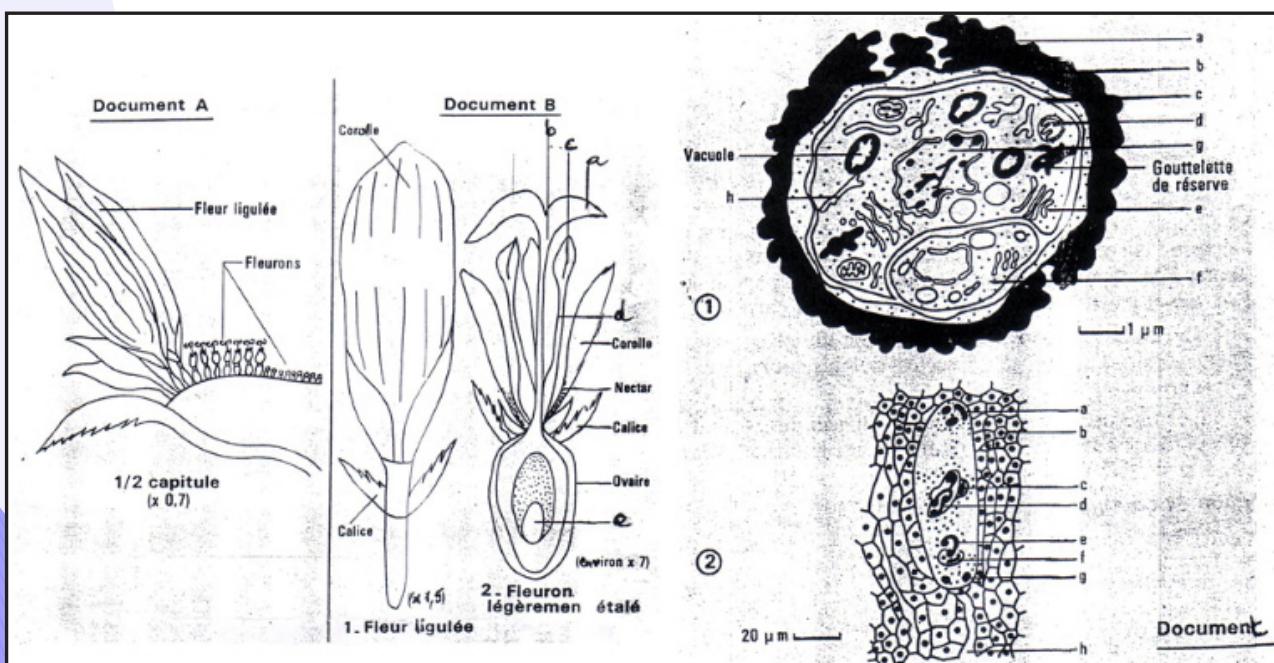
1.2. En comparant leurs caractères morphologiques et anatomiques, quelles remarques pouvez-vous faire quant à ces deux types de fleurs ?

Quel peut être leur rôle respectif dans la reproduction de l'espèce étudiée ?

2. Des coupes microscopiques ont été réalisées au niveau des structures c et e des fleurons (représentés sur le document B, schéma 2). Les microphotographies obtenues correspondent respectivement aux figures 1 et 2 du document C.

Donnez un titre précis à chaque figure et annotez chacune d'elle.

3. Précisez ce que sera l'évolution ultérieure des éléments visibles sur la figure 2 du document C, en raison du phénomène en cours de réalisation (visible sur ce document C₂), phénomène que vous décrirez succinctement.

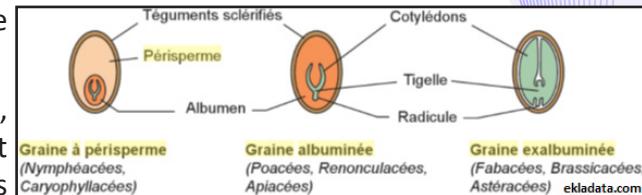


J'approfondis mes connaissances :

Document 1 : Les types des graines d'Angiospermes.

La graine se compose d'un tégument (simple ou double) et d'une amande formée de l'embryon et de tissus de réserves constituant l'albumen. La partie essentielle de l'amande est l'embryon. Celui-ci comprend une radicule, que prolonge une tigelle portant les cotylédons. Selon la présence ou non d'albumen dans les graines, celles-ci se classent en 3 catégories :

- Les graines à périsperme : Albumen très peu développé avec autour le périsperme (reste du nucelle qui n'a pas été digéré et qui sert de réserve). Le lieu de réserve est le périsperme ;
- Les graines albuminées : Disparition du nucelle, cotylédons minces dans un albumen développé servant de réserve comme par exemple, les caryopses des céréales,
- Les graines exalbaminées : le nucelle a été digéré par l'albumen, qui sera digéré pour former l'embryon et les cotylédons qui renferment les matières de réserves, comme chez le pois ou le haricot.



Document 2 : La reproduction sexuée chez les gymnospermes

« Les **Gymnospermes** sont des plantes faisant partie des Spermaphytes (plantes à graines).

A la différence des angiospermes la graine n'est pas enfermée dans un fruit. Elle est donc «nue». Elle est portée par des pièces foliaires groupées sur un rameau fertile.

La plupart des Gymnospermes sont des **conifères**(Les organes reproducteurs ont une forme de **cône**). Par exemple, les Pins, les cèdres.



Le cône mâle est constitué d'un certain nombre d'écaillles organisées autour d'un axe. Chaque écaille porte sur sa face inférieure deux microsporanges ou sacs polliniques qui contiennent les grains de pollen. Chaque écaille peut être considérée comme une étamine. Le cône tout entier est donc une fleur mâle monosexuée.

Le grain de pollen est formé de plusieurs cellules: on observe notamment une cellule végétative qui recouvre une petite cellule génératrice ou gamétogénèse. Il est entouré d'une paroi pecto-cellulosique ou intine, recouverte d'une exine. Le décollement bilatéral de cette dernière génère deux poches d'air ou ballonnets ce qui est favorable à la dissémination par le vent, la pollinisation étant anémophile. La libération du pollen mature est assurée par la rupture d'une ligne de déhiscence basale suite aux tensions développées par la déshydratation des parois de l'assise mécanique qui borde chaque sac pollinique. Au niveau des sacs polliniques, les cellules mères ($2n$) subissent la méiose qui donne des cellules haploïdes (n) appelées microspores. Chaque microspore haploïde subit une mitose pour donner un grain de pollen constitué de deux cellules haploïdes, une cellule végétative et une cellule génératrice. [...].



Le cône femelle est formé d'écaillles femelles, chaque écaille porte 2 ovules entourés par un seul tégument, dans chaque ovule on trouve un prothalle femelle diploïde ou gamétophyte femelle.



La formation de l'oosphère se fait en deux ans, au cours de la première année, au niveau de chaque écaille femelle, se forme et se développe dans l'ovule le

gamétophyte femelle. Pendant la deuxième année, le gamétophyte femelle produit la cellule diploïde ($2n$) qui subit la méiose et produit 4 mégaspores haploïdes n , deux mégaspores donnent 2 oosphères ; les deux autres se transforment en archégones qui portent les oosphères ou gamètes femelles.

Pendant la première année, se fait la pollinisation : grâce à leurs ballons, les grains de pollen emportés par le vent, traversent le micropyle de l'ovule, et se trouvent à la surface du nucelle. Chaque grain de pollen germe grâce au noyau végétatif et émet un tube pollinique qui pénètre à travers le nucelle. La croissance du tube pollinique s'arrête; le reste de la première année et les écailles femelles se collent entre elles avec la résine pour protéger les ovules pollinisés.

Pendant la deuxième année, le noyau végétatif reprend la croissance du tube pollinique qui traverse le



nucelle et atteint l'archégone qui porte l'oosphère, le noyau reproducteur subit la mitose et produit 2 anthérozoïdes, le noyau végétatif et l'un des anthérozoïdes dégénèrent et le deuxième anthérozoïde féconde l'oosphère. Le zygote diploïde qui résulte de la fécondation se développe en embryon à $2n$. Après la formation de l'embryon,

le gamétophyte femelle accumule des réserves et se transforme en albumen entourant l'embryon, l'ovule se déshydrate, l'embryon entre en vie ralenti, le tégument se solidifie et acquiert une aile ; dans chaque écaille femelle, se forment 2 graines aillées nues non enfermées dans un fruit ; d'où le nom de gymnosperme. Les graines restent dans les écailles le reste de la deuxième année. Pendant la troisième année, le cône mûrit, les écailles s'écartent et les graines aillées se libèrent et se disséminent par le vent. A la rencontre de conditions favorables, les graines germent et donnent de nouvelles plantules. ».MOHAMED KAMMAH in <http://gssanaa.com>.

J'utilise mes connaissances :

«Faire germer des graines de haricots ?

➤ Matériel : des graines de haricots ; du coton (ou de l'essuie-tout) ; une soucoupe ; un petit bocal ; du terreau spécial plantation ; un brumisateur.

➤ L'installation des graines :

Avant de commencer l'expérience, faites tremper 2-3 graines de haricots dans de l'eau à température ambiante pendant au moins 12:00 pour les ramollir.

✓ Technique 1 :

- Mouillez le coton que vous déposez dans la soucoupe ;
- Déposez les 2-3 graines de haricot sur le coton en espaçant chaque graine ;
- Sur le dessus, placez un autre coton mouillé ;
- Disposez la soucoupe sur une source de chaleur comme un radiateur et dans une pièce lumineuse. Les haricots ont besoin d'une température supérieure à 18°C pour germer et de lumière pour donner des tiges vertes. Dans l'ombre, les tiges seraient blanches.

✓ Technique 2 :

- Remplissez de terre un pot transparent et semez 2-3 graines de haricot, ce contenant vous permettra de découvrir les étapes de croissance des graines avec la transparence. Touchez régulièrement la surface de la terre avec votre doigt, si la terre est sèche, brumisez légèrement.

Tous les jours, touchez le coton ou la terre pour juger de l'humidité. Il doit être continuellement humide mais attention, pas détrempé. Pulvérisez des gouttelettes d'eau avec un brumisateur pour limiter les excès d'eau.

➤ La germination des graines :

De croissance rapide, vous devrez voir apparaître les premières petites feuilles seulement 24:00 à 48:00

après les avoir semées.

En une semaine, une tige avec des feuilles va pousser (photo du bas). Pensez à tourner régulièrement la soucoupe ou le pot car les jeunes pousses vont naturellement se diriger vers la lumière.

Continuez à arroser régulièrement en laissant le coton sécher entre deux arrosages. L'excès d'eau peut faire pourrir les graines.



➤ **Que faire des jeunes pousses germées ?**

Les repiquer rapidement dans un pot plus grand, en attendant d'être plantées dans le potager. Ici, des jeunes plants de lentilles et de haricots fraîchement repiqués.

Les enfants vont adorer regarder tous les jours l'évolution, de la graine à la jeune pousse. ». <https://www.jardinier-amateur.fr/reportages-jardin/faire-germer-haricots.html>

En t'inspirant du document précédent, essaie de ton côté, de faire de même chez toi dans un coin de la cour de votre maison ou de votre jardin.

Projet de classe :

A la fin du chapitre 3, les élèves, en sous-groupes, fabriquent un prototype de ce qui suit :

- Groupe 1 : Chromosomes ;
- Groupe 2 : L'ADN ;
- Groupe 3 : l'ARN.
- Observer le milieu et se documenter.
- Dessiner la maquette ou le schéma et fabriquer le prototype.
- Ecrire un texte pour expliquer la réalisation et le présenter aux autres élèves.
- Le groupe 4 élabore une fiche métier sur le métier du généticien.
- Le groupe 5 élabore une fiche métier sur le métier de la police scientifique.
- Le groupe 6 démontre l'interdisciplinarité du sujet en relation avec la Chimie (Composition chimique des acides nucléiques, acides aminés, des chromosomes etc.) et les Mathématiques (Suite, somme des cellules obtenues après une série de division etc.).



CHAPITRE III :

LA GENETIQUE

IPN

CHAPITRE III : LA GENETIQUE

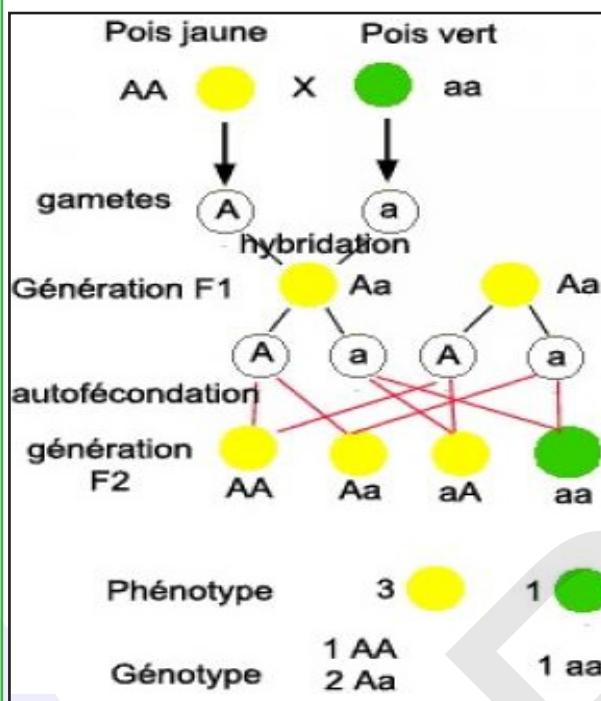
Je découvre :

I- Notions de base

Activité 1 :

Maitriser la définition des quelques mots et expressions en génétique.

Document 1 : Croisement mendélien.



Document 2 : Texte.

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

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

- **Génétique** : Science qui étudie l'hérédité et les gènes. La génétique doit intégrer deux forces opposées : le côté hérédité (transmission fidèle) et le côté variation observée (polymorphisme).
- **Hérédité** : C'est la transmission des caractéristiques d'une génération à la suivante.
- **Chromosome** : Structure constituée d'ADN, d'ARN et de protéines (histones) et qui provient de la condensation d'un filament de chromatine lors d'une mitose ou d'une méiose.
- **Caryotype** : Examen permettant d'étudier l'ensemble des chromosomes d'une cellule, en les classant par paires de chromosomes homologues, en fonction de leur taille, de la position de leur centromère et de la position des bandes claires et sombres après coloration. C'est aussi, l'ensemble des chromosomes d'une cellule, caractéristique d'une espèce donnée.
- **Gène** : Elément physique et fonctionnel de l'hérédité qui transmet une information d'une génération à la suivante. Physiquement, c'est une séquence nucléotidique d'ADN nécessaire à la synthèse d'un polypeptide ou d'un ARN fonctionnel.
- **Allèle et locus** : Un **allèle** est l'une des séquences de nucléotides possibles de l'ADN d'un gène. Chaque allèle occupe un emplacement précis, appelé un **locus**, sur la chromatide.
- **Autosomique** : Transmission d'un caractère lié à un gène situé sur un chromosome autosome.
- **Gonosomique** : Transmission d'un caractère lié à un gène situé sur le segment non homologue d'un chromosome sexuel (le X ou le Y).
- **Dominance** : Se dit d'un allèle qui s'exprime dans le phénotype à l'état homozygote ou hétérozygote.
- **Récessivité** : Se dit d'un allèle qui ne s'exprime dans le phénotype qu'à l'état homozygote.

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

II- Génétique formelle

A- Notions d'autofécondation et de fécondation croisée

Activité 2 :

Comment travaillait Mendel ?

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

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

L'originalité de sa démarche est qu'il a attendu d'avoir des plantes aux caractéristiques stables sur plusieurs générations avant de commencer ses essais de croisements. Ces souches sont dites pures par rapport à la caractéristique considérée.

Mendel en a étudié et noté les phénotypes suivants :

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



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

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

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

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

B- Monohybridisme

Activité 3 :

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

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

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

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

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

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

Interprétation des résultats :

Expérience 1:

- L'étude concerne seulement un seul caractère, c'est la forme de la graine de pois : il s'agit d'un cas de monohybridisme.

- La descendance F_1 est composée uniquement de plantes de pois à graines lisses, d'où

la première loi de Mendel : « Uniformité des hybrides de F_1 ».

- L'uniformité des individus de la F_1 montre que les deux parents sont de races pures.

- La population de F_1 ressemble à l'un des parents d'où la notion de dominance : l'allèle lisse (L) domine l'allèle ridée (r) : $L > r$.

- L'autofécondation des individus de F_1 donne des statistiques de 3/4 de lisses et 1/4 de ridés : statistiques de monohybridisme avec dominance.

- Le sexe des descendants n'est pas spécifié : la transmission est autosomale.

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

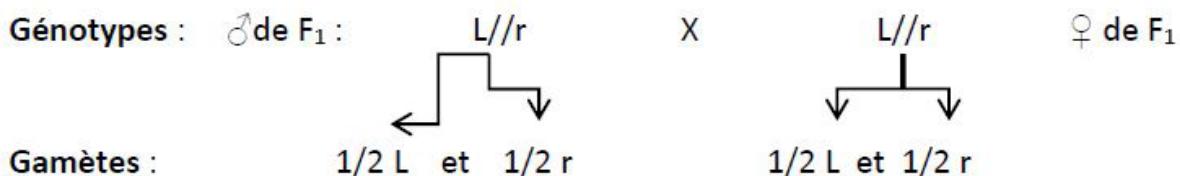
Génotypes : L//L X r//r

Gamètes : 100% L 100% r

Echiquier de croisement de Punnet

Gamètes		
[L]		100% [L] ♂
[r]		L//r 100% [L] ♂
100% [r]		

Mendel inventa les termes dominant et récessif.

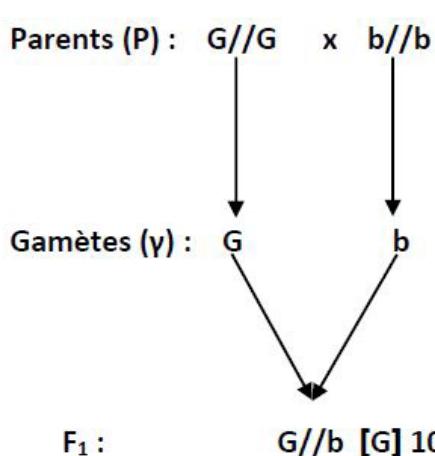


Gamètes de F ₁			
♂	♀	1/2 L ♂	1/2 r ♂
1/2 L		1/4 L/L ♂	1/4 L/r ♂
1/2 r		1/4 r/L ♂	1/4 r/r ♂

La F₂ est composée de : 3/4 [L] et 1/4 [r].

La deuxième loi de Mendel : Lors de la formation des gamètes des individus de F₁, les allèles L et r se sont séparés : « loi de la ségrégation ou de la disjonction indépendante des allèles ».

Expérience 2 : Les hybrides F₁, gris, portent aussi le facteur blanc puisqu'il apparaît dans la F₂ mais il était masqué par le gris dans la F₁ : on dit que le gris est dominant (G), alors que le blanc est récessif (b). Le facteur qui détermine la couleur du pelage existe sous 2 formes différentes (ou allèles) : G et b. Au moment de la formation des gamètes de F₁, les facteurs se disjoignent de façon que chaque gamète ne reçoive que le gris ou le blanc. Ainsi ; la moitié des ovules porte le gris et l'autre moitié porte le blanc. Et il en est de même pour les gamètes mâles. Les résultats sont indépendants du sexe des parents, c'est-à-dire que le résultat est le même quel que soit le sens du croisement : c'est une hérédité autosomale.



• F₁ x F₁ → F₂ : l'échiquier du croisement est le suivant:

♂		
	G	b
♀	G	G//G [G] G//b [G]
	b	G//b [G] b//b [b]

• proportions phénotypiques :

- [G] : 198/270 ≈ 3/4;
- [b] : 72/270 ≈ 1/4.

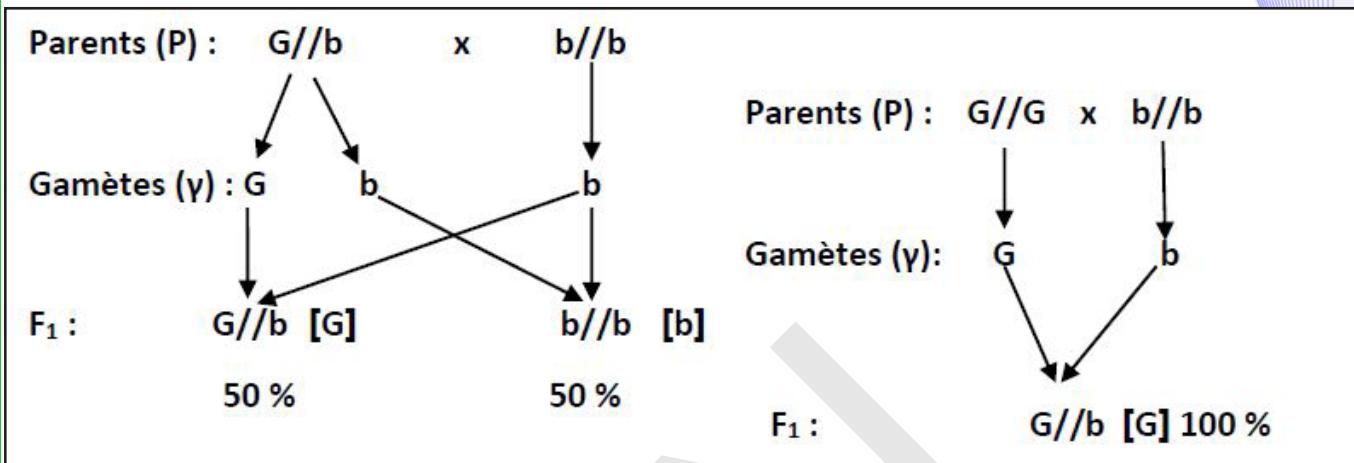
Les résultats théoriques sont conformes aux résultats expérimentaux.

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

Activité 4 :

Test-cross ou croisement-test :

Comme exemples, on a réalisé les croisements suivants :



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

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

Activité 5 :

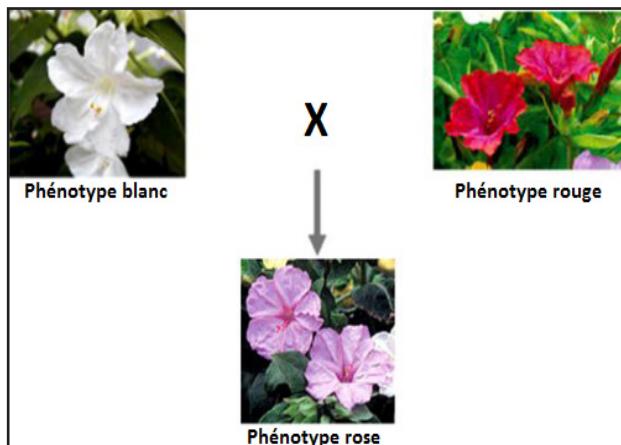
Comment expliquer la descendance de parents différent par un seul caractère héréditaire : cas du gène autosomique avec codominance.

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

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

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

1^{er} croisement : P₁ : Muflier à fleurs rouges x Muflier à fleurs blanches :



F₁ : 100% fleurs roses.

2^{ème} croisement : P₂ : F₁ à fleurs roses



F₂ : 88 plantes à fleurs rouges, 182 plantes à fleurs roses et 90 plantes à fleurs blanches.

Expérience 2 : Etude de la transmission du couple d'allèles responsable de la longueur de la queue chez le chien. Un couple de chiens à queue courte donne 3 chiots sans queue, 2 chiots à queue longue et 6 à queue courte.

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

Interprétation des résultats :

Expérience 1 :

- Un seul caractère est étudié (la couleur des fleurs de muflier) : **cas de monohybridisme**.
- La F₁ est homogène, elle vérifie la 1^{ère} loi de Mendel : « **Uniformité des hybrides de F₁** ».
- Les individus F₁ ne ressemblent à aucun des parents, ils ont une couleur intermédiaire : il s'agit d'un cas de monohybridisme sans dominance de l'un sur l'autre : **cas de codominance**.

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

- Le gène responsable de la couleur des fleurs chez le muflier existe sous 2 formes alléliques : R détermine la couleur rouge et R' la couleur blanche.
- Les croisements inverses donnent le même résultat : Gène autosomique.

P₁ : Muflier à fleurs rouges X Muflier à fleurs blanches.

Génotypes : R//R X R'/R'

Gamètes : R R'

F₁ : R//R' 100% fleurs roses.

P₂ : F₁ à fleurs roses X F₁ à fleurs roses

Génotypes : R//R' X R//R'

Gamètes : 1/2 R, 1/2 R' 1/2 R, 1/2 R'

F_2 : Echiquier :

$\gamma \sigma^*$	R	R'
$\gamma \Omega$	R	R'
R	$R//R [R]= 1/4$	$R//R' [RR']= 1/4$
R'	$R//R' [RR']= 1/4$	$R'//R' [R']= 1/4$

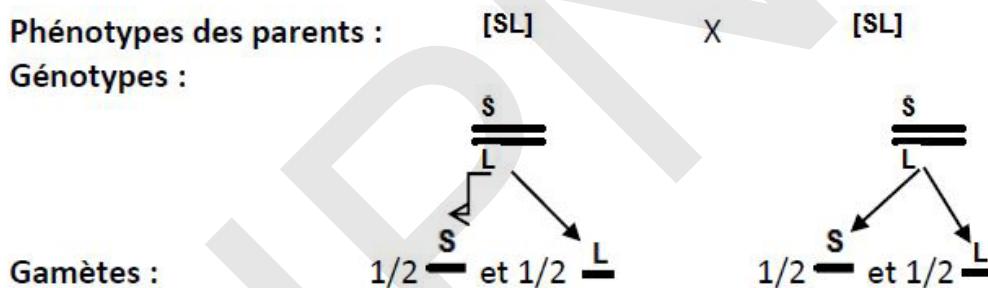
$$[R] = 1/4 \approx 88/360; [RR'] = 1/2 \approx 182/360; [R'] = 1/4 \approx 90/360.$$

Expérience 2 :

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

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

Le croisement est le suivant :



Echiquier de croisement :

Gamètes	S 1/2	L 1/2
S 1/2	S 1/2 S 1/4	S 1/2 L 1/4
L 1/2	S 1/2 L 1/4	L 1/2 L 1/4

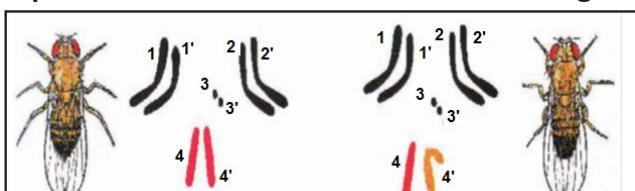
F_2 : 1/4 [S] soit 3/11 ; 1/2 [SL] soit 6/11 et 1/4 [L] soit 2/11.

Activité 6 :

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

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

Alors que les autosomes sont communs à tous les



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

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

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

Les gènes portés par Y sont beaucoup plus rares.

Morgan croise 2 drosophiles de race pure : un mâle aux yeux blancs (mutant) et une femelle aux yeux rouges (type sauvage). La F₁ est formée d'individus ayant tous le phénotype sauvage. La F₂ comprend des femelles aux yeux rouges et des mâles qui ont pour moitié les yeux rouges et pour moitié les yeux blancs. Il fait ensuite le croisement réciproque :

mâle aux yeux rouges, femelle aux yeux blancs. La F₁ comprend des femelles aux yeux rouges et des mâles aux yeux blancs. La F₂ comprend en nombres égaux des mâles et des femelles aux yeux rouges et aux yeux blancs. Thomas Morgan propose une explication grâce à des travaux sur la drosophile.

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

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

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

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

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

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

Exploitation des résultats :

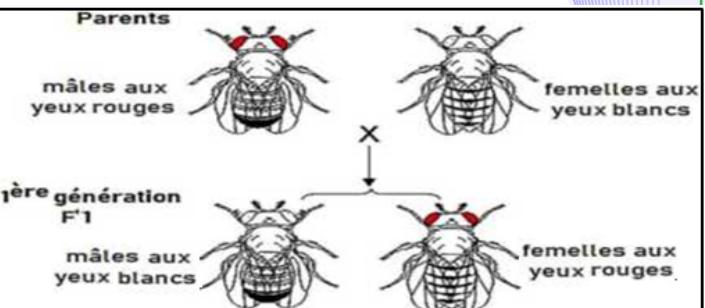
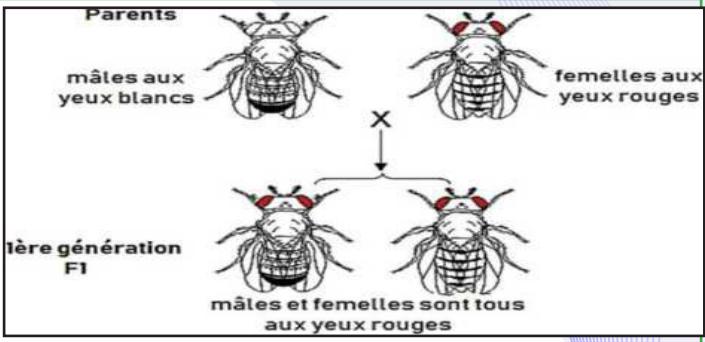
Expérience 1 :

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

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

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

- **Cas 1 :** Les gènes sont localisés sur le chromosome X seulement. Mâles et femelles peuvent présenter le



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

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

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

Exploitation des résultats :

Expérience 1 :

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

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

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

- **Cas 1 :** Les gènes sont localisés sur le chromosome X seulement. Mâles et femelles peuvent présenter le

caractère, mais seule la femelle peut être hybride ou homozygote.

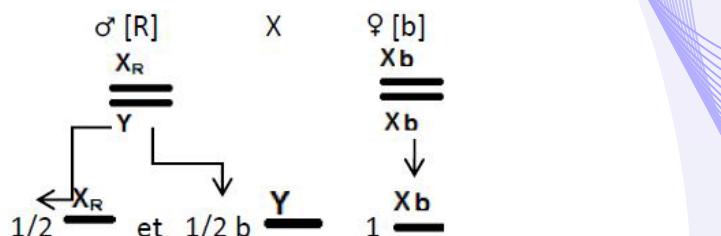
- **Cas 2 :** Les gènes sont localisés à la fois sur X et sur Y. On peut trouver des hybrides chez les mâles et chez les femelles comme pour les gènes situés sur les autosomes, mais leur comportement n'est pas exactement le même que pour ces derniers. En effet, l'allèle porté par Y n'est transmis uniquement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

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

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

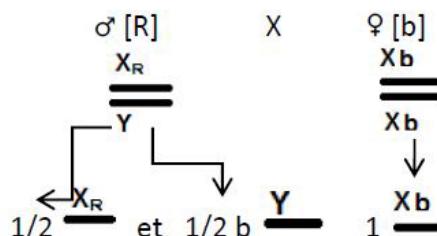
Le 1^{er} croisement : Parents de races pures :

Génotypes :



Gamètes :

Echiquier de croisement :



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

Le croisement inverse :

Parents de races pures : ♂ [b]

Génotypes :

Gamètes :

Echiquier de croisement :

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

Expérience 2 :

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

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

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

$\sigma : Z^B//Z^B$

x

$\Omega : Z^b//W$

- Gamètes du mâle : Z^B

de la femelle : Z^b et W

$\gamma\sigma$	Z^b	W
Z^B	$Z^B//Z^b[B]$	$Z^B//W[B]$

Les proportions phénotypiques sont les suivantes :

$\Omega : [B] - 100 \%$

$\sigma : [B] - 100 \%$.

- Croisement 2 :

$\sigma : Z^b//Z^b$

x

$\Omega : Z^B//W$

$\gamma\sigma$	Z^B	W
Z^b	$Z^B//Z^b[B]$	$Z^b//W[b]$

Les proportions phénotypiques sont les suivantes :

$\Omega : [b] : 50 \%$; $\sigma : [B] : 50 \%$.

- Croisement 3 :

$\sigma : Z^B//Z^b$

x

$\Omega : Z^b//W$

$\gamma\sigma$	Z	W
Z^B	$Z^B//Z^b[B]$	$Z^B//W[B]$
Z^b	$Z^b//Z^b[b]$	$Z^b//W[b]$

Les proportions phénotypiques sont les suivantes :

$\Omega : [B] : 50 \%$; $\Omega : [b] : 50 \%$; $\sigma : [B] : 50 \%$; $\sigma : [b] : 50 \%$.

- Croisement 4 :

$\sigma : Z^B//Z^b$	x	$\Omega : Z^B//W$
$\gamma\sigma$	Z^B	W
Z^B	$Z^B//Z^B[B]$	$Z^B//W[B]$
Z^b	$Z^B//Z^b[B]$	$Z^b//W[b]$

Les proportions phénotypiques sont les suivantes :

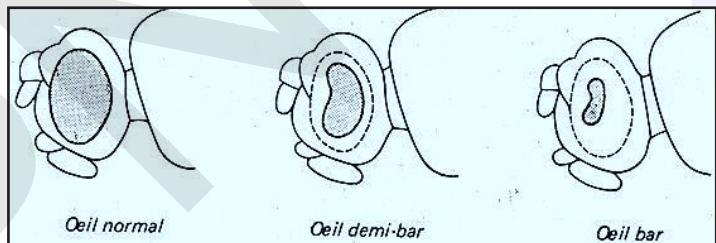
- 75 % de [B] dont 2/3 de ♂ et 1/3 de ♀ ;
- 25 % de [b] : ♀.

Activité 7 :

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

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

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



Expérimentalement on réalise les croisements suivants :

Croisement a : Drosophile femelle sauvage x Drosophile mâle bar.

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

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

Drosophiles mâles : 25 sauvages, 28 bar.

Croisement b : Drosophile femelle bar x Drosophile mâle sauvage.

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

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

Drosophiles mâles : 20 sauvages, 21 bar.

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

Exploitation des résultats :

- Un seul caractère étudié : cas de **monohybridisme**.
- Les parents utilisés, dans les deux croisements, sont de **races pures**.

- Les descendants femelles ont toujours une forme des yeux intermédiaires entre bar et sauvage : **codominance**.
- Symboles : Allèle sauvage : **s** et Allèle bar : **b**
- Les deux croisements sont inverses et donnent toujours des descendants mâles qui ressemblent à leur mère : gène gonosomal lié à X.

Croisement a :

Parents de races pures:	Drosophile femelle aux yeux sauvages	X	Drosophile mâle aux yeux bar
Génotypes:	$X_s//X_s$		$X_b//Y$
Gamètes	X_s	$1/2 X_b$	$1/2 Y$
Echiquier de croisement de F1			
Gamètes	$1/2 X_b$	$1/2 Y$	
X_s	$X_s//X_b$	$X_s//Y$	
Femelle demi-bar		mâle sauvage	

Parents hybrides de F1	Femelle demi-bar	X	Mâle sauvage
Génotypes		$X_s//X_b$	$X_s//Y$
Gamètes	$1/2 X_s$	$1/2 X_b$	$1/2 X_s$ $1/2 Y$
Echiquier de F2			
Gamètes de F1	$1/2 X_s$	$1/2 X_b$	
$1/2 X_s$	$X_s//X_s$ 1/4	$X_s//X_b$ 1/4	
$1/2 Y$	$X_s//Y$ 1/4	$X_b//Y$ 1/4	

Croisement b:

Parents de races pures:	Drosophile femelle aux yeux bar	X	Drosophile mâle aux yeux sauvages
Génotypes:	$X_b//X_b$		$X_s//Y$
Gamètes	X_b	$1/2 X_s$	$1/2 Y$
Echiquier de croisement de F1			
Gamètes	$1/2 X_s$	$1/2 Y$	
X_b	$X_s//X_b$	$X_b//Y$	
Femelle demi-bar		mâle bar	

Parents hybrides de F1	Femelle demi-bar	X	Mâle sauvage
Génotypes		$X_s//X_b$	$X_b//Y$
Gamètes	$1/2 X_s$	$1/2 X_b$	$1/2 X_s$ $1/2 Y$
Echiquier de F2			
Gamètes de F1	$1/2 X_s$	$1/2 X_b$	
$1/2 X_b$	$X_s//X_b$ 1/4	$X_b//X_b$ 1/4	
$1/2 Y$	$X_s//Y$ 1/4	$X_b//Y$ 1/4	

Activité 8 :

Etude de quelques cas particuliers.

Expérience 1 : Gène létal.

Exemple 1 : Etude de la transmission du couple d'allèles responsable de la couleur du pelage chez la souris.
 Une souris noire, croisée avec une souris noire, donne uniquement des souris noires. Une souris jaune, croisée avec une souris jaune, donne une descendance comprenant 2/3 de souris jaunes et 1/3 de souris noires. Une souris jaune, croisée avec une souris noire, donne en nombre égal des souris jaunes et des souris noires.

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

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

Expérience 2 : Polyallélie :

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

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

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

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

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

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

Expérience 3 : Gène influencé par le sexe :

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

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

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

- des mâles : 3/4 avec cornes, 1/4 sans cornes ;
- des femelles : 3/4 sans cornes, 1/4 avec cornes.

Expérience 4 : Hérédité des abeilles.

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

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

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

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

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

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

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

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

Exploitation des résultats :

Expérience 1 : Gène létal.

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

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

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

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

Le croisement est donc le suivant :

$\gamma \sigma$	J	$1/2$	$1/2$
$\gamma \Omega$			
J	J/J [$J] = 1/4$		J/n [$J] = 1/4$
n	J/n [$J] = 1/4$		n/n [$n] = 1/4$

Les proportions phénotypiques sont les suivantes :

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

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

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

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

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

$\gamma \Omega$	$\gamma \sigma$	C	$1/2$	c	$1/2$
C		C/C [$C] = 1/4$		C/c [$C] = 1/4$	
c		C/c [$C] = 1/4$		c/c [$c] = 1/4$	

$[C] = 3$ plantes vertes viables ; $[c] = 1$ plante blanche non viable ;
Soit $2/3$ de $[C]$ et $1/3$ de $[c]$.

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

Expérience 2 : Polyallélie.

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

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

Symboles : chinchilla : C^{ch} et himalayan : C^h

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

Détermination du père des lapereaux :

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

Croisement :

Parents de races pures :

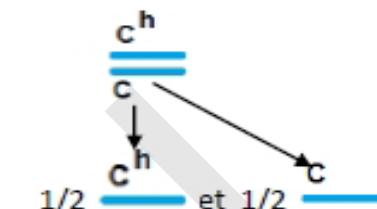
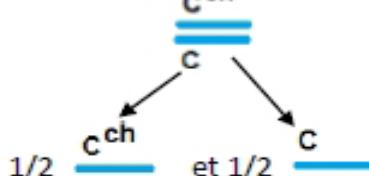
$\sigma^* [C^{ch}]$

X

$\varphi [C^h]$

Génotypes :

Gamètes :



Echiquier de croisement :

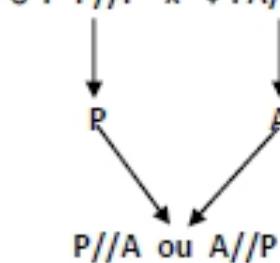
gamètes	σ^*		
φ		C^{ch} 1/2	C 1/2
C^h 1/2		C^{ch} C^h [C^{ch}] = 1/4	C^h C [C^h] = 1/4
C 1/2		C^{ch} C [C^{ch}] = 1/4	C C [C] = 1/4

Expérience 3 : Gène influencé par le sexe.

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

Premier croisement :

$\sigma^* : P//P \times \varphi : A//A$



$\sigma^* : [P] : (\text{à cornes})$

$\varphi : [A] : (\text{sans cornes})$

Deuxième croisement :

$F_1 \times F_1 = F_2 ; \sigma^* : P//A \times \varphi : A//P$

φ	$1/2$	$1/2$
σ^*	P	A
$1/2$	$P//P 1/4$	$P//A$ ou $A//P 1/4$
P	$1/2$	$A//A$
A	$P//A$ ou $A//P 1/4$	$1/4$

$\sigma^* : [P] : 3/4 ; \varphi : [A] : 3/4 ;$

$\sigma^* : [A] : 1/4 ; \varphi : [P] : 1/4$.

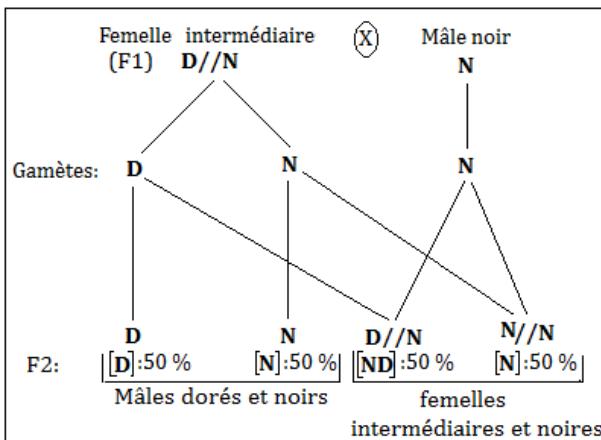
Expérience 4 : Hérédité des abeilles.

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

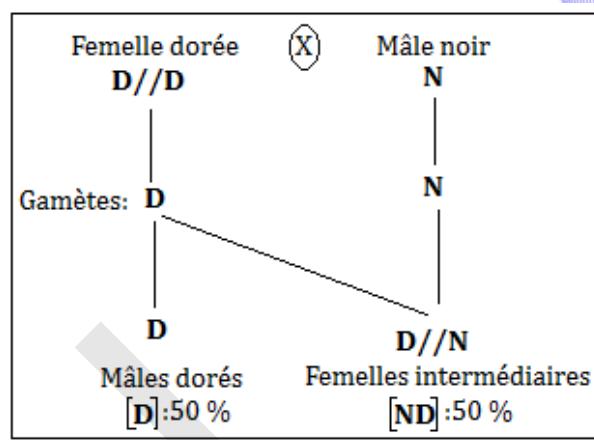
Chez l'abeille, la femelle est diploïde alors que le mâle est haploïde. Le déterminisme du sexe se fait par parthénogénèse : les mâles sont obtenus à partir d'un ovule non fécondé.

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

Le 1^{er}croisement :



Le deuxième croisement :



Les proportions phénotypiques sont les suivantes : $\text{♀} : [ND] : 50\% ; \text{♂} : [D] : 50\%$.

C- Dihybridisme

Activité 9 :

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

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

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

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

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

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

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

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

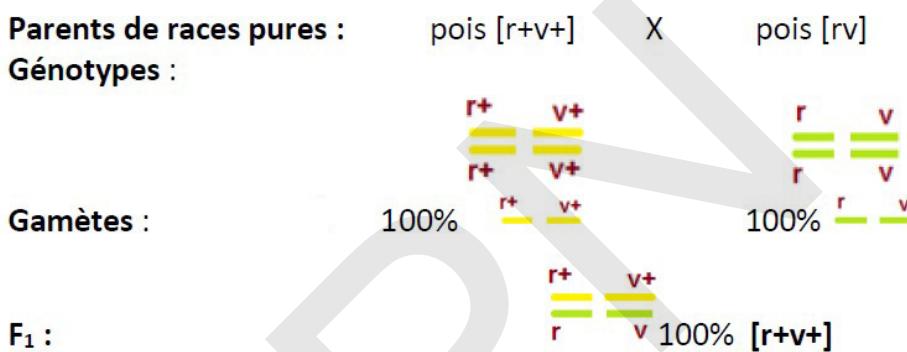
- 142 souris à pelage uniforme et gris ;
- 144 souris à pelage gris panaché de blanc ;
- 143 souris à pelage uniforme et noir ;
- 139 souris à pelage noir panaché de blanc.

Interpréter ces résultats.

Interprétation des résultats.

Expérience 1 :

- Deux caractères étudiés (la forme et la couleur des graines de pois) : cas de dihybridisme.
- La F_1 est homogène et vérifie la 1^{ère} loi de Mendel : « uniformité des hybrides de F_1 ».
- La F_1 montre que les allèles r^+ et v^+ dominent respectivement les allèles r et v .
- L'autofécondation entre individus de F_1 donne à la descendance F_2 quatre (4) phénotypes avec des proportions de 9 – 3 – 3 – 1, indiquant que chaque individu de F_1 a produit quatre types de gamètes équiprobales : les gènes sont donc indépendants.
- Les gènes sont autosomiques.



Troisième loi de Mendel : « Loi de la ségrégation (disjonction) indépendante des gènes ».

Une démonstration mathématique permet de prouver que les 2 caractères se transmettent indépendamment l'un de l'autre. Non seulement les 2 allèles d'une même paire se séparent, mais en outre les allèles de chaque caractère se transmettent indépendamment l'un de l'autre. En effet, «vert» se transmet aussi bien avec «lisse» qu'avec «ridé».

Ceci s'explique par le fait que les 2 allèles (l'un codant pour l'aspect et l'autre pour la couleur) sont situés sur des chromosomes différents.

Lorsque l'on considère la transmission à la descendance de 2 couples d'allèles, leur ségrégation s'opère de manière totalement indépendante.

En F_2 , on obtient :

	 r^+ v^+	 r^+ v	 r v^+	 r v
 r^+ v^+	9	3	3	1
 r^+ v	3	7	3	1
 r v^+	3	3	7	1
 r v	1	1	1	9

Il apparaît 2 phénotypes nouveaux qui recombinent les caractères des 2 parents : ridés et jaunes, lisses et verts.

On constate également qu'on obtient :

- * 9 lisses et jaunes  avec une proportion de 9/16 ;
- * 3 lisses et verts  avec une proportion de 3/16 ;
- * 3 ridés et jaunes  avec une proportion de 3/16 ;
- * 1 ridé et vert  avec une proportion de 1/16.

- Parmi les ridés, il y a : 3 jaunes avec une proportion de 3/4 et 1 vert avec une proportion de 1/4.
- Parmi les lisses, il y a : 9 jaunes avec une proportion de 3/4 et 3 verts avec une proportion de 1/4.

On retrouve donc les mêmes proportions que dans le cas du monohybridisme.

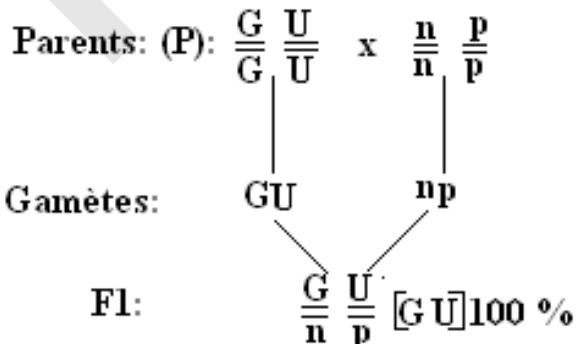
Expérience 2 :

- Les hybrides de première génération étant tous semblables, les parents appartiennent l'un et l'autre à des races pures (première loi de Mendel). Les caractères gris et uniforme sont dominants par rapport aux caractères noir et panaché de blanc :

G > n et U > p.

- Les nombres 559, 187, 188 et 63 évoquant une répartition du type 9 – 3 – 3 – 1, on peut penser qu'il s'agit d'un cas de dihybridisme avec ségrégation indépendante.
- Les deux couples d'allèles étant portés par des chromosomes différents, chaque hétérozygote F_1 produit en nombre égal 4 types de gamètes portant les allèles : GU, Gp, nU, np.
- En F_2 , on obtient les 16 combinaisons de l'échiquier ci-après ;

Premier croisement :



Deuxième croisement :

$$F_1 \times F_1: F_2 \quad \frac{G}{n} \frac{U}{p} \times \frac{G}{n} \frac{U}{p}$$

	GU	Gp	nU	np
GU	$\frac{G}{G} \frac{U}{U} [GU]$	$\frac{G}{G} \frac{p}{p} [Gp]$	$\frac{n}{n} \frac{U}{U} [nU]$	$\frac{n}{n} \frac{p}{p} [np]$
Gp	$\frac{G}{G} \frac{U}{p} [GU]$	$\frac{G}{p} \frac{p}{p} [Gp]$	$\frac{G}{n} \frac{U}{U} [GU]$	$\frac{G}{n} \frac{p}{p} [Gp]$
nU	$\frac{G}{n} \frac{U}{U} [GU]$	$\frac{G}{n} \frac{p}{p} [Gp]$	$\frac{n}{n} \frac{U}{U} [nU]$	$\frac{n}{n} \frac{p}{p} [np]$
np	$\frac{G}{n} \frac{U}{p} [GU]$	$\frac{G}{n} \frac{p}{p} [Gp]$	$\frac{n}{n} \frac{U}{p} [nU]$	$\frac{n}{n} \frac{p}{p} [np]$

Les proportions phénotypiques sont les suivantes :

[GU] : 9/16 – [Gp] : 3/16 – [nU] : 3/16 – [np] : 1/16 ; ces proportions issues de l'échiquier sont considérées comme théoriques.

► Vérification pratique à partir des données expérimentales :

- Totalité des souris : $559 + 187 + 188 + 63 = 997$
- [GU] : $559/997 \approx 9/16$
- [Gp] : $187/997 \approx 3/16$
- [nU] : $188/997 \approx 3/16$
- [np] : $63/997 \approx 1/16$

Ces proportions théoriques sont conformes aux proportions expérimentales.

- Troisième croisement :

Il s'agit d'un back-cross (ou test-cross) ; $F_1 \times$ avec un double récessif (P_2) :

$\frac{Y}{\text{F1}}$ $\frac{\text{P2}}{y}$	GU	Gp	nU	np
np	$\frac{G}{n} \frac{U}{p}$ [GU]	$\frac{G}{n} \frac{p}{p}$ [Gp]	$\frac{n}{n} \frac{U}{p}$ [nU]	$\frac{n}{n} \frac{p}{p}$ [np]

Les proportions phénotypiques sont : [GU] : 1/4 ; [Gp] : 1/4 ; [nU] : 1/4 ; [np] : 1/4.

Exploitation des données expérimentales :

Totalité des souris : $142 + 144 + 143 + 139 = 568$.

- [GU] : $142/568 \approx 1/4$;
- [Gp] : $144/568 \approx 1/4$;
- [nU] : $143/568 \approx 1/4$;
- [np] : $139/568 \approx 1/4$.

Ces proportions théoriques sont conformes aux proportions pratiques.

Activité 10 :

Comment interpréter la descendance de parents différent par 2 caractères héréditaires : cas de gènes autosomiques indépendants avec dominance pour l'un et codominance pour l'autre.

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

Le croisement d'un lapin gris à poils longs avec une lapine blanche à poils courts donne à la première génération F_1 des lapereaux tachetés à poils longs.

On croise ensuite les individus de la première génération entre eux, et on obtient une deuxième génération F_2 .

Etablir l'échiquier de ces croisements et en tirer les phénotypes avec leurs proportions respectives.

Interprétation des résultats :

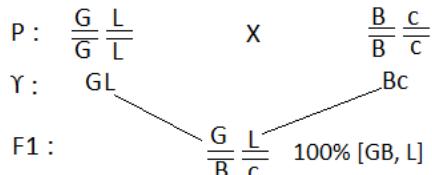
- En F_1 apparition :

* d'individus tachetés : Les allèles gris G et blanc B sont **codominants** ;

* d'individus tous à poils longs : L'allèle long L est dominant et l'allèle court c est récessif.

- Oui, «Uniformité des individus de la première génération F_1 » : parents de races pures.

Croisement n°1 :



Croisement n°2 : $F_1 \times F_1$

Les 4 Gamètes de F_1 sont : GL (25 %), Gc (25%), BL (25%), Bc (25%).

Echiquier de croisement :

Gamètes Femelles ↓	mâles →	GL	BL	Gc	Bc
GL	GL -- [GL] GL	BL -- [tacheté L] GL	Gc -- [GL] GL	Bc -- [tacheté L] GL	
BL	GL -- [tacheté L] BL	BL -- [BL] BL	Gc -- [tacheté L] BL	Bc -- [BL] BL	
Gc	GL -- [GL] Gc	BL -- [tacheté L] Gc	Gc -- [Gc] Gc	Bc -- [tacheté c] Gc	
Bc	GL -- [tacheté L] Bc	BL -- [BL] Bc	Gc -- [tacheté c] Bc	Bc -- [Bc] Bc	

Proportion phénotypique de F_2 : il y a 6 phénotypes différents :

- Tacheté long : 6/16 ;
- Gris long : 3/16 ;
- Blanc long : 3/16 ;
- Tacheté court : 2/ 16 ;
- Gris court : 1/16 ;
- Blanc court : 1/16.

Activité 11 :

Comment interpréter un cas de dihybridisme avec hérédité autosomale et hérédité liée au sexe.

Expérience 1 : Etude de la transmission des couples d'allèles responsables de la couleur du corps et des yeux chez la drosophile.

On croise un mâle de Drosophile au corps gris et aux yeux rouges et une femelle au corps noir et aux yeux blancs. Ces deux parents sont de race pure. On obtient une F_1 dont tous les individus ont le corps gris mais dont les mâles ont les yeux blancs et les femelles, les yeux rouges. On croise une femelle de Drosophile au corps gris et aux yeux rouges avec un mâle au corps noir et aux yeux blancs. Ces deux parents sont de race pure. On obtient une F_1 dont tous les individus sont gris et aux yeux rouges.

Expérience 2 : Etude de la transmission des couples d'allèles responsables de la couleur du plumage et des yeux chez le pigeon.

Un colombiculteur utilise pour chaque élevage de pigeons deux variétés pures de la race dite Romaine. La première variété à un plumage bleu et l'œil de vesce (iris de couleur noire).

La seconde variété a un plumage brun et l'œil orange. Il effectue plusieurs croisements :

Croisement 1 : Mâles de la première variété avec femelle de la deuxième variété.

Croisement 2 : Mâles de la deuxième variété avec femelle de la première variété.

Résultats :

- **Croisement 1 :** 100% des produits sont bleus à œil de vesce.

- Croisement 2 : 100% des produits sont à l'œil de vesce mais les mâles sont bleus (environ 50% des yeux) et les femelles brunes (environ 50% des yeux.)

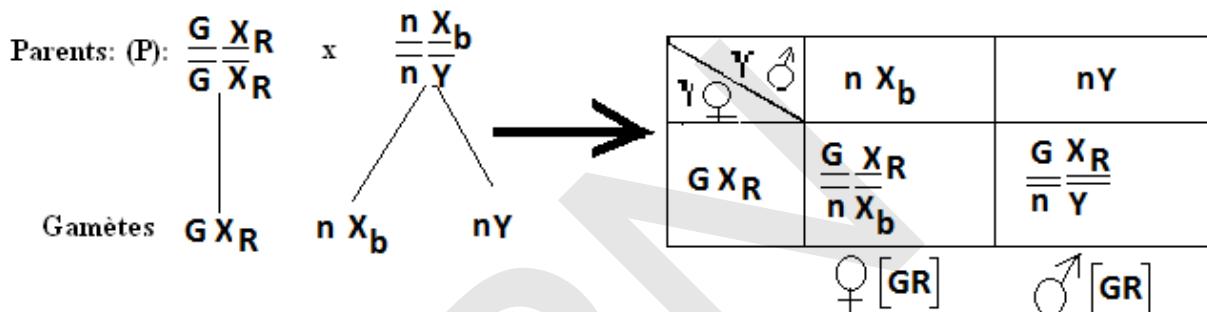
Donner une interprétation chromosomique et en déduire la répartition statistique de la descendance de chacun des croisements.

Interprétation des croisements :

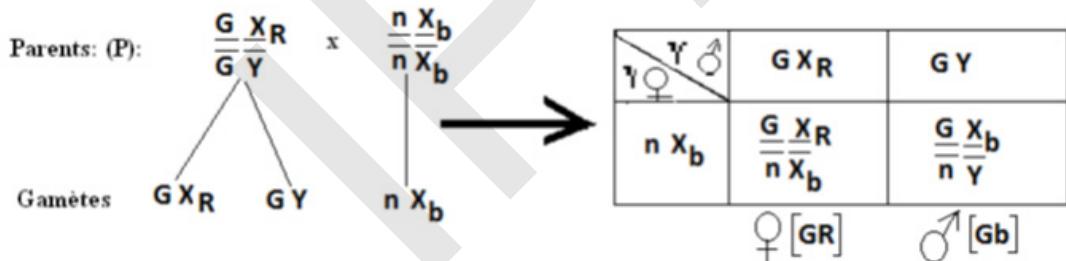
Expérience 1 :

- C'est un cas de dihybridisme ;
- Le deuxième croisement vérifie la première loi de Mendel et son corollaire (loi de dominance) : il y a double dominance : $G > n$ et $R > b$.
- Pour la couleur du corps, les 2 croisements affichent le même résultat alors qu'il diffère pour la couleur des yeux ; suivant le sens du croisement :
- la couleur du corps est autosomale ;
- la couleur des yeux est gonosomale.

Le premier croisement :



Le deuxième croisement :



Expérience 2 :

Croisement 1 :

- Il s'agit d'un cas de dihybridisme, car les parents (P) croisés diffèrent par deux caractères.
- Tous les individus de F₁ sont uniformes et sont à plumage bleu et à œil de vesce : Les parents P croisés sont donc de race pure, donc la première loi de Mendel est vérifiée.
- La F₁ montre que : bleu (B) domine brun (b) et vesce (V) domine orange (o).

Croisement 2 :

- On remarque que les croisements 1 et 2 sont réciproques, mais la F₁ du croisement 1 diffère de la F₁ du croisement 2 : Il existe donc un gène lié au sexe.
- On constate que pour la couleur des yeux, les descendants sont à œil de vesce, mais pour le croisement 2 la couleur du plumage est polymorphe. :
- 50%, des mâles bleus ;
- 50%, des femelles brunes.

C'est la couleur des yeux qui est autosomale, car pour les croisements 1 et 2 tous les croisements sont à œil de vesce, donc c'est le gène de la couleur du plumage qui est lié au sexe.

- Nous avons 4 chromosomes donc une paire d'autosomes et une de chromosomes sexuels :

- mâle ZZ
- femelle ZW.

Croisement 1 : Génotypes, phénotypes et échiquier de croisement :

Parents : ♂ à plumage bleu X ♀ à plumage brun et à œil orange
et à œil vesce

Génotypes : $\frac{\overline{Z}_B}{\underline{Z}_B} \frac{\overline{V}}{V}$ X $\frac{\overline{Z}_b}{\underline{Z}_b} \frac{\overline{O}}{W} \frac{\overline{O}}{O}$
Gamètes : $Z_B V$ $Z_b O$ $W O$
 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$

Echiquier de croisement :

♂ ♀	$Z_b O$ $\frac{1}{2}$	$W O$ $\frac{1}{2}$
$Z_B V$	$\frac{\overline{Z}_B}{\underline{Z}_b} \frac{\overline{V}}{O}$ $\sigma [BV]$	$\frac{\overline{Z}_B}{W} \frac{\overline{V}}{O}$ $\frac{1}{2}$ ♀ [BV]

Croisement 2 : Génotypes, phénotypes et échiquier de croisement

P : ♂ [bO] X ♀ [BV]
Génotypes : $\frac{\overline{Z}_b}{\underline{Z}_b} \frac{\overline{O}}{O}$ X $\frac{\overline{Z}_B}{W} \frac{\overline{V}}{V}$
Gamètes : $Z_b O$ $Z_B V$ $W V$
 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$

Echiquier de croisement :

♂ ♀	$Z_B V$ $\frac{1}{2}$	$W V$ $\frac{1}{2}$
$Z_b O$	$\frac{\overline{Z}_B}{\underline{Z}_b} \frac{\overline{V}}{O}$ $\sigma [BV]$	$\frac{\overline{Z}_b}{W} \frac{\overline{V}}{O}$ $\frac{1}{2}$ ♀ [BV]

♂ : bleus, œil de vesce

♀ : brunes, œil de vesce.

Activité 12 :

Comment interpréter la transmission de deux gènes liés (liaison absolue et liaison partielle).

Expérience 1 : Gènes autosomiques (Liaison absolue ou linkage strict)

► **Exemple 1 :** Etude de la transmission des couples d'allèles responsables de la taille des ailes et de la couleur du corps chez la drosophile (cas de liaison absolue).

Le croisement d'une Drosophile à ailes longues et corps gris (type sauvage **++**) avec une Drosophile à ailes vestigiales (**v**) et corps noir (mutation « black » notée **b**) donne en **F**₁ une population à phénotype sauvage (**++**). Deux hybrides **F**₁ croisés entre eux donnent une génération **F**₂ dans laquelle ne se trouvent que les types parentaux, c'est-à-dire des mouches **[++]** et des mouches **[vb]** dans les proportions de 3 **[++]** pour 1 **[vb]**.

Le croisement d'un mâle hybride **[++]** avec une femelle récessive **[vb]** donne une descendance constituée de 50 % d'individus **[++]** et 50 % d'individus **[vb]**.

► **Exemple 2 :** Etude de la transmission des couples d'allèles responsables de la taille des ailes et de la couleur du corps chez la drosophile (cas de liaison partielle).

Reprendons l'exemple précédent mais en réalisant, cette fois, un test-cross entre une femelle hybride et un mâle récessif ; ce croisement ne donne pas les mêmes résultats que le test-cross précédent : la descendance est constituée de :

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

On croise deux individus de F_1 entre eux, on obtient en F_2 :

- 70,75 % de mouches à corps gris et ailes longues ;
- 20,75 % de mouches à corps noir et ailes vestigiales ;
- 4,25 % de mouches à corps gris et ailes vestigiales ;
- 4,25 % de mouches à corps noir et ailes longues.

► **Exemple 3 :** Etude de la transmission des couples d'allèles responsables de la forme des grains et de la couleur de ceux-ci (cas de liaison absolue).

Le Maïs présente une transmission héréditaire de la forme des grains (pleins ou déprimés) et de la couleur de ceux-ci (noirs ou clairs).

On croise des individus de race pure, provenant de la germination de grains pleins et clairs, avec d'autres (également de race pure) issus de grains déprimés et noirs.

La récolte ainsi obtenue est constituée entièrement de grains pleins et noirs.

Les pieds de Maïs issus de la germination de ceux-ci donnent après autopollinisation une descendance F_2 composée de : 160 grains noirs et déprimés, 150 grains clairs et pleins et 317 grains noirs et pleins.

► **Exemple 4 :** Etude de la transmission des couples d'allèles responsables de la couleur du corps et l'aspect des soies chez la drosophile (Pourcentage de recombinaisons et carte factorielle).

Deux lignées pures de drosophiles, l'une à corps gris et soies normales, l'autre à corps ébène et soies épaisses, sont croisées entre elles. En F_1 , toutes les drosophiles sont à corps gris et présentent des soies normales.

On effectue alors un croisement-test entre des mâles hybrides de première génération et des femelles de souche pure à corps ébène et soies épaisses qui aboutit aux résultats suivants :

- ✓ 50% des insectes possèdent un corps gris et des soies normales,
- ✓ 50% des insectes possèdent un corps ébène et des soies épaisses.

Pour s'assurer des résultats, on recommence exactement la même expérience mais cette fois on croise des femelles de F_1 avec des mâles dihybrides, la population d'insectes obtenue se décompose comme suit : 42,5% ont un corps gris et des soies normales, 7,5% ont un corps gris et des soies épaisses, 7,5% ont un corps ébène et des soies normales et 42,5% possèdent un corps ébène et des soies épaisses.

Expérience 2 : Gènes gonosomiques.

A. On a réalisé deux croisements de Drosophiles :

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

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

Deuxième croisement : On a croisé des Drosophiles mâles au corps gris et aux ailes normalement nervurées avec des Drosophiles femelles au corps jaune et aux ailes dépourvues de nervures transversales. Les Drosophiles mâles et femelles croisées sont de race pure. En F_1' , toutes les Drosophiles femelles ont le corps gris et les ailes normalement nervurées et tous les mâles ont le corps jaune et les ailes dépourvues de nervures transversales.

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

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

Donner une interprétation chromosomique et en déduire la répartition statistique de la descendance de chacun des croisements puis dégager la notion de carte factorielle.

Interprétation des croisements :

Expérience 1 :

Exemple 1 :

- On constate que les mutations **v** et **b** sont restées associées au cours de tous les croisements ; La troisième loi de Mendel (ségrégation indépendante des caractères) se trouve ici en défaut : il n'y a pas eu disjonction indépendante entre gènes « couleur du corps » et « longueur des ailes » mais liaison génétique ou linkage. Une telle liaison entre gènes s'explique parfaitement si l'on admet que ces gènes sont portés par un même chromosome.

- Les gènes sont dits liés, s'ils sont portés par une seule paire de chromosomes homologues.

Une liaison est dite **CIS**, si les allèles dominants des gènes étudiés sont situés sur le même chromosome et les allèles récessifs sur un autre chromosome.

Si, par contre des allèles dominants et des allèles récessifs sont portés par un seul chromosome, la liaison est dite **TRANS**.

Exemple : Soient les couples d'allèles (A,a) et (B,b),



- L'hybride ne fournit que 2 catégories de gamètes (au lieu de 4 catégories prévisibles) : il y a donc liaison absolue. Les uns portent les gènes normaux, les autres, les gènes mutés.

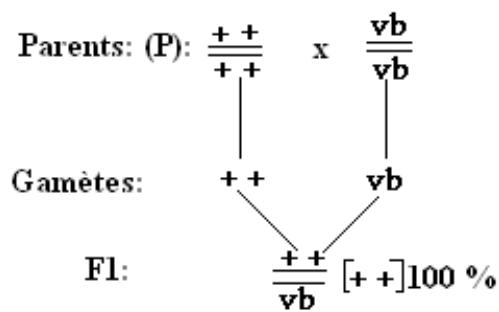
- Liaison **Cis**.

Premier croisement :

La F_1 montre une homogénéité avec vérification de la loi de dominance :

+ > v : (+: long domine **vestigial** : v)

+ > b : (+ : gris domine **black** b).



Deuxième croisement :

Il s'agit de $F_1 \times F_1 \rightarrow F_2$:

$$\text{Parents: (P): } \frac{++}{vb} \times \frac{++}{vb}$$

Chaque individu libère 2 types de gamètes ++ et vb ; l'échiquier de croisement sera :

F1	++	vb
++	$\frac{++}{++}$ [++]	$\frac{++}{vb}$ [+]
vb	$\frac{++}{vb}$ [+]	$\frac{vb}{vb}$ [vb]

Les proportions phénotypiques seront de :

3/4 : [++];

1/4 : [vb]

Ces proportions sont identiques à celles de la F₂ d'un Monohybridisme avec dominance : il y a liaison absolue.

- Troisième croisement :

C'est un cas de test-cross (back-cross) ; F₁ x P₂ (P₂ étant une femelle double récessive).

$$\text{Parents: (P): } \frac{++}{vb} \times \frac{vb}{vb}$$

F₁ libère 2 types de gamètes alors que P₂ libère un seul type de gamète.

Le croisement sera donc :

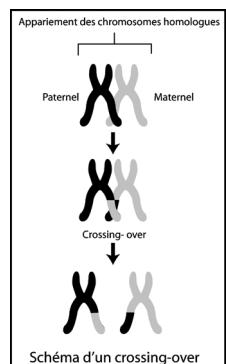
F1	++	vb
vb	$\frac{++}{vb}$ [++]	$\frac{vb}{vb}$ [vb]

Les proportions phénotypiques sont de : [+] : 1/2; [vb] : 1/2.

Ces proportions sont identiques à celles d'un back-cross d'un Monohybridisme avec dominance : il y a liaison absolue.

Exemple 2 :

- Chez 83 % des individus de types parentaux (types sauvages et types présentant les 2 mutations) se retrouvent, mais les 17 % restants présentent une des 2 mutations, soit v, soit b : leur phénotype est recombiné.
- Au cours de ce croisement, la liaison « couleur du corps - longueur des ailes » n'a pas été absolue : on dit qu'il y a linkage partiel.
- L'individu homozygote récessif (σ) ne fournissant obligatoirement qu'une seule catégorie de gamète, le test-cross permet d'obtenir autant de types et de descendants que de types de gamètes fournis par l'hybride, et dans les mêmes proportions. C'est donc dans le comportement des chromosomes de la femelle hybride, au cours de la méiose, que se trouve l'explication de cette recombinaison : dans les ovocytes I, au cours de la prophase réductionnelle, les deux chromosomes d'une même paire s'accroient



tandis que chacun d'eux se clive en deux chromatides-sœurs.

- Souvent deux chromatides se croisent, formant un chiasma : à ce niveau, il se produit un échange (crossing-over) de segment entre les chromosomes d'une même paire à la suite de cassure des chromatides suivies d'un recollement des extrémités après échange : il y a liaison partielle.

- Premier croisement

Parents: (P): ♀ $\frac{++}{vb}$ x ♂ $\frac{vb}{vb}$

Le mâle libère un seul type de gamète **vb** alors que la femelle libère 4 types de gamètes : **++ ; v+ ; +b ; vb**. Le pourcentage des cas non conformes au linkage absolu représente 17 %. On le note (**P**) et (**1-P**) celui des types parentaux.

Y ♀	$++ \left(\frac{1-P}{2} \right)$	$v+ \left(\frac{P}{2} \right)$	$+b \left(\frac{P}{2} \right)$	$vb \left(\frac{1-P}{2} \right)$
vb	$\frac{++}{vb} [++]$	$\frac{v+}{vb} [v+]$	$\frac{+b}{vb} [+b]$	$\frac{vb}{vb} [vb]$
Types recombinés .17 %				
Types parentaux .83 %				

Les proportions phénotypiques sont les suivantes :

$$\begin{aligned} - [+] &: \frac{1-P}{2} = 41,5 \% \\ - [vb] &: \frac{1-P}{2} = 41,5 \% \\ - [+b] &: \frac{P}{2} = 8,5 \% \\ - [v+] &: \frac{P}{2} = 8,5 \% \end{aligned} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{Types parentaux} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{Types recombinés.}$$

NB : On note que chez le mâle de la Drosophile, il n'y a jamais de crossing-over.

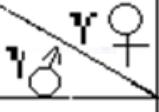
- Deuxième croisement :

$F_1 \times F_1 \rightarrow F_2$:

Parents: (P): ♀ $\frac{++}{vb}$ x ♂ $\frac{++}{vb}$

Gamète de la ♀ : ++ - + b - v + - v b

Gamètes du ♂ : ++ - vb

	$++ \left(1 - P\right)$	$+b \left(\frac{P}{2}\right)$	$v+ \left(\frac{P}{2}\right)$	$vb \left(\frac{1 - P}{2}\right)$
$++ \ 1/2$	$\frac{++}{++} [++]$	$\frac{++}{+b} [+b]$	$\frac{++}{v+} [v+]$	$\frac{++}{vb} [vb]$
$vb \ 1/2$	$\frac{++}{vb} [++]$	$\frac{+b}{vb} [+b]$	$\frac{v+}{vb} [v+]$	$\frac{vb}{vb} [vb]$

$$[+] = \frac{1-P}{4} + \frac{P}{4} + \frac{P}{4} + \frac{1-P}{4} + \frac{1-P}{4} = \frac{3(1-P)}{4} + 2\frac{P}{4} = \frac{3-3P+2P}{4} = \frac{3-P}{4} = 70,75 \%$$

$$[vb] = \frac{1-P}{4} = 20,75 \% \quad [v+] = \frac{P}{4} = 4,25 \% \quad [+b] = \frac{P}{4} = 4,25 \%$$

Exemple 3 :

- Les caractères étudiés sont la forme et la couleur des grains de maïs : c'est un cas de dihybridisme.
- La F_1 est homogène d'où la première loi de Mendel : « uniformité des hybrides de F_1 ».
- La F_1 montre aussi que : plein (**P**) domine déprimé (**d**) et noir (**N**) domine clair (**c**).

L'autofécondation entre individus dihybrides de F_1 entre eux donne la F_2 avec des proportions de 2 – 1 – 1, comme dans le cas du monohybridisme sans dominance.

On en conclut que les gènes sont liés et la liaison est totale.

En effet, les allèles **P** et **c** sont situés sur un chromosome et les allèles **d** et **N** positionnés sur un autre chromosome : la liaison est **Trans**.

Parents de races pures :

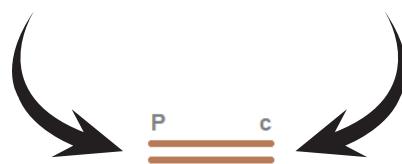
[Pc] X [dN]

Génotypes :



Gamètes :

100% $\frac{P}{c}$ 100% $\frac{d}{N}$



Descendance F_1 :

100% [PN].

Parents dihybrides de F_1 :

[PN] X [PN]

Génotypes :

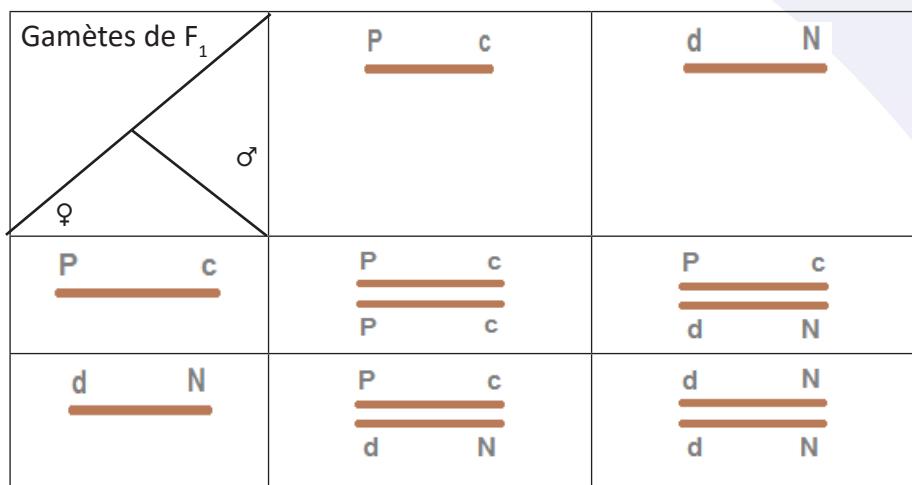


Gamètes de F_1 : Chaque individu de F_1 produit deux types de gamètes :

1/2 de $\frac{P}{c}$ et

1/2 de $\frac{d}{N}$

Echiquier de croisement de F₂ :



Descendance F₂ : [Pc] = 1/4 soit 150/627 ; [PN] = 1/2 soit 317/627 et [dN] = 1/4 soit 160/627.

Exemple 4 :

- L'étude concerne deux caractères, la coloration du corps et la forme des soies : il s'agit d'un cas de dihybridisme.
- La F₁ est homogène et montre une double dominance :
 - * l'allèle normal (e⁺) domine l'allèle épais (e).
 - * l'allèle gris (n⁺) domine l'allèle noir (n).
- Le test-cross entre un mâle de F₁ dihybride et une femelle double récessive [en] a donné une descendance formée de deux phénotypes à pourcentages égaux deux à deux. Ceci indique que le mâle dihybride de F₁ a produit deux types de gamètes au lieu de quatre comme dans le cas d'une indépendance.

La femelle [en] ne fournit qu'un seul type de gamète.

Conclusion : Les deux gènes sont donc liés.

Parents de races pures : Drosophile à corps gris et à soies normales X Drosophile à corps noir et à soies épaisses

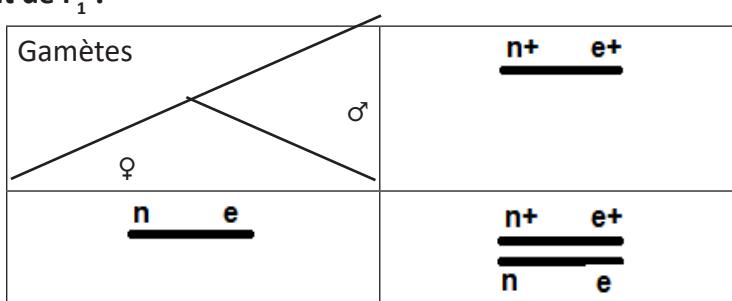
Génotypes :



Gamètes :



Echiquier de croisement de F₁ :



Le test-cross entre une femelle de F₁ dihybride et un mâle double récessif [en] donne une descendance formée de quatre phénotypes avec des pourcentages égaux deux à deux. La femelle dihybride de F₁ a donc produit quatre types de gamètes avec des proportions égales deux à deux.

Conclusion : La liaison est partielle et elle est suivie de crossing-over.

Test-cross :

Parents :

♀ de F_1

X

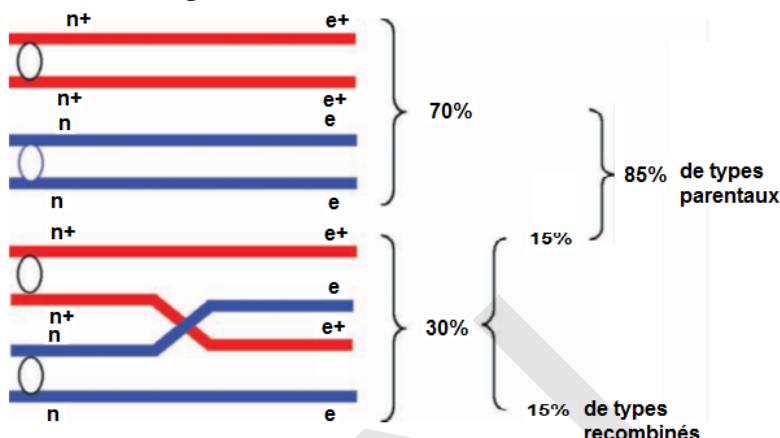
♂ [n-e]

Génotypes :



Gamètes : La femelle de F_1 dihybride fournit quatre types de gamètes.

Deux gamètes avec : $1 - P/2$ et deux gamètes avec $P/2$.



Echiquier de croisement :

gamètes	$\frac{1-P}{2}$ n+ e+	$\frac{P}{2}$ n+ e	$\frac{P}{2}$ n e+	$\frac{1-P}{2}$ n e
$F_1 \text{ ♀}$				
♂				
n e 1	n+ e+	n e	n+ e	n e

$[n+e+] = 1 - P/2$ soit 42,5% ; $[n+e] = P/2$ soit 7,5% ; $[ne+] = P/2$ soit 7,5% et $[ne] = 1 - P/2$ soit 42,5%.

Selon la théorie chromosomique de l'hérédité, chaque gène occupe une position précise sur le chromosome. La carte génétique ou carte factorielle est la représentation de la distance entre les gènes situés sur le même chromosome. Cette distance est obtenue en fonction du pourcentage de recombinaison.

Calcul du pourcentage de recombinaison (P) :

Somme des effectifs des recombinés

$$P = \frac{\text{Somme des effectifs totaux}}{\text{Somme des effectifs des recombinés}} \times 100$$

La distance est exprimée en centi-Morgan (cM).

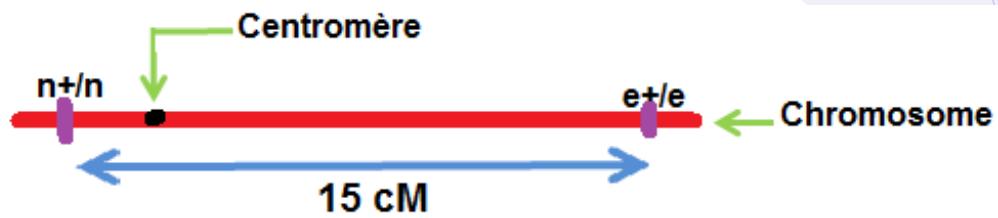
Par convention :

1% de recombinaison \rightarrow 1 cM

Selon, les résultats de cet exemple, le pourcentage de recombinaison est 15%.

Donc, la distance entre les allèles (n+/n) et (e+/e) est de **15 cM**.

La carte factorielle est donc :



Expérience 2 :

A- Premier croisement :

- Deux caractères sont étudiés, la couleur du corps et la forme des ailes des drosophiles : il s'agit d'un cas de dihybridisme.
- La descendance F_1 est homogène, elle vérifie la première loi de Mendel : « Uniformité des hybrides de F_1 ».
- La F_1 ressemble à l'un des parents, il y'a donc une double dominance :
 - + L'allèle gris (j^+) domine l'allèle jaune (j)
 - + L'allèle nervuré (n^+) domine l'allèle dépourvu de nervures (n).

Deuxième croisement :

- C'est un croisement réciproque au premier, la F_1' est formée de femelles identiques à leur père et les mâles ressemblent à leur mère : les gènes sont situés sur le chromosome X.

Donc, les gènes sont liés.

Premier croisement :

Parents de races pures :

Drosophile ♀ au corps gris et aux ailes nervurées	X	Drosophile ♂ au corps jaune et aux ailes dépourvues de nervures
---	---	---

Génotypes :

$$X_{n^+}^{j+} \parallel X_{n^+}^{j+} \quad \times \quad X_n^j \parallel Y$$

Gamètes :

100% $\underline{X}_{n^+}^{j+}$	$\frac{1}{2} \underline{X}_n^j$ et $\frac{1}{2} \underline{Y}$
---------------------------------	--

Echiquier de croisement :

Gamètes	\underline{X}_n^j	\underline{Y}
♀		
$\underline{X}_{n^+}^{j+}$	j+n+] 50%] ♀ $X_{n^+}^{j+} \parallel X_n^j$	j+n+] 50%] ♂ $X_{n^+}^{j+} \parallel Y$

La $F_1 = 100\%$ de drosophiles [$j+n^+$].

Deuxième croisement :

Parents de races pures :

Drosophile ♀ au corps jaune et aux ailes dépourvues de nervures X Drosophile ♂ au corps gris et aux ailes nervurées.

Génotypes :

$X_n^j||X_n^j$ X $X_{n+}^{j+}||Y$

Gamètes :

100% $\underline{X_n^j}$ 1/2 $\underline{X_{n+}^{j+}}$ et 1/2 \underline{Y}

Echiquier de croisement :

Gamètes	$\underline{X_{n+}^{j+}}$	\underline{Y}
$\underline{X_n^j}$	$j^{+}n^{+}] 50\% \text{ ♀ } X_{n+}^{j+} X_n^j$	$j n] 50\% \text{ ♂ } X_n^j Y$

B- Parents F_1 dihybrides :

♀ X ♂

Génotypes :

$X_{n+}^{j+}||X_n^j$ X $X_{n+}^{j+}||Y$

Gamètes : La femelle dihybride de F_1 fournit 4 types de gamètes alors que le mâle n'en fournit que 2.

Echiquier de croisement de F_2 :

σ	$\frac{1}{2} \underline{X_{n+}^{j+}}$	$\frac{1}{2} \underline{Y}$
$\frac{1-P}{2} \underline{X_{n+}^{j+}}$	$\frac{1-P}{4} \underline{X_{n+}^{j+}} \underline{X_{n+}^{j+}} [j^{+}n^{+}]$	$\frac{1-P}{4} \underline{X_{n+}^{j+}} Y [j^{+}n^{+}] 1621$
$\frac{P}{2} \underline{X_n^j}$	$\frac{P}{4} \underline{X_{n+}^{j+}} \underline{X_n^j} [j^{+}n]$	$\frac{P}{4} \underline{X_n^j} Y [j n] 254$
$\frac{P}{2} \underline{X_{n+}^{j+}}$	$\frac{P}{4} \underline{X_{n+}^{j+}} \underline{X_{n+}^{j+}} [j^{+}n^{+}]$	$\frac{P}{4} \underline{X_{n+}^{j+}} Y [j n^{+}] 250$
$\frac{1-P}{2} \underline{X_n^j}$	$\frac{1-P}{4} \underline{X_{n+}^{j+}} \underline{X_n^j} [j^{+}n^{+}] 3743$	$\frac{1-P}{4} \underline{X_n^j} Y [j n] 1625$

III- Génétique humaine

A- Outils et techniques

Quelles sont les difficultés d'étude de l'hérédité humaine ? Quels sont les moyens utilisés ?

Tous les Hommes ont en commun des caractères qui les différencient des autres espèces : ce sont des caractères spécifiques de l'espèce. (ex. bipédie exclusive, place des oreilles, cerveau développé...). Chaque individu présente donc les caractères spécifiques de son espèce mais nous ne sommes pas tous strictement identiques. Nous possédons des variations qui nous sont propres (ex : forme des oreilles, groupes sanguins, couleur des yeux ou des cheveux, ...).

Ces variations individuelles font que chaque être vivant est unique ; chaque être vivant est différent de tous les autres.

Les progrès des techniques scientifiques, permettant d'isoler un gène et de déterminer la structure de ses divers allèles, ont de profondes répercussions en hérédité humaine. Elles permettent de comprendre comment des variations dans l'organisation des gènes entraînent des changements dans le phénotype de l'organisme.

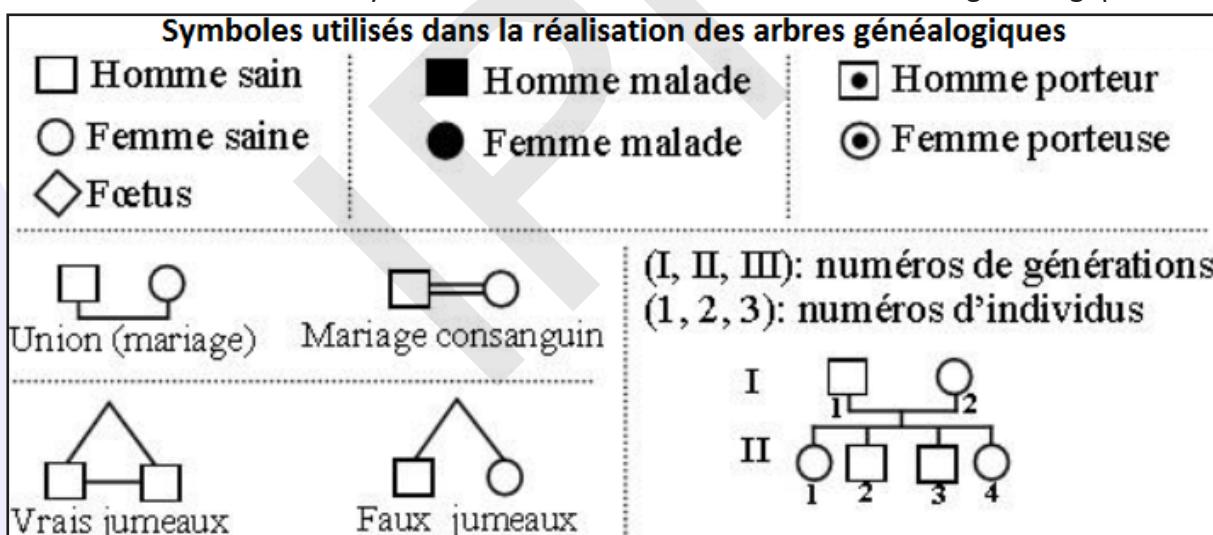
Document 1 : La méthode d'étude du pedigree : Pedigree et symboles.

Je comprends comment établir une généalogie d'une famille :

L'arbre généalogique, appelée pedigree, est l'outil du généticien pour faire ses analyses.

Le pedigree est une représentation schématique simplifiée des liens de parenté existant au sein d'une famille. Il permet de suivre la transmission d'un caractère, ou d'une maladie héréditaire, au cours des générations au sein d'une même famille.

Le document suivant montre les symboles utilisés dans la réalisation des arbres généalogiques :



Document 2 : Le caryotype.

Comment expliquer un caryotype ?

Dans une cellule diploïde un gène est présent en 2 exemplaires, l'un d'origine paternelle l'autre d'origine maternelle. Donc 2 allèles qui peuvent être identiques ou différents.

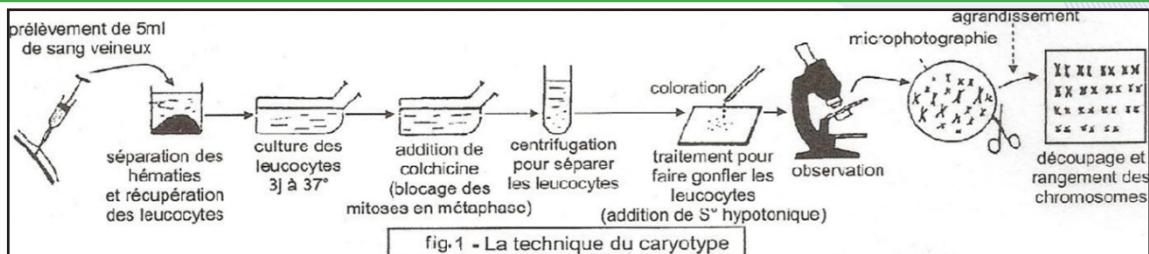
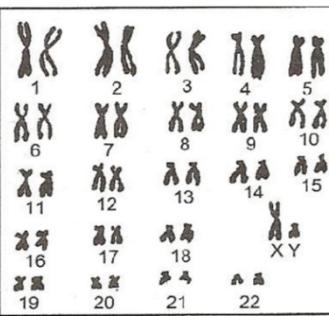
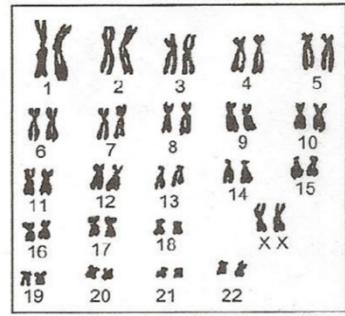


fig.1 - La technique du caryotype

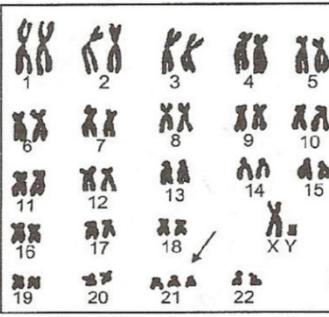


caryotype masculin



caryotype féminin

fig.2 - Caryotypes humains normaux



caryotype d'un garçon présentant la trisomie 21

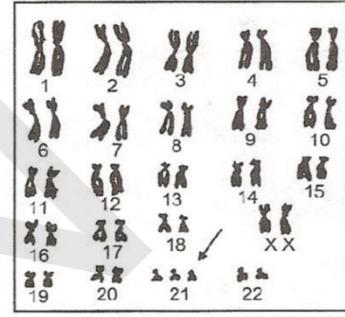
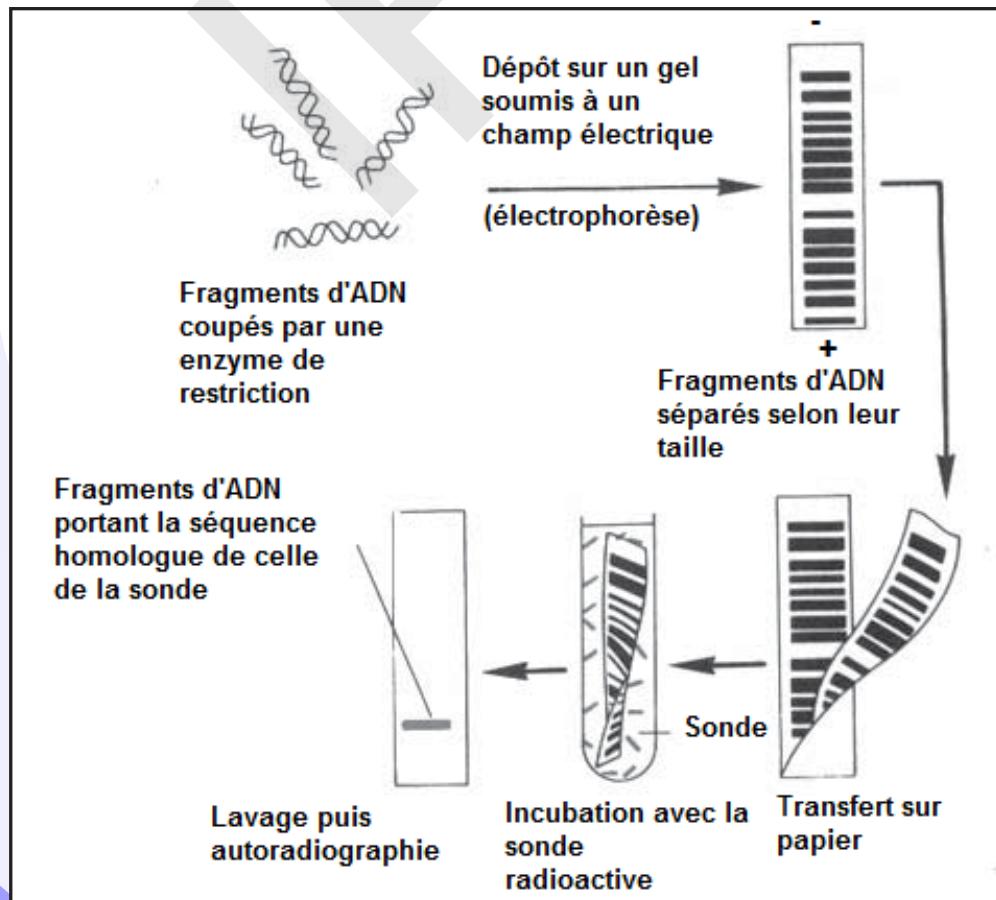


fig.3 - Caryotypes correspondant au syndrome de Down (yeux bridés, face large, retard mental ...)

Document 3 : Electrophorèses.

Je comprends les résultats d'une électrophorèse.



Document 3 : Les obstacles.

Quels sont les difficultés que rencontre le généticien ?

Les différentes lois de Mendel s'appliquent également à l'espèce humaine. L'homme n'est pas un « matériel » favorable et l'étude de la génétique humaine est alors difficile pour différentes raisons :

- Le nombre de chromosomes est assez grand : $2n = 46$;
- On ne peut imposer un accouplement pour étudier la transmission d'un caractère (back-cross impossible...) ;
- La durée d'une génération est longue, le nombre de descendants d'une même famille est faible (Sa fécondité est très faible). Il faut alors réaliser un arbre généalogique et suivre le caractère envisagé sur plusieurs générations ;
- Les études statistiques portent sur plusieurs familles regroupées, de mêmes caractéristiques ;
- Les gènes sont très nombreux.

A partir de l'étude des différents documents proposés, dégager les principaux moyens utilisés et les principales difficultés d'étude de l'hérédité humaine.

La **génétique humaine**, branche de la génétique, étudie la transmission des caractères héréditaires chez l'Homme au cours des générations. L'étude de la transmission des caractères héréditaires et surtout des maladies et des anomalies héréditaires chez l'espèce humaine est basée sur l'analyse des **arbres généalogiques (pedigrees)**, sur l'analyse des **caryotypes** et sur les nouvelles techniques de la biologie moléculaire : **analyse d'ADN, activité enzymatique, cartographie génétique, caryotype spectral**.... Devant les difficultés qui entravent cette étude, les chercheurs se sont penchés, surtout, sur l'étude des modalités de la transmission des maladies et malformations héréditaires, pour accumuler des connaissances sur les gènes qui en sont responsables. Le pedigree est l'enregistrement des caractéristiques de tous les individus d'une même famille. Cette étude se base sur la réalisation du caryotype d'un individu malade, puis comparaison de son caryotype avec celui d'un individu sain afin de déterminer des anomalies de nombre ou de structure des chromosomes. Après coupure par des enzymes de restrictions, les fragments d'ADN sont séparés par électrophorèse puis repérés par leur capacité à s'hybrider avec des fragments d'ADN complémentaire rendus radioactifs (sonde). Le couple gène-sonde est révélé sur un film photographique. L'état homozygote ou hétérozygote de l'individu est ainsi révélé sur le gel électrophorétique. L'**électrophorèse** est une méthode de séparation et de caractérisation de molécules (protéines et acides nucléiques) à l'aide d'un champ électrique. Les molécules migrent vers l'électrode de signe opposé à leur charge. Cette technique permet de déterminer :

- le génotype des individus (2 bandes : individu hétérozygote, 1 bande : individu homozygote) ;
- la dominance ou récessivité des allèles (ex : individu sain hétérozygote : allèle normal dominant).

Grâce à la technique de l'électrophorèse, il est possible de repérer les allèles normaux et les allèles mutés chez un sujet et de préciser son génotype et son phénotype.

La transmission des caractères héréditaires chez l'Homme est semblable à celle chez les autres êtres vivants. Les lois de l'hérédité, définies précédemment, restent valables. Cependant, il existe un ensemble de difficultés qui empêchent l'expérimentation et la vérification de ces lois, dont les principales sont les suivantes :

- ✓ Les croisements orientés sont impossibles.
- ✓ Faible fécondité, la longue durée de la grossesse et de celle qui sépare \ deux générations.
- ✓ Le nombre élevé de chromosomes.

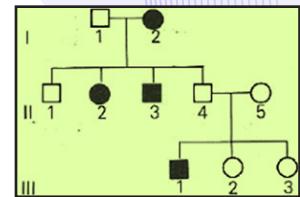
B- Etude de quelques cas

Activité 14 :

Comment expliquer la transmission d'un allèle récessif autosomique ?

Exemple 1 : L'albinisme.

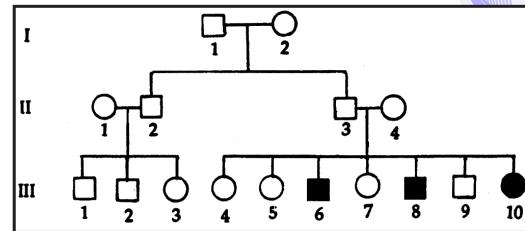
L'albinisme est une mutation due à l'absence d'un pigment sombre, la mélanine, dans les cellules épidermiques et notamment dans celles des racines des poils. Le document ci-contre représente l'arbre généalogique d'une famille dont certains membres sont albinos.



Exemple 2 : La mucoviscidose.

C'est une affection héréditaire où les glandes exocrines non hormonales, sécrètent un mucus anormalement épais, qui conduit à l'obstruction chronique des canaux du pancréas et des bronches.

Le pedigree ci-contre montre la transmission de cette maladie dans une famille.



Par un raisonnement logique et rigoureux, interpréter les modes de transmission de ces deux maladies héréditaires.

Interprétations des résultats :

La démarche à suivre :

- ✓ Etablir le mode de transmission du gène à partir des données fournies par l'arbre généalogique ;
- ✓ Déterminer le rapport entre les allèles : dominant, récessif, codominant ... ;
- ✓ Déterminer la localisation du gène ;
- ✓ Retrouver les génotypes des individus en cas de besoins.

Exemple 1 : L'albinisme

- Les parents II_4 et II_5 sont phénotypiquement normaux mais ils ont eu un fils III_1 albinos : donc, l'allèle responsable de l'albinisme est récessif.

Symboles : Allèle normal : **A** et allèle muté albinos : **a**.

- Le gène ne peut être porté par le chromosome Y, car les femmes I_2 et II_2 sont albinos.

- Le gène ne peut être porté par le chromosome X, car la femme I_2 albinos a eu les fils II_1 et II_4 non albinos. En plus, le père I_1 normal a une fille II_2 albinos.

Donc, l'allèle muté responsable de l'albinisme est **autosomal**.

Génotypes certains : II_4 et II_5 : (A//a) et III_1 : (a//a) ;

Génotypes probables : III_2 et III_3 : (A//A) ou (A//a).

Exemple 2 : La mucoviscidose.

- la transmission est récessive car le couple (II_3 – II_4) est phénotypiquement sain alors que leurs enfants III_6 – III_8 – III_{10} sont atteints (la maladie saute de génération).

Symboles : Allèle normal : **N** et allèle muté albinos : **m**.

- La fille III_{10} étant malade, le gène n'est pas porté par Y.

- La fille III_{10} étant atteinte, le gène n'est pas lié à X car le père devrait être malade : Elle est à transmission **autosomale récessive** (Le gène responsable est localisé sur le chromosome 7).

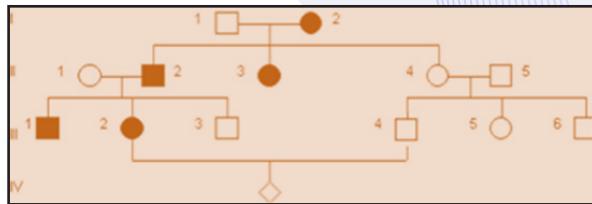
Autres exemples ayant le même type de transmission : phénylcétonurie, drépanocytose ...

Activité 15 :

Comment expliquer la transmission d'un allèle dominant autosomique ?

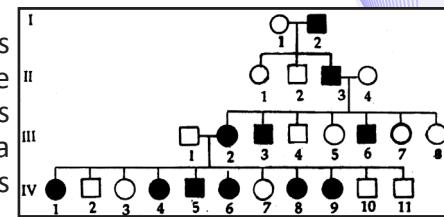
Exemple 1 : L'héméralopie congénitale

L'héméralopie congénitale est une maladie héréditaire rare caractérisée par un affaiblissement ou une perte de la vision en lumière peu intense ; on parle également de cécité nocturne congénitale stationnaire. Le pedigree ci-dessous présente la transmission de ce caractère dans une famille.



Exemple 2 : La chorée Huntington

Cette maladie ne se développe, le plus souvent, que chez les personnes âgées de plus de 40 ans et se traduit par une dégénérescence de certains neurones intervenant dans la motricité. Il en résulte des gestes incohérents et anormaux quand le sujet est éveillé, indépendants de sa volonté. De plus, un déficit mental progressif s'installe. C'est une des rares maladies génétiques qui est due à un allèle dominant.



Par un raisonnement logique et rigoureux, interpréter les modes de transmission de ces deux maladies héréditaires.

Interprétations des résultats :

Exemple 1 : L'héméralopie congénitale

- Chaque parent malade a, au moins, la moitié de ses enfants malades et l'un de ses parents malades (la maladie ne saute pas de génération) : donc, l'allèle responsable de l'héméralopie est dominant (plus probable). Symboles : Allèle normal : **h** et l'allèle de l'héméralopie : **H**.
- Les femmes **I₂**, **II₃** et **III₂** sont atteintes et en plus, le père **I₁** est normal mais son fils **III₃** est atteint : le gène n'est pas lié au chromosome Y.
- La mère **II₁** normale a un fils **III₁** atteint : le gène n'est pas lié au chromosome X.

Donc, le gène est **autosomal**.

Individus	Génotypes
I₁ – II₁ – II₄ – II₅ – III₃ – III₄ – III₅ et III₆	h/h
I₂ – II₂ – II₃ – III₁ – III₂	H/h

Exemple 2 : La chorée Huntington.

- Le gène est dominant : il n'y a pas de saut de génération et tout sujet malade a au moins un parent malade.
- Les deux sexes sont touchés : le gène n'est pas lié à Y.
- On voit des garçons atteints alors que leurs mères sont saines : le gène est **autosomique**.

Autres exemples : polydactylie – maladie de Parkinson ...

Activité 16 :

Comment expliquer la transmission d'un couple d'allèles en cas de Polyallélie ?

Exemple : Un cas de polyallélie avec codominance : Le système ABO.

Tous les sangs humains ne sont pas identiques ; il existe plusieurs systèmes de groupes sanguins, indispensables à connaître pour éviter des accidents lors d'une transfusion sanguine ; il s'agit principalement du système ABO et du système rhésus ; chacun de ces systèmes correspond à l'existence de substances (antigènes) situées à la surface des globules rouges. Ces systèmes sont génétiquement indépendants les uns des autres.

Les groupes sanguins du système ABO sont découverts par Karl Landsteiner en 1901.

Le système ABO permet de distinguer quatre grands groupes sanguins : A, B, AB et O.

Le pedigree ci-contre montre la transmission de ce gène dans une famille.

Par un raisonnement logique et rigoureux, interpréter le mode de transmission de ce gène.

Interprétation des résultats :

- L'apparition du phénotype [o] chez le descendant II₄ montre que l'allèle o est récessif par rapport aux allèles A et B : A>o et B>o.
- L'apparition du phénotype [AB] chez le descendant II₃ montre que les allèles A et B sont codominants : A=B.
- L'apparition du phénotype [AB] chez le garçon II₃ montre que le gène est autosomique.

Au point de vue génétique, le système ABO est formé par un groupe de 3 allèles A, B et O : c'est un cas de polyallélie. A et B sont équivalents et dominants par rapport à O. Une seule paire de chromosomes (chromosome 9) étant impliquée dans la transmission de ce système, chaque individu ne possède évidemment que deux allèles, l'un situé sur le chromosome d'origine paternelle, l'autre sur le chromosome homologue d'origine maternelle. D'où l'interprétation génétique suivante :

- Une personne du groupe [A] peut-être homozygote A//A ou hétérozygote A//o ;
- Une personne du groupe [B] peut être homozygote B//B ou hétérozygote B//o ;
- Une personne [AB] possède les deux gènes codominants : elle est hétérozygote A//B
- Une personne [O] est homozygote récessive o//o.

Ce système comprend 2 antigènes (agglutinogènes) A et B situés sur la membrane des globules rouges ; quatre possibilités sont rencontrées :

- les globules rouges portent l'antigène A isolé : groupe A ;
- les globules rouges portent l'antigène B isolé : groupe B ;
- les antigènes A et B sont tous deux présents : groupe AB ;
- les antigènes A et B sont tous deux absents : groupe O.

Dans un sérum, un anticorps (agglutinine), est susceptible d'agglutiner l'antigène correspondant : l'agglutinine anti-A agglutine les globules rouges A ; l'agglutinine anti-B agglutine les globules rouges B.

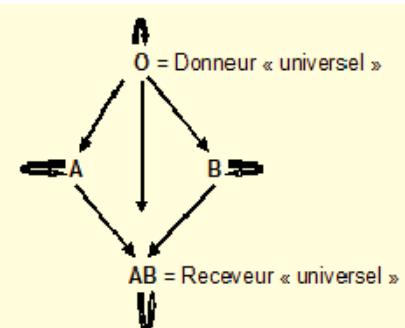
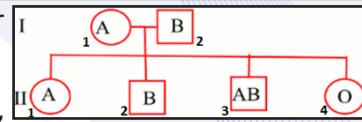
Le sujet possède, naturellement, dès sa naissance, l'agglutinine dirigée contre l'antigène que ne contiennent pas ses globules rouges. Ainsi,

- ✓ Le sérum du sang A contient l'agglutinine anti-B ;
- ✓ Le sérum du sang B contient l'agglutinine anti-A ;
- ✓ Le sérum du sang O contient les agglutinines anti-A et anti-B ;
- ✓ Le sérum du sang AB ne contient pas d'agglutinines.

L'application essentielle de la connaissance des groupes sanguins est la définition des règles de compatibilité au cours de transfusions sanguines : en effet, pour qu'une transfusion soit possible, il ne faut pas que les globules rouges du donneur soient agglutinés par le plasma du receveur ; la transfusion peut être réalisée dans le sens indiqué par les flèches de la figure ci-contre.

Dans la pratique, il est de règle d'effectuer des transfusions isogroupes, c'est-à-dire de choisir un donneur ayant des globules identiques à ceux du receveur.

La connaissance des groupes sanguins est également utilisée en médecine légale :



- elle permet parfois de prouver de façon formelle que tel enfant ne peut être le fils de tel homme (preuve par exclusion).
- elle peut permettre aussi l'identification d'enfants à la suite d'échanges dans une maternité.

NB : Le facteur rhésus.

C'est un élément appelé agglutinogène que l'on trouve dans les hématies et qui est responsable de la synthèse d'une protéine particulière. Si ce facteur est présent, on dit que l'individu est de rhésus positif (Rh+). S'il est absent, l'individu est dit rhésus négatif (Rh-).

Rh+ et Rh- sont deux allèles : Rh+ domine Rh-.

Génotypes possibles :

[Rh+] : (Rh+/Rh+) ou (Rh+/Rh-)

[Rh-] : (Rh-/Rh-).

Le facteur rhésus est lié aux groupes sanguins du système ABO et on distingue ainsi huit (8) groupes sanguins : [O⁺] ; [O⁻] ; [A⁺] ; [A⁻] ; [B⁺] ; [B⁻] ; [AB⁺] et [AB⁻].

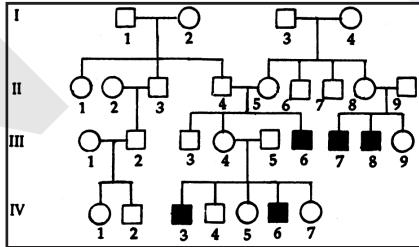
Activité 17 :

Comment expliquer la transmission d'un allèle récessif porté par X ?

Exemple : Myopathie de Duchenne.

Myopathie est un terme général qui recouvre un ensemble d'une quarantaine de maladies héréditaires caractérisées par un affaiblissement des muscles volontaires. La myopathie de Duchenne est la mieux connue aujourd'hui.

La maladie frappe, dès l'âge de deux ans, un garçon sur 3500. Elle provoque une dégradation des muscles, lesquels ne peuvent plus assurer la motricité puis la respiration de l'individu. Les cellules musculaires atteintes présentent des fibres hypertrophiées traduisant une dégénérescence myopathique. Considérons l'arbre généalogique d'une famille atteinte de cette maladie (pedigree ci-contre).



Par un raisonnement logique et rigoureux, interpréter le mode de transmission de ce gène.

Interprétation des résultats :

- La transmission est récessive car le couple (II₄, II₅) est phénotypiquement sain et a donné naissance à un enfant atteint ;
- On observe des garçons atteints alors que leurs pères sont sains : donc ce n'est pas lié à Y;
- Le pedigree montre que seuls les garçons sont atteints : la maladie est donc liée à X.

L'étude de l'arbre généalogique de cette famille comprenant des membres atteints par la maladie montre qu'il s'agit encore ici d'une hérédité de type récessif liée au chromosome X.

Le gène responsable a été localisé dans la région médiane du bras court du chromosome X. Les chercheurs ont isolé la protéine déficiente dans la maladie. Cette protéine, appelée dystrophine, contribue à construire la membrane des fibres musculaires.

Autres exemples : hémophilie – daltonisme...

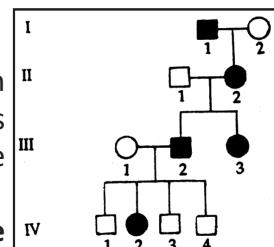
Activité 18 :

Comment expliquer la transmission d'un allèle dominant porté par X ?

Exemple : Le rachitisme vitamino-résistant.

Le rachitisme est une maladie du squelette due, le plus souvent à une carence en vitamine D. Dans certains cas, le traitement par la vitamine D est inefficace : ces rachitismes sont dits vitamino-résistants. L'un d'eux est héréditaire. Cette maladie est très peu répandue dans la population (voir pedigree ci-contre).

Par un raisonnement logique et rigoureux, interpréter le mode de transmission de ce gène.



Interprétation des résultats :

- Il n'y a pas de saut de génération et tout sujet atteint a au moins un parent atteint : il y a **dominance**.
- Tout père atteint ne donne que des filles atteintes et toute mère saine ne donne que des garçons sains : le gène est porté par le **chromosome X** (hypothèse plus probable).

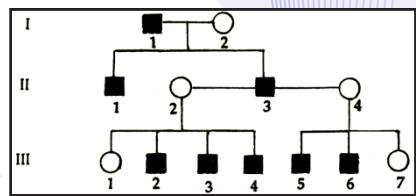
Activité 19 :

Comment expliquer la transmission d'un allèle porté par Y ?

Exemple : L'hypertrichose des oreilles

Elle se manifeste par une pilosité très importante à la surface des oreilles.

Observez cet arbre généalogique qui traduit la transmission d'une anomalie héréditaire nommée hypertrichose des oreilles (présence de poils anormalement longs et épais à la surface des oreilles).



Par un raisonnement logique et rigoureux, interpréter le mode de transmission de ce gène.

Interprétations des résultats :

- L'hypertrichose des oreilles ne touche que les hommes.
- Le père transmet le gène à tous ses fils alors que ses filles sont toutes saines : l'hypertrichose des oreilles est liée au chromosome Y.
- L'allèle responsable de l'hypertrichose est dominant.
- Allèle muté, h^+ et allèle normal, h .
- Génotypes :

Individus	Homme atteint	Homme normal	Femme
Génotypes	$X//Y_{h^+}$	$X//Y_h$	$X//X$

NB. Gène influencé par le sexe.

Les gènes influencés par le sexe sont autosomes et se transmettent selon les lois de Mendel, mais leur expression (phénotypes) est modifiée par l'environnement hormonal (mâle ou femelle). La calvitie héréditaire est un bon exemple, elle est contrôlée par un gène unique biallélique, soit l'allèle B, soit l'allèle b. Les individus homozygotes BB montrent un profil de calvitie prématûrée, ce qui n'est pas le cas pour les individus homozygotes bb. Le phénotype Bb s'exprime différemment chez les mâles et chez les femelles : chez les mâles, l'allèle B est dominant et les hétérozygotes sont chauves ; mais chez les femelles, il est récessif et il n'y a pas de perte de cheveux.

IV- Anomalies chromosomiques

A- Anomalies du nombre

Activité 20 :

Identifier et expliquer une anomalie du nombre de chromosomes chez un individu.

Document 1 : Variation du nombre de chromosomes autosomes.

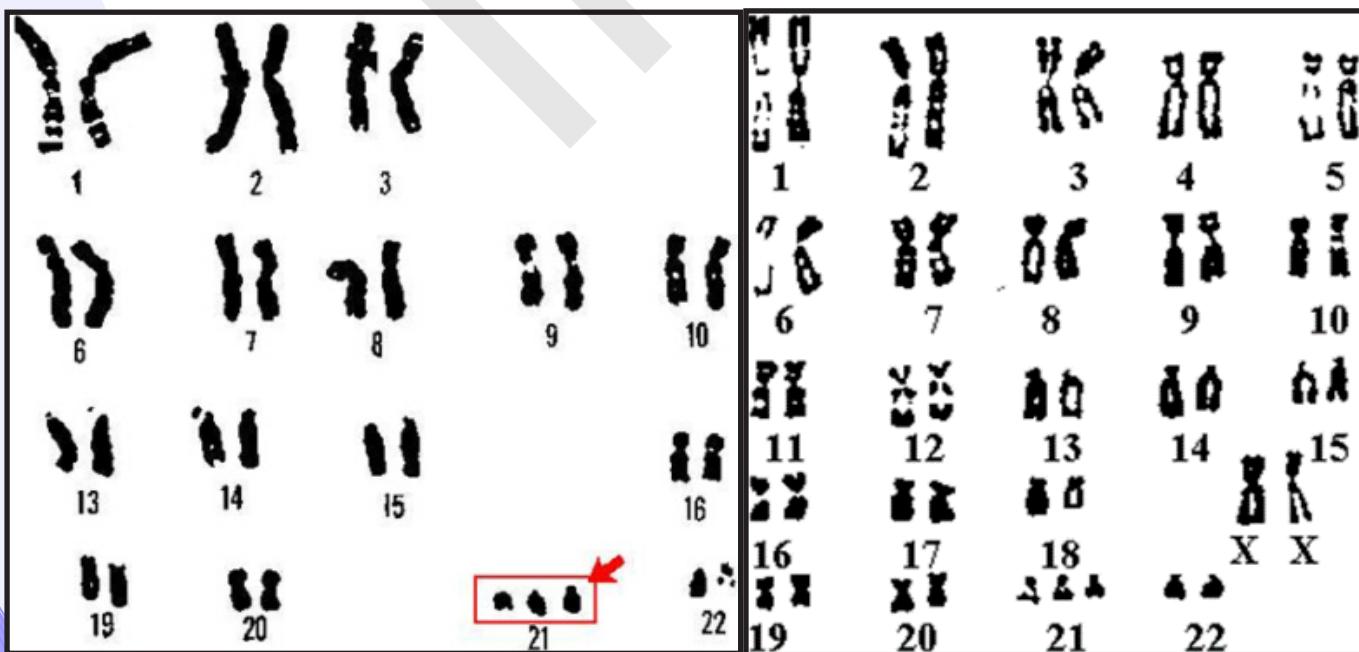
Le syndrome de Down, aussi appelé trisomie 21, est une maladie chromosomique congénitale provoquée par la présence d'un chromosome surnuméraire pour la 21^e paire. Le diagnostic n'est pas toujours évident chez le nouveau-né. Il repose sur un ensemble de caractères jamais présents en totalité, mais qui donnent à tous ces nourrissons et ces enfants un « air de famille » :

- ✓ Un retard mental de degré variable ;
- ✓ Un retard psychomoteur : tenue assise vers 1 an, marche vers 2 ans etc... ;
- ✓ Un caractère doux et affectueux ;
- ✓ Une petite taille ;
- ✓ Une nuque plate ;
- ✓ Un visage plat, rond avec un nez large ;
- ✓ Des fentes palpébrales obliques ;
- ✓ Des petites oreilles peu ourlées ;
- ✓ Une petite bouche avec une langue qui a tendance à sortir ;
- ✓ Des petites dents d'apparition retardée ;
- ✓ Un cou court avec un excès de peau sur la nuque ;
- ✓ Une hypotonie musculaire ;
- ✓ Un gros ventre avec hernie ombilicale ;
- ✓ Un pli palmaire unique ;

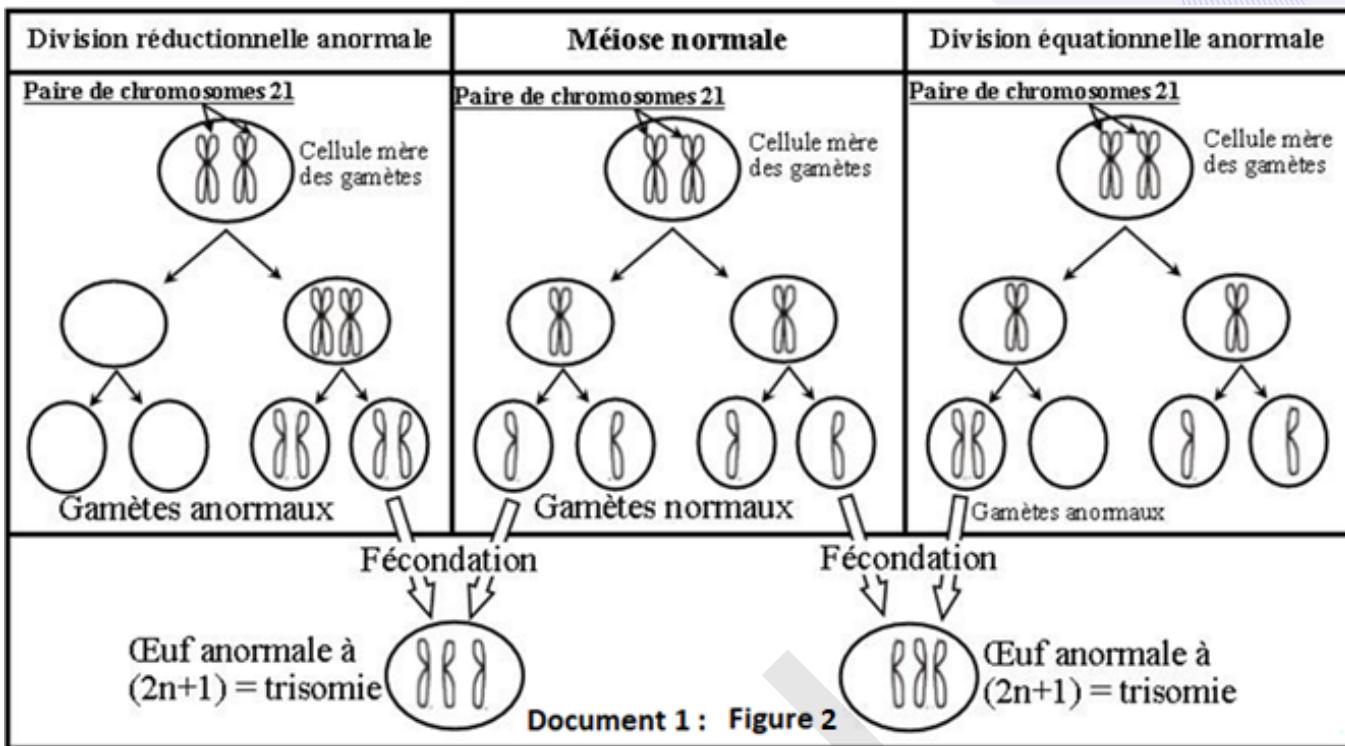


uvsq.fr/trisomie-21

La figure 1 représente le caryotype d'enfants trisomiques.



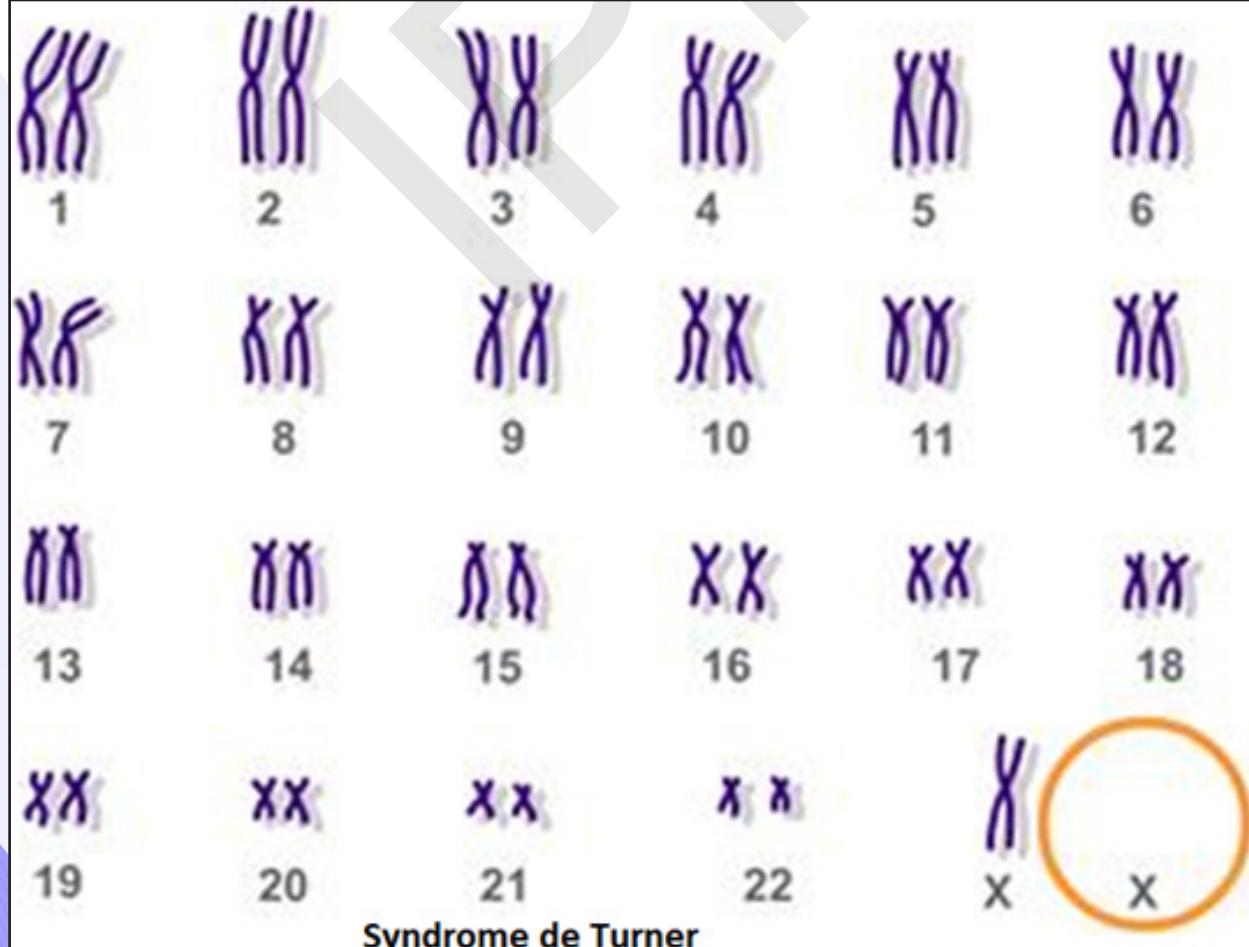
La figure 2 représente un schéma expliquant l'origine de la trisomie 21 :



Document 2 : Variation du nombre de chromosomes sexuels.

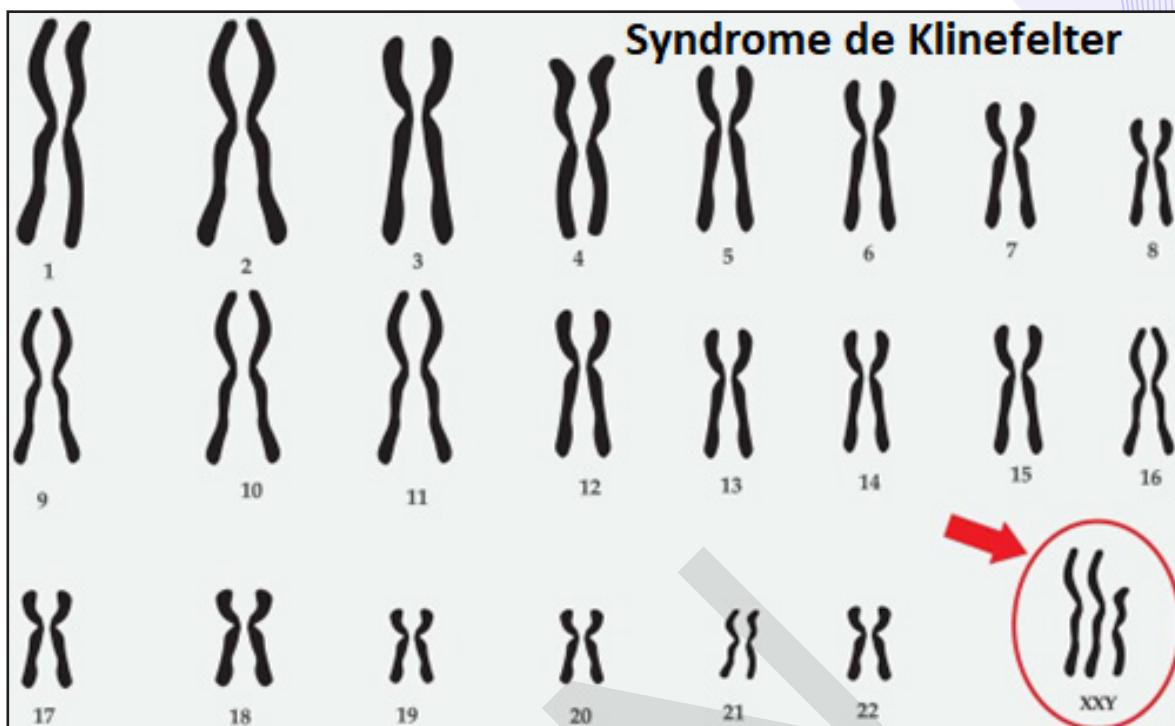
- Le syndrome de Turner (monosomie X) affecte des sujets féminins ; ces femmes restent de petite taille, sont stériles et leurs caractères sexuels secondaires ne se développent pas.

La figure 1 ci-dessous présente le caryotype d'une femme atteinte de cette anomalie.

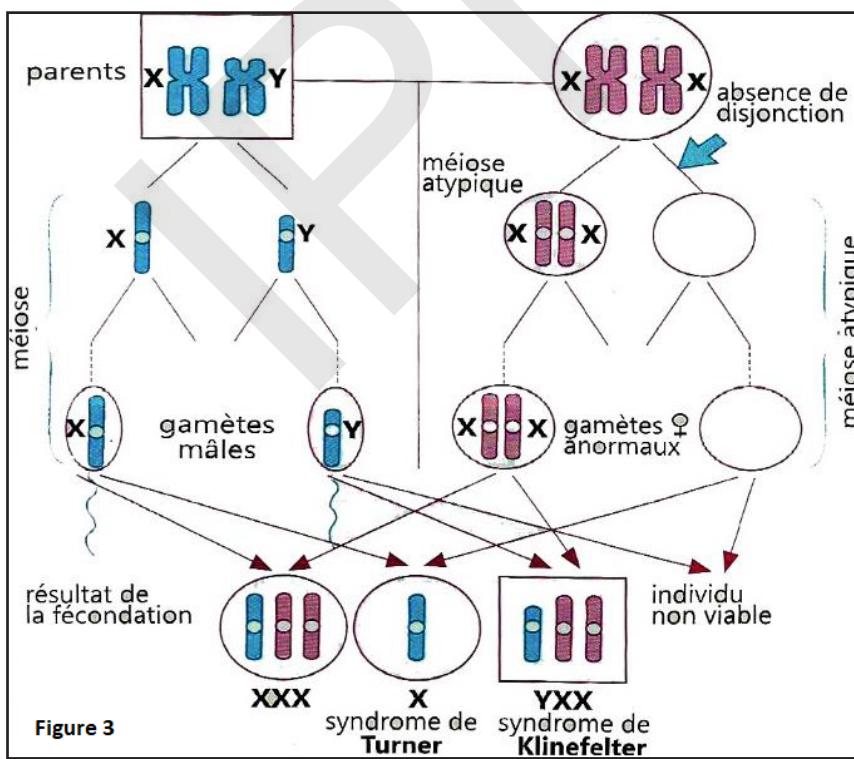


- Le syndrome de Klinefelter (trisomie XXY) affecte les hommes, qui restent stériles et présentent parfois un développement anormal des seins. En plus chez ces sujets, on observe souvent un retard mental.

La figure 2 ci-dessous présente le caryotype d'un individu atteint de cette anomalie



La figure 3 représente un schéma expliquant l'origine de ces anomalies chromosomiques :



A partir de l'étude des documents précédents, identifier l'anomalie que montre chaque caryotype et proposer une explication pour l'origine de ces anomalies en considérant seulement la paire de chromosomes impliqués.

Document 1 : Le caryotype du malade révèle la présence du chromosome 21 en trois exemplaires (fig.1).

- La formule chromosomique de l'enfant malade : $2n+1 = 45$ autosomes +XY.

- la formule chromosomique des gamètes :

- 1^{er} cas : gamète ♂ : $n+1 = 23$ autosomes +Y et gamète ♀ : $n = 22$ autosomes +X.

- 2^{ème} cas : gamète ♂ : n = 22 autosomes +Y et gamète ♀ : n+1 = 23 autosomes +X.

La trisomie 21 résulte de la non disjonction des chromosomes 21 au cours de la méiose chez l'un des parents : les 2 chromosomes de la même paire ne se séparent pas et passent ensemble dans la même cellule fille. Cela peut se produire lors de la division réductionnelle en anaphase I ou bien lors de la division équationnelle en anaphase II (fig.2). Ainsi se forment des gamètes possédant 2 chromosomes 21.

La fécondation d'un gamète anormal par un gamète normal entraîne la formation d'un zygote ayant 3 chromosomes 21.

Dans la trisomie 21 libre, la formule chromosomique de la personne atteinte est donc de 47 (45 autosomes + XY ou XX). L'origine de cette maladie génétique se situe lors de la gaméto-génèse, et plus précisément à la mauvaise répartition des chromosomes homologues au cours de la première métaphase de la méiose. Un des gamètes ainsi formé comportera deux chromosomes de la 21^e paire, au lieu d'un seul, ce qui, après fécondation de ce gamète par un autre « normal » formera une cellule-œuf dont la 21^e paire possède 3 chromosomes.

Dans le cas de la trisomie 21 par translocation, il y a fusion de deux chromosomes 21 par le mécanisme dit de translocation. Il s'agit donc d'un chromosome apparent ayant le contenu génétique de deux chromosomes. La formule chromosomique de la personne atteinte de cette forme de trisomie 21 est donc 45 autosomes + XY ou 45 autosomes + XX.

La plupart des trisomies ne sont pas viables et conduisent à des avortements précoces spontanés. Quelques-unes cependant sont tolérées jusqu'au terme de la grossesse.

- Certaines, comme les trisomies 13 et 18, entraînent rapidement la mort de l'enfant au bout de quelques semaines ou de quelques mois.
- D'autres, comme la trisomie 8, n'entraînant que des handicaps plus légers, sont compatibles avec la vie.

Document 2 : La formule chromosomique du sujet atteint du syndrome de Turner est :

2n-1 = 44 autosomes +X. Celle d'un individu atteint du syndrome de klinefelter est :

2n+1= 44 autosomes +XXY. Le syndrome de Turner affecte des sujets féminins : ces derniers restent de petite taille, sont stériles et les caractères sexuels secondaires ne se développent pas ou peu. Le caryotype de ces sujets se caractérise par la présence d'un seul chromosome X au lieu de deux. Le syndrome de Klinefelter affecte des sujets masculins qui présentent à la fois des caractères sexuels secondaires de type masculin (grande taille, épaules larges....) et de type féminin (hanches larges...). Ils sont stériles en raison d'un développement testiculaire très faible. Leur caryotype montre systématiquement la présence d'un chromosome surnuméraire, soit la formule chromosomique : 44 autosomes + XXY.

NB. Autres anomalies du nombre : monosomie, trisomie...

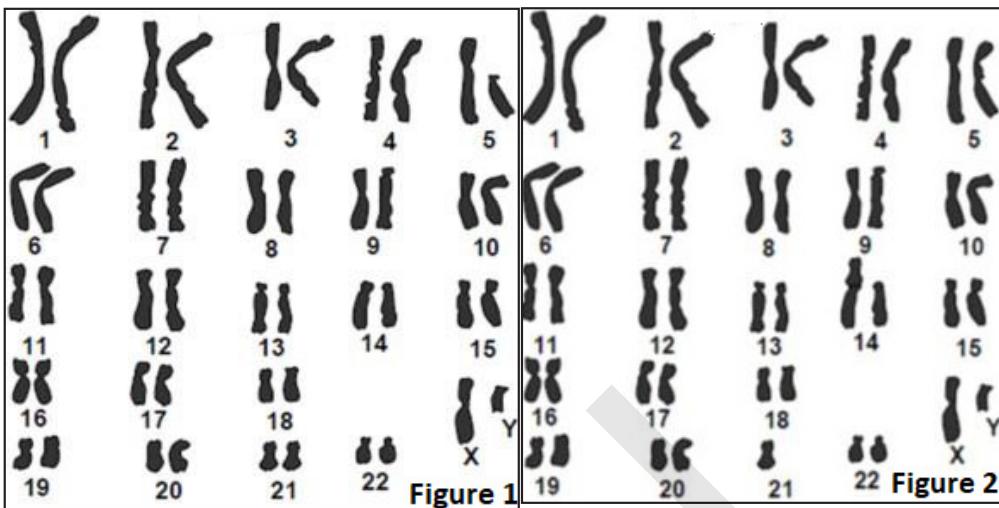
Génotype	Sexe	Phénotype
YO	Mâle	Il se forme un embryon mâle et avorte avant l'achèvement de son développement. C'est un cas de monosomie.
XXX (Triplo-X)	Femelle	Maladie caractérisée par 3 chromosomes X, femme stérile. Cette anomalie a lieu au cours de la méiose (Anaphase I ou II). Cas de trisomie.
XYY	Mâle	Normal. C'est un homme géant agressif qui tend à commettre des crimes. C'est un cas de trisomie.

B- Anomalies de structures

Activité 21 :

Identifier et expliquer une anomalie de structure de chromosomes chez un sujet.

Le stock chromosomique de tous les organismes eucaryotes est composé de chromosomes différents par la taille, la forme, la position du centromère et des bandes transversales colorables. Au sein de chaque espèce, le caryotype peut présenter des variations de structures. Les figures ci-dessous présentent des anomalies de structure chez deux individus.



A partir de l'étude des figures précédentes, décrire l'anomalie que montre chaque caryotype.

Le caryotype de l'individu A (fig.1) présente une délétion d'un fragment du chromosome 5.

Le caryotype de l'individu B (fig.2) présente une translocation du chromosome 21 sur le chromosome 14.

- Pour l'individu A, la perte d'un fragment du chromosome est accompagnée de perte d'un certain nombre de gènes et l'individu aura un phénotype anormal.

- Pour l'individu B, il n'y a pas d'anomalie clinique chez le sujet porteur car il n'y a ni perte ni gain de matériel génétique. On dit que la translocation est équilibrée.

• **Cas de délétion :** On connaît aussi des maladies chromosomiques provoquées par l'absence d'un fragment de chromosome. Cette déficience ou délétion se traduit de façon différente selon le chromosome qui en est affecté. La délétion du bras court du chromosome n° 18 entraîne des anomalies oculaires, des malformations du visage et un retard mental. La délétion du bras court du chromosome n° 5 entraîne une débilité mentale importante et diverses malformations dont celle du larynx (il s'agit de la maladie du « cri de chat »).

A la naissance, l'enfant émet des sortes de miaulements (d'où le nom de « maladie du cri du chat »).

• **Cas de translocation :** La translocation est un remaniement structural qui résulte du transfert d'un segment de chromosome ou d'un chromosome entier sur un autre chromosome :

- La translocation robertsonienne : le caryotype d'une femme comprend, dans ce cas, 46 chromosomes. L'étude montre qu'il existe un seul chromosome 21 libre, au lieu de 2.

Le second chromosome 21 est porté par le chromosome 14. Cette femme est normale, car son caryotype est complet, mais il comporte un chromosome hybride 14-21 et deux chromosomes libres 14 et 21. Dans ce cas la translocation est équilibrée.

- La translocation réciproque : la cassure des chromosomes entraîne l'échange mutuel de segments chromosomiques entre deux chromosomes non homologues. Dans ce cas, le remaniement des structures ne modifie pas le matériel génétique. Le remaniement est équilibré et ne provoque pas de troubles chez l'individu.

- Les sujets portant des translocations équilibrées ont un phénotype normal ; mais, lors de la gamétogénèse, au moment de la méiose, des gamètes anormaux vont se former par mauvaise ségrégation des chromosomes homologues. Les enfants risquent alors d'être anormaux. Ainsi, une translocation équilibrée du chromosome 21 chez le père ou la mère, transmise à l'enfant, donnera une trisomie 21.

Je retiens :

Les lois de Mendel

Monohybridisme

1

Loi de l'uniformité de la F₁ : Deux parents différents et de race pure donnent une descendance F₁ homogène (cette loi est toujours vérifiée par un gène autosomal mais peut ne pas être vérifiée par un gène lié au sexe).

2

Loi de la pureté de gamètes : Il y a séparation obligatoire des allèles du gène au moment de la formation des gamètes.

Cas de monohybridisme : croisement de deux parents de races pures

Dominance absolue	Codominance
<p>1- En F₁, on a 100% d'individus semblables, à caractères dominants F₁ homogène</p> <p>2- En F₂, issue d'une autofécondation (F₁xF₁), on a :</p> <ul style="list-style-type: none">• 75% à caractère dominant ;• 25% à caractère récessif. <p>3- Test cross :</p> <p>Hybride à caractère dominant X Homozygote à caractère récessif :</p> <p>En F₁ on a 50% à caractère dominant et 50% à caractère récessif.</p>	<p>1- En F₁, on a 100% d'individus semblables, à caractère intermédiaire.</p> <p>2- En F₂, issue d'une autofécondation (F₁xF₁), on a 25% à caractère rappelant l'un des parents ; 50% à caractère intermédiaire ; 25% à caractère rappelant l'autre parent</p> <p>3- Test cross : Hybride à caractère intermédiaire X homozygote à caractère parental : En F₁, on a 50% à caractère parental et 50% à caractère intermédiaire.</p>

Gène autosomal	Gène gonosomal (lié au sexe)
Il vérifie la 1 ^{re} loi de Mendel.	Il peut ne pas vérifier la 1 ^{re} loi de Mendel.
Il ne peut jamais donner une différence phénotypique entre mâles et femelles de la descendance.	Il peut donner une différence phénotypique entre mâles et femelles de la descendance.
Le résultat est le même quel que soit le sens du croisement.	Les croisements direct et réciproque, avec des parents de race pure, ne donnent pas les mêmes résultats en F ₁ et en F ₂ .

Dihybridisme

3

Loi de ségrégation indépendante des gènes :

Chaque couple se disjoint de manière indépendante de l'autre couple (cette loi n'est pas vérifiée par les gènes liés).

- ⇒ Chez le mâle de drosophile il n'y a pas de crossing-over
- ⇒ Chez les papillons et les oiseaux, le mâle est homogamétique (ZZ), la femelle est hétérogamétique (ZW).

Deux gènes autosomaux indépendants : Les deux couples d'allèles sont transmis séparément, ils sont portés par deux paires de chromosomes différentes.

Dominance absolue	*En F ₁ , on a 100% d'individus semblables, à caractères dominants ; *En F ₂ issue d'une autofécondation (F ₁ X F ₁) on a les proportions suivantes : $(3/4+1/4) \times (3/4+1/4) = 9/16 + 3/16 + 3/16 + 1/16$ *En F ₂ issue d'un test-cross (=double test-cross du monohybridisme) on a : $(1/2 + 1/2) \times (1/2 + 1/2) = 1/4 + 1/4 + 1/4 + 1/4$
Codominance des deux couples d'allèles	En F ₂ issue d'une autofécondation, on a : $(1/4+1/2+1/4) \times (1/4+1/2+1/4) = 1/16 + 1/8 + 1/16 + 1/8 + 1/4 + 1/8 + 1/16 + 1/8 + 1/16$
Un couple d'allèle l'un avec dominance et l'autre avec codominance	F ₂ issue d'une autofécondation, on a : $(1/4 + 1/2 + 1/4) \times (3/4 + 1/4) = 3/16 + 6/16 + 3/16 + 1/16 + 2/16 + 1/16$

Deux gènes autosomaux liés : C'est le phénomène de linkage, les gènes sont portés par la même paire de chromosomes homologues.

Linkage absolu	Linkage partiel
<ul style="list-style-type: none"> *En F₁, on a 100% d'individus semblables rappelant le parent à caractère dominant. *En F₂ issue d'une autofécondation, on peut avoir : 75% à caractère dominant et 25% à caractère récessif. *On peut avoir aussi dans le cas de codominance : 50% à caractère intermédiaire, 25% à caractère parental et 25% à caractère parental. *En F₂ issue d'un test-cross, on a : 50% à caractère récessif. 	<ul style="list-style-type: none"> *il y a crossing-over qui engendre des recombinaisons. *En F₂ issue d'un test-cross avec crossing-over chez l'hybride croisé, on obtient : <ul style="list-style-type: none"> - des individus de type parental avec une fréquence 1- p - des individus de type recombiné avec une fréquence p *les types parentaux sont toujours plus nombreux que les types recombinés. *Le pourcentage de recombinaison permet une estimation de la distance séparant les deux gènes liés (<i>exprimé en centimorgan</i>) <p>On peut alors établir la carte factorielle.</p>

L'allèle de la maladie est Recessif	L'allèle de la maladie est Dominant	Le gène est lié à Y	Le gène est récessif lié à X	Le gène est dominant lié à X	Le gène est récessif autosomal	Le gène est dominant autosomal
<ul style="list-style-type: none"> → La présence d'un enfant malade issu d'un couple sain → La présence d'un sujet sain qui est hétérozygote 	<ul style="list-style-type: none"> → La présence d'un enfant sain issu d'un couple malade → La présence d'un sujet malade qui est hétérozygote 	<ul style="list-style-type: none"> → Toutes les filles sont saines puisqu'elles ne possèdent pas le chromosome Y → Tous les garçons issus d'un père atteint sont atteints → Tous les garçons issus d'un père sain sont sains → Les garçons ont un seul allèle, normal ou muté et les filles ne possèdent ni l'allèle normal ni l'allèle muté. 	<ul style="list-style-type: none"> → Tous les garçons issus d'une mère malade sont malades → Toutes les filles issues d'un père sain sont saines → Toute fille malade est issue d'un père malade → Tous garçon sain est issu d'une mère saine → Les enfants d'un couple malade sont tous malades → Les filles malades sont homozygotes → Les mères saines qui ont un enfant malade sont hétérozygotes 	<ul style="list-style-type: none"> → Tous les garçons issus d'une mère saine sont sains → Toutes les filles issues d'un père malade sont malades → Toute fille saine est issue d'un père sain → Tout garçon malade est issu d'une mère malade → Les enfants d'un couple sain sont tous sains → Les filles saines sont homozygotes → Les mères malades qui ont un enfant sain sont hétérozygotes 	<ul style="list-style-type: none"> → Les sujets malades sont homozygotes → Tous sujet sain issu d'un parent malade doit être hétérozygote → Tout sujet sain qui a un enfant malade doit être hétérozygote 	<ul style="list-style-type: none"> → Les sujets sains sont homozygotes → Tout sujet malade issu d'un parent sain doit être hétérozygote → Tout sujet malade qui a un enfant sain doit être hétérozygote

Les filles possèdent deux (2) allèles et les garçons possèdent un seul (1) allèle

Les filles et les garçons possèdent chacun deux (2) allèles

Une anomalie chromosomique ou aberration chromosomique est une altération :

- d'un chromosome, sur lequel un gène est absent ou au contraire surnuméraire : anomalie de structure,
- du caryotype, avec un chromosome entier absent (monosomie) ou présent (trisomie) : anomalie de nombre.

Les anomalies chromosomiques peuvent toucher n'importe quel chromosome, y compris les chromosomes sexuels.

Je m'exerce :

GENETIQUE FORMELLE

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

1- On appelle homozygotes pour un gène des individus,

- a- possédant un allèle dominant.
- b- hybrides.
- c- ne possédant qu'un type d'allèle pour ce gène.
- d- possédant un allèle récessif.

2- Dans le cas où la distance entre 2 gènes (A/a) et (B/b) localisés sur le même chromosome est très faible (liaison totale), quels sont les types de gamètes produits, et en quelle proportion ?

- a- uniquement des gamètes de type parental, dans les proportions : 50% AB et 50% ab.
- b- des gamètes de type parental et recombiné, dans les proportions : 25% ab, 25% ab, 25%ab et 25% ab.
- c- des gamètes de type parental et recombiné, dans les proportions : 50% ab, 25% ab, 12,5%ab et 12,5% ab.
- d- des gamètes de type parental, dans les proportions : 25% ab et 75% ab.

3- Deux gènes liés :

- a- sont des gènes allèles localisés sur le même chromosome.
- b- sont des gènes allèles localisés sur des chromosomes différents.
- c- sont d'autant plus facilement disjoints par un crossing-over qu'ils sont situés sur des locus éloignés.
- d- peuvent donner des chromatides recombinées lors de la première division de la méiose.

4- Lors d'un croisement test, si les résultats obtenus sont équiprobables (25% de probabilité pour chaque phénotype), alors les gènes sont transmis :

- a- de façon indépendante sur un même chromosome.
- b- de façon indépendante sur des chromosomes différents.
- c- de façon liée sur un même chromosome.
- d- de façon liée sur des chromosomes différents.

5- Deux cellules diploïdes, hétérozygotes pour 2 couples d'allèles indépendants :

- a- la fusion des gamètes issus de chaque cellule donne autant de phénotypes parentaux que de phénotypes recombinés.
- b- la fusion de deux gamètes issus de chaque cellule ne peut pas donner naissance à des individus homozygotes.
- c- la fusion de deux gamètes issus de chaque cellule ne donne jamais un génotype identique à celui des cellules initiales.
- d- chacune produit deux types de gamètes différents en quantité égale.

6- Un test-cross consiste à croiser un individu

- a- à caractère dominant avec un individu hétérozygote récessif.
- b- à caractère dominant avec un individu homozygote récessif.
- c- à caractère dominant avec un individu hybride.
- d- hybride avec un individu hybride.

7- Chaque gamète possède

- a- un allèle de chaque gène autosomal.
- b- deux allèles semblables de chaque gène.
- c- pour chaque gène, un allèle différent de ceux des autres gamètes.
- d- une combinaison originale des allèles des gènes de l'espèce.

8- Les gènes indépendants

- a- sont recombinés par le brassage interchromosomique.
- b- sont ainsi nommés car on ne les trouve jamais ensemble dans un même gamète.
- c- sont indifféremment situés sur des paires différentes de chromosomes ou sur la même paire.
- d- peuvent être échangés par crossing-over.

9- Dans les résultats d'un test-cross avec intervention de deux gènes, nous avons 85% de phénotypes parentaux et 15% de phénotypes recombinés, choisir la réponse exacte :

- a- Les gènes sont liés et portés par la même paire de chromosomes.
- b- Les gènes sont indépendants et portés par deux paires de chromosomes.
- c- Les gènes sont liés et portés par deux paires de chromosomes.
- d- Les gènes sont indépendants et portés par une paire de chromosomes.

10- Les allèles d'un gène

- a- peuvent changer d'un chromosome à l'autre au sein d'un même bivalent.
- b- se retrouvent rassemblés dans chaque gamète.
- c- peuvent exister sous deux formes différentes dans une cellule diploïde.
- d- occupent toujours le même locus sur un chromosome donné.

11- Pour savoir si 2 couples d'allèles sont liés ou indépendants :

- a- on évalue la distance génique.
- b- on réalise un crossing-over.
- c- on évalue la taille du gène.
- d- on réalise un test-cross.

12- Un individu de génotype Ab//aB. La représentation de ses chromosomes en AI est :

- a- peut produire 4 types de gamètes.
- b- peut produire 2 types de gamètes.
- c- peut être issu d'un croisement entre deux parents de génotypes AB//ab et ab//ab.
- d- peut être issu d'un croisement entre deux parents de génotypes Ab//Ab et aB//aB.

13- Le crossing-over entre deux gènes

- a- aboutit à de nouveaux allèles.
- b- donne systématiquement des chromatides recombinées.
- c- n'entraîne une modification que dans le cas où l'individu est hétérozygote pour les gènes concernés.
- d- a une fréquence qui dépend de l'éloignement des loci.

EXERCICES

Exercice 1

Le croisement de deux drosophiles à ailes sauvages donne la descendance suivante :

- ✓ 36 drosophiles à ailes sauvages;
- ✓ 12 drosophiles à ailes vestigiales.

Interpréter ces résultats.

Exercice 2

Le croisement de deux plantes chacune à grains ovales donne la descendance suivante :

- ✓ 40 plantes à grains ovales;
- ✓ 20 plantes à grains longs;
- ✓ 20 plantes à grains ronds.

1- Déterminer le mode de transmission de ce caractère.

2- Donner les génotypes.

Exercice 3

On croise deux souches de pigeons chacune à œil rouge ; ce qui donne après plusieurs pontes : 12 pigeons à œil rouge et 6 pigeons à œil noir

Expliquer ces résultats.

Exercice 4

Le croisement de deux souches de plantes, l'une à fruit sucré et l'autre à fruit amer, donne des plantes qui, croisées entre elles, donnent la descendance suivante : 52 plantes à fruit amer et 17 plantes à fruit sucré.

1- Déterminer le mode de transmission

2- Expliquer ces résultats.

Exercice 5

Un éleveur a croisé un chien noir et une chienne beige. Tous les descendants sont à pelage noir. Les mâles de F_1 sont croisés avec les femelles de la même génération. La descendance est composée de 3/4 d'individus noirs et 1/4 d'individus beiges.

Interpréter ces résultats.

Exercice 6

On effectue les croisements suivants :

- Croisement d'un chat noir de race pure avec une chatte orange de race pure donne :

5 chats orange et 5 chattes bigarrées.

- Croisement d'un chat orange avec une chatte noire donne 6 chats noirs et 6 chattes bigarrées.

1- Expliquer ces résultats.

2- Quel est le résultat du croisement d'une chatte bigarrée avec un chat noir.

Exercice 7

Le croisement de deux races pures de chats, le mâle aux yeux rouges et la femelle aux yeux noirs, donne la F_1 : 7 chats aux yeux noirs ; 6 chattes aux yeux rouges.

Le croisement des chats de la F_1 donne la F_2 composée de :

- ✓ 5 femelles aux yeux rouges ;
- ✓ 5 femelles aux yeux noirs ;
- ✓ 6 mâles aux yeux noirs ;
- ✓ 6 mâles aux yeux rouges.

1- Déterminer le mode de transmission de ce caractère.

2- Donner les génotypes des parents et des descendants.

Exercice 8

Le croisement de deux races de canaris chacune à œil rouge donne la descendance suivante : 7 femelles à œil rouge ; 7 femelles à œil noir et 7 mâles à œil rouge.

Expliquer ces résultats.

Exercice 9

Le croisement de deux races pures de volailles dites andalouses donne une première génération formée de coqs et de poules que l'on croise entre eux.

La deuxième génération obtenue est composée de 100 individus répartis comme suit :

- Lot 1 : 25 individus à plumes blanches;
- Lot 2 : 54 individus à plumes bleutées;
- Lot 3 : 26 individus à plumes noires.

1- Interpréter ces résultats et donner les génotypes et les phénotypes des parents et des descendants.

2- Qu'obtient-on en croisant :

a- une volaille du lot 1 avec une volaille du lot 2 ?

b- une volaille du lot 2 avec une volaille du lot 3 ?

Exercice 10

Lors de croisements de pois lisses avec des pois ridés, on obtient à la première génération (F_1) 100 % de pois lisses.

Le croisement entre pois F_1 donne 733 pois lisses et 267 pois ridés. Cette proportion est-elle conforme à celle prédictive par les lois de Mendel ?

Exercice 11

Le croisement d'une souris sans queue avec une souris normale donne, en F_1 , 10 souris sans queue et 9 normales.

Le croisement subséquent de deux souris sans queue (F_1) donne, en F_2 , 10 souris normales, 21 sans queues et 9 souris mortes. Analysez les résultats.

Exercice 12

On connaît deux variétés pures de tomate :

- une variété (A) à gros fruits et sensible au Fusarium (un champignon parasite).
- une variété (B) à petits fruits et résistantes au Fusarium.

On cherche à obtenir une troisième variété pure (C) qui serait de phénotype à gros fruits et résistante au Fusarium.

- Un premier croisement de la variété (A) avec la variété (B) donne des plantes à petits fruits et résistantes au Fusarium.

1) Quelles conclusions peut-on tirer de l'analyse de ce résultat ?

• Un deuxième croisement de plantes issues du croisement précédent avec des plantes de la variété (A) a donné les résultats suivants :

- 251 plantes à petits fruits et résistantes ;
- 246 plantes à petits fruits et sensibles ;
- 254 plantes à gros fruits et résistantes ;
- 249 plantes à gros fruits et sensibles.

2) A partir de l'analyse des résultats du deuxième croisement :

a- précisez si les gènes contrôlant les caractères étudiés sont liés ou indépendants.

b- déterminez les génotypes des parents et des descendants de ce croisement.

3) Expliquez comment on peut procéder pour obtenir une lignée pure de la variété (C).

Exercice 13

Considérons deux variétés pures de Maïs : une variété qui possède des grains sphériques et colorés et une autre dont les grains sont ridés et incolores.

Le croisement entre les deux variétés donne des hybrides F_1 dont les grains sont sphériques et colorés.

Le croisement de l'hybride F_1 avec le parent double récessif fournit la répartition phénotypique suivante :

- 4032 grains sphériques colorés ;
- 149 grains ridés colorés ;
- 152 grains sphériques incolores ;
- 4035 grains ridés incolores.

Interpréter les résultats des croisements réalisés.

Exercice 14

Deux races pures de drosophiles sont croisées, l'une à ailes longues et à corps noir et l'autre à ailes vestigiales et à corps gris.

1- Les individus de la F_1 ont tous des ailes longues et un corps gris, ils donnent par croisement entre eux une génération F_2 qui comporte :

- ✓ 1178 drosophiles à ailes longues et corps gris,
- ✓ 592 individus à ailes vestigiales et corps gris et
- ✓ 578 individus à ailes longues et corps noir.

Que peut-on conclure pour les deux couples d'allèles ?

2- On croise un mâle F_1 avec une femelle de chacune des deux races pures initiales.

Quelle sera la composition des populations obtenues ? On rappelle que chez la drosophile mâle, il ne se produit pas de crossing-over.

Exercice 15

I- Le papillon « aurinia », commun en Europe au printemps, constitue des populations morphologiques distinctes qui posent divers problèmes dans les domaines de l'hérédité et de l'évolution.

La forme typique du Papillon s'orne de taches jaunes, rouge-orangé et fauves disposées en damier sur les ailes. En 1983 est apparu, en élevage, un mâle uniformément roux-ferrugineux, forme inconnue auparavant, et la transmission de ce caractère a pu être suivie dans la descendance de cet individu.

Comment peut-on comprendre l'apparition brutale et la transmission héréditaire de la modification observée ?

II. Le croisement du mâle roux avec une femelle typique, de race pure, a produit la génération G_1 composée de : 25% de mâles roux ; 25% de femelles rousses ; 25% de mâles typiques et 25% de femelles typiques.

Etablir la transmission du caractère roux, sa dominance ou sa récessivité.

Chez les Lépidoptères (= Papillons), les chromosomes sexuels, ou gonosomes, sont ZW chez la femelle, sexe hétérogamétique, et ZZ chez le mâle, sexe homogamétique.

Le caractère roux pourrait-il être transmis par les gonosomes ?

Le croisement des femelles rousses, obtenues en G_1 , avec des mâles typiques, a produit des femelles rousses. Comment ce résultat permet-il d'établir définitivement la localisation des gènes roux et typiques par rapport aux gonosomes ? Schématiser la paire chromosomique portant ces gènes chez le mâle roux initial et chez la femelle typique.

En recroisant les Papillons produits en G_1 , que doit-on attendre de la combinaison femelle rousse/mâle roux ? En fait, un taux de mortalité relativement élevé affecte les chenilles issues de ce croisement et l'on obtient sensiblement deux fois plus de papillons roux que de Papillons typiques. Comment s'explique ce résultat ?

Exercice 16

Le croisement d'une plante à fleurs bleues avec une plante à fleurs blanches donne en F_1 des plantes toutes à fleurs bleu pâle. Si l'on croise deux plantes à fleurs bleu pâle de F_1 , on obtient en F_2 : 27 bleues, 49 bleu pâle et 24 blanches. Analysez cette descendance.

Exercice 17

On vous propose d'étudier la transmission d'un caractère héréditaire chez la drosophile. Ce caractère se présente dans une population de drosophiles sous deux formes : ailes normales (forme sauvage) et ailes coupées « cut » (forme mutée). On réalise les croisements suivants :

- Le premier croisement entre un mâle « cut » et une femelle à ailes normales donne en première génération (F_1) 100 % de drosophiles à ailes normales, avec autant de mâles que de femelles.
- Le deuxième croisement entre un mâle à ailes normales et une femelle « cut » donne en première génération (F_1') 50 % de mâles « cut » et 50 % de femelles à ailes normales.

1- Précisez, en justifiant votre réponse, la forme dominante et la forme récessive du caractère étudié.

2- Proposez une hypothèse à propos du mode de transmission du caractère étudié. En déduire la localisation chromosomique du gène qui détermine ce caractère (autosomal ou lié au sexe).

3- Ecrire les génotypes et les phénotypes des parents et des descendants dans les deux cas envisagés (premier croisement et deuxième croisement).

Exercice 18

On croise deux variétés pures de maïs, l'une à graines jaunes et ridées, l'autre à graines incolores et lisses. F_1 obtenue est croisée avec une variété pure à graines ridées et incolores, ce qui a donné les résultats suivants :

- ✓ 962 grains jaunes ridés ;
- ✓ 34 grains jaunes lisses ;
- ✓ 968 grains incolores lisses ;
- ✓ 36 grains incolores ridés.

Interprétez ces résultats. Etablissez la carte génétique si cela est possible.

Exercice 19

Pour déterminer les locus de 3 gènes sur un chromosome chez la drosophile, on propose les résultats de ces croisements :

Croisement 1 : entre des drosophiles aux yeux rouges et des ailes longues (sauvages) avec des drosophiles aux yeux blancs et des ailes vestigiales (mutées), la génération de F_1 est composée des drosophiles sauvages.

1. Qu'est-ce que vous pouvez déduire des résultats de ce croisement ?

Croisement 2 : se fait entre un mâle de phénotype muté et une femelle de F_1 , les résultats sont :

- ✓ 39,5% drosophiles sauvages;
- ✓ 39,5% drosophiles mutées;
- ✓ 10,5% drosophiles aux yeux rouges et ailes vestigiales;
- ✓ 10,5% drosophiles aux yeux blancs et ailes longues.

2. Que peut-on déduire de ces résultats ?

3. Calculez la distance entre ces deux gènes.

4. Interprétez à l'aide de l'échiquier de croisement les résultats de 2^{ème} croisement.

(Utilisez R ou r pour la couleur des yeux et L ou l pour la taille des ailes).

Sur le même chromosome, il se trouve un autre gène qui code pour la taille des antennes (normales et aristaless). La distance entre ce gène et le gène des couleurs des yeux est de : 13CMg.

5. Déterminez les cartes factorielles possibles de ces 3 gènes.

6. Comment peut-on faire pour déterminer exactement la carte factorielle de ces 3 gènes ?

Exercice 20

Le croisement de souris à poils gris et uniforme avec des souris à poils blancs panachés fournit une première génération composée d'individus à poils gris et uniformes.

1- Quelles conclusions pouvez-vous tirer de ce résultat ?

Le croisement des F_1 entre eux produit une génération F_2 composée de :

- 280 souris à poils gris et uniformes ;
- 95 souris à poils gris et panachés ;
- 90 souris à poils blancs et uniformes ;
- 31 souris à poils blancs et panachés.

2- Interprétez ces résultats.

Le croisement d'un individu de F_1 avec une souris à poils blancs et panachés donne une génération F_2 composée de :

- 69 souris à poils gris et uniformes ;
- 71 souris à poils blancs et panachés ;
- 70 souris à poils blancs et uniformes ;
- 72 souris à poils gris et panachés ;

3- Interprétez ces résultats.

Exercice 21

On croise des drosophiles de type sauvage avec des drosophiles à corps ébène et ailes vestigiales.

Les individus obtenus sont tous de type sauvage.

1- Quelles conclusions pouvez-vous tirer de ce résultat ?

Le croisement d'un mâle de la F_1 avec une femelle à corps ébène et ailes vestigiales donne deux phénotypes différents à proportions à peu près égales.

2- Comment appelle-t-on ce genre de croisement ? Interprétez les résultats en donnant les génotypes et phénotypes.

Le croisement d'une femelle de la F_1 avec un mâle à corps ébène et ailes vestigiales donne les résultats suivants :

- 832 drosophiles de type sauvage ;
- 172 drosophiles à corps gris et ailes vestigiales ;
- 168 drosophiles à corps ébène et ailes longues ;
- 830 drosophiles à corps ébène et ailes vestigiales.

3- Interpréter ces résultats.

Exercice 22

Afin d'étudier le mode de la transmission de deux caractères héréditaires chez la Drosophile, on réalise les deux croisements suivants :

Premier croisement : entre des femelles aux yeux rouges et ailes droites (P_1) et des mâles aux yeux pourpres et ailes courbées (P_2). La première génération obtenue F_1 est constituée uniquement d'individus avec des yeux rouges et des ailes droites.

Remarque : Le croisement inverse du premier croisement donne les mêmes résultats.

Deuxième croisement : entre des mâles aux yeux pourpres et ailes courbées et des femelles de F_1 , la génération F_2 obtenue compte : 390 drosophiles aux yeux rouges et ailes droites ; 380 drosophiles aux yeux pourpres et ailes courbées ; 120 drosophiles aux yeux rouges et ailes courbées et 110 drosophiles aux yeux pourpres et ailes droites.

Utiliser les symboles **R** où **r** pour le caractère "couleur des yeux" et les symboles **D** où **d** pour le caractère "forme des ailes".

1. En exploitant les résultats des deux croisements, déterminez le mode de transmission des deux caractères héréditaires étudiés.

2. Donnez l'interprétation chromosomique du deuxième croisement en se basant sur l'échiquier de croisement.

3. Etablissez la carte factorielle des deux gènes étudiés en montrant les étapes suivies dans cette réalisation.

Exercice 23

Chez la drosophile, «ailes miniatures» (**m**) est récessif par rapport à «ailes normales» (**M**) et «yeux vermillon» (**v**) est récessif par rapport à «yeux normaux» (**V**). On croise une femelle hétérozygote pour les deux traits avec un mâle aux yeux vermillon et aux ailes miniatures. On obtient la progéniture suivante : 140 mouches aux ailes normales et aux yeux normaux, 3 mouches aux ailes normales et aux yeux vermillon, 6 mouches aux ailes miniatures et aux yeux normaux et 151 mouches aux ailes miniatures et aux yeux vermillon.

1) Quelles étaient les combinaisons alléliques du parent femelle ?

2) Quel est le pourcentage de recombinaisons entre **V** et **M** ?

Une drosophile femelle hétérozygote pour les allèles récessifs «corps sombre» (**s**) et «ailes miniatures» est croisée avec un mâle au corps sombre et aux ailes miniatures ; on obtient la progéniture suivante : 250 mouches au corps normal et aux ailes normales, 15 mouches au corps normal et aux ailes miniatures, 20 mouches au corps sombre et aux ailes normales et 215 mouches au corps sombre et aux ailes miniatures.

3) Représentez schématiquement les combinaisons alléliques du parent femelle.

4) Dessinez les positions relatives des loci V, S et M.

5) Quel(s) croisement(s) supplémentaire(s) devrait-on effectuer pour répondre de façon concluante à la question 4) ?

Exercice 24

Le croisement de deux plantes de phénotypes différents, donne une première génération F_1 entièrement homogène.

1- Que pouvez-vous en déduire ?

Le croisement des plantes de F_1 , donne une descendance F_2 composée de :

80 plantes à grains lisses et blancs ; 160 plantes à grains lisses et gris ; 80 plantes à grains ridés et gris.

2- En exploitant les résultats du deuxième croisement :

a- précisez si les deux gènes sont indépendants ou liés ?

b- déduisez les allèles dominants pour chaque caractère ?

3- indiquez les génotypes des parents, de la génération F_1 et ceux de la F_2 .

4- Dans d'autres cas on peut constater en F_2 les résultats suivants : 02 plantes à grains ridés et blancs ;

79 plantes à grains lisses et blancs ; 161 plantes à grains lisses et gris et 78 plantes à grains ridés et gris.

a- Expliquez l'apparition des plantes à grains ridés et blancs. Justifiez.

b- Sachant qu'il existe un autre gène ($t^+//t$) qui détermine la taille des grains, distant du gène ($c^+ // c$) de 6 centimorgan. Déduisez la disposition relative des 3 gènes étudiés.

NB : Utilisez les symboles : couleur des grains ($c^+ // c$), forme des grains ($f^+ // f$).

Exercice 25

On s'intéresse chez la drosophile, au comportement de deux gènes G_1 et G_2 contrôlant deux caractères héréditaires.

- G_1 dont les allèles (vg^+, vg).

- G_2 dont les allèles ($b^+; b$)

Une drosophile femelle de phénotype [$vg^+ b^+$], produit un ovocyte II représenté par le document (seul le chromosome qui porte les gènes étudiés est considéré)

1 - Précisez la quantité d'ADN et la garniture chromosomique de cet ovocyte.

2- Quels sont les différents types des gamètes produits par cette femelle et dans quelles proportions ?

3- On réalise le croisement de cette femelle avec un mâle de même génotype. La descendance issue de ce croisement montre entre autres 4.5% d'individus de phénotype [$vg b^+$].

a- Déduisez le génotype du mâle.

b- Quels sont les différents types des gamètes produits par ce mâle et dans quelles proportions ?

4- Expliquez les résultats en dressant l'échiquier de croisement.

5- Quels sont les effectifs des différents phénotypes sur 200 drosophiles issues de ce croisement ?

6- Précisez la localisation relative des deux gènes.

GENETIQUE HUMAINE

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

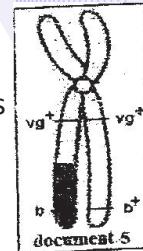
1-La consanguinité augmente le risque de :

a- maladies à transmission autosomique dominante.

b- maladies à transmission récessive liée à X.

c- maladies à transmission dominante liée à X.

d- maladies à transmission autosomique récessive.



2- Une anomalie récessive liée au chromosome X est transmise

- a- des parents phénotypiquement sains à tous les garçons.
- b- d'une mère phénotypiquement saine à tous ses fils.
- c- d'un père phénotypiquement atteint à ses fils.
- d- d'une mère atteinte à tous ses garçons.

3- A partir de cet arbre généalogique d'une famille touchée par une maladie autosomique, on peut affirmer que cette maladie

- a- est forcément autosomique récessive.
- b- est forcément autosomique dominante.
- c- peut être soit dominante, soit récessive.
- d- est forcément récessive liée au sexe.

4-L'individu II.4 du pedigree précédent

- a- peut être porteur sain de l'allèle provoquant la maladie.
- b- est porteur sain de l'allèle provoquant la maladie.
- c- est homozygote pour l'allèle sain.
- d- est homozygote pour le gène codant la maladie.

5- Dans le cas d'une maladie héréditaire, une fille saine est issue d'une mère homozygote malade et d'un père sain

- a- l'allèle de la maladie est récessif.
- b- l'allèle de la maladie est dominant.
- c- le gène qui contrôle cette maladie ne peut pas être lié à Y.
- d- le gène qui contrôle cette maladie ne peut pas être lié à X.

6- Si un individu présente un phénotype différent de celui de ses parents, ceci s'explique par le fait que

- a- le gène qui contrôle la maladie est porté par le chromosome X.
- b- l'allèle muté est dominant.
- c- ses parents sont hétérozygotes
- d- sa mère est hétérozygote.

7- Si le spermatozoïde fécondant comporte 2 chromosomes n° 21 et un chromosome sexuel X, l'enfant obtenu est

- a- un garçon normal.
- b- une fille normale.
- c- un garçon trisomique 21.
- d- une fille trisomique 21.

8- L'analyse d'ADN d'un père atteint d'une maladie héréditaire montre qu'il présente l'allèle normal et l'allèle muté. Cette maladie est

- a- récessive autosomale.
- b- dominante autosomale.
- c- dominante liée à X.
- d- récessive liée à X.

9- Dans le cas d'un gène récessif lié à X

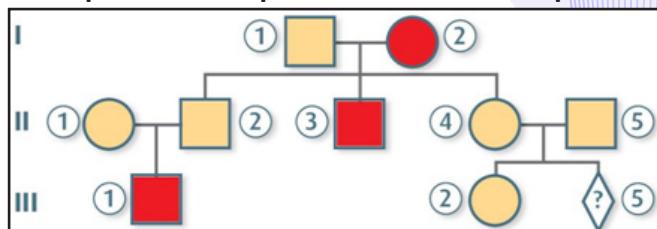
- a- les enfants d'un couple sain sont toujours sains.
- b- les enfants d'un couple atteint sont toujours atteints.
- c- les garçons d'un couple sain sont toujours sains.
- d- Les filles d'un couple sain sont toujours saines.

10- Parmi les formules chromosomiques ci-dessous, lesquelles correspondent à un syndrome de Turner :

- a- 45 sans Y.
- b- 45 sans X.
- c- 45 dont Y.
- d- 45 dont X.

11- Parmi les formules chromosomiques ci-dessous lesquelles correspondent à un fœtus diploïde ?

- a- 46 autosomes + XY.
- b- 45 autosomes + XX.
- c- 44 autosomes + XXX.
- d- 23 autosomes + Y.



12- Une maladie dominante autosomale

- a- ne s'exprime que chez les sujets portant l'allèle muté à l'état homozygote.
- b- se manifeste chez le père ou la mère d'un sujet atteint.
- c- s'exprime chez tous les enfants ayant un parent malade.
- d- s'exprime chez tous les enfants d'un couple atteint.

13- Dans le cas d'une anomalie héréditaire, si un couple atteint a donné une fille saine, l'anomalie est

- a- récessive autosomale.
- b- récessive liée au sexe.
- c- dominante autosomale.
- d- Dominante liée au sexe.

EXERCICES

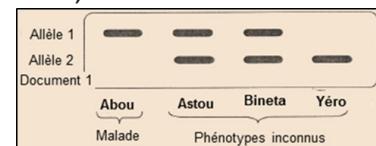
Exercice 1

Un homme (a) souffrant d'une maladie, se marie avec une femme normale. Toutes les filles sont malades, les garçons sont normaux. Les fils de l'homme (a) se marient à des femmes normales, alors que tous leurs enfants sont normaux. Les filles de l'homme (a) se marient à des hommes normaux alors que 50% de leurs enfants sont malades.

Expliquez ces faits.

Exercice 2

Pour comprendre le déterminisme génétique d'une maladie héréditaire affectant un membre d'une famille et due à une enzyme anormale, on peut se référer à plusieurs informations issues de diverses techniques d'observation. Le couple Abdou et Astou ont deux enfants, Bineta et Yéro. Le document 1 représente le résultat d'électrophorèse de l'ADN d'un gène aux allèles (A_1, A_2) contrôlant la synthèse de cette enzyme.



L'électrophorèse a été réalisée sur quatre membres de la même famille.

- 1) En prenant en compte les informations présentées par le document 1, discutez chacune des hypothèses suivantes :

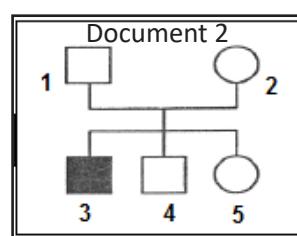
Hypothèse 1 : l'allèle responsable de la maladie est récessif et autosomal.

Hypothèse 2 : l'allèle responsable de la maladie est récessif et porté par X.

Hypothèse 3 : l'allèle responsable de la maladie est dominant et autosomal.

Hypothèse 4 : l'allèle responsable de la maladie est dominant et porté par X.

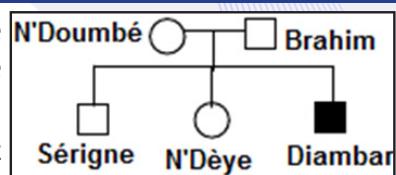
- 2) Le document 2 représente le pedigree d'une autre famille dont un garçon est atteint par la même maladie que celle du père figurant dans le document 1.



- a) Exploitez les données tirées du document 1 et les informations présentées par le document 2 pour préciser les hypothèses à retenir parmi les quatre précédentes,
- b) Ecrivez les génotypes des individus du pedigree du document 2.

Exercice 3

L'arbre généalogique suivant représente une partie de la généalogie d'une famille dont certains membres sont atteints d'une maladie héréditaire rare : L'hémophilie B.



1) L'allèle responsable de cette maladie est-il dominant ou récessif ? Justifiez la réponse.

2) Cette maladie est-elle portée par un autosome ou un chromosome sexuel ?

3) Une technique récente permet de repérer dans l'ADN d'un individu de longues séquences appartenant à un gène donné. C'est ainsi que l'on a cherché, chez les individus de cette famille, les séquences correspondant à l'allèle normal du gène et à son allèle muté responsable de l'hémophilie B. Les résultats sont rassemblés dans le tableau suivant :

Individus	A	B	C	D	E
Nombre de séquences d'ADN correspondant à l'allèle normal	2	1	1	0	1
Nombre de séquences d'ADN correspondant à l'allèle muté	0	0	0	1	1

a) Ce tableau vous permet-il de préciser la réponse à la question n°2 ?

b) Faites correspondre les individus A, B, C, D et E aux individus de la généalogie.

c) Ecrivez les génotypes de tous les individus de cette généalogie.

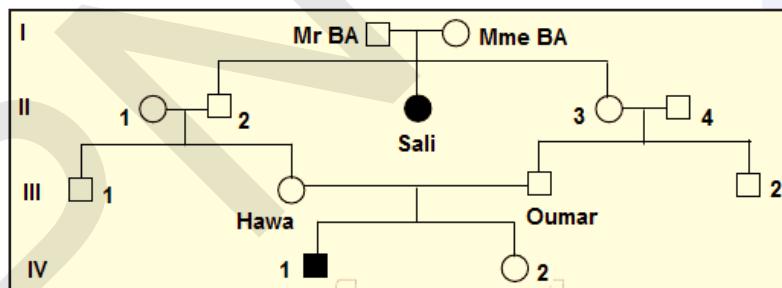
Exercice 4

L'arbre généalogique suivant montre la transmission d'une anomalie de pigmentation :

L'albinisme, qui sévit dans une famille.

1) D'après cette généalogie le caractère albinos peut-il être gouverné par un allèle :

- a) dominant autosomal ?
- b) récessif autosomal ?
- c) dominant lié au sexe ?
- d) récessif lié au sexe ?



2) L'une des unions de cette généalogie est intéressante.

- a) Laquelle ?
- b) Quelles sont ses conséquences ?

Exercice 5

Chez une famille atteinte d'une maladie héréditaire rare on a réalisé une électrophorèse des allèles (fragments d'ADN) du gène responsable de cette maladie.

Les résultats sont dans le tableau suivant.

Individus	II ₁	II ₂	III ₁	III ₂	III ₃	III ₄
Résultats de migration d'ADN	A ₁	██████	██████	██████		██████
	A ₂	████	████		████	████
Phénotypes des individus	♂	saine ♀	♂	malade ♂	♀	♂

1) Quel est l'allèle responsable de cette maladie ? Pourquoi ?

2) S'agit-il d'une maladie :

- a) récessive ou dominante ? Pourquoi ?
- b) liée au sexe ou autosomale ? Pourquoi ?

3) Donnez les génotypes et les phénotypes possibles des parents I₁ et I₂

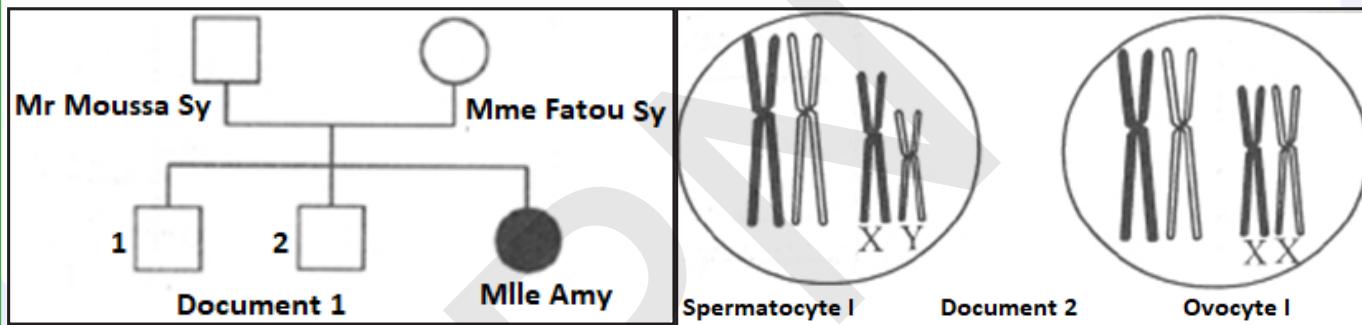
4) Précisez les génotypes des individus du tableau.

Exercice 6

On se propose d'étudier le brassage de l'information génétique au cours de la reproduction sexuée en se basant sur les documents suivants :

Le document 1 représente l'arbre généalogique d'une famille dont, l'un des membres, Mlle Amy est atteinte d'une maladie héréditaire.

- 1) A l'aide d'un raisonnement rigoureux et en considérant qu'un couple d'allèles (A, a) est impliqué dans la transmission de cette maladie, précisez le génotype de Amy.
- 2) Le document 2 représente, respectivement, la garniture chromosomique d'un spermatocyte I de Mr Moussa et d'un ovocyte I de Mme Fatou (Pour simplifier, on a représenté dans chacune de ces cellules, une paire d'autosomes et la paire de chromosomes sexuels).
 - a) Reproduisez les deux schémas du document 2 sur votre copie et représentez, sur les chromosomes, les allèles du gène concerné.
 - b) A partir des données du document 2, représentez les différents types de gamètes que peut produire Mr et Mme SY.
 - c) Dégagez, dans un tableau, les différentes combinaisons chromosomiques et alléliques possibles de l'œuf issu de la fécondation des gamètes produits par le couple SY.
 - d) Encerclez, dans le tableau, la garniture chromosomique correspondant à la miss Amy SY.

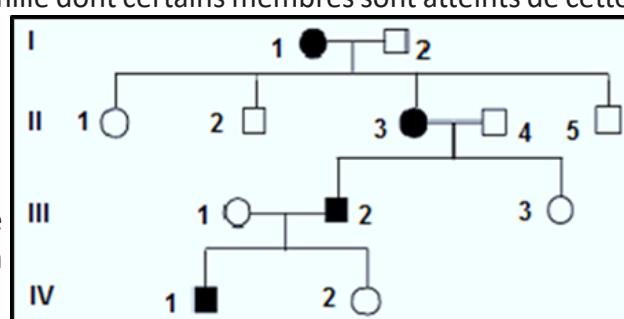


Exercice 7

La chorée est une maladie héréditaire contrôlée par un gène qu'on symbolisera par (A, a).

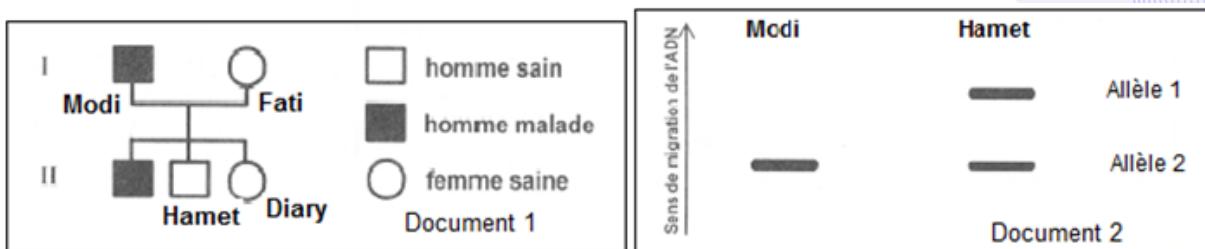
Le document 1 représente l'arbre généalogique d'une famille dont certains membres sont atteints de cette maladie.

- 1) Le gène contrôlant cette maladie est-il :
 - a - dominant ou récessif ? Justifiez votre réponse.
 - b - autosomal ou lié au sexe ? Justifiez votre réponse.
- 2) La femme III₁ appartient à une famille qui ne possède pas l'allèle de la maladie. Précisez alors votre réponse à la question n°1.
- 3) La fille III₃ peut-elle espérer avoir un enfant normal dans le cas où elle épouse un homme atteint par la maladie ? Argumentez votre réponse.



Exercice 8

L'arbre généalogique du document 1 représente la transmission d'une maladie héréditaire chez une famille.



1) À partir du document 1 et à l'aide d'un raisonnement argumenté, discutez les hypothèses suivantes :

Hypothèse 1 : l'allèle de la maladie est récessif et porté par un autosome.

Hypothèse 2 : l'allèle de la maladie est dominant et porté par un autosome.

Hypothèse 3 : l'allèle de la maladie est récessif et porté par un chromosome sexuel X.

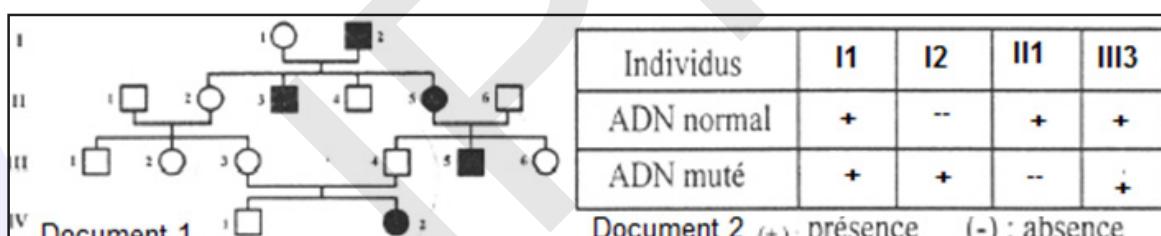
Hypothèse 4 : l'allèle de la maladie est dominant et porté par un chromosome sexuel X.

2) Le document 2 représente le résultat de l'électrophorèse de fragments d'ADN correspondant à la maladie chez Modi et son fils Hamet.

Exploitez les données des documents (1 et 2) afin de préciser l'hypothèse à retenir parmi celles proposées dans la question précédente.

Exercice 9

Le document 1 représente l'arbre généalogique d'une famille dont certains membres sont atteints d'une maladie héréditaire. Grâce aux techniques de biologie moléculaire, on peut distinguer l'ADN muté responsable de la maladie de l'ADN normal. L'analyse de l'ADN effectuée chez certains membres de cette même famille figure dans le document 2.



1) En utilisant les données du document 1 et du document 2, discutez les hypothèses suivantes et indiquez celles qui vérifient les données du document 1.

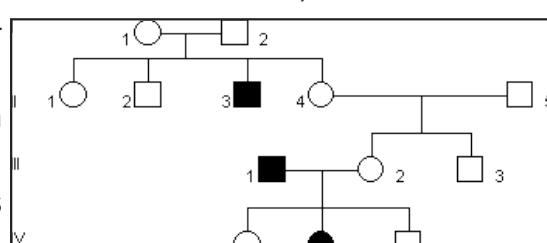
- l'allèle de la maladie est dominant.
 - l'allèle de la maladie est récessif.
 - l'allèle de la maladie est autosomal.
 - l'allèle de la maladie est lié au chromosome sexuel X.
- 2) Donnez les génotypes des individus I₂, II₂, II₆ et III₄.

Exercice 10

Une forme de kératose est une maladie héréditaire se traduisant par un épaississement de la couche cornée de l'épiderme. Il s'agit d'étudier le mode de transmission de cette maladie ;

Plusieurs observations peuvent être prises en compte pour cela :

- Le caryotype des individus malades est tout à fait conforme à la normale.
- La kératose est une maladie plus fréquente chez les hommes que chez les femmes.



- Les statistiques concernant les descendants où apparaît cette maladie montrent que :
 - * les enfants d'une femme normale (homozygote pour le caractère normal) et d'un homme malade sont tous normaux, garçons et filles.
 - * Une femme atteinte de kératose (homozygote pour ce caractère) ayant des enfants avec un homme normal aura tous ces garçons malades et toutes ses filles normales.

L'arbre généalogique ci-contre indique les phénotypes des membres d'une famille F :

1- S'agit-il d'une tare dominante ou récessive ?

2- Sa transmission est-elle autosomale ou liée au sexe ?

3- En déterminant les génotypes dont vous avez besoin, recherchez l'origine de la tare de II₃ et celle de IV₂.

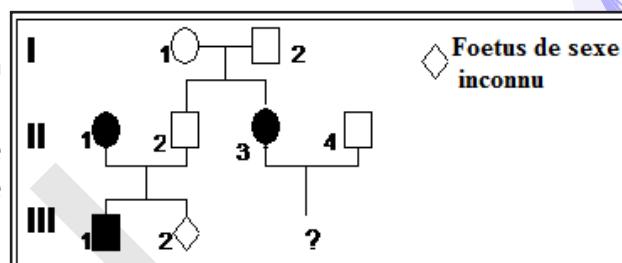
Exercice 11

La mucoviscidose est une maladie grave associant troubles digestifs et respiratoires. Ces troubles, qui s'aggravent avec l'âge, sont dus à une viscosité excessive des sécrétions des glandes muqueuses de l'organisme.

Un individu sans antécédents familiaux connus a un risque sur 22 d'être hétérozygote pour le gène considéré.

Le document suivant présente l'arbre généalogique d'une famille dont certains membres sont atteints de mucoviscidose.

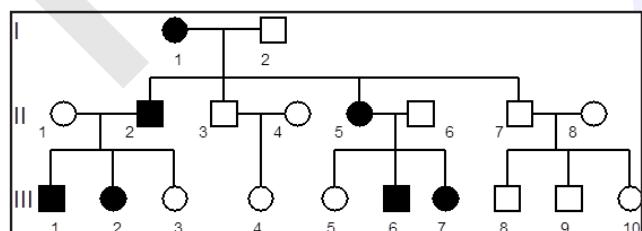
Etablir, à partir d'arguments précis, le mode de transmission de la maladie.



Exercice 12

L'otospongiose est une maladie qui affecte l'oreille et provoque une surdité par ankylose de l'étrier (osselet de l'oreille moyenne).

Le mode de transmission de cette maladie héréditaire peut être analysé à partir de la généalogie présentée ci-contre.

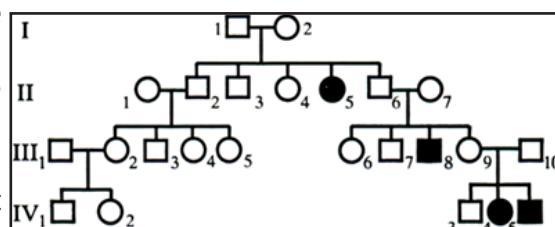


1. Quel est le mode de transmission de cette maladie (dominant ou récessif). Justifiez votre choix ?
2. Le gène responsable de cette maladie est-il lié au sexe ou porté par un autosome ? Envisagez les deux éventualités.
3. Si la femme III₂ et l'homme III₆ se marient, quelle est la probabilité pour ce couple de donner naissance à un enfant atteint d'otospongiose ?

Exercice 13

La drépanocytose ou anémie falciforme est une affection grave caractérisée par un aspect anormal des hématies qui prennent une forme de fauille. Ces hématies renferment une hémoglobine anormale, dite Hb_s. Cette molécule présente une anomalie dans la séquence des acides aminés au niveau de la chaîne β, par rapport à celle de l'hémoglobine normale Hb_a. La drépanocytose est une maladie héréditaire. Elle est déterminée par l'allèle s (forme mutée de l'allèle n) du gène responsable de la synthèse de la chaîne β de l'hémoglobine.

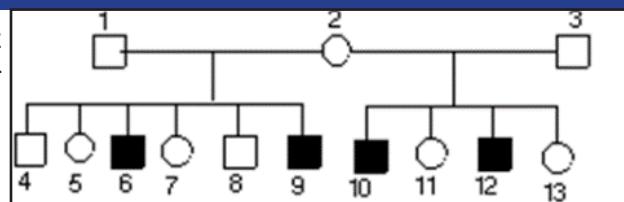
- 1) Le document suivant présente un arbre généalogique d'une famille dont certains membres sont atteints par cette affection.
- a) En utilisant les renseignements fournis par ce document, démontrez si l'allèle responsable de la maladie est dominant ou récessif par rapport à l'allèle normal n.



- b) Est-il transmis par les hétérochromosomes ou par les autosomes ? Justifiez votre réponse.
- c) Ecrire les génotypes du couple I₁-I₂ et de leurs enfants. Les justifier.

Exercice 14

À partir de l'arbre généalogique ci-contre, déterminez les caractéristiques de la tare représentée en noir (carrés = mâles, cercles = femelles).



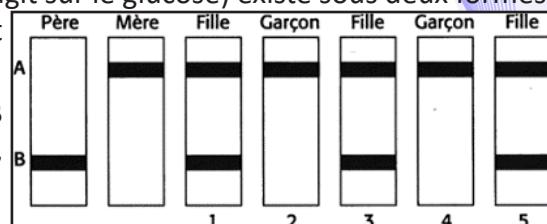
Exercice 15

Le recours à l'électrophorèse apporte dans certains cas des précisions sur les génotypes, soit en y soumettant des fragments d'ADN, soit des protéines qui informent sur les allèles qui les ont codées. Une enzyme indispensable à l'organisme (une déshydrogénase qui agit sur le glucose) existe sous deux formes efficaces A et B synthétisées par deux allèles A et B. On peut séparer ces deux formes par électrophorèse.

Les résultats de l'électrophorèse pour les protéines A et B données ci-dessus concernent les membres, tous normaux, d'une famille

- 1) Le gène codant pour cette enzyme est localisé sur le chromosome X. Montrer que l'électrophorèse confirme cette donnée.

2) Déterminer le génotype de chacun des membres de cette famille.

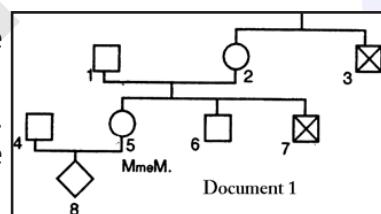


Exercice 16

L'hémophilie B est une maladie génétique se traduisant par des troubles de la coagulation dus à l'absence dans le plasma sanguin d'une substance appelée « facteur IX ».

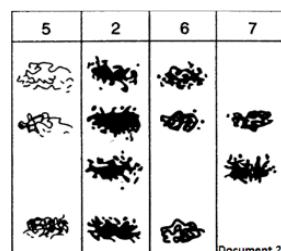
Cette protéine indispensable est synthétisée sous le contrôle d'un gène porté par le chromosome X ; un allèle de ce gène est à l'origine de l'anomalie.

Le document 1 est celui d'une famille qui comprend plusieurs sujets atteints. Madame M. dont le conjoint n'est pas hémophile attend un enfant et elle s'inquiète.



- 1) Ecrire le génotype certain ou possible de chaque individu.
 - 2) Quelle probabilité madame M. a-t-elle d'avoir un enfant hémophile, sachant que la présence en double exemplaire de l'allèle muté **h** chez un embryon provoque la mort de ce dernier ?
 - 3) Afin de déterminer si madame M. est porteuse de l'allèle muté, on recherche la présence de cet allèle par une technique complexe d'analyse d'ADN.

A partir de l'allèle normal du gène (constitué par un fragment d'une molécule bicaténaire d'ADN), on prépare une sonde radioactive. Cette sonde est analogue au brin codant du gène normal. On incube ensuite cette sonde radioactive avec l'ADN issu des sujets 2, 5, 6 et 7.



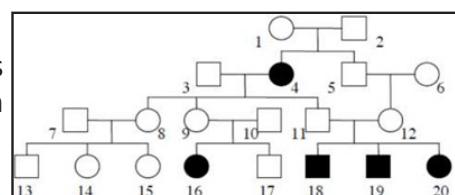
Exercice 17

L'idiotie phénylpyruvique est une maladie héréditaire dont sont atteints plusieurs membres d'une famille, dont voici l'arbre généalogique :

- 1- L'allèle responsable de ce trouble héréditaire est-il dominant ou récessif ? Justifiez.

2- Le gène concerné est-il situé sur le chromosome X ? Justifiez.

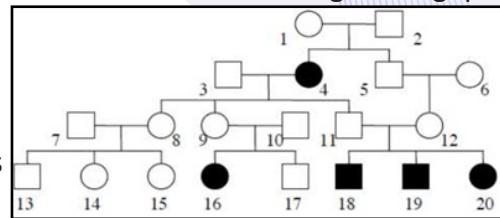
3- Quel est le lien de parenté entre 11 et 12 ? Que leur auriez-vous conseillé s'ils vous avaient annoncé à l'avance leur intention d'avoir un enfant ?



Exercice 18

La transmission du caractère « cheveux roux » a été observée dans une famille dont l'arbre généalogique est représenté ci-contre.

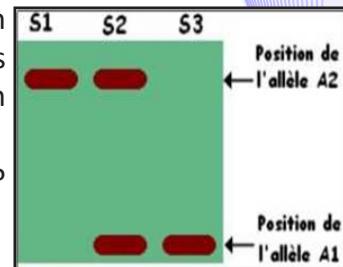
- 1- Est-ce que ce trait est dominant ou récessif ? Justifiez.
- 2- Est-il situé sur le chromosome X ? Justifiez.
- 3- Le cas échéant, complétez l'arbre, en indiquant les personnes portant les 2 allèles.



Exercice 19

Dans le but de préciser le mode de transmission d'une maladie héréditaire, on a réalisé l'analyse d'ADN grâce à la technique de l'électrophorèse, chez certains membres d'une famille dont S_1 et S_2 sont respectivement une fille et un garçon atteints, les résultats sont par le document ci-contre.

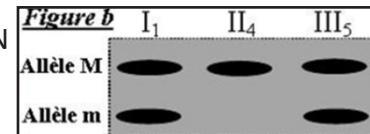
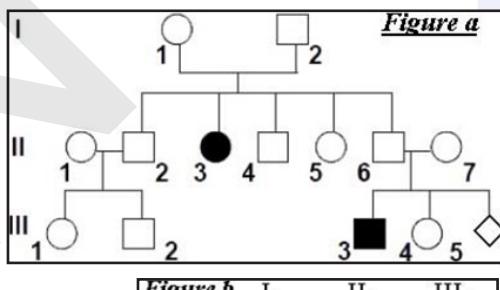
- 1- L'allèle responsable de ce trouble héréditaire est-il dominant ou récessif ? Justifiez.
- 2- Le gène concerné est-il porté par X ? Justifiez.



Exercice 20

La mucoviscidose est une maladie génétique due à une mutation du gène CFTR qui entraîne la synthèse d'un mucus anormalement épais et collant, d'où des problèmes respiratoires, digestifs... La figure (a) montre un arbre généalogique d'une famille dont certains membres sont atteints de mucoviscidose.

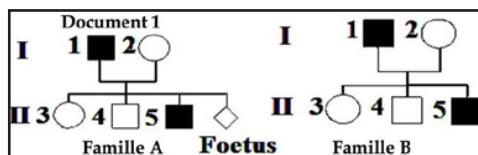
1. L'allèle responsable de la mucoviscidose est-il dominant ou récessif. Justifiez votre réponse.
2. L'allèle responsable de la maladie est-il porté par un autosome ou un gosome.
3. Donnez les génotypes des individus : I_1 , II_3 , II_4 (utilisez les symboles M et m). La figure b représente le résultat d'électrophorèse de l'ADN chez certains membres de cette famille.
4. Quelles informations pouvez-vous tirer de la figure b.



Exercice 21

Le document 1 suivant présente une partie de l'arbre généalogique de chacune de deux familles A et B dont certains membres sont atteints d'une maladie héréditaire, qui n'est pas la même dans les deux familles.

- 1- La maladie touchant chaque famille peut-elle être : a/ Hypothèse 1 : Dominante autosomale.
- b/ Hypothèse 2 : Dominante liée au chromosome sexuel X ? Discuter chaque hypothèse.

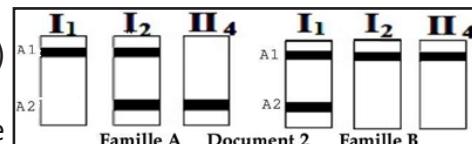


2- Pour préciser le déterminisme de chaque maladie, on étudie les résultats de l'analyse de l'ADN des parents 1 et 2 des deux familles et leur enfant n°4 (II_4).

Le document 2 suivant présente les résultats obtenus :

En utilisant les données des documents 1 et 2 :

- a/ identifier pour chaque famille les allèles (sain ou atteint) correspondant aux types d'ADN.
- b/ montrer que l'hypothèse retenue dans la question n°1 n'est validée que pour la famille B.
- c/ Déterminer alors la localisation génétique de la maladie pour la famille A.
- 3) Ecrire les génotypes des individus des 2 familles A et B.
- 4) La femme I_2 (Famille A) a eu un enfant malade, comme celle-ci est enceinte, elle préfère consulter son gynécologue. Pour la rassurer, il ordonne un diagnostic prénatal. Sur les cellules fœtales prélevées, il



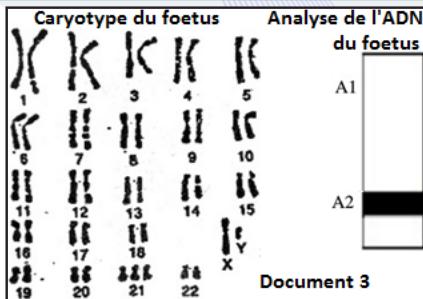
réalise la technique de caryotype et l'analyse de l'ADN.

a/ Citer deux méthodes de prélèvement des cellules permettant de réaliser ce diagnostic.

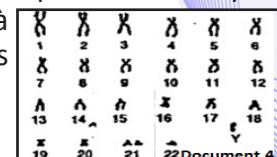
b/ Prévoir les résultats possibles de l'électrophorèse de l'ADN du fœtus tout en donnant à chaque cas le génotype et le phénotype correspondant (illustrer la réponse sous forme de tableau).

5) Les résultats du diagnostic sont donnés par le document 3.

a/ A partir de l'analyse des résultats du document 3, quelle(s) information(s) pouvez-vous dégager concernant l'état de santé du fœtus ?



b/ Le document 4 ci-contre représente le caryotype d'un spermatocyte II provenant du père I₁ à caryotype normal. Ce spermatocyte II est identique à celui qui a donné naissance à son fœtus. Après avoir analysé le caryotype du document 4, faire un schéma annoté de la phase de la division à l'origine de ce type de spermatocyte II. (Ne considérer dans votre réponse que les chromosomes concernés et les chromosomes sexuels).



J'approfondis mes connaissances :

Document : Méthodologie d'analyse dans la génétique Humaine

1^{er} cas :

Si les questions de la dominance et de la localisation sont dissociées :

1- L'allèle de la maladie est-il dominant ou récessif ?

2- Le gène qui contrôle la maladie est-il autosomal ou lié au sexe ?

Réponses :

1- Indiquez en justifiant la réponse, si l'allèle de la maladie est dominant ou récessif. Indiquer l'allèle normal et l'allèle muté.

2- Discutez la localisation du gène qui contrôle cette maladie en émettant trois hypothèses :

- Hypothèse n°1 : Le gène est lié à Y ;

- Hypothèse n°2 : Le gène est lié à X ;

- Hypothèse n°3 : Le gène est autosomal.

Exemple :

1- L'allèle de la maladie est récessif puisque le sujet II₂ est atteint issu d'un couple sain I₁ et I₂. L'allèle muté existe chez les parents mais à l'état caché. Soit le gène (M, m) qui contrôle cette maladie tel que : M : Allèle dominant normal,

m : Allèle récessif muté avec M > m.

2- Hypothèse n°1 : Le gène est lié à Y :

Si le gène est lié à Y, toutes les filles doivent être saines puisqu'elles ne possèdent pas le chromosome Y or la fille II₂ est atteinte donc cette hypothèse est infirmée.

Hypothèse n°2 : Le gène est lié à X :

Si le gène est lié à X, toutes les filles issues d'un père sain doivent être saines puisqu'elles héritent l'allèle dominant normal de leur père or la fille II₂ est atteinte issue d'un père sain donc cette hypothèse est infirmée.

Conclusion : Le gène qui contrôle cette maladie ne peut pas être lié au sexe (ni à X ni à Y) ; donc il s'agit d'un gène **autosomal** : Il s'agit d'un gène **récessif autosomal**.

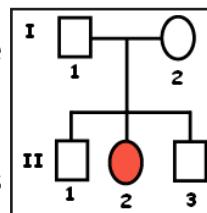
2^{ème} Cas :

Si les questions de la dominance et de la localisation sont associées,

1- Discutez la dominance et la localisation du gène qui contrôle cette maladie.

Réponses :

Discuter en même temps la dominance et la localisation du gène en émettant 5 hypothèses :



- Hypothèse n°1 : Le gène est lié à Y ;
- Hypothèse n°2 : Le gène est récessif lié à X ;
- Hypothèse n°3 : Le gène est dominant lié à X ;
- Hypothèse n°4 : Le Gène est récessif autosomal ;
- Hypothèse n°5 : Le gène est dominant autosomal.

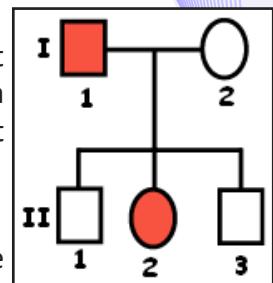
Exemple :

Hypothèse n°1 : Le gène est lié à Y :

Si le gène est lié à Y, tous les garçons issus d'un père atteint doivent être atteints ; or II₁ est un garçon sain issu d'un père atteint. Donc cette hypothèse est infirmée.

Hypothèse n°2 : Le gène est récessif lié à X :

Si le gène est récessif lié à X, La fille atteinte II₂ doit être homozygote et elle doit hériter un allèle récessif muté de son père malade I₁ et un allèle récessif muté de sa mère saine I₂ qui doit être hétérozygote ce qui est possible, Donc cette hypothèse est retenue.



Hypothèse n°3 : Le gène est dominant lié à X :

Si le gène est dominant lié à X, tous les garçons issus d'une mère saine doivent être sains; ce qui est vérifié. La fille atteinte II₂ doit être hétérozygote puisqu'elle doit hériter un allèle muté dominant de son père atteint I₁ et un allèle récessif normal de sa mère saine et homozygote I₂; ce qui est possible ; donc cette hypothèse est retenue.

Hypothèse n°4 : Le gène est récessif autosomal :

Si le gène est récessif autosomal, les sujet atteints I₁ et II₂ doivent être des homozygotes, I₂ saine doit être hétérozygote pour transmettre l'allèle muté récessif à sa fille malade. II₁ et II₃ sains doivent hériter l'allèle récessif muté de leur père atteint et l'allèle dominant normal de leur mère ce qui est possible ; donc cette hypothèse est retenue.

Hypothèse n°5 : Le gène est dominant autosomal :

Si le gène est dominant autosomal, I₁, II₂ et II₃ doivent être des homozygotes. II₂ atteinte doit hériter l'allèle dominant muté de son père malade hétérozygote et un allèle récessif normal de sa mère I₂ ce qui est possible. Donc cette hypothèse est retenue.

Pour lever l'ambiguïté, on fait recours à d'autres techniques comme l'électrophorèse, les orientations

J'utilise mes connaissances :

Projet de classe :

A la fin du chapitre 3, les élèves en sous-groupes fabriquent un prototype de ce qui suit :

- Groupe 1 : Chromosomes;
- Groupe 2 : L'ADN ;
- Groupe 3 : l'ARN.
- ✓ Observer le milieu et se documenter ;
- ✓ Dessiner la maquette ou le schéma et fabriquer le prototype ;
- ✓ Ecrire un texte pour expliquer la réalisation et le présenter aux autres élèves.
- Le groupe 4 élabore une fiche métier sur le métier du généticien.
- Le groupe 5 élabore une fiche métier sur le métier de la police scientifique.
- Le groupe 6 démontre l'interdisciplinarité du sujet en relation avec la Chimie (Composition chimique des acides nucléiques, acides aminés, des chromosomes etc.) et les Mathématiques (Suite, somme des cellules obtenues après une série de division etc.).



CHAPITRE IV :

LA PHYSIOLOGIE NERVEUSE

IPN

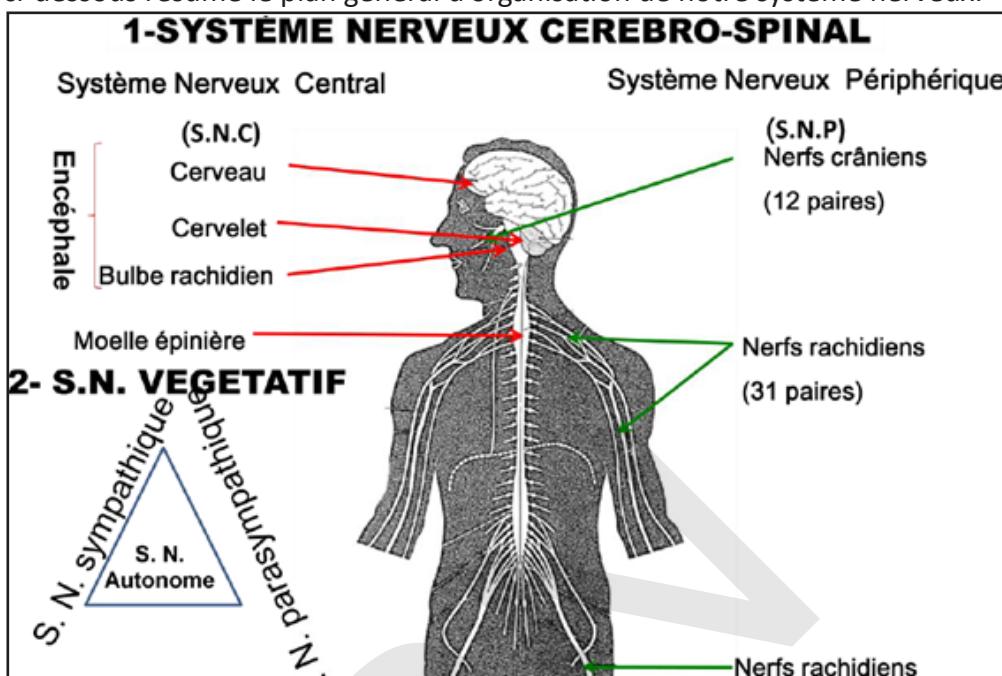
CHAPITRE IV : LA PHYSIOLOGIE NERVEUSE

Je découvre :

I- Organisation du système nerveux

Quelle est l'organisation de notre système nerveux ?

Le document ci-dessous résume le plan général d'organisation de notre système nerveux.



Observer la figure et décrire l'organisation générale du système nerveux.

Sur le plan physiologique, on distingue :

- pour les relations avec le monde extérieur grâce à des organes sensoriels comme les yeux : on parle alors de **système somatique**, ou **cérébro-spinal** : contrôle la vie de relation.
- pour le contrôle du milieu interne, involontairement : on parle alors de **système autonome**, ou **végétatif**. Il est lui-même souvent découpé en 2 sous systèmes contrôlant la vie de nutrition : **orthosympathique** d'une part, qui va accélérer la fréquence cardiaque, dilater la pupille etc.... et **parasympathique** d'autre part, qui va ralentir la fréquence cardiaque, rétrécir la pupille etc. Le système nerveux périphérique a pour mission :
 - d'apporter les informations au système nerveux central, via des cellules sensorielles ou «voie afférente» sensible à la pression, à la température, à la douleur ou à l'étiènement (pour les muscles) ;
 - de transmettre les ordres donnés par le système central aux organes chargés de les exécuter, via des cellules effectrices, où «voie efférente».

Ainsi constitué, le névraxe bénéficie d'une triple protection.

Une première protection, mécanique, est assurée par les os du crâne pour l'encéphale et par ceux du rachis (vertèbres) pour la moelle épinière.

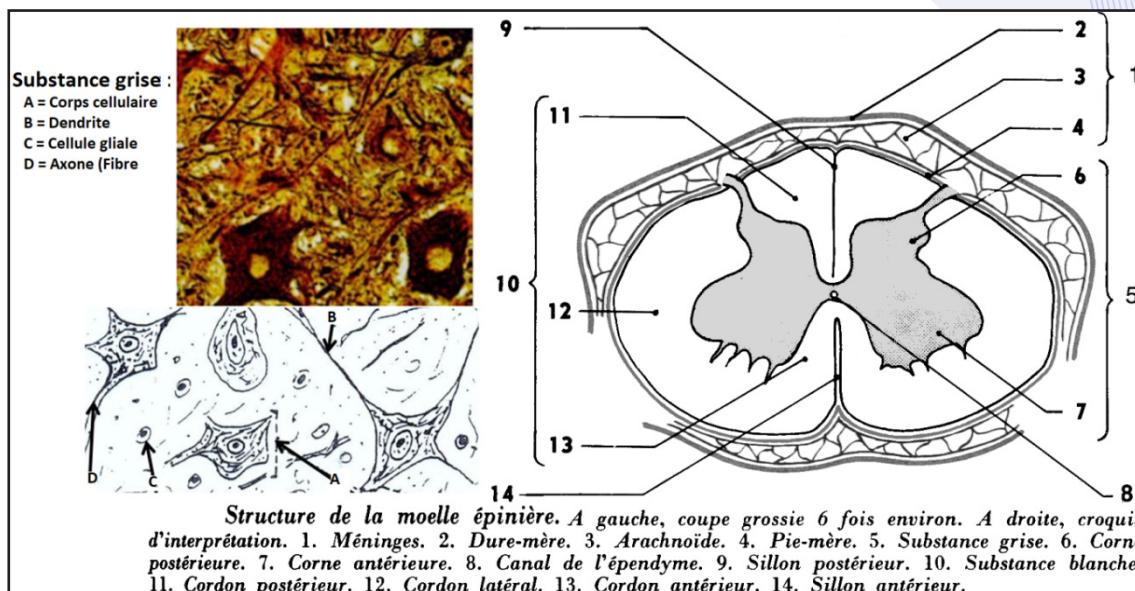
Une seconde protection est représentée par les méninges qui forment trois enveloppes conjonctives entre l'os et le tissu nerveux :

- la dure-mère, épaisse et résistante, qui tapisse l'ensemble des cavités osseuses ;
- la pie-mère, mince et nourricière, qui emballle le tissu nerveux en s'invaginant à chaque repli ;
- l'arachnoïde, située entre les deux précédentes, et qui forme l'espace sous-arachnoïdien où circule le liquide céphalo-rachidien (LCR).

Enfin, une dernière protection est assurée par le liquide céphalo-rachidien lui-même, qui circule entre la pie-mère et l'arachnoïde et qui joue le rôle de coussinet hydraulique permettant d'amortir les chocs éventuels.

Activité 2 :

Etude d'un centre nerveux.



Observer le document et dégager la structure de la moelle épinière.

Chez l'Homme, c'est une tige cylindrique de 45 cm de long et 1 cm de large, en moyenne ; elle présente un renflement cervical (au niveau du cou) et un renflement lombaire (au niveau des reins) dans les régions qui donnent naissance aux nerfs destinés aux membres supérieurs et inférieurs. La face antérieure est parcourue par une fissure médiane : le sillon antérieur. La face postérieure présente un sillon postérieur profond. De chaque côté émergent 31 nerfs rachidiens. Des coupes transversales permettent de retrouver la structure tubulaire observée dans l'encéphale.

- Le canal de l'épendyme traverse la moelle épinière et contient du liquide céphalo-rachidien.
- Il est entouré par une substance grise qui dessine 4 cornes : 2 cornes antérieures larges et 2 cornes postérieures effilées.
- La substance blanche recouvre la substance grise ; elle est divisée par les sillons et les cornes de la substance grise en 3 paires de cordons (antérieurs, latéraux et postérieurs).

La **moelle épinière** fait suite au tronc cérébral et se présente comme un long cordon blanc qui se termine en pointe au niveau de la deuxième vertèbre lombaire.

Son activité est double. D'une part elle participe aux fonctions sensorielles, motrices et végétatives de l'organisme par l'intermédiaire de ses neurones regroupés dans une structure centrale en forme de papillon qui constitue les cornes grises (équivalent des noyaux gris au niveau médullaire) dorsales, latérales et ventrales.

D'autre part, elle assure la transmission d'informations grâce à ses voies de conduction ascendantes (de la moelle vers l'encéphale), descendantes (de l'encéphale vers la moelle) et associatives (entre les différents étages médullaires) qui occupent une position périphérique.

L'ensemble présente ainsi une dualité de structure qu'il est possible de différencier par la couleur. La substance grise regroupe l'ensemble des territoires (cortex, noyaux gris, cornes grises) où sont localisés les corps cellulaires des cellules nerveuses. Elle comprend donc des somas neuroniques, leurs prolongements (axones et dendrites) et de nombreuses synapses.

La substance blanche, en revanche, ne renferme aucun corps cellulaire de cellule nerveuse. Elle assure la liaison entre les différentes structures grises et ne présente donc que des fibres nerveuses (principalement des axones) dont une grande partie est recouverte de myéline; ce qui lui donne une couleur blanc nacré. Substance grise et substance blanche renferment par ailleurs de nombreuses cellules gliales et sont irriguées par un réseau de capillaires sanguins. Il faut toutefois noter qu'à l'exception de quelques rares structures qui participent aux régulations neuroendocriniennes (notamment le complexe hypothalamo-hypophysaire), le sang n'entre jamais en contact direct avec les cellules nerveuses et qu'il existe une

barrière dite hémato-encéphalique qui sépare les deux milieux. Le tissu nerveux est en revanche baigné d'un liquide extracellulaire en échange permanent avec le liquide céphalo-rachidien (LCR), un liquide nourricier qui résulte en partie de la filtration du plasma et qui circule à l'intérieur et tout autour du névraxe.

L'encéphale regroupe la totalité des centres de perception, de commande et d'association du névraxe.

Il comprend trois parties :

- Le cerveau, dont la structure interne est particulièrement complexe, représente la masse la plus volumineuse du névraxe (4/5) et forme de nombreux replis ou circonvolutions en surface. Il renferme la majorité des neurones du système nerveux qui se répartissent en deux grands ensembles : le cortex (ou écorce cérébrale) à la périphérie et les noyaux gris à l'intérieur. Il est le siège des fonctions sensorielles, des fonctions motrices, des fonctions supérieures et produit un certain nombre d'hormones.

- Le tronc cérébral, d'aspect lisse, assure la liaison entre le cerveau et la moelle épinière. Il comprend trois étages : les pédoncules cérébraux vers l'avant, la protubérance annulaire (encore appelée pont de Varole) au centre et le bulbe rachidien vers l'arrière. Ce dernier renferme plusieurs noyaux gris impliqués dans les fonctions sensorielles, motrices et végétatives ainsi que dans la régulation de la vigilance.

- Le cervelet, branché en dérivation sur le névraxe, est relié au cerveau par les pédoncules cérébelleux supérieurs, au tronc cérébral par les pédoncules cérébelleux moyens et à la moelle épinière par les pédoncules cérébelleux inférieurs. Ses neurones également regroupés en deux grands ensembles (le cortex cérébelleux à la périphérie et les noyaux gris à l'intérieur) participent aux fonctions motrices et assurent l'équilibration, la régulation du tonus musculaire et la coordination des mouvements volontaires.

Activité 3 :

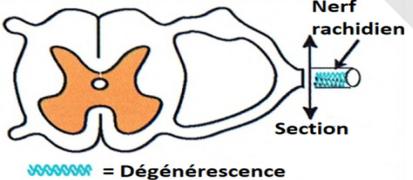
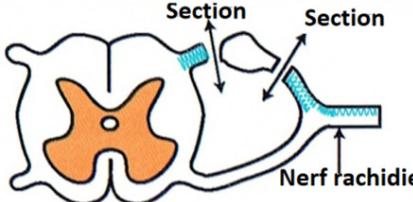
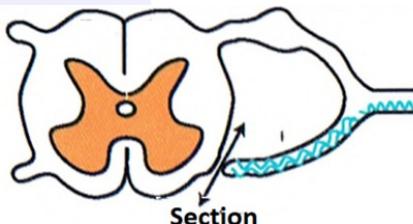
Etude de la structure d'une cellule nerveuse.

Expérience de Waller : Dégénérescence sur la moelle épinière.

Waller en 1852, réalise sur les racines d'un nerf rachidien de chien les expériences suivantes :

- il pratiquait des sections à différents niveaux sur les deux racines du nerf. Dans chaque cas, il observait au bout de quelques jours, la dégénérescence de certains groupes de fibres (les fibres dégénérées perdent leur couleur blanche, ce qui facilite l'observation).

Sur la figure ci-dessous, la couleur bleue indique les zones qui dégénèrent après les différentes sections.

Expériences	Résultats	Conclusions
	Les fibres nerveuses de la portion du nerf rachidien séparée du centre nerveux dégénèrent.
	Les fibres nerveuses situées de part et d'autre du ganglion spinal ainsi que celles situées dans la partie dorsale du nerf rachidien dégénèrent.
	Les fibres nerveuses situées dans la racine antérieure du nerf rachidien ainsi que dans sa partie ventrale dégénèrent.

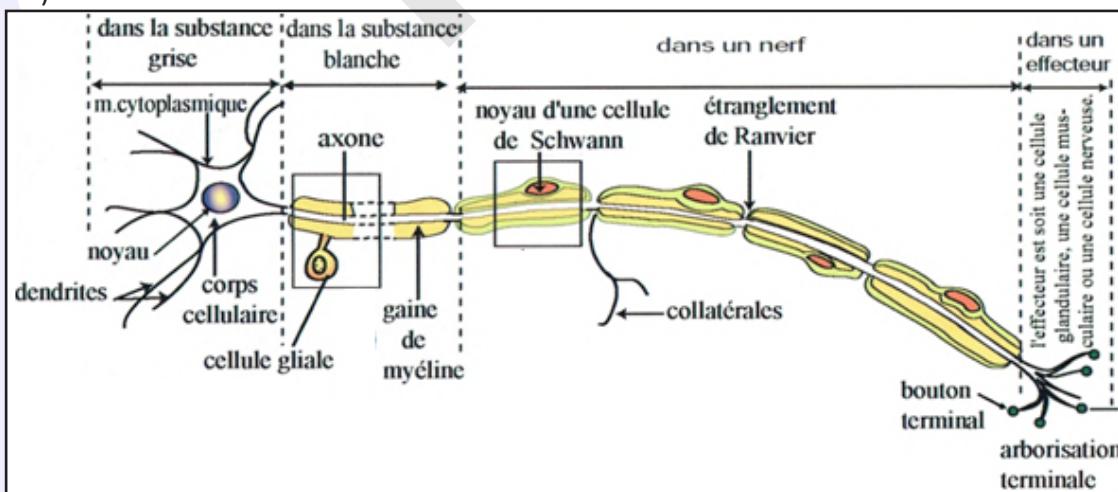
Compléter le tableau afin de dégager la structure d'un neurone.

Expériences	Résultats	Conclusions
<p>= Dégénérescence</p>	Les fibres nerveuses de la portion du nerf rachidien séparée du centre nerveux dégénèrent.	- Les fibres nerveuses dégénérées appartiennent à des neurones dont les corps cellulaires sont du côté de la moelle (côté central).
	Les fibres nerveuses situées de part et d'autre du ganglion spinal ainsi que celles situées dans la partie dorsale du nerf dégénèrent.	- Les fibres dégénérées appartiennent à des neurones dont les corps cellulaires sont dans le ganglion spinal. Ce sont des supports du message afférent.
	Les fibres nerveuses situées dans la racine antérieure du nerf rachidien et dans sa partie ventrale dégénèrent.	- Les fibres dégénérées appartiennent à des neurones dont les corps cellulaires sont dans la substance grise. Ce sont des supports du message efférent.

Après quelques temps, le bout périphérique de chaque axone se fragmente, la myéline qui l'entourait forme des amas : la fibre **dégénère**. Depuis, on appelle ce phénomène la **dégénérescence wallérienne**. De l'autre côté de la section, le bout central reste intact et même a tendance à repousser.

On peut voir là une ressemblance avec l'expérience de mérotomie. Le côté qui ne dégénère pas est celui qui possède le noyau.

D'après cette expérience, on peut penser que les fibres cytoplasmiques sont de longs prolongements issus de corps cellulaires situés dans la substance grise. Le tissu nerveux est constitué de cellules appelées **neurones**. On peut schématiser un neurone de la manière suivante (on ne tiendra pas compte des cellules de Schwann) :



La cellule nerveuse ou neurone est constituée de l'ensemble : corps cellulaire (ou soma ou péricaryon), axone (ou cylindraxe) et arborisation terminale.

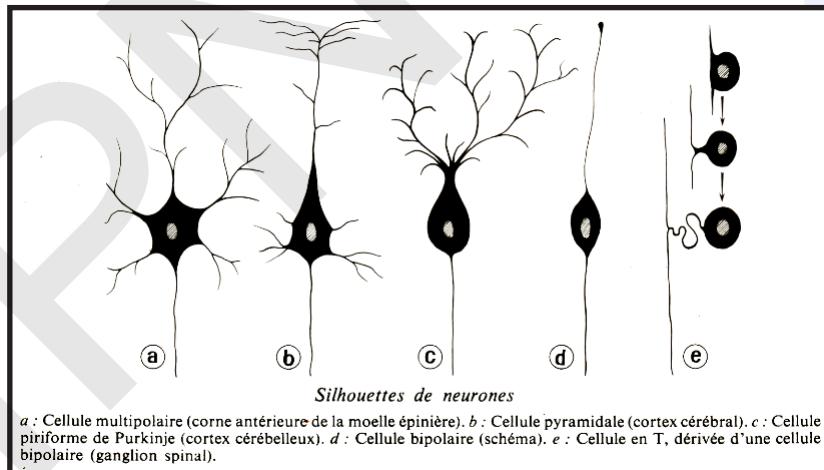
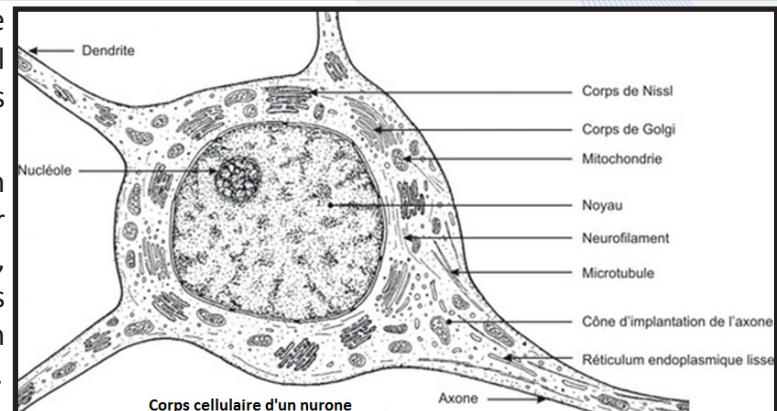
Le corps cellulaire est caractérisé par une forme très variable et une structure relativement constante. On y reconnaît un noyau faiblement colorable à nucléole bien visible, et un cytoplasme où, suivant le mode de coloration employé, on peut mettre en évidence des mitochondries, des corps de Nissl, un réseau

de Golgi ou des neurofibrilles. Le microscope électronique montre que les corps de Nissl sont formés de sacs ergastoplasmiques entassés.

Les prolongements sont de deux sortes : l'un d'eux, appelé axone ou cylindraxe, est régulier et homogène ; les autres, appelés dendrites, renferment des corps de Nissl plus ou moins étirés. Ces prolongements, ou fibres, sont bien visibles sur une préparation de tissu dilacéré.

En dehors des corps de neurones, on reconnaît, dans la substance grise, des fibres nues, des noyaux appartenant aux cellules de la névrogie (cellules à rôle mécanique et nourricier) et des capillaires sanguins. Dans la substance blanche voisine, chaque fibre est entourée d'une gaine de myéline. La fibre est nue dans la substance grise. Elle est entourée d'une suite de manchons de myéline dans la substance blanche. Dans les nerfs cérébro-spinaux, la gaine de Schwann entoure le tout. Dans les nerfs sympathiques, la myéline fait défaut (teinte grisâtre) et la gaine de Schwann recouvre directement la fibre. Le microscope électronique montre que chaque manchon de myéline est formé par une cellule dont la membrane s'est enroulée sur elle-même suivant une spirale à tours joints. Il permet de comprendre la structure de la gaine de Schwann au niveau des étranglements de Ranvier : la gaine y est mince et grillagée, délimitant de petites aires où la fibre, entièrement nue, laisse parfois échapper de fines ramifications, ou collatérales. Les neurones peuvent avoir des aspects variés. Citons simplement :

- les **neurones multipolaires** de la corne antérieure de la substance grise;
- les **neurones pyramidaux** du cortex cérébral ;
- les **neurones bipolaires**, ne possèdent qu'une seule dendrite, ramifiée à son extrémité (répine) ;
- les **neurones unipolaires**, appelés encore neurones en T. On les rencontre dans les ganglions rachidiens situés à l'intérieur du canal rachidien. L'axone et la dendrite unique sont réunis au départ du corps cellulaire sur une courte distance et se séparent ensuite.



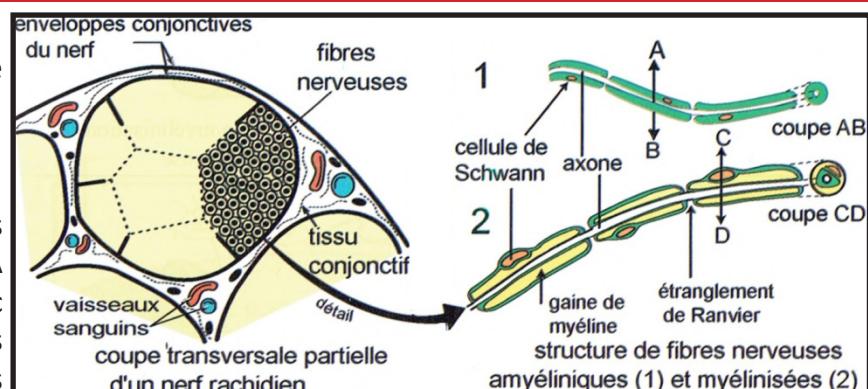
Activité 4 :

Etude de la structure d'un nerf.

Les figures ci-dessous représentent de coupes dans un nerf.

A partir du schéma, dégager la structure du nerf.

Une coupe transversale montre que les nerfs présentent la même structure. A l'intérieur, les fibres nerveuses, avec ou sans myéline, entourées de leurs cellules de Schwann, y sont groupées en faisceaux entourés d'une gaine conjonctive (le périnèvre) et cloisonnés par un tissu conjonctif riche en collagène, l'endonèvre. L'ensemble est entouré par du tissu conjonctif lâche richement vascularisé qui s'épaissit vers l'extérieur et forme l'épinèvre.



Selon leur composition en fibres, on distingue :

- les nerfs sensitifs qui ne renferment que des afférences ;
- les nerfs moteurs qui ne renferment que des efférences ;
- les nerfs mixtes qui contiennent les deux types de fibres en même temps.

Selon des critères morphologiques et fonctionnels, on distingue plusieurs types de synapses

• les synapses chimiques, caractérisées par la présence d'un espace entre la membrane présynaptique et la membrane postsynaptique : la fente synaptique. Une molécule chimique transmet les informations de la cellule présynaptique à la cellule postsynaptique.

• les synapses électriques ou jonctions communicantes («gap junctions»), caractérisées par l'accolement des deux membranes plasmiques (canaux jonctionnels - connexons). Les signaux électriques sont directement transmis d'une cellule à l'autre sans intermédiaire chimique. Ce couplage électrique permet une propagation rapide des potentiels d'action entre neurones mais aussi la synchronisation de la contraction de certaines cellules musculaires (cœur, fibre musculaire lisse).

• les synapses mixtes, formées par la juxtaposition d'une synapse chimique et d'une jonction communicante.

Les premières nécessitant l'intervention de médiateurs chimiques (ce qui implique un délai de transmission de l'ordre de 0,5 ms), présentent une polarité (la transmission se faisant toujours de l'élément présynaptique vers l'élément postsynaptique) et peuvent être excitatrices ou inhibitrices. Les secondes, assez rares chez les Vertébrés supérieurs, sont en fait constituées par des canaux jonctionnels (gap junctions) que deux neurones contigus établissent après avoir accolé leurs membranes et qui leur permettent d'échanger des ions et des petites molécules. Elles assurent également le couplage électrique entre les deux cellules de sorte que les potentiels d'action puissent passer rapidement de l'une à l'autre sans intermédiaire.

II- Propriétés du tissu nerveux

A- Mise en évidence

Activité 5 :

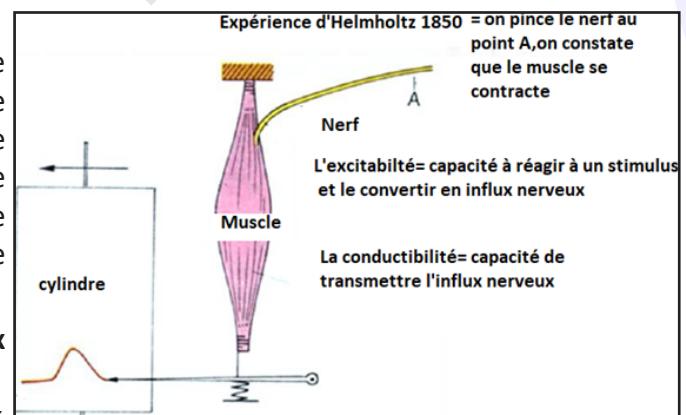
Mise en évidence des propriétés du tissu nerveux.

Pour étudier les propriétés du nerf, il est indispensable de le soustraire à l'action des centres nerveux. Sur une patte postérieure de Grenouille, on isole le muscle du mollet (muscle gastrocnémien) en conservant le nerf sciatique qui y arrive. C'est ce qu'on appelle une préparation nerf-muscle. Si on pince légèrement le nerf, le muscle se contracte.

Analyser cette expérience pour dégager les deux propriétés du tissu nerveux.

- Le pincement (excitation mécanique) a engendré une réaction du nerf appelée influx nerveux : Le nerf est **excitable**.
- L'influx nerveux s'est propagé tout le long du nerf jusqu'au muscle qui se contracte : Le nerf est **conducteur**.

Cette simple observation nous montre les deux propriétés essentielles du nerf, donc de la fibre nerveuse : excitabilité et conductibilité. Le muscle a reçu un message sous forme d'un influx nerveux.



B- Excitabilité

Activité 6 :

Dans quelles conditions obtient-on un potentiel d'action ?

Pour exciter un nerf ou une fibre, on applique une certaine tension, celle-ci s'exprime en mV.

Plus couramment, on utilise le terme d'intensité (ce terme sous-entend une intensité de stimulation et non une intensité électrique qui serait mesurée en mA).

- Si l'intensité d'excitation est suffisante, on obtient une réponse du nerf qui se traduit par une courbe sur

l'écran : le potentiel d'action. Celui-ci est précédé d'une déviation du spot due au stimulus électrique lui-même et synchrone de ce stimulus : c'est l'artefact de stimulation. Le potentiel d'action est considéré comme la traduction électrique de l'état d'excitation du nerf donc comme un aspect de l'influx nerveux

■ Le temps de stimulation étant fixe et assez long, on fait varier la tension. En partant de 0, on n'a aucune réponse au début ; on augmente très progressivement la tension, pour une certaine valeur de celle-ci, on a enfin une réponse.

■ L'intensité étant fixe mais supérieure à la rhéobase, on fait varier la durée (temps de stimulation) en commençant par le temps le plus court. Au début, bien que la rhéobase soit dépassée, on n'a pas de réaction. La valeur limite pour laquelle on obtient un potentiel d'action est soigneusement notée.

■ On recommence la même expérience en prenant à chaque fois une intensité un peu plus grande et on note tous les résultats. La courbe ci-contre représente une limite : **c'est le seuil d'excitation**.

Analyser ces résultats afin de dégager les conditions nécessaires à une stimulation efficace.

L'excitation d'un nerf peut être obtenue par un procédé mécanique (piqûre, pincement), thermique (contact d'un corps chaud ou froid), chimique (action d'un acide) ou électrique (courant continu, courant induit, décharge d'un condensateur). L'excitant électrique est l'excitant expérimental de choix car :

- Il peut être dosé avec précision, tant du point de vue intensité que du point de vue durée ;
- Appliqué rationnellement, il n'altère pas les tissus, permettant ainsi des expériences prolongées ;
- Son action diffère peu de celle de l'excitant physiologique normal (= influx nerveux), lequel, nous le verrons, est de nature électrique.

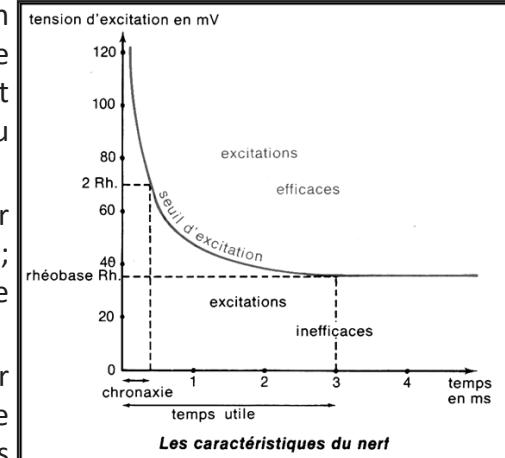
* **Conditions dépendant de l'excitant** : Pour qu'une stimulation soit efficace, il faut que l'excitant utilisé présente certaines caractéristiques :

- Une intensité minimale : on l'appelle encore intensité liminaire, ou intensité seuil, ou rhéobase. Une intensité inférieure à cette valeur est qualifiée d'infraliminaire, une intensité supérieure est dite supraliminaire. Selon la nature des excitants, cette intensité est donnée dans des unités différentes.
- Une durée d'action minimale : c'est le «temps utile» pour une intensité donnée. Si l'excitant, d'intensité liminaire ou supraliminaire, est envoyé sur la cellule pendant une durée inférieure à cette valeur, la stimulation n'est plus efficace. Cette durée est très souvent de l'ordre de la milliseconde.
- Une variation brutale d'intensité : pour un grand nombre de cellules, un excitant ayant l'intensité et la durée d'action nécessaires ne provoquera une stimulation efficace que s'il intervient brusquement. C'est cette variation brutale du milieu extérieur qui excite la cellule ; si l'intensité minimale est installée progressivement, par exemple, il n'y aura pas de stimulation efficace.
- Une valeur du couple de facteurs intensité-temps : un excitant d'intensité $I = Rh$ (rhéobase), agissant pendant une durée inférieure au temps utile rhéobasique, ne provoque pas une stimulation efficace ; cependant, en conservant cette durée d'action, on peut provoquer à nouveau une stimulation efficace en augmentant la valeur de l'intensité. On peut ainsi, expérimentalement, rechercher tous les couples (I et T) donnant une stimulation efficace et tracer une courbe limitant deux zones : la zone des stimulations efficaces et celle des stimulations inefficaces. On privilégie parfois un de ces couples. C'est celui où $I = 2 Rh$ et le temps utile correspondant qu'on appelle chronaxie (voir courbe de Lapicque).

Tous les points situés dans la concavité de la courbe (zone des excitations efficaces) définis par leurs coordonnées correspondent à des excitations efficaces ; toutes au-dessus du seuil (donc supraliminaires).

Les points situés à l'extérieur de la courbe (zone des excitations inefficaces) correspondent à des stimuli inefficaces ; ils sont au-dessous du seuil (donc infraliminaires).

* **Conditions dépendant de la cellule** : Certains éléments rendent la cellule plus ou moins excitable. Citons par exemple :



- La température : son influence est plus ou moins grande selon les espèces, mais si la température optimale est d'environ 30 °C, une température basse ou élevée modifie l'excitabilité de la cellule ;
 - Certaines substances chimiques : les anesthésiques diminuent l'excitabilité alors que les «excitants» l'augmentent ;
 - Le moment de la stimulation par rapport à la stimulation précédente ; après une stimulation efficace, la cellule présente une période d'inexcitabilité totale, ou période réfractaire absolue, suivie d'une période réfractaire relative pendant laquelle la cellule est moins excitabile et où il faut augmenter l'intensité ou la durée du couple efficace pour provoquer une nouvelle stimulation efficace.

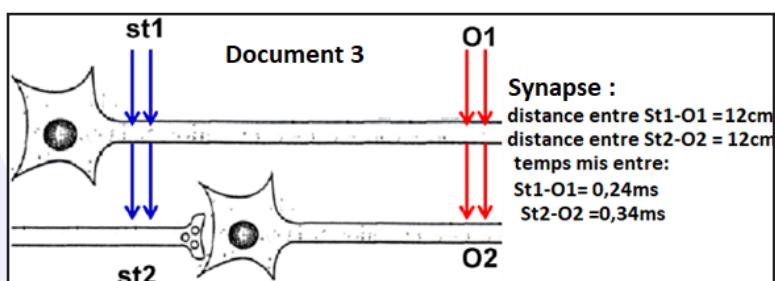
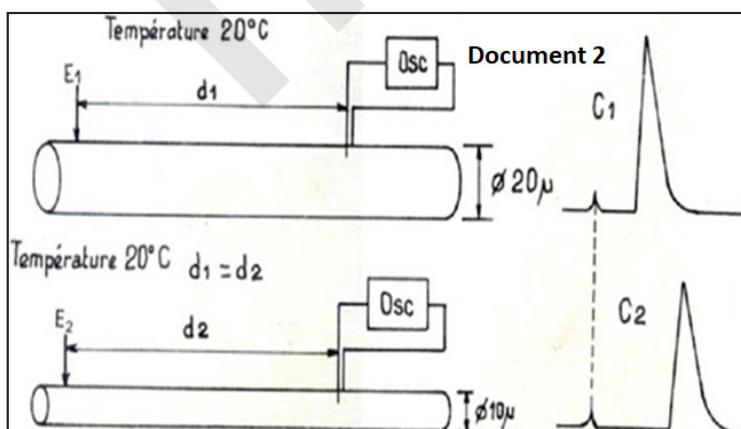
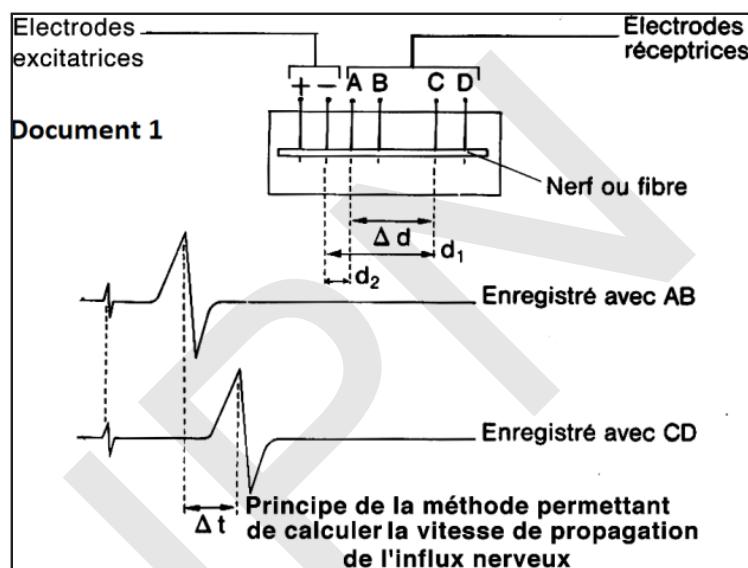
Un stimulus en dessous du seuil est dit infraliminaire et ne provoque pas un potentiel d'action. Un stimulus au-dessus du seuil est dit supraliminaire et provoque un potentiel d'action. Un stimulus égal au seuil est dit liminaire et provoque un potentiel d'action.

C- Conductibilité

Activité 7 :

Calcul de la vitesse de l'influx nerveux et étude des facteurs qui agissent sur cette vitesse.

Soient les documents ci-dessous :



Analyser les documents puis déduire.

- Vitesse de l'influx nerveux :

On utilise le dispositif de la figure ci-dessus, on fait deux enregistrements. Dans le premier cas, la distance entre la cathode et la première électrode réceptrice est d_1 ; dans le deuxième cas, l'électrode réceptrice, rapprochée, n'est plus qu'à une distance d_2 . Si l'on superpose les deux tracés des potentiels d'action en faisant coïncider l'artefact, on constate un décalage dans les potentiels d'action.

Soit Δt le temps qui les sépare ; il est dû au temps mis par l'influx nerveux pour parcourir $\Delta d = d_1 - d_2$.

La vitesse est alors obtenue : $V = \Delta d / \Delta t$ (Document 1).

- Facteurs qui agissent sur la vitesse de l'influx nerveux :

▪ La température : la vitesse de l'influx nerveux varie suivant la température ambiante : par exemple, dans le nerf sciatique de Grenouille à 18°C, la vitesse est de 30 m/s alors qu'elle est de 80 m/s à 30°C. La vitesse de conduction dans le nerf sciatique de l'Homme (donc à 37°C) est de 30 m/s alors qu'elle est de 80 m/s à 30°C. La vitesse de conduction dans le nerf sciatique de l'Homme (donc à 37°C) est de 90 m/s.

▪ Le diamètre : La vitesse est d'autant plus grande que le diamètre de la fibre est plus grand (Document 2).

▪ La myéline : Suivant les fibres nerveuses qui composent le nerf, une fibre myélinisée conduit l'influx environ 50 fois plus vite qu'une fibre non myélinisée de même diamètre (ex. chez le chat : fibre amyélinique 2 m/s, fibre myélinisée 90 m/s).

▪ Les synapses : Elles ralentissent la vitesse. Les temps mis pour parcourir la même distance présentent un écart de 0,1ms correspondant au délai synaptique (Document 3).

Les caractéristiques d'une fibre ultra-rapide sont : fort diamètre, myéline épaisse, étranglements de Ranvier espacés, rhéobase faible, période réfractaire courte.

Conditions de conductibilité :

La conductibilité exige des conditions : vie (cellule vivante), intégralité (cellule intégrale).

La conductibilité nécessite : une vitesse, un sens.

L'influx nerveux, né au point d'excitation, chemine le long du nerf.

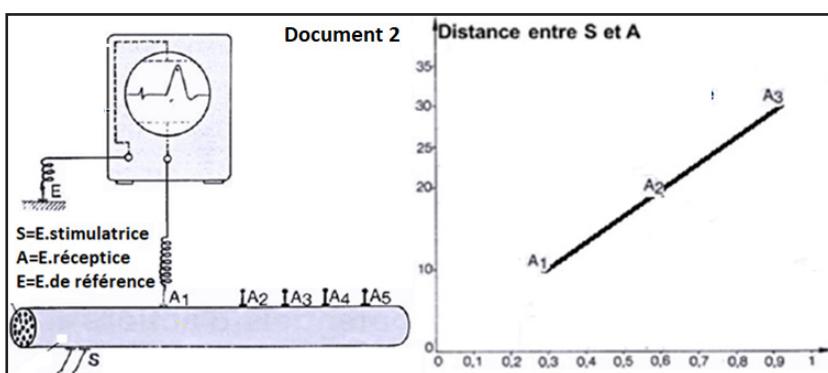
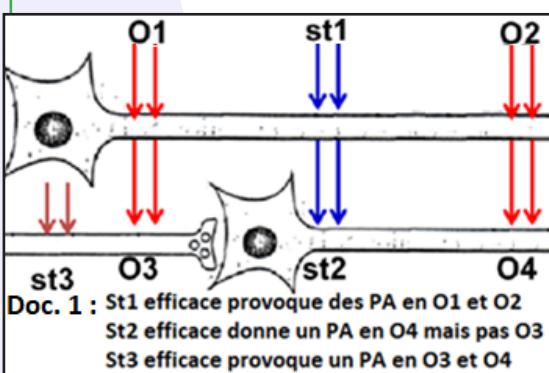
- Un nerf abîmé à la suite d'une forte excitation mécanique ou chimique n'est plus conducteur. Le nerf doit être intact pour conduire l'influx nerveux.

- Un nerf privé d'oxygène, soumis à un refroidissement (0 °C), à un échauffement (50°C) ou à l'action d'un anesthésique, ne transmet plus l'influx nerveux.

Pour garder ses propriétés de conductibilité, le nerf doit se trouver dans des conditions physiologiques compatibles avec la vie. L'influx nerveux est donc un phénomène vital.

Activité 8 :

Etude du sens de conduction de l'influx nerveux.



Analyser les documents puis déduire.

On place des électrodes excitatrices sur une fibre isolée. Des électrodes réceptrices sont mises de chaque côté. Chaque paire d'électrodes étant reliée à un oscilloscophe cathodique. Après excitation, on recueille un potentiel d'action sur les deux écrans. On constate que l'influx nerveux déclenché expérimentalement peut se propager dans les deux sens.

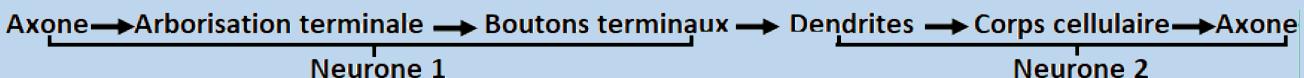
Dans le même neurone, le sens de l'influx nerveux est bidirectionnel (Document 1).

D'un neurone à l'autre (au niveau d'une synapse), il est directionnel (Document 1).

Le potentiel d'action dû à une stimulation S est enregistré en A₁.A₂...

Il se propage comme un mouvement uniforme à vitesse constante (Document 2).

* Dans la chaîne neuronique, le message nerveux est unidirectionnel :



* Dans les conditions physiologiques normales, le sens de conduction est :

Dendrite ► corps cellulaire ► axone ► arborisation terminale.

III- Influx (message) nerveux

A- Dispositif d'enregistrement : Oscilloscope cathodique

Activité 9 :

Quel(s) appareil(s) utilise-t-on pour enregistrer l'influx nerveux ?

Le galvanomètre révèle l'existence du potentiel d'action mais il est insuffisant pour l'analyse d'un phénomène aussi bref (0,5 à 1 milliseconde) et d'aussi faible amplitude. Les laboratoires de neurophysiologie utilisent l'oscilloscophe cathodique qui permet d'amplifier les variations de potentiels et de les enregistrer (voir le dispositif ci-contre).

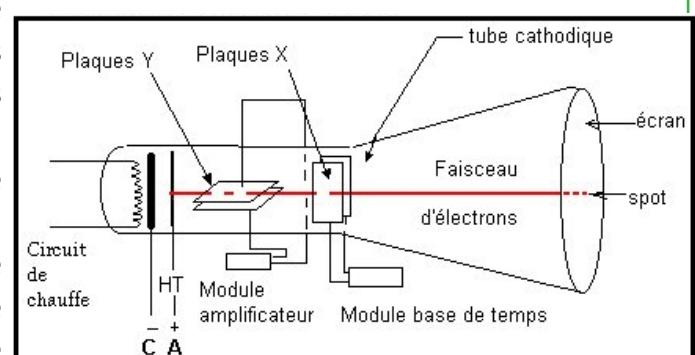
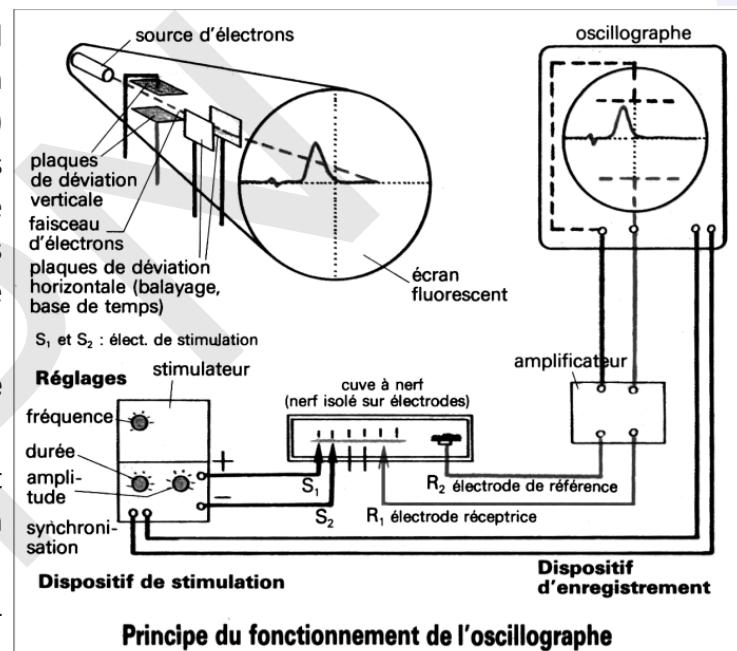
Observer le dispositif et expliquer son principe de fonctionnement.

Pour étudier les tensions qui varient rapidement au cours du temps, on peut utiliser un oscilloscophe cathodique.

Le tube cathodique d'un oscilloscophe (figure ci-contre) est une grosse ampoule de verre, vide d'air, contenant un canon à électrons.

Le canon à électrons est constitué d'une cathode métallique chauffée d'où sont extraits des électrons par l'attraction électrique exercée par une anode. Les électrons émis sont concentrés en un fin faisceau qui sort du canon, traverse le tube à très grande vitesse et vient percuter la partie opposée du tube qui constitue l'écran. Une peinture fluorescente déposée sur le verre émet de la lumière lorsqu'elle est frappée par les électrons. Pour attirer les électrons, la partie interne conductrice de l'écran (couche de graphite...)

est reliée à une forte tension positive (plus de 10 000V). Le faisceau de particules provenant de la cathode (électrode négative), le tube a été appelé tube «cathodique», de même le faisceau d'électrons était appelé autrefois «rayons cathodiques». A l'intérieur du tube de l'oscilloscophe, deux plaques métalliques (Y/Y) parallèles et horizontales peuvent être reliées à un générateur externe. La plaque positive attire le faisceau



qui est ainsi dévié vers le haut ou le bas. De même, deux plaques parallèles et verticales peuvent dévier le faisceau vers la gauche ou la droite.

Pour étudier les variations d'une tension, on déclenche le balayage. Les plaques de déviation horizontale sont reliées à une base de temps qui provoque le déplacement à vitesse constante du spot de gauche à droite. La durée de balayage est réglable. Elle est indiquée sur le commutateur de réglage (en ms/cm par exemple). La tension à étudier est appliquée à l'entrée Y (plaques de déviation verticale) par l'intermédiaire d'un amplificateur. On peut régler le gain de cet amplificateur en tournant le commutateur de sensibilité verticale (V/cm). Le signal est appliqué à l'entrée verticale Y (entre les plaques Y et Y'). A l'instant du branchement, le spot qui était au centre de l'écran se déplace verticalement vers le haut si la tension est positive, vers le bas si elle est négative.

Sans balayage (bouton XY enfoncé), on observe l'immobilité du spot.

Avec balayage, le spot se déplace sur une droite horizontale tension continue positive.

B- Le potentiel de repos

Activité 10 :

Comment mettre en évidence le potentiel de repos ?

La figure 1 montre l'enregistrement grâce à un galvanomètre du potentiel de repos.

La figure 2 représente l'enregistrement du potentiel de repos à l'aide d'un oscilloscope.

A l'aide des figures ci-contre, dégager la définition du potentiel de repos et ses conditions d'enregistrement.

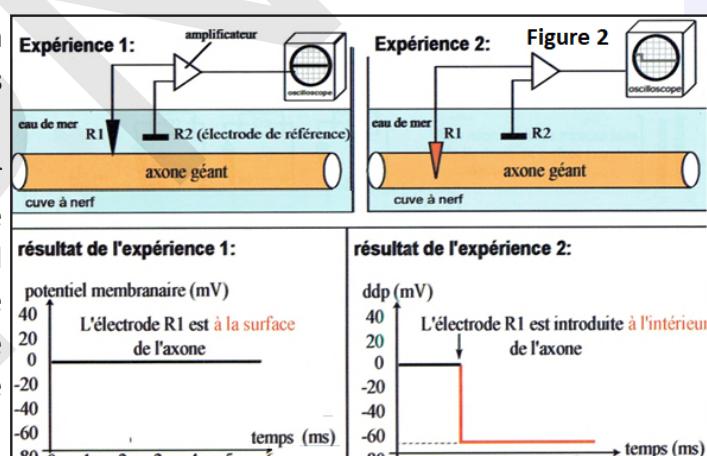
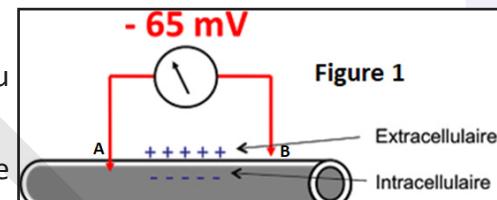
On place l'électrode A à l'intérieur et B à l'extérieur et on constate que l'aiguille du galvanomètre dévie vers la gauche indiquant que B est à potentiel positif et A à potentiel négatif (Figure 1) : La fibre nerveuse au repos est polarisée (la face externe de la membrane est plus électropositive que sa face interne).

On enregistre, par convention, les variations de potentiel électrique de l'électrode interne A, par rapport à l'électrode B qui sert de référence (Figure 2).

L'enregistrement de ce potentiel sur un écran d'un oscilloscope montre qu'il existe une différence de potentiel constante et égale à -70 mV environ, ce qui signifie que l'intérieur de l'axone est négatif et l'extérieur positif. Cette différence de potentiel transmembranaire est appelée **potentiel de repos** de la fibre ou **potentiel de membrane** (Figure 3). Son maintien nécessite, de la part de la cellule, une dépense d'énergie ; elle disparaît quand la cellule meurt. Le potentiel membranaire est la différence de potentiel ou de tension mesurée entre la face externe et la face interne de la membrane d'un neurone (ou de toute cellule vivante). Cette différence de potentiel est égale à environ -70 mV (millivolts).

Le potentiel de repos est le terme utilisé pour désigner le potentiel de membrane de la membrane plasmique d'une cellule excitabile lorsqu'elle est au repos : C'est un des états possibles du potentiel de la membrane.

On aurait aussi bien pu inversement enregistrer le potentiel électrique de la surface externe de la fibre par rapport à l'intérieur.



Activité 11 :

Comment expliquer l'origine chimique du potentiel de membrane ?

Des données expérimentales :

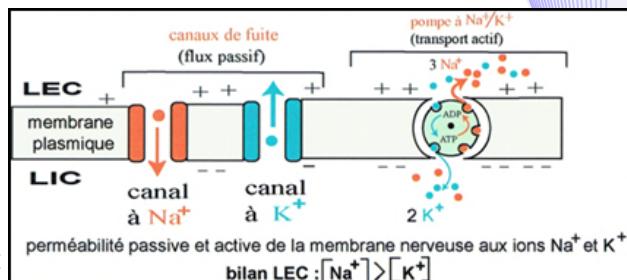
- Des études pratiquées sur des fibres nerveuses « géantes » de Calmar montrent une répartition ionique très inégale de part et d'autre de la membrane de l'axone comme le montre le tableau ci-contre :

- L'utilisation d'isotopes radioactifs a montré que la membrane de la fibre nerveuse au repos est beaucoup plus perméable aux ions K^+ qu'aux ions Na^+ .

Tous ces résultats ont été confirmés pour les fibres nerveuses d'autres espèces, celles des vertébrés en particulier.

- Le potentiel de repos disparaîtrait progressivement si le canal de fuite agissait seul : on aboutirait, à la longue, à une égalisation des concentrations en Na^+ et K^+ de part et d'autre de la membrane.

	$+Na$	$+K$	$-Cl$
Concentration intracellulaire	49	410	40
Concentration extracellulaire	440	22	560



La « pompe à Na^+/K^+ » assure le maintien de la dissymétrie ionique entre le milieu intra- et extracellulaire (voir figure ci-contre).

A l'aide des données expérimentales précédentes, donner une interprétation ionique du potentiel de repos.

Le tableau précédent montre une répartition ionique très inégale de part et d'autre de la membrane : Na^+ et Cl^- sont très concentrés dans le milieu extracellulaire alors que K^+ est plus concentré dans le milieu intracellulaire (vingt fois plus concentré). Cette différence de potentiel maintenue par un transport actif est à l'origine du potentiel de repos. Les ions K^+ ont tendance à sortir de la cellule, les ions Na^+ ont tendance à pénétrer dans la cellule. Deux catégories de protéines membranaires prennent en charge le passage des ions à travers la bicoque lipidique : ce sont des « canaux » et des « pompes » à ions. Les « canaux de fuite » ouverts en permanence, permettent une diffusion passive des ions K^+ et Na^+ dans le sens décroissant de leur gradient de concentration. Ils sont beaucoup plus perméables aux ions K^+ qu'aux ions Na^+ , ce qui rend l'intérieur de la fibre électronégatif par rapport à l'extérieur. La « pompe à Na^+/K^+ » assure le maintien de la dissymétrie ionique entre le milieu intra- et extracellulaire. En effet, cette pompe est une enzyme protéique (ATPase) capable à la fois d'hydrolyser l'ATP et d'utiliser l'énergie ainsi libérée pour assurer le transfert d'ions Na^+ et K^+ contre leur gradient de concentration. Une pompe à Na^+/K^+ expulse plus de Na^+ qu'elle ne fait entrer de K^+ (3 ions Na^+ contre 2 ions K^+). Ce canal étant beaucoup plus perméable aux ions K^+ qu'aux ions Na^+ , il laisse donc « fuir » vers l'extérieur de la fibre beaucoup plus de K^+ qu'il laisse entrer de Na^+ , ce qui rend l'intérieur de la fibre électronégatif par rapport à l'extérieur.

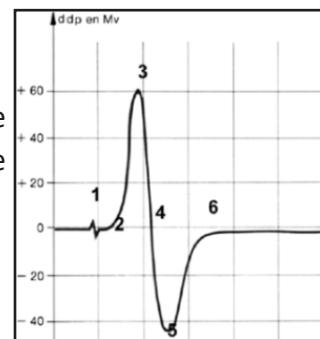
C- Potentiel d'action

Activité 12 :

Comment obtenir un potentiel d'action diphasique et comment l'analyser ?

L'étude peut être faite sur une fibre géante de Seiche.

Les électrodes R_1 et R_2 sont placées à la surface de la fibre : l'excitation électrique est suivie de l'apparition sur l'écran de l'oscillographe d'une onde diphasique (figure ci-contre).



Analyser cet enregistrement.

On peut en étudier les différentes étapes :

- en (1) = **l'artefact de stimulation** : c'est l'accident précédent le potentiel d'action qui est dû au choc provoqué par l'excitation ; il marque l'instant précis de l'excitation mais n'a aucune

signification physiologique.

- entre (1) et (2) = **le temps de latence** : le spot est au O, il n'y a aucune différence de potentiel entre les deux électrodes réceptrices (sont au même niveau de potentiel).
- entre (2) et (3) = la phase de **dépolarisation sous R₁** : Lorsque le potentiel d'action atteint le point où se trouve l'électrode R₁, cette portion de fibre devient de plus en plus négative par rapport au point en contact avec R₂, puis la négativité décroît et s'annule. La plaque horizontale P₁, reliée à R₁, donc portée au même potentiel repousse les électrons avec d'autant plus de force que la négativité sous R₁ est plus grande.
- entre (3) et (4) = la phase de **repolarisation sous R₁** : le spot lumineux a dépassé R₁ mais n'a pas encore atteint R₂. Le balayage se fait à nouveau au O comme au début : la perturbation est terminée.
- entre (4) et (5) = la phase de **dépolarisation sous R₂** : l'influx nerveux continue à se propager et atteint le point de la fibre en contact avec R₂ qui devient alors négative par rapport à R₁ ; la plaque P₂ en relation avec R₂ repousse à son tour les électrons.
- entre (5) et (6) = la phase de **repolarisation sous R₂** : le spot lumineux a dépassé R₂. Le balayage se fait à nouveau, au O comme au début : la perturbation est terminée.
- (6) : retour au **potentiel de repos** : les deux électrodes retrouvent le même potentiel (trait horizontal).

Cette perturbation obtenue après excitation, est **appelée potentiel d'action**.

La stimulation en un point de la membrane d'un élément excitable, entraînant une dépolarisation membranaire suffisante (valeur seuil), provoque l'apparition d'un potentiel d'action (PA). Ce PA est une inversion brutale et transitoire du potentiel de membrane, qui se propage sans atténuation, de manière autonome, tout au long de la membrane de l'élément excité. Certaines cellules comme les cellules nerveuses, les cellules musculaires sont dites excitables car elles possèdent la propriété de modifier l'entrée et la sortie des ions précédemment cités, à travers leur membrane, sous l'influence d'une stimulation (influx nerveux). Ceci a pour but de créer un potentiel d'action qui inverse les polarisations. La polarisation est l'accumulation d'ions d'un côté ou de l'autre de la membrane de la cellule. Lorsque le neurone est excité, il se dépolarise créant un potentiel d'action. Ce potentiel d'action se propage de cellule en cellule, le long de l'axone jusqu'aux synapses (jonction de deux neurones). Le potentiel d'action est donc une variation brève et rapide de la charge électrique des neurones. Il sert à véhiculer une information de neurone en neurone.

Activité 13 :

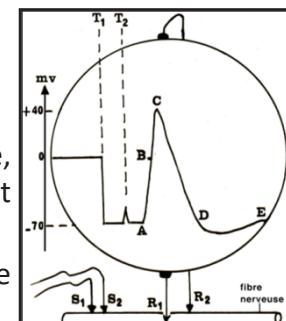
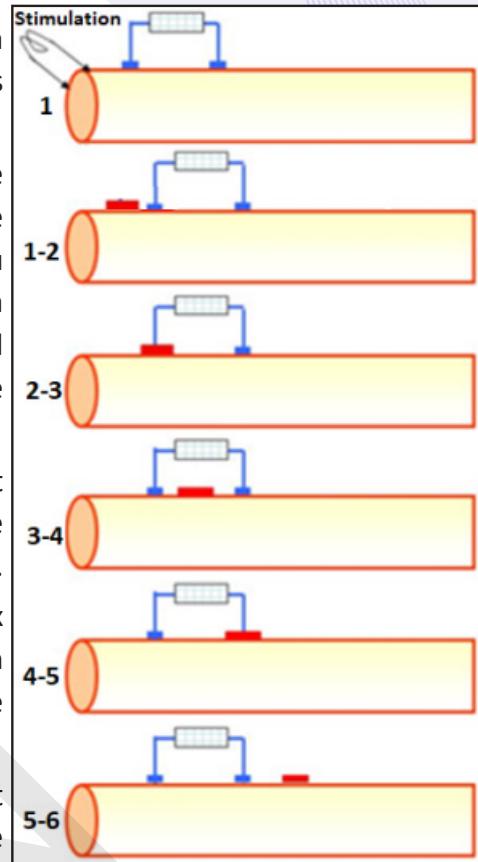
Comment obtenir un potentiel d'action monophasique et comment l'analyser ?

Pour obtenir un potentiel d'action monophasique, on procède ainsi :

- Placer 2 électrodes stimulatrices sur une extrémité du neurone.
- Au temps T₁, enfoncez légèrement l'électrode réceptrice R₁ dans le neurone, l'électrode R₂ est dans le milieu. Il en résulte, sur l'oscilloscope, un potentiel constant et négatif de - 70 mV (PR).
- Au temps T₂, porter une stimulation efficace sur le neurone, une onde de dépolarisation monophasique apparaît (figure ci-contre).

Analyser cet enregistrement.

La microélectrode R₁ est introduite au temps T₁ dans l'axone. Le spot dévie vers le bas indiquant une

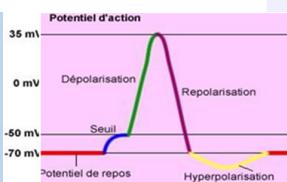


différence de potentiel entre R_1 et R_2 qui n'est autre que le potentiel de repos de la fibre : (potentiel $R_1 <$ potentiel R_2). Une excitation au temps T_2 est suivie de l'apparition, sur l'écran, d'une courbe monophasique traduisant le passage du potentiel d'action sous les électrodes : Les polarités de la membrane et du cytoplasme qui étaient respectivement positive et négative s'inversent. Sur l'oscilloscope, un artefact apparaît qui permet de déterminer avec précision l'instant de la stimulation. Le potentiel enregistré est toujours de - 70 mV tant que l'onde de dépolarisation n'atteint pas l'électrode réceptrice. Les différentes phases du PA sont :

- Après un temps de latence qui dépend de la distance entre les électrodes stimulatrices et les électrodes réceptrices, la d.d.p. entre R_1 et R_2 diminue (portion AB de la courbe), s'annule (point B où le potentiel de R_1 est égal au potentiel de R_2) puis s'inverse (portion BC de la courbe où le potentiel de R_1 est supérieur à celui de R_2) indiquant alors que **l'intérieur de la fibre devient positif** par rapport à l'extérieur, avec une d.d.p. d'environ 40 mv : C'est la phase de **dépolarisation**. Le voltage global du potentiel d'action (110 mv) étant supérieur à celui du potentiel de repos, il ne s'agit donc pas d'une simple annulation de ce potentiel.
- Puis la fibre **se repolarise** (portion CD) à une vitesse légèrement inférieure à celle de la dépolarisation : C'est la phase de **repolarisation**.
- Enfin, la d.d.p devient inférieure de quelques millivolts au potentiels de repos (portion DE) : c'est la phase d'**hyperpolarisation**.
- Puis retour au potentiel de repos (au point E).

Le potentiel d'action monophasique peut être précédé d'un potentiel local et suivi par une hyperpolarisation.

Si le potentiel local atteint le seuil critique (-50mv), on observe une intensité qui augmente brusquement (Dépolarisation), pour ensuite redescendre (Repolarisation) jusqu'à une valeur inférieure au potentiel de repos (Hyperpolarisation), puis se restabilise : le PA.



Activité 14 :

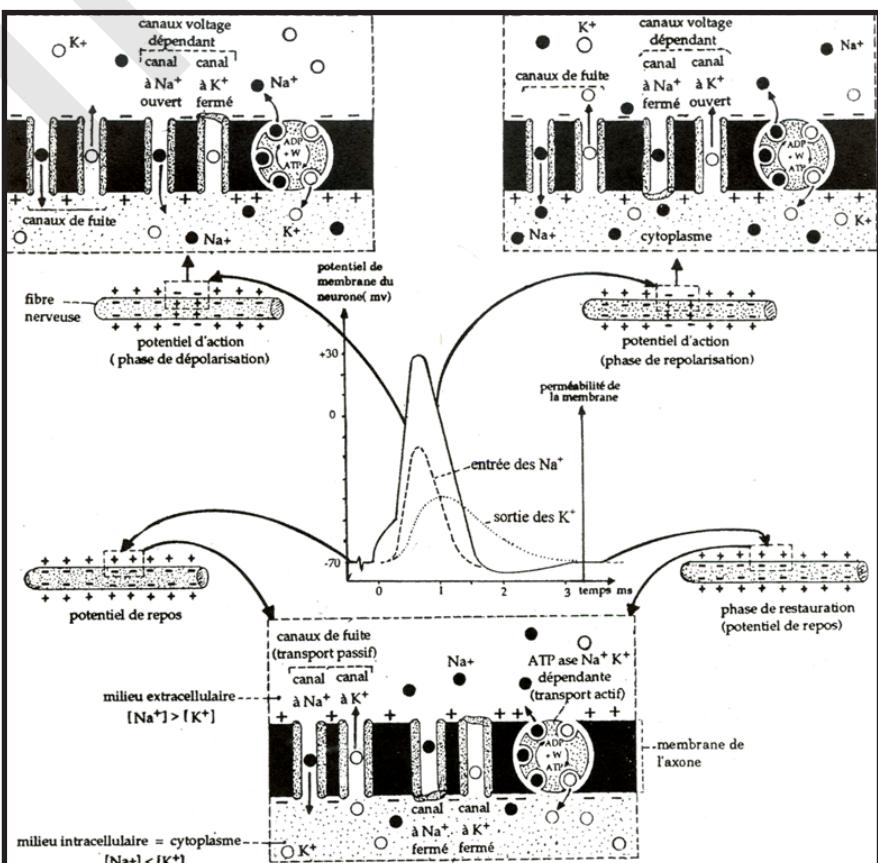
Comment expliquer l'origine chimique du potentiel d'action ?

La figure ci-dessous met en évidence la relation existante entre le potentiel d'action et les modifications locales de la perméabilité membranaire aux ions Na^+ .

Ces mouvements d'ions font intervenir **deux nouvelles catégories de « protéines-canaux »** qui sont les **« canaux spécifiques à Na^+ ou à K^+ »**.

Analyser cette figure puis conclure.

Contrairement aux canaux de fuite du K^+ et du Na^+ qui sont ouverts en permanence, les canaux responsables du potentiel d'action sont fermés au repos. Leur ouverture (ou leur fermeture) dépend de la polarisation membranaire : on dit que ces **canaux** sont **voltage-dépendants**.



L'ouverture ou la fermeture de ces canaux est très rapide (moins d'une milliseconde) et c'est un système « tout ou rien », ce qui signifie qu'un canal ne peut pas être « moyennement ouvert » : il est ouvert ou fermé. On comprend ainsi que la diffusion d'un ion sera d'autant plus importante que le nombre de canaux spécifiques ouverts sera lui-même plus important.

Le potentiel d'action est dû à une modification passagère de la perméabilité de la membrane expliquée comme suit :

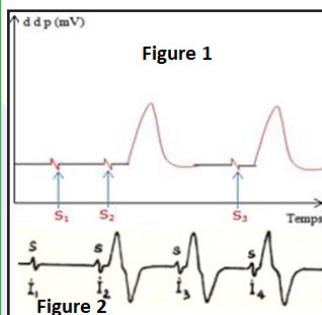
- La phase ascendante du potentiel d'action (phase de dépolarisation) est due à l'ouverture de canaux Na^+ voltage-dépendants, ce qui entraîne une entrée brutale de Na^+ dans la cellule.
- La phase descendante du PA (phase de repolarisation) est due à l'inactivation des canaux à Na^+ qui se ferment bien que la membrane reste dépolarisée (ils s'inactivent) ce qui induit, avec un certain délai, l'ouverture de canaux K^+ voltage-dépendants suivie d'une sortie massive de K^+ .
- Dans la plupart des cellules nerveuses, le PA est suivi d'une phase d'hyperpolarisation transitoire ou post-hyperpolarisation. Cette hyperpolarisation apparaît car, contrairement aux canaux Na^+ , les canaux K^+ ne s'inactivent pas (du moins dans cette échelle de temps) et ce courant sortant potassique hyperpolarise légèrement la membrane.

Le nombre de canaux K^+ ouverts diminue progressivement et le potentiel de membrane revient à son niveau initial.

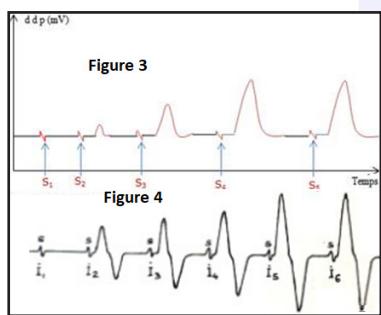
Activité 15 :

Connaitre les caractéristiques du potentiel.

On applique des stimuli successifs d'intensités croissantes par l'intermédiaire d'électrodes excitatrices



sur une fibre nerveuse isolée puis sur un nerf. Les électrodes réceptrices renvoient sur l'écran de l'oscilloscope la réponse de la fibre (voir figures 1 et 2 ci-dessous) et du nerf (voir figures 3 et 4 ci-contre). On groupe sur un tracé unique les différentes réponses afin de les comparer.



Analyser les figures afin de dégager les principales caractéristiques du potentiel d'action.

Analyse :

- Cas de la fibre : Au-dessous du seuil, il ne se passe rien, au-dessus du seuil, on a d'emblée un potentiel maximum.
- Cas du nerf : On constate qu'en dessous du seuil, il n'y a pas de réponse. Ensuite, en augmentant l'intensité, on obtient des réponses du nerf de plus en plus importantes. A partir d'une certaine intensité, l'importance de la réponse ne varie plus quelle que soit l'intensité.

Si l'intensité de l'excitation est inférieure au seuil, l'oscilloscope n'enregistre que l'artefact de stimulation. Toutefois, si l'électrode réceptrice est située très près du point excité, l'appareil enregistre un potentiel très faible dont l'amplitude croît avec l'intensité du courant, mais ce potentiel, qualifié de local, s'éteint à quelques millimètres de là. Si le seuil est atteint, le potentiel local atteint la valeur critique qui entraîne une inversion brutale du potentiel de membrane : c'est le potentiel d'action qui se propage avec une amplitude constante le long de la fibre. La fibre, passive jusque-là, est devenue active. Un potentiel local suffisant constitue donc le déclic qui assure la stimulation efficace de la fibre. Notons toutefois que la valeur du seuil dépend du type auquel appartient la fibre. Dans certains cas, deux excitations successives, légèrement inférieures au seuil, donnent un potentiel d'action : on dit alors qu'il y a eu **sommation des excitations**.

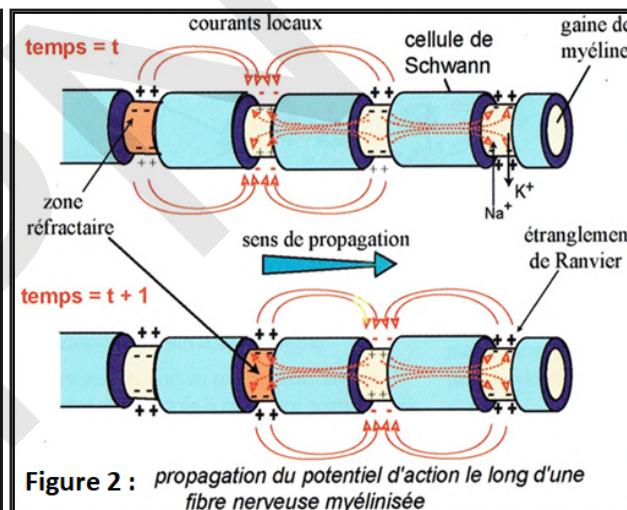
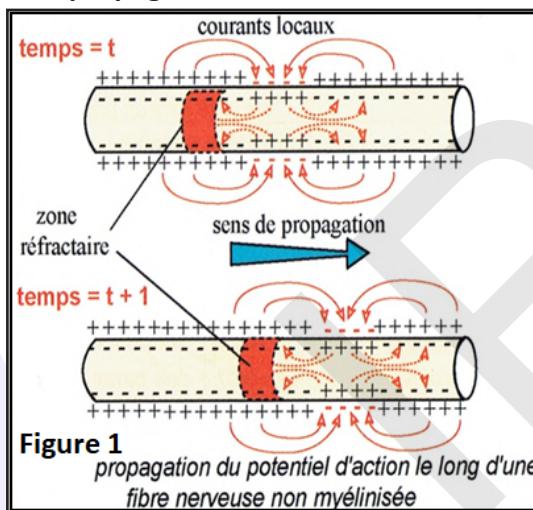
Si le seuil est dépassé, deux cas doivent être considérés :

- S'il s'agit d'une fibre isolée, l'amplitude du potentiel d'action est d'emblée maximale et demeure constante car la fibre isolée obéit à **la loi du tout ou rien** ;
- S'il s'agit d'un nerf, l'amplitude augmente avec l'intensité des excitations. Ceci est dû à ce que le nombre de fibres excitées va en croissant. Un courant plus intense permet de stimuler les fibres à seuil plus élevé ainsi que celles qui ne sont pas en contact direct avec l'électrode stimulatrice. Naturellement, l'amplitude du potentiel d'action cesse de s'accroître dès que la totalité des fibres sont stimulées : c'est la **loi de recrutement**.

Si l'on applique à une fibre deux stimulations successives espacées de 10 ms au moins, on obtient deux réponses identiques ; mais si l'on réduit progressivement cet intervalle, on constate que la seconde s'affaiblit (**période réfractaire relative**), puis disparaît complètement (**période réfractaire absolue**). Ainsi, après chaque excitation, la fibre devient inexcitable pendant un temps très court et ne retrouve son excitabilité normale que progressivement. La durée de la période réfractaire est sensiblement égale à celle du potentiel d'action, ce qui revient à dire qu'un nouveau potentiel ne peut apparaître que lorsque le précédent est éloigné. Dans les stimulateurs électroniques, le choc d'ouverture intervient moins de 0,5 ms après le choc de fermeture. Il tombe donc pendant la période réfractaire et ne produit aucun effet.

Activité 16 :

Etude de la propagation de l'influx nerveux.



Analyser les figures du document afin d'expliquer la propagation de l'influx nerveux.

On place des électrodes excitatrices sur une fibre isolée. Ces électrodes réceptrices sont reliées à un oscilloscopie cathodique. Après excitation, on recueille un potentiel d'action sur l'écran. La propagation de l'influx nerveux se fait ainsi (document) :

* Cas des fibres nerveuses sans myéline (Figure 1) :

La zone ponctuellement dépolarisée par la stimulation efficace produit, de part et d'autre du point, des **courants locaux** responsables de l'excitation des zones adjacentes.

Cette auto-excitation se propage ainsi de proche en proche à partir du point excité, sans qu'il n'y ait jamais possibilité de retour sur la zone qui vient d'être stimulée : on parle de **conduction continue** ou de **proche en proche**. En effet, la période réfractaire dure trois millisecondes et l'établissement d'un courant pouvant stimuler à nouveau la zone qui vient d'être excitée n'existe que pendant un temps beaucoup plus court.

* Cas des fibres nerveuses à myéline (Figure 2) :

La gaine de myéline qui entoure le cylindraxe joue le rôle d'un isolant électrique. A partir d'un point excité, ce ne sont pas les deux zones immédiatement adjacentes qui seront stimulées, mais les deux étranglements de Ranvier les plus proches, c'est-à-dire les deux portions de cytoplasme en contact avec

l'environnement aqueux conducteur. La dépolarisation ne peut se déplacer que de nœud de Ranvier en nœud de Ranvier (seules régions où l'axone est à nu) : on parle de **conduction saltatoire** ; ce qui permet au potentiel d'action d'avancer plus rapidement. Il y a économie d'énergie et de temps. C'est au niveau des fibres à myéline que la vitesse de conduction de l'influx nerveux est donc la plus grande. En effet, plus la myéline est épaisse, plus les nœuds de Ranvier sont éloignés les uns des autres. Il existe ainsi une corrélation entre diamètre et vitesse de conduction.

Activité 17 :

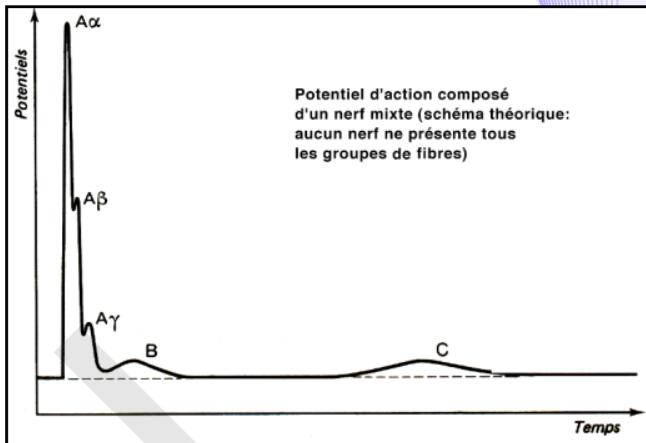
Connaitre les particularités du potentiel complexe.

On enregistre le PA du nerf loin du point de stimulation avec des électrodes distantes l'une de l'autre de quelques centimètres.

En lésant sous la seconde électrode, le PA du nerf devient monophasique (Figure ci-contre).

Cela sert pour enregistrer les PA de nerf complexes dans lesquels les axones forment plusieurs populations selon leur diamètre et donc leur vitesse de conduction.

Interpréter la figure afin de dégager les principales caractéristiques du potentiel complexe.



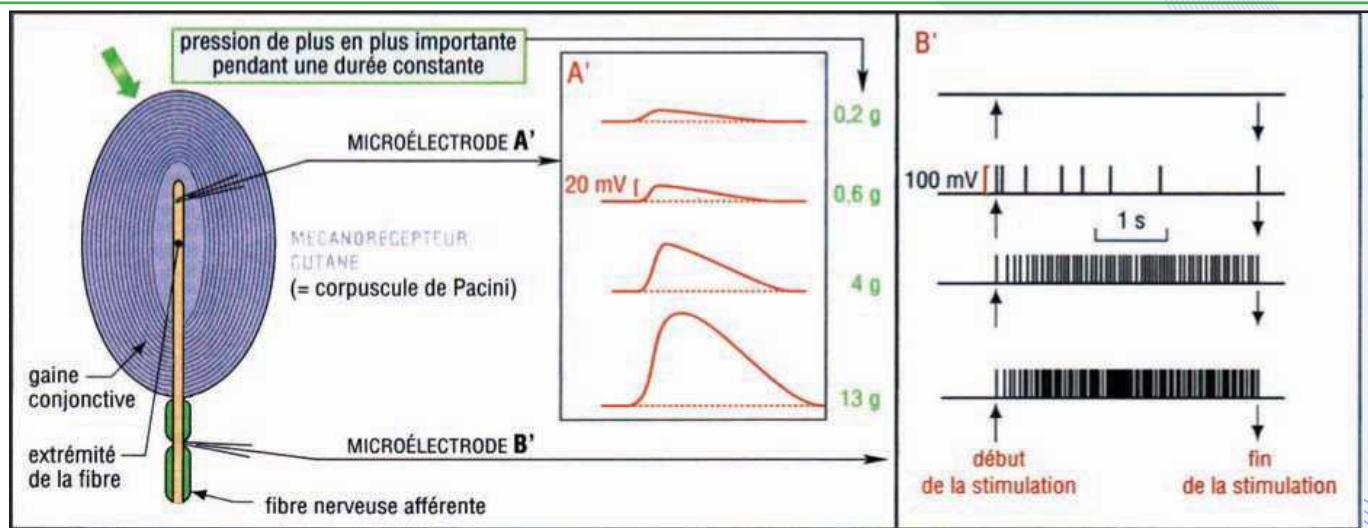
Si l'on augmente la distance qui sépare les électrodes stimulatrices et réceptrices et si l'on applique au nerf des stimulations suffisamment intenses, on constate que la courbe obtenue présente plusieurs sommets de plus en plus espacés. Le nerf, nous l'avons vu, est formé de fibres qui diffèrent par leur excitabilité. Cette expérience montre que des différences analogues affectent leur vitesse de conduction. Par rapport à un potentiel d'action classique, celui-ci présente plusieurs dépolarisations successives – d'où sa qualification de complexe – au lieu d'une seule. Cela est dû au fait que le nerf étant constitué de plusieurs fibres nerveuses, on enregistre l'activité de ces différentes fibres et non un potentiel d'action unitaire. Par conséquent, si toutes les fibres du nerf ne conduisent pas à la même vitesse, elles ne se dépolarisent pas en même temps et l'on enregistrera autant de pics de dépolarisation qu'il y aura de catégories de fibres nerveuses à l'intérieur du nerf. Le potentiel de lésion permet d'enregistrer des nerfs composés de plusieurs populations de fibres. Plus on s'éloigne du point de stimulation, plus le PA présente de pics successifs qui correspondent aux catégories d'axones qui le composent. Le pic initial correspond aux axones de gros diamètre, les plus rapides, le dernier aux axones fins, les plus lents. Connaissant la longueur du nerf et les latences respectives des divers pics, il est possible de calculer la vitesse de conduction de chacune des sous populations. Lorsque l'intensité augmente, le PA du nerf croît en amplitude jusqu'à un maximum de 20 à 25 mV : C'est un processus de recrutement qui signifie que le nombre d'axones touchés par la stimulation est de plus en plus grand : **loi de recrutement**. L'amplitude sera maximale quand toutes les fibres composant le nerf sont stimulées.

Activité 18 :

Connaitre les particularités du potentiel de récepteur.

Le récepteur est une cellule nerveuse capable d'être excitée par plusieurs types de stimulus.

Le **stimulus spécifique** est de nature physique (pression, lumière, température, etc.) ou chimique (taux de glucose sanguin, pH, molécule aromatique, etc.) qui nécessite le minimum d'énergie pour exciter le récepteur (Voir la figure ci-dessous).



Analyser le document afin de dégager les principales caractéristiques du potentiel de récepteur.

Le stimulus agit sur une structure spécialisée, le **site transducteur** où il est traduit en message nerveux : c'est la **transduction**. Il s'y crée une variation de potentiel membranaire (dépolarisation) dont le décours et l'amplitude sont fonction de l'intensité du stimulus. Ce potentiel de récepteur (PR) au niveau du site transducteur produit une dépolarisation secondaire en un site membranaire plus ou moins éloigné du site transducteur (1^{er} nœud de Ranvier) : le **site génératriceur** (G).

Cette dépolarisation secondaire ou potentiel génératriceur (PG) peut cette fois générer des potentiels d'action (canaux Na⁺/K⁺-dépendants) dès lors qu'elle atteint un seuil critique.

Les potentiels de récepteur (PR) et génératriceur (PG) sont des variations lentes du potentiel de membrane, locales, graduables (en fonction de l'intensité du stimulus) et sommables (en réponse à deux stimulus successifs). Ils présentent en général, une décroissance à partir d'une amplitude maximale de départ : ce décours rend compte de l'adaptation du récepteur.

Au niveau du récepteur, toutefois, la perception du stimulus ne se traduit pas de manière immédiate par la génération de ce train de PA : La première réponse d'un récepteur est la génération d'un **potentiel de récepteur (PR)**. A ce niveau, une différence fondamentale est le fait que ce potentiel de récepteur peut présenter une amplitude plus ou moins importante, fonction de l'intensité du stimulus.

Le message, au niveau du PR, est donc **codé en intensité**. Il y a donc traduction du potentiel de récepteur en un train de potentiels d'action, transmis ensuite jusqu'au système nerveux central. La fréquence de PA émis correspond (en général de manière linéaire) à l'intensité du PR généré par le stimulus.

Plus l'intensité de la stimulation est importante, plus la fréquence des potentiels d'actions est élevée. Dans une fibre nerveuse, le message nerveux est **codé en modulation de fréquence de potentiels d'action**.

En d'autres termes, plus le stimulus est intense, plus le potentiel récepteur est grand et plus le nombre de récepteurs stimulés augmente. Plus le potentiel récepteur augmente, plus la fréquence des PA augmente. L'organisme peut ainsi faire la différence entre un coup et un contact délicat par exemple.

L'amplitude du PR décroît avec la distance : il est à **décrément spatial**.

La comparaison du potentiel local et du potentiel d'action est montrée par le tableau suivant :

Nom du tracé	Potentiel exciteur	Potentiel d'action
Caractéristiques	non propageable	propageable
	n'exige pas un seuil	exige un seuil
	graduable en amplitude	non graduable
	sommable	non sommable

Il existe une relation simple, le plus souvent linéaire, entre l'amplitude du potentiel génératrice (PG) et la fréquence des potentiels d'action. Le potentiel de récepteur (PR) correspond à une modification de la conductance membranaire, avec transit ionique (Na^+ , K^+ , Cl^- ou Ca^{2+}), dont le mécanisme reste le plus souvent très mal connu. Dans un certain nombre de sites récepteurs, le site transducteur et le site génératrice sont situés dans la même cellule. Dans un tel système transducteur-génératrice à une seule cellule, les cellules non nerveuses de l'entourage peuvent jouer sur les propriétés de transduction du système (corpuscules de Pacini dont les enveloppes jouent le rôle de filtre passe haut (fibres du fuseau neuromusculaire dont la contraction règle la sensibilité du système). Dans un certain nombre d'autres récepteurs, le site transducteur et le site génératrice sont situés sur des cellules différentes. Le site transducteur se trouve alors sur une cellule spécialisée (cellules épithéliales ciliées des récepteurs vestibulaires), qui s'articule avec une terminaison du neurone sensoriel primaire de la voie afférente, où s'effectuera la genèse des potentiels d'action. Dans le cas de la rétine, le site génératrice est même à deux synapses du site transducteur.

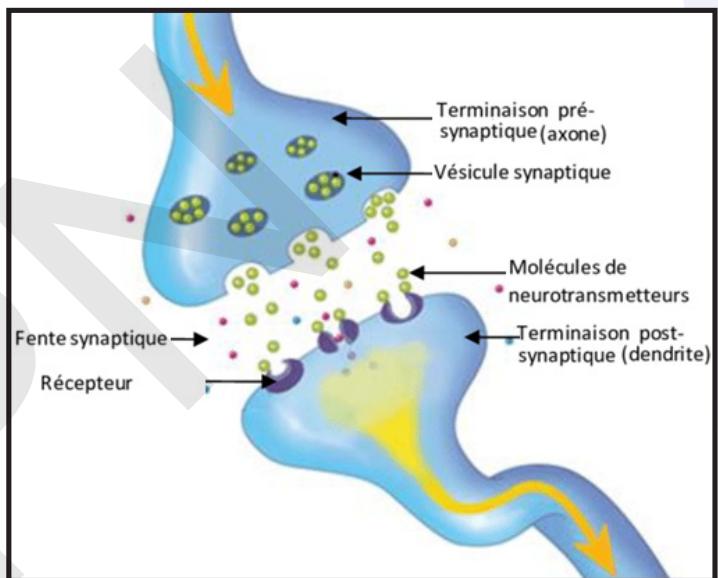
IV- Les synapses

Activité 19 :

Etude de la structure des synapses chimiques.

Observations :

1. Au microscope photonique, on voit dans les centres nerveux de nombreuses fibres qui se terminent par un renflement et qui s'appuient soit sur d'autres fibres, soit sur un corps cellulaire : les renflements sont les boutons synaptiques. Chacun d'eux représente un lien entre deux neurones différents.
2. Au microscope électronique au niveau du bouton synaptique, on voit que les deux neurones sont séparés par un intervalle de 20 nm. D'autre part, on constate que la synapse n'est pas symétrique : l'un des éléments comporte des vésicules, l'autre non (Figure ci-contre).
3. La vitesse de propagation de l'influx nerveux semble plus faible quand elle est calculée sur un trajet qui comporte un centre nerveux ou un ganglion que lorsqu'elle est calculée sur le trajet d'un nerf. L'influx semble perdre du temps quelque part.



Or un centre nerveux comporte des relais entre neurones les synapses. Il semble donc que ces structures retardent la propagation de l'influx nerveux. Le temps ainsi perdu au niveau de chaque synapse s'appelle le délai synaptique. Il est de l'ordre de 0,5 ms mais peut atteindre 1 ou 2ms.

A partir de l'analyse de ces observations, dégager la structure et les différents types de synapses.

Les neurones sont des cellules indépendantes et communiquent entre elles au niveau de régions particulières dénommées synapses.

Le terme, emprunté au grec sunapsis (= point de jonction), fut proposé dès 1897 par le neurophysiologiste britannique Sir Charles Scott Sherrington (1857-1952) qui partagea par ailleurs le prix Nobel de physiologie et de médecine avec son compatriote Edgar Adrian (1899-1977) pour leurs travaux sur la physiologie du système nerveux et le fonctionnement du neurone en 1932.

Le terme de synapse, proposé par Sherrington (1897), désignait au départ les zones de contact entre neurones, zones de contact spécialisées dans la transmission



de l'information. Mais les synapses ne sont pas uniquement interneuronales ; elles lient également les cellules réceptrices aux neurones et les neurones aux cellules effectrices (jonction neuromusculaire). C'est au niveau de ces synapses que s'effectue la transmission de l'information d'une cellule à une autre : la transmission synaptique.

Toutes les synapses interneuronales (on dit également neuroneuriques) présentent invariablement la même organisation de base :

- un élément présynaptique appartenant à un premier neurone. L'élément présynaptique se caractérise par la présence de vésicules synaptiques (organites de stockage du neurotransmetteur) et de nombreuses mitochondries. Parfois, on distingue sous la membrane présynaptique une zone dense aux électrons plus ou moins géométrique : la grille synaptique. Cette grille synaptique correspond à une organisation particulière du cytosquelette liée à l'exocytose des vésicules synaptiques.

- une fente synaptique séparant les deux neurones,

- un élément post-synaptique appartenant à un deuxième neurone. L'élément post-synaptique se caractérise, dans le cas d'une synapse interneuronale, par la présence d'une région sous-membranaire, dense aux électrons, qui reflète une organisation particulière du cytosquelette liée à l'ancre des récepteurs postsynaptiques dans cette région.

Toutefois, en fonction de critères morphologiques et fonctionnels, on est amené à opérer plusieurs distinctions :

■ Synapses neuroneuriques :

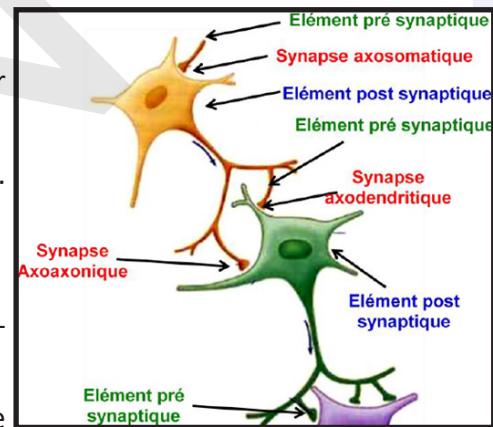
Un neurone peut avoir de 1 000 à 10 000 synapses et peut recevoir l'information de 1 000 autres neurones.

Un neurone est rarement isolé : il fait partie de chaînes neuroniques.

Trois cas principaux peuvent se présenter :

L'arborisation terminale d'un neurone A peut rencontrer :

- ✓ les dendrites d'un neurone B et la synapse est dite axo-dendritique ;
- ✓ le corps cellulaire (ou soma) d'un neurone et la synapse est dite axo-somatique ;
- ✓ l'axone d'un neurone B et la synapse est dite axo-axonique.

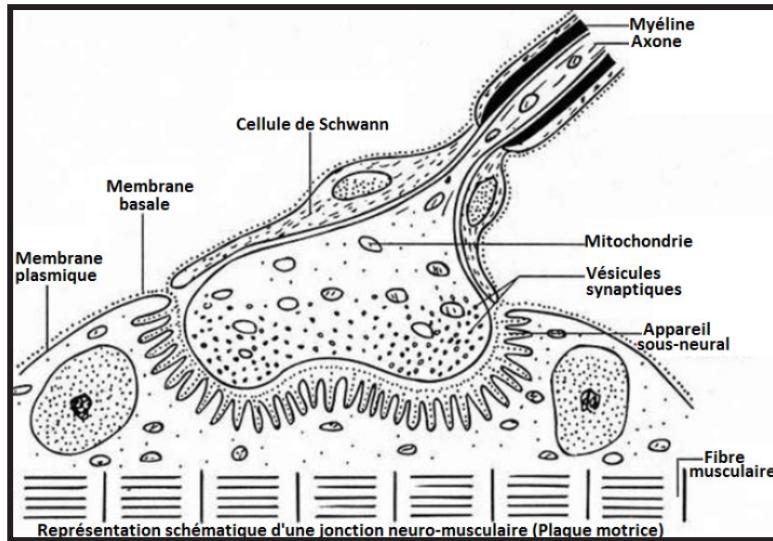


■ Synapse neurone – musculaire :

Un muscle se contracte sous l'action d'une commande nerveuse. Anatomiquement, il y a une relation nerf-muscle. Chaque fibre nerveuse motrice se ramifie à son extrémité et commande ainsi tout un groupe de fibres musculaires représentant une unité motrice. La ramifications ultime qui rejoint une seule fibre musculaire établit avec elle une relation de type synapse appelée plaque motrice.

■ Synapse neurone- glandulaire :

L'influx nerveux peut aussi être transmis à des glandes. Cette fois, l'excitation ne provoque pas une contraction comme dans le cas du muscle mais une sécrétion, activité spécifique de ces cellules.



Activité 20 :

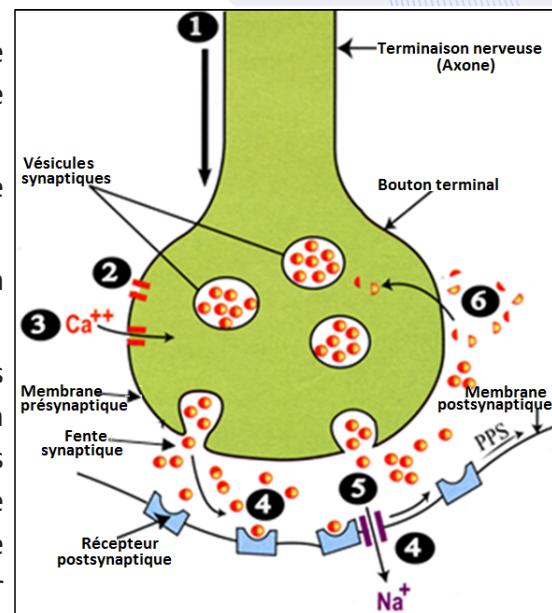
Comment fonctionne une synapse neuroneuronne ?

L'influx nerveux ne peut se propager d'un neurone à l'autre qu'en libérant des neurotransmetteurs au niveau de la synapse (synapse chimique).

Le document ci-dessous résume le fonctionnement d'une synapse.

Observer le document ci-dessus et préciser les étapes de la transmission synaptique.

Le neurotransmetteur est stocké dans les vésicules synaptiques de l'élément présynaptique. L'arrivée des potentiels d'action [1] dans l'élément présynaptique entraîne l'ouverture des canaux voltage-dépendants de Ca^{++} (CVD Ca^{++}) [2] puis entrée du Ca^{2+} dans la terminaison présynaptique [3] et la fusion d'une vésicule avec la membrane plasmique. La vésicule libère par exocytose le neurotransmetteur dans la fente synaptique.



On appelle zone active l'ensemble formé par les vésicules présynaptiques et la membrane axonale présynaptique où s'effectue l'exocytose. Les molécules de neurotransmetteur ainsi libérées peuvent aller se fixer sur la membrane post-synaptique au niveau des récepteurs qui lui sont spécifiques [4]. Cette fixation entraîne un passage d'ions à travers la membrane post-synaptique par ouverture des canaux chimio-dépendants (CCD) [5] dans la cellule post-synaptique et la naissance d'un **potentiel post-synaptique (PPS)** : C'est la **transmission synaptique**.

Dans le même temps, les molécules de neurotransmetteur présentes dans la fente synaptique sont recapées par la membrane présynaptique [6] et la membrane elle-même est recyclée.

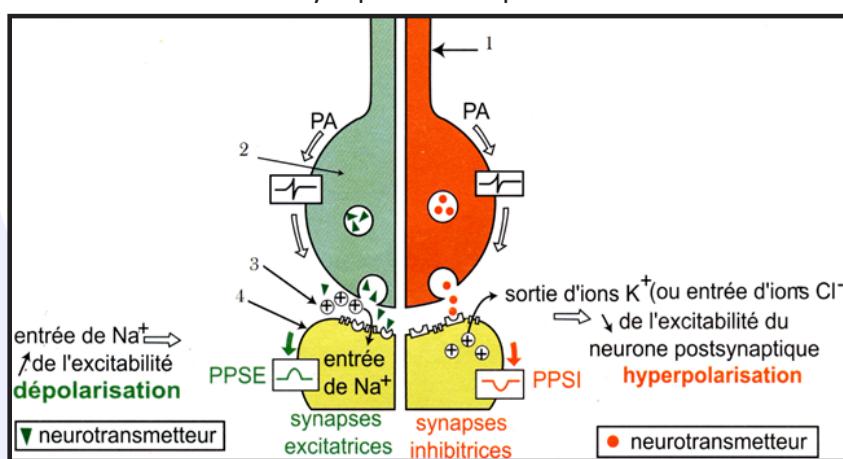
NB. Il reste ensuite à inactiver le neurotransmetteur pour éviter que la dépolarisation (ou l'hyperpolarisation) qu'il a provoquée en se combinant avec les récepteurs post-synaptiques ne se prolonge et empêche la synapse de fonctionner normalement. Selon le type de neurotransmetteur, deux mécanismes sont responsables de cette inactivation :

- soit il est dégradé par une enzyme spécifique dans la fente synaptique ;
- soit il est capté (cas le plus courant) par la terminaison présynaptique et peut ainsi être réutilisé.

Activité 21 :

Quels types de synapses peut-on rencontrer ?

Le document suivant illustre la nature des synapses chimiques.



Grâce à une comparaison subtile, dégager les 2 types de synapses et leurs particularités.

Sur un même neurone, il existe des synapses qui permettent le passage des messages nerveux (synapses excitatrices) et d'autres qui s'opposent (synapses inhibitrices). Selon le type de synapse considéré, la combinaison neurotransmetteur-récepteur se traduit par une dépolarisation ou une hyperpolarisation de la membrane post-synaptique.

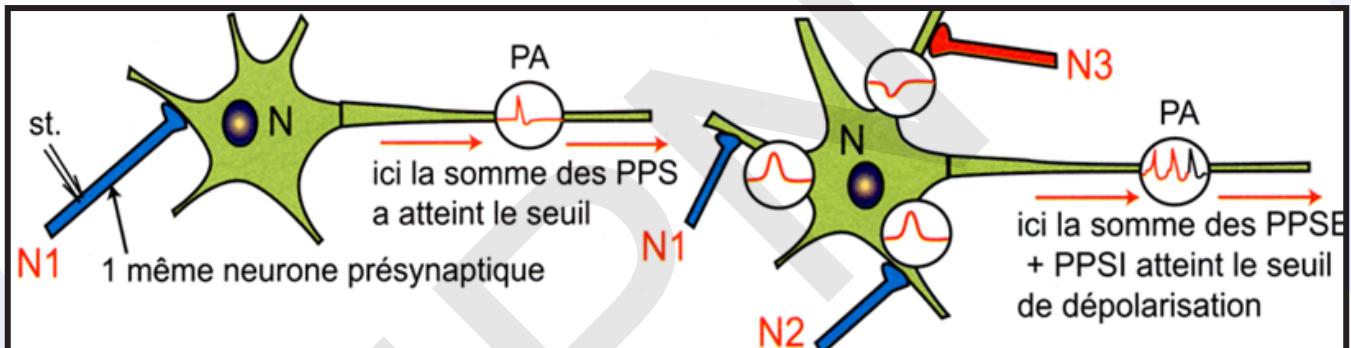
Dans le cas d'une **synapse excitatrice**, le neurotransmetteur (acétylcholine) ouvre les CCD au sodium (ou au calcium) et permet la rentrée de Na^+ . Il s'ensuit une augmentation de cations intracellulaires ce qui a pour effet de provoquer une dépolarisation locale qu'on qualifie de **potentiel post-synaptique excitateur (PPSE)**.

Dans le cas d'une **synapse inhibitrice**, le neurotransmetteur (GABA) ouvre les CCD au chlore (ou au potassium) et permet la rentrée de Cl^- (et la sortie de K^+) ; ce qui a pour effet de provoquer une hyperpolarisation locale (par entrée de chlore ou sortie de potassium) qu'on qualifie de **potentiel post-synaptique inhibiteur (PPSI)**.

Activité 22 :

Quel rôle peut jouer le neurone postsynaptique en cas d'application de plusieurs excitations ?

Un neurone post-synaptique M reçoit simultanément plusieurs PPS provenant de plusieurs terminaisons présynaptiques (excitatrices et inhibitrices).



Analyser le document précédent afin de dégager la propriété du neurone postsynaptique mise en évidence.

Au niveau du neurone postsynaptique, les différentes variations du potentiel de membrane engendrées par différentes synapses au niveau du même neurone vont être additionnées : donnant un potentiel global, qui traduit deux phénomènes de **sommation** :

- **sommation temporelle** (même neurone avec 2 stimulations suffisamment rapprochées) : les signaux parviennent à la même cellule à différents moments. Les potentiels s'additionnent en raison de l'ouverture d'un plus grand nombre de canaux ioniques et, par conséquent, d'un flux plus important d'ions positifs vers la cellule.
- **sommation spatiale** (deux stimulations de 2 synapses différentes pour une même cellule à deux endroits différents) : idem précédemment.

L'interaction de plusieurs PPSE par l'intermédiaire de la sommation temporelle et de la sommation spatiale peut augmenter le flux des ions positifs vers l'intérieur de la cellule et amener la membrane jusqu'au seuil afin qu'un potentiel d'action puisse être engendré.

On retrouve un codage en fréquence : la fréquence des PA augmente avec l'amplitude globale au niveau du cône axonique.

Si un même neurone (un motoneurone) en contact avec de très nombreux autres neurones par des synapses, reçoit à la fois des messages nerveux différents générateurs de PPSE et de PPSI, il en résulte au niveau du cône axonique (= cône d'implantation = cône d'émergence = segment initial) un PPS global (PPSG) correspondant à la somme algébrique des PPSE et des PPSI reçus. Cette somme peut-être :

- ✓ une dépolarisation inférieure au seuil ou une hyperpolarisation => pas de PA ;
- ✓ une dépolarisation supérieure au seuil => naissance d'un PA.

Le neurone postsynaptique réalise l'**intégration** des messages reçus.

Activité 23 :

Comment fonctionne une synapse neuromusculaire ?

La figure suivante donne les étapes de transmission d'un message nerveux d'un neurone à une fibre musculaire.

Donner la succession des étapes de la transmission synaptique dans le cas d'une jonction neuromusculaires évoquant les différences avec une jonction neuroneurale.

- Le fonctionnement d'une synapse neuromusculaire :

Les étapes de la transmission du message nerveux à travers la plaque motrice sont :

1 : L'arrivée de l'influx nerveux à la terminaison nerveuse entraîne l'entrée du Ca^{2+} par ouverture des CVD Ca^{2+} .

2 : La fusion des vésicules avec la membrane présynaptique libère l'acétylcholine dans la fente synaptique.

3 : Les molécules d'acétylcholine libérées vont se fixer sur la membrane post-synaptique (de la cellule musculaire) au niveau des récepteurs de l'acétylcholine.

4 : Cette fixation entraîne un passage d'ions Na^+ à travers la membrane de la fibre musculaire grâce à l'ouverture des CCD Na^+ , qui aboutit à la naissance d'un PPSE.

5 : La contraction de la fibre musculaire

6 : Dans le même temps, les molécules d'acétylcholine présentes dans la fente synaptique sont soit recapées par la membrane présynaptique, soit détruites par l'acétylcholinestérase.

La machinerie de la transmission synaptique est alors prête à un nouveau cycle de transmission synaptique.

- Particularités de la plaque motrice :

*Particularités structurales : présence des replis (appareil sous neural) dans la membrane postsynaptique ; cellule postsynaptique = fibre nerveuse.

*Particularités fonctionnelles : toujours excitatrice (présence des canaux ioniques voltages dépendants dans la membrane postsynaptique) ; 1 seul neurotransmetteur excitateur = l'acétylcholine.

V – Réflexe inné

Activité 24 :

Qu'est-ce qu'un réflexe inné et quelles sont ses caractéristiques ?

Expérience : Les expériences effectuées sur des grenouilles décérébrées (ou grenouilles spinales) permettent de comprendre le mécanisme des mouvements réflexes. La grenouille étant suspendue à un support, on stimule la peau de la patte postérieure gauche avec une pince, un courant faible ou quelques gouttes d'acide acétique dilué. On observe une flexion de la patte stimulée.

Déduire de cette expérience la définition d'un réflexe et citer ses principales caractéristiques.

Cette flexion de la patte est un acte réflexe. Il se manifeste de la même façon chez tous les individus de la même espèce : le réflexe est **spécifique** et **stéréotypé**.

Il préexiste à tout apprentissage et fait partie du patrimoine héréditaire : le réflexe est **inné** contrairement aux réflexes acquis au cours de l'existence. Un réflexe simple est un phénomène physiologique **involontaire** déclenché par la stimulation d'un récepteur qui entraîne la réponse d'un effecteur et met en jeu une partie du système nerveux central. La même excitation entraîne toujours la même réponse : c'est une réaction **automatique inéluctable** mais pouvant être modifiée par l'intervention des centres corticaux.

Activité 25 :

Quels sont les organes (ou structures) qui interviennent dans un réflexe ?

Pour mettre en évidence les éléments qui entrent en jeu au cours d'un réflexe, nous allons donc pouvoir opérer sur une grenouille spinale en considérant le cas du réflexe bilatéral obtenu en plongeant le pied droit dans une solution d'acide au 1/50.

Expérience N° 1 : Mise en évidence de l'intervention d'un organe récepteur (la peau) :

Trempons le pied droit de la grenouille dans l'éther pendant quelques minutes, puis plongeons-le dans la solution d'acide ; le réflexe ne se produit plus. Plongeons alors le pied gauche dans une solution d'acide au 1/50, la patte gauche et la patte droite se replient ; l'éther a seulement supprimé l'excitabilité des terminaisons nerveuses du pied droit ; on dit qu'il les a anesthésiées. Quelques instants plus tard, plongeons de nouveau le pied droit dans la solution d'acide ; on obtient une flexion de la patte droite et de la patte gauche. On peut en conclure que l'action de l'éther est temporaire.

Expérience N° 2 : Mise en évidence de l'intervention d'un conducteur (nerf sciatique) :

Incisions dorsalement la peau de la cuisse droite et, en écartant les muscles, dégageons le nerf sciatique sur 2 centimètres environ. Sectionnons alors le nerf, puis plongeons le pied droit dans la solution d'acide ; nous n'observons pas de réaction. Cependant si, au moyen de deux électrodes reliées aux bornes d'une pile de 4,5 volts, on excite le tronçon central du nerf sciatique, on observe un mouvement de la patte gauche. L'excitation étant assez forte on observe également un mouvement des pattes antérieures.

Plongeons maintenant le pied gauche dans la solution d'acide, nous observons la flexion de la patte gauche et un mouvement de la patte droite limité à une flexion de la cuisse, la jambe et le pied restant inertes. Par contre si on excite le tronçon périphérique du nerf sciatique on observe uniquement un mouvement de la jambe et du pied.

On coupe le nerf sciatique qui est le nerf de la patte. On stimule ensuite par pincement cette patte et aucune réaction n'est observée.

Expérience N° 3 : Mise en évidence de la nécessité d'un centre nerveux (moelle épinière): Détruisons maintenant la moelle épinière de la grenouille en introduisant une aiguille dans le canal rachidien, puis plongeons le pied gauche dans la solution d'acide ; les réactions observées précédemment ne se produisent plus.

Expérience N° 4 : Mise en évidence de la nécessité d'un effecteur (le gastrocnémien) :

Sur une autre grenouille encore spinale, on sectionne le muscle gastrocnémien de la patte gauche. La patte ainsi traitée ne réagit plus aux excitations.

Analyser ces expériences afin de déterminer les éléments intervenant dans un réflexe.

Expérience N° 1 : Cette expérience prouve qu'au départ d'un réflexe interviennent des terminaisons sensitives qui reçoivent l'excitation et la transforment en influx nerveux sensitif. Les récepteurs sensoriels mis en jeu dans la réalisation d'un acte réflexe sont dans la **peau**. La **peau** joue donc le rôle d'un **organe récepteur**.

L'anesthésie rend insensible les terminaisons nerveuses sensorielles de la peau. Une substance anesthésiante est donc une substance qui peut suspendre momentanément le fonctionnement d'un organe.

Expérience N° 2 : On constate que l'excitation de la peau n'a pas été conduite jusqu'à l'organe actif. On en conclut que le nerf sciatique conduit les influx nerveux sensitifs qui naissent dans les terminaisons nerveuses de la peau. Il conduit aussi les influx moteurs qui provoquent la contraction des muscles. Nous pouvons donc affirmer que la réalisation d'un réflexe fait intervenir un **conducteur sensitif** et un **conducteur moteur** et que le nerf sciatique, qui conduit à la fois des influx sensitifs et des influx moteurs, est un **nerf mixte**.

Le **nerf sciatique** est le **conducteur** de l'influx nerveux indispensable dans la réalisation d'un acte réflexe.

Expérience N° 3 : Malgré l'excitation de la peau et la conduction du message nerveux par le nerf sciatique, le résultat observé s'explique par l'absence du centre nerveux réflexe qui est la moelle épinière. On peut en conclure que la moelle épinière est un lieu où se fait le passage de l'influx sensitif à l'influx moteur ; un tel lieu est appelé **centre nerveux**.

Au niveau de la moelle épinière, tout se passe comme si l'influx nerveux sensitif, centripète, se réfléchissait vers les muscles sous forme d'un influx nerveux moteur, centrifuge, d'où le nom de réflexe donné à cette forme d'activité nerveuse.

Le **centre nerveux** de traitement du réflexe est donc la **moelle épinière**.

Expérience N° 4 : Le **muscle gastrocnémien** est donc l'**organe effecteur** indispensable à la réalisation de l'acte réflexe.

En résumé, on peut dire que dans l'accomplissement d'un réflexe, interviennent obligatoirement les éléments suivants :

- Un **organe récepteur**, ici les terminaisons nerveuses de la peau, qui reçoit l'excitation et engendre un influx nerveux sensitif ;
- Un **conducteur sensitif**, ici le nerf sciatique, qui conduit l'influx sensitif à la moelle épinière ;
- Un **centre nerveux**, la moelle épinière, où l'influx nerveux sensitif se transforme en influx nerveux moteur ;
- Un **conducteur moteur**, le nerf sciatique, qui conduit l'influx nerveux moteur aux organes effecteurs, ici les muscles ;
- Un (ou des) **organe(s) effecteur(s)**, les muscles, agents actifs de la réaction.

Activité 26 :

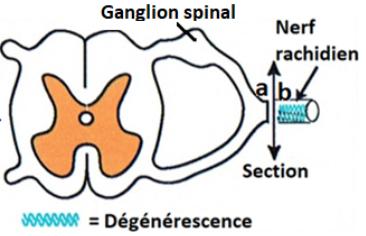
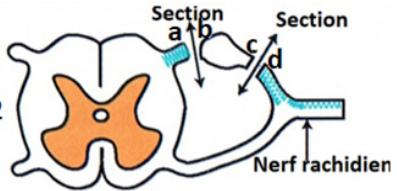
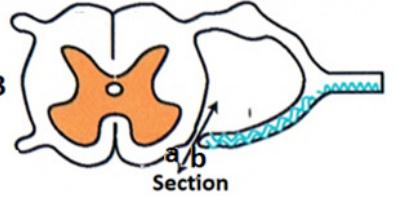
Quel est le trajet de l'influx nerveux dans un réflexe ?

Le nerf sciatique, comme les nerfs rachidiens dont il dérive, est un nerf mixte.

Trois séries d'expériences permettent de déterminer le rôle de ces deux racines :

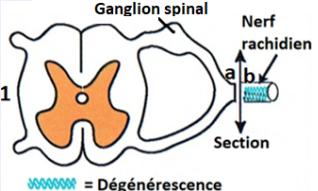
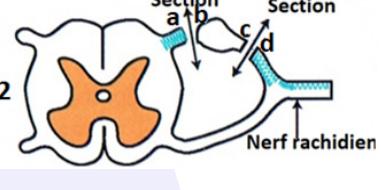
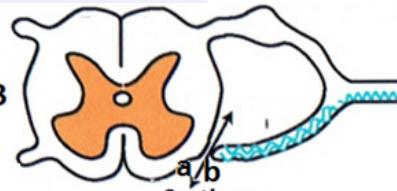
* **Expériences de section (Magendie, 1820)** : Opérant sur de jeunes chiens âgés de six semaines, Magendie met à nu la moitié postérieure de la moelle épinière. Pour cela, il sectionne tous les arcs vertébraux ainsi que la dure-mère sous-jacente. Sur un premier chien, il coupe les racines postérieures des nerfs lombaires et sacrés situés d'un même côté. Après une période d'apparente paralysie, due manifestement au choc opératoire, l'animal déplace presque normalement la patte située du côté opéré ; mais cette patte est devenue complètement et définitivement insensible aux piqûres et aux pressions les plus fortes. Sur un deuxième chien, il coupe les racines antérieures de ces mêmes nerfs et constate que la patte située du côté opéré est définitivement paralysée, alors que sa sensibilité ne semble pas être affectée.

* **Expériences d'excitation et de dégénérescence** : Par des expériences d'excitation (mécanique ou chimique), Magendie confirme les résultats obtenus au cours des expériences de section. Ces expériences ont été souvent refaites depuis par excitation électrique (voir tableau ci-dessous).

Expériences	Résultats	Conclusions
1 	<ul style="list-style-type: none"> Les fibres de la portion du nerf rachidien séparée du centre nerveux dégénèrent. Excitation liminaire du BC (a) : <ul style="list-style-type: none"> sensation de douleur Excitation du BP (b) : contraction des muscles correspondants.
2 	<ul style="list-style-type: none"> Les fibres situées de part et d'autre du ganglion spinal et celles situées dans la partie dorsale du nerf rachidien dégénèrent. Excitation liminaire du BC (a) : <ul style="list-style-type: none"> - mouvement du même côté - sensation de douleur Excitation du BP (b) : pas de réaction
3 	<ul style="list-style-type: none"> Les fibres de la racine antérieure du nerf rachidien dégénèrent ainsi que celles de sa partie ventrale. Excitation du BC de la racine ventrale (a) : pas de réaction Excitation du BP (b) : <ul style="list-style-type: none"> - contraction des muscles correspondants - pas de sensation de douleur

Compléter le tableau puis analyser les résultats pour dégager le trajet de l'influx nerveux.

Tableau complet :

Expériences	Conclusions
1 	<ul style="list-style-type: none"> Les fibres dégénérées appartiennent à des neurones dont les corps cellulaires sont du côté de la moelle (côté central).
2 	<ul style="list-style-type: none"> Les fibres dégénérées appartiennent à des neurones dont les corps cellulaires sont dans le ganglion spinal. Ces neurones sont des supports du message afférent. La contraction des muscles situés de l'autre côté prouve que la moelle conduit l'influx grâce à des neurones d'association, La racine dorsale est sensitive.
3 	<ul style="list-style-type: none"> Les fibres dégénérées appartiennent à des neurones dont les corps cellulaires sont dans la substance grise. Ces neurones sont des supports du message efférent. La racine ventrale du nerf rachidien est motrice ; elle conduit un influx moteur.

* Expériences de section (Magendie, 1820) : Magendie en conclut que les racines postérieures sont sensitives et que les racines antérieures sont motrices.

* Expériences d'excitation et de dégénérescence : L'excitation des racines postérieures ou, si ces racines

sont sectionnées, de leur bout central entraîne une manifestation de douleur. L'excitation des racines antérieures ou, si ces racines sont sectionnées, de leur bout périphérique, provoque des contractions violentes, convulsives, des muscles correspondants.

La section de la racine postérieure entraîne la dégénérescence des fibres sensitives : en deçà du ganglion spinal si la section est faite en deçà, au-delà du ganglion spinal si la section est faite au-delà. Ce dernier renferme donc des neurones sensitifs dont les dendrites sont reliées à la peau et dont les axones pénètrent dans la corne postérieure de la moelle. La section de la racine antérieure entraîne la dégénérescence des fibres motrices au-delà de la section.

Une dégénérescence analogue s'observe en cas de poliomylérite, alors que la corne antérieure de la moelle est détruite par le Virus.

La corne antérieure renferme donc des neurones moteurs dont les axones forment la racine antérieure des nerfs rachidiens. Ces résultats permettent de déterminer le trajet suivi par l'influx au cours d'un réflexe simple.

On appelle **arc réflexe** le trajet suivi par l'influx nerveux au cours d'un mouvement réflexe.

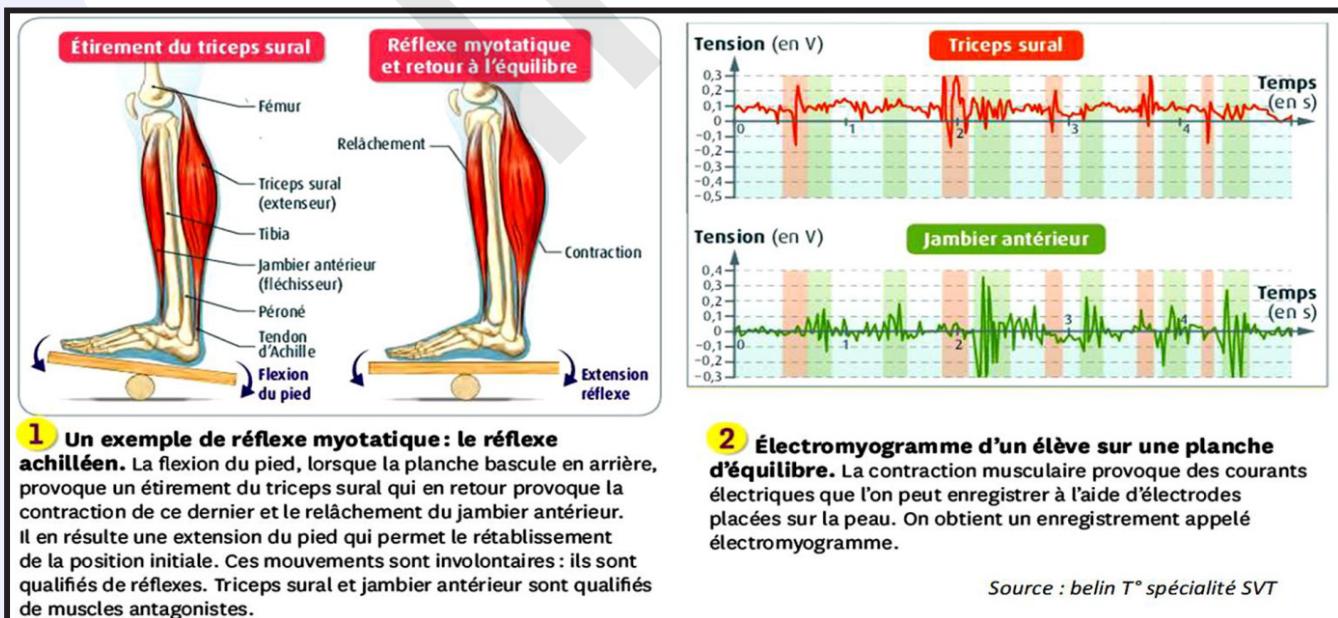
Ce trajet comporte deux neurones principaux formant un **arc réflexe** :

- Le premier est sensitif et centripète : c'est un neurone en T dont le corps cellulaire est situé dans le ganglion spinal ; son axone pénètre dans la moelle par la racine postérieure.
- Le second est moteur et centrifuge : c'est un neurone multipolaire dont le corps cellulaire est situé dans la corne antérieure ; son axone sort de la moelle par la racine antérieure.

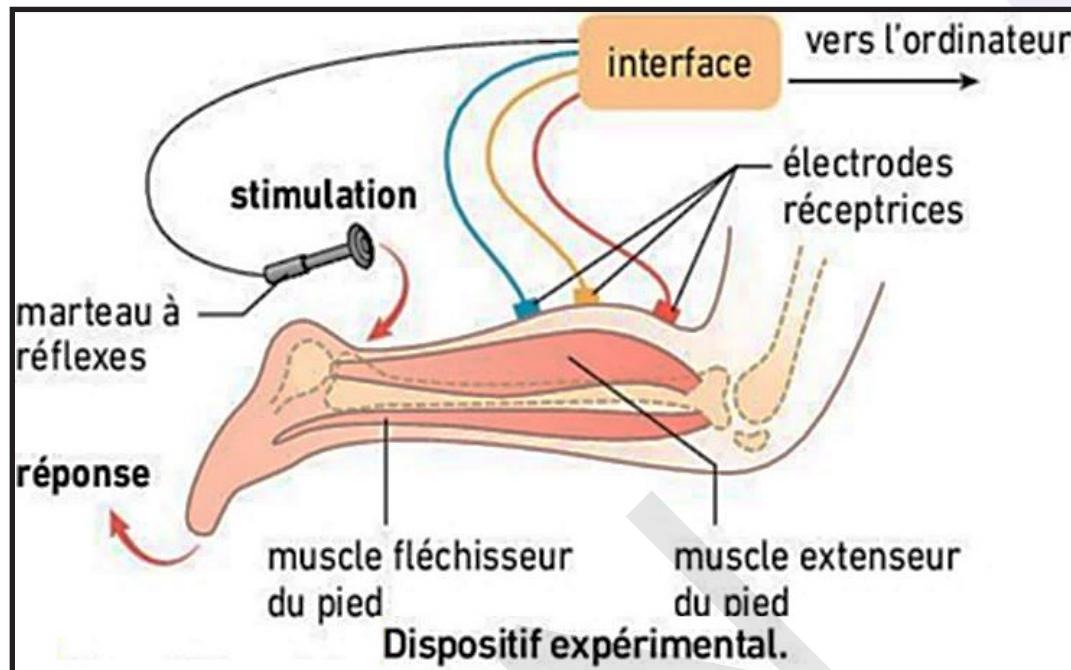
Activité 27 :

Quels type(s) de réflexe(s) intervient (nt) dans le maintien de notre équilibre ?

Document 1 : A tout moment certains de nos muscles provoquent des mouvements qui nous permettent de rester en équilibre. Ce sont ces mouvements involontaires que l'on définit comme des réflexes myotatiques. Les médecins testent ces mouvements pour vérifier l'intégrité du système nerveux.



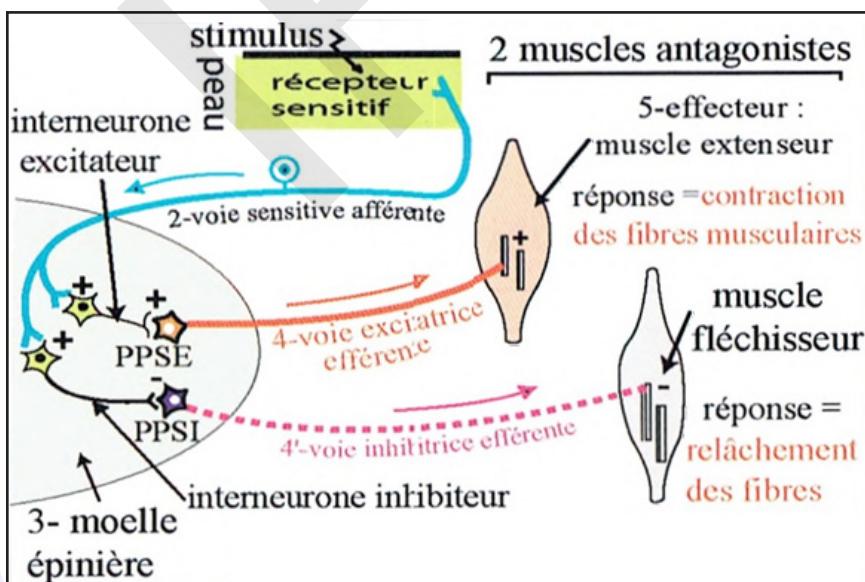
Document 2 : On utilise un dispositif ExAO : la contraction du muscle du mollet peut être enregistrée grâce à des électrodes. Car cette contraction engendre une légère variation de la tension électrique à la surface de la jambe. On obtient alors un électromyogramme. Le marteau à réflexe utilisé est synchronisé : c'est le choc appliqué qui déclenche l'enregistrement de la tension au niveau des électrodes.



Document 3 : Innervation réciproque.

Lors d'un réflexe d'étirement et pour qu'il y ait mouvement réflexe, les muscles antagonistes des muscles étirés qui se contractent doivent se relâcher.

Le principe d'innervation réciproque s'applique de manière à ce que la contraction du muscle concerné s'accompagne du relâchement de son antagoniste.



A partir de l'analyse des documents, montrer :

- comment se définit le réflexe myotatique.
- comment le système nerveux est-il impliqué dans sa réalisation.

Lorsque que l'on teste le réflexe achilléen, on porte un coup sur le tendon d'Achille en relation avec le muscle extenseur du pied. Cette percussion sur le tendon provoque un étirement du muscle qui se contracte alors brutalement ce qui entraîne une brusque extension du pied : c'est un exemple de réflexe myotatique.

Le coup de marteau appliqué sur le tendon étire le muscle et celui-ci se contracte.

La contraction d'un muscle est un raccourcissement de ce muscle qui tire alors sur ses points de fixation c'est-à-dire sur les os.

Cela provoque un mouvement du segment considéré (extension du pied).

Les muscles sont le siège d'une activité électrique qu'il est possible d'enregistrer au moyen d'électrodes réceptrices et d'un système d'amplification. Les électromyogrammes obtenus traduisent ainsi les variations d'activité musculaire.

On a enregistré l'activité de ces deux muscles au cours de la succession d'événements suivants : repos, extension du pied, repos, flexion du pied.

L'électromyogramme A correspond à l'activité du triceps sural et l'enregistrement B à celui du jambier antérieur (voir figure ci-contre).

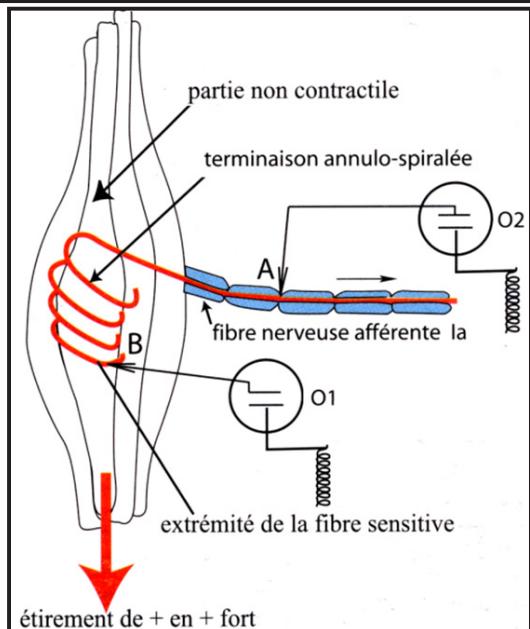
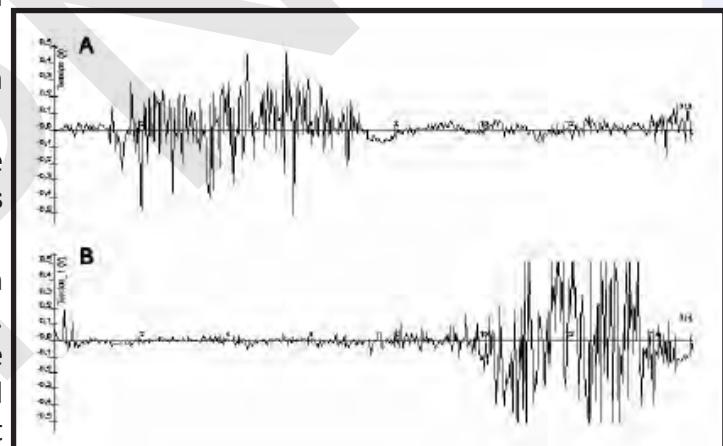
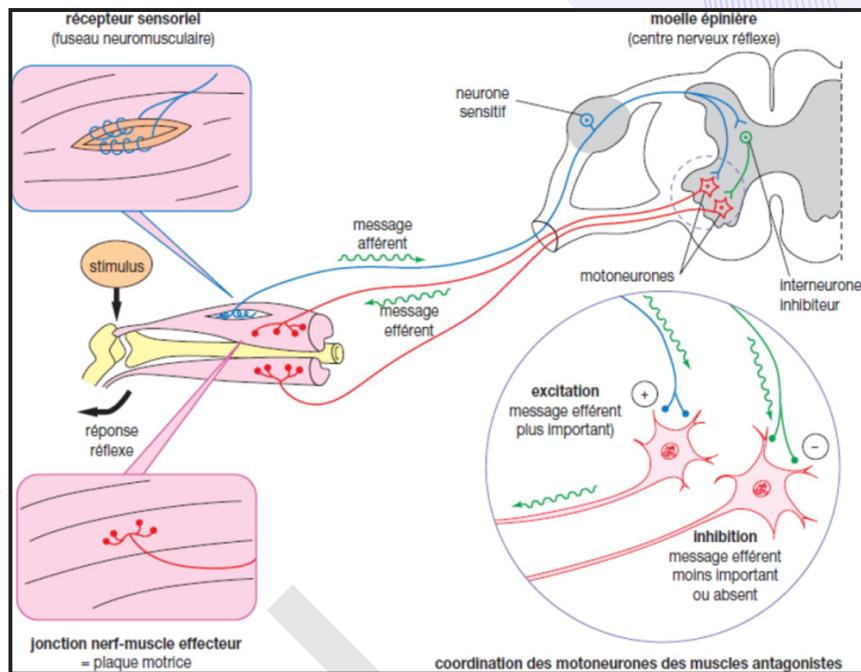
Le triceps sural est le muscle extenseur, sa contraction entraîne l'extension du pied

Le jambier antérieur est le muscle fléchisseur, sa contraction entraîne la flexion du pied.

Ces 2 muscles agissent de façon opposée mais complémentaire : ce sont des **muscles antagonistes**.

Le **réflexe myotatique** déclenche une contraction d'un muscle en réponse à son propre étirement. Il permet le maintien des postures dans l'espace en assurant une contraction légère des muscles, il s'agit du tonus musculaire. Il intervient également dans le rétablissement de notre position suite à un déséquilibre, afin d'éviter une chute par exemple. Le **réflexe myotatique** est un réflexe médullaire d'étirement qui permet à un muscle donné de s'opposer, en se contractant, à son propre étirement et donc de conserver un certain tonus.

A l'origine du réflexe se trouvent des petites structures dispersées dans le muscle – les **fuseaux neuromusculaires** – qui possèdent une double innervation motrice et sensitive. Elles renferment en effet des fibres musculaires d'un type particulier (commandées par des motoneurones spécifiques) autour desquelles s'enroule l'extrémité périphérique d'un neurone en T dont le corps cellulaire se trouve dans un ganglion rachidien. Ainsi, lorsque le muscle est étiré, les fibres musculaires intra-fusoriales le sont également, ce qui provoque la décharge des fibres nerveuses sensitives qui en sont issues. Suite à des étirements d'intensités croissantes, on obtient en O_2 (figure ci-contre) une série de potentiels d'action dont la fréquence augmente avec l'augmentation de l'étirement alors que leur amplitude reste constante : le message nerveux

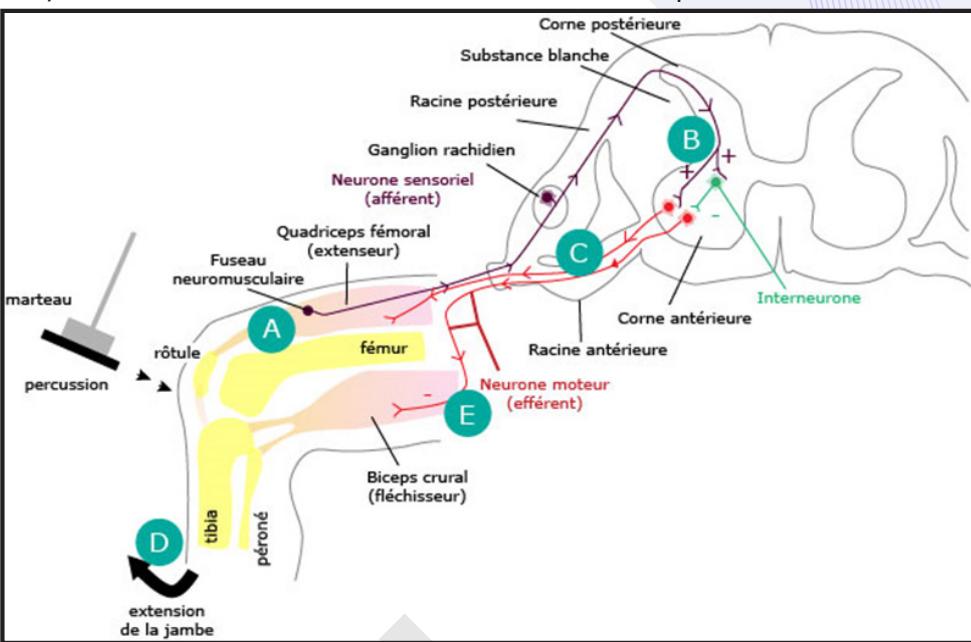


au niveau de la fibre **Ia** est codé en modulation de fréquence.

Le fuseau neuromusculaire (FNM) est sensible à l'étirement : c'est un mécanorécepteur.

Il traduit la stimulation mécanique en phénomène électrique : c'est un site transducteur.

Le message est alors transmis directement aux motoneurones du muscle concerné ; ce qui a pour effet de les exciter et de provoquer la contraction du muscle extenseur en réponse à son étirement initial. D'autre part le message est transmis aux motoneurones du muscle antagoniste à travers un interneurone inhibiteur provoquant le relâchement du muscle fléchisseur.



Le mécanisme est automatique car lorsque les fibres sensitives en liaison avec les fuseaux neuromusculaires pénètrent dans la moelle épinière, elles s'articulent directement avec les motoneurones alpha contrôlant la contraction du muscle étiré (l'agoniste) et indirectement avec ceux du muscle antagoniste par l'intermédiaire d'interneurones inhibiteurs provoquant son relâchement.

L'étirement initial provoque donc simultanément :

- la contraction du muscle agoniste (muscle extenseur) par un arc réflexe monosynaptique ;
- le relâchement du muscle antagoniste (muscle fléchisseur) par un arc réflexe polysynaptique.

Ce mécanisme présente, par ailleurs, l'intérêt de permettre le maintien de la station debout. En effet, eu égard à la pesanteur, les membres inférieurs ont tendance à flétrir sous le poids du corps, ce qui a pour conséquence d'étirer les extenseurs. L'étirement provoquant en retour leur contraction, le réflexe myotatique permet ainsi de maintenir la position debout et de lutter contre la pesanteur en s'opposant à la contraction des fléchisseurs.

Le réflexe myotatique est le seul réflexe monosynaptique connu. Le tonus musculaire se définit comme la résistance d'un muscle à son étirement. Il est assuré par des réflexes myotatiques.

Le **réflexe rotulien** est un autre exemple de réflexe myotatique :

Le sujet étant assis sur le bord de la table, jambes pendantes, on frappe d'un coup sec le tendon du muscle extenseur de la jambe, un peu au-dessous de la rotule : on observe aussitôt une extension brusque de la jambe.

Les fuseaux neuromusculaires, récepteurs sensibles à l'étirement d'un muscle extenseur, élaborent un message conduit en direction de la substance grise de la moelle épinière et de l'encéphale. Ce message nerveux sensitif induit, dans la moelle épinière, l'élaboration d'un message nerveux moteur transmis par des motoneurones α jusqu'au muscle dont ils commandent la contraction. Ce circuit, formé de 2 neurones, constitue un réflexe monosynaptique, appelé réflexe myotatique.

Il se manifeste de la même façon chez tous les individus de la même espèce : le réflexe est **spécifique** et **stéréotypé**. Il préexiste à tout apprentissage et fait partie du patrimoine héréditaire : le réflexe est **inné** contrairement aux réflexes acquis au cours de l'existence.

NB. Enfin, précisons pour terminer que :

- le réflexe myotatique se double d'un réflexe myotatique inverse, à point de départ tendineux, déclenché par une contraction excessive du muscle ;
- des messages nerveux issus des centres supérieurs se projettent sur les motoneurones et modulent l'activité réflexe de la moelle épinière en fonction de la vigilance du sujet et de sa position dans l'espace. De sorte que les circuits mis en jeu lors d'un réflexe, aussi simple soit-il, sont toujours en réalité beaucoup plus complexes que la représentation que nous en avons faite.

Activité 28 :

Trouver d'autres exemples de mouvements réflexes.

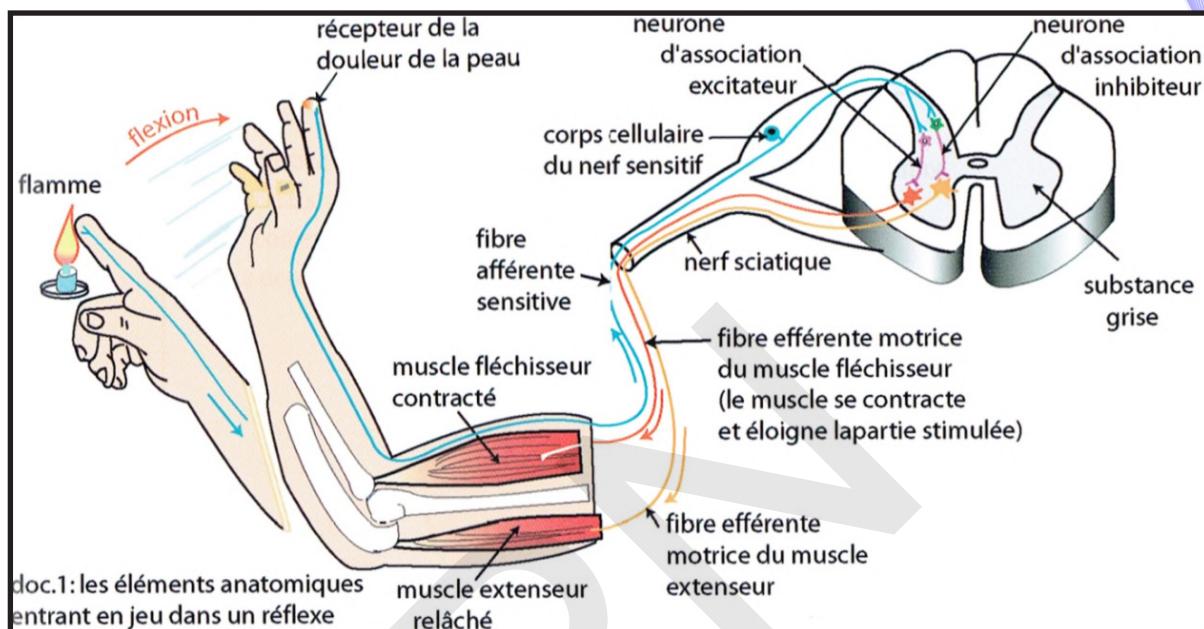
Une brûlure au niveau de la main stimule les nocicepteurs présents au niveau sous cutané.

L'information parvient à la moelle grâce à une fibre sensitive afférente.

A ce niveau-là, intervention de nombreux interneurones :

- activateurs : qui renvoient un message aux muscles fléchisseurs ;
- inhibiteurs : qui renvoient un message aux muscles extenseurs.

Il en résulte la flexion du bras (voir figure ci-dessous).



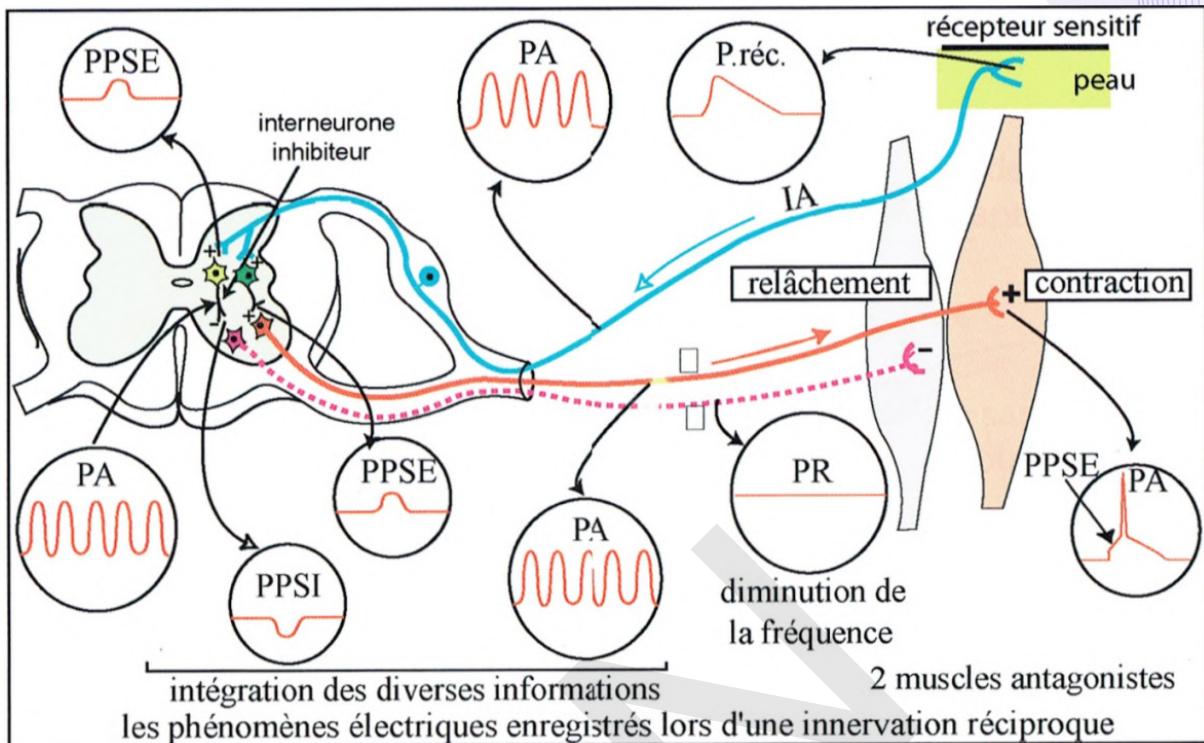
Comparer la figure avec le réflexe myotatique afin d'identifier et de caractériser ce type de réflexe.

Le réflexe de retrait se manifeste par exemple lorsqu'une personne touche un objet brûlant et retire instinctivement sa main sans réfléchir. La chaleur a, en fait, stimulé les récepteurs de température et de douleur de la peau. Ces récepteurs de la peau transmettent alors un message aux centres nerveux sous la forme d'influx d'environ 100 mV d'amplitude appelés potentiel d'action dont la fréquence varie en fonction de l'intensité du stimulus appliqué, ici la chaleur. Cet enchaînement déclenche une impulsion sensorielle qui se rend jusqu'au système nerveux central en passant par les neurones de la moelle épinière. Or le neurone sensoriel échange alors directement avec les neurones spinaux qui se connectent directement aux motoneurones (sans qu'il y ait eu encore retour d'information ou commande du cerveau). Le réflexe coordonne rapidement les contractions de tous les muscles fléchisseurs et les relâchements des extenseurs de ce membre, ce qui entraîne un retrait soudain du stimulus potentiellement dangereux. Un réflexe de retrait est médié par un réflexe polysynaptique qui entraîne la stimulation de nombreux motoneurones afin de donner une réponse rapide. Généralement chaque membre est pourvu d'au moins deux muscles : le fléchisseur qui le fléchit et l'extenseur qui l'étend.

Une fois qu'un récepteur de danger (appelé «nocicepteur») a été stimulé, le signal voyage aussi via le nerf sensoriel jusqu'à la corne dorsale (postérieure) de la moelle épinière. Le nerf est connecté avec les motoneurones du même côté qui sortent de la corne ventrale (antérieure) de la moelle épinière et travaillent à éloigner la partie du corps exposée au danger dans un délai de 0,5 seconde. Ainsi un motoneurone va inhiber le muscle extenseur du bras. La cellule en T a alors transmis deux messages à deux circuits interneurones, l'un excitateur qui excite le muscle fléchisseur ce qui conduit au retrait du bras devant la source de chaleur et l'autre inhibiteur qui inhibe le muscle extenseur.

Contrairement au réflexe myotatique, le réflexe de flexion est polysynaptique, c'est-à-dire qu'il met en jeu de nombreux interneurones entre la voie afférente et la voie efférente. Ce caractère polysynaptique

est également une des raisons de la lenteur de ce réflexe. L'intégration de l'information nociceptive se produisant au niveau médullaire consiste en une stimulation des fléchisseurs par une série d'interneurones excitateurs. L'intégration consiste également en une inhibition des muscles extenseurs par la mise en jeu d'un interneurone inhibiteur.



Ainsi, la stimulation douloureuse de la main droite par exemple provoque la flexion ipsilatérale (du même côté) du bras droit par contraction du biceps et inhibition du triceps brachial, permettant d'éloigner la main de la zone dangereuse.

On distingue :

- les réflexes **innés** qui existent chez tous les êtres humains, sans apprentissage. Ils sont prévisibles, immuables, fixés héréditairement et liés à un stimulus déterminé ;
- les réflexes **acquis** qui résultent d'une éducation ou d'un apprentissage. Ils varient d'un individu à l'autre.

Selon la situation anatomique, on distingue :

- les **réflexes extéroceptifs** : dont les récepteurs sont situés à la surface du corps. Stimulus extérieur : froid, pression...
- les **réflexes Intéroceptifs** : dont les récepteurs sont situés à l'intérieur du corps.

Ils sont subdivisés en :

- **réflexes viscéroceptifs** (Sensibilité intéroceptive) : à récepteurs internes situés sur les organes internes (les viscères) et à stimulus = milieu interne (température, ions, pH, substances algogènes, pression...) ;
- **réflexes proprioceptifs** (Sensibilité proprioceptive) : à récepteurs internes sur les effecteurs (muscles squelettiques, les tendons, les articulations, les ligaments et le tissu conjonctif recouvrant les os et les muscles) et à stimulus interne = pression et vibrations profondes, posture et intensité de l'effort... Ils sont à l'origine des sensations positionnelles, des sensations tendineuses et musculaires, des sensations de pression sur la plante des pieds, d'une partie des sensations d'équilibre.

En fonction du centre nerveux, on distingue :

- les **réflexes encéphaliques** dont le centre nerveux se situe dans l'encéphale ;
- les **réflexes médullaires** dont le centre nerveux se situe dans la moelle épinière.

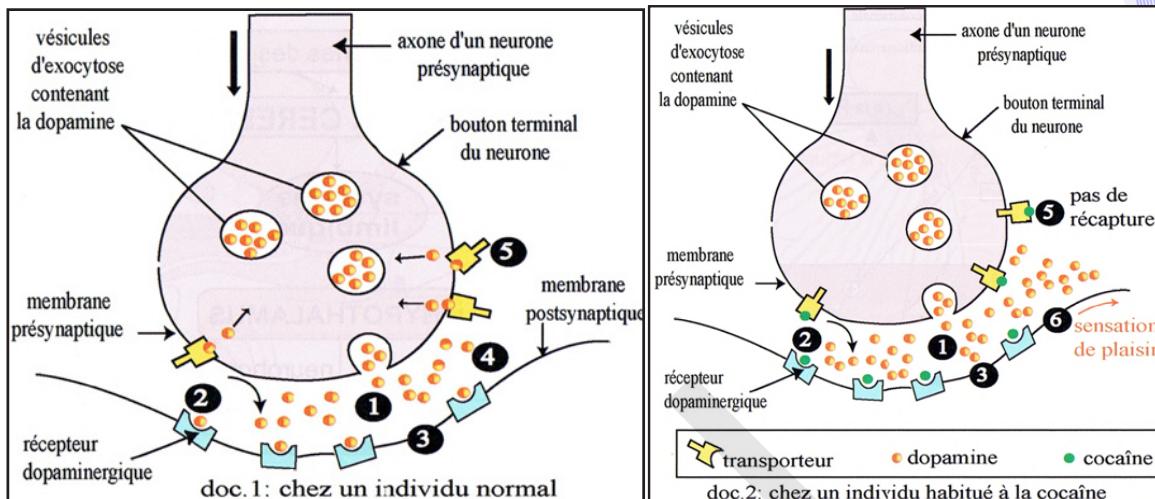
VI- Danger des psychotropes sur le fonctionnement du système nerveux

Activité 29 :

Comment agit la cocaïne sur le système nerveux ?

La cocaïne est une plante d'Amérique du Sud de la famille des Érythroxylacées. La cocaïne est un « Ester méthylique de la benzoylecgonine » : principal alcaloïde de la feuille de coca.

Les figures suivantes montrent le mode d'action de la cocaïne sur le cerveau.



Comparer les deux figures afin de montrer les effets néfastes des drogues à travers celui de la cocaïne.

La cocaïne agit par stimulation de la libération et blocage de la recapture des neurotransmetteurs: dopamine (DA), noradrénaline (NA), et la sérotonine (ST) dans la fente synaptique, ce qui est responsable d'une hyperactivation du système de récompense.

- ✓ La cocaïne se fixe sur le transporteur qui recapte la dopamine et le bloque ;
- ✓ La dopamine reste dans l'espace synaptique et continue à stimuler le neurone postsynaptique ;
- ✓ La sensation de plaisir est amplifiée et prolongée;
- ✓ La cocaïne agit aussi en bloquant la recapture de la sérotonine et de la noradrénaline.

La dopamine est le neuromédiateur du plaisir. Lorsque sa libération par les neurones augmente dans le système nerveux central, nous ressentons un état de bien-être physique et mental et cela, même en cas de souffrance physique ou psychique. Les drogues, de par leur action sur la dopamine, bouleversent donc les sensations. En cas de consommation de drogue récurrente, le cerveau va rechercher le plaisir dans ces « paradis artificiels » et déclencher une dépendance. La dopamine

- est libérée dans l'espace synaptique suite à une stimulation
- se fixe à des récepteurs pour induire ses effets dans les cellules cibles. Elle est ensuite éliminée :
 - * par recapture, notamment grâce à des transporteurs sur la membrane présynaptique ;
 - * ou alors dégradée par l'enzyme monoamine oxydase.
- La présence prolongée de dopamine dans l'espace synaptique va entraîner une diminution du nombre des récepteurs sur la membrane postsynaptique.
- La synapse et donc la voie nerveuse devient alors moins sensible.
- Pour obtenir une satisfaction d'intensité « normale » la personne doit continuer à prendre de la drogue.

Le mot «drogue» désigne toute substance naturelle ou de synthèse dont la consommation provoque un état modifié de la conscience.

La drogue modifie le fonctionnement du cerveau donnant pendant un certain temps des sensations d'euphorie et de plaisir avec déconnexion de la réalité. Quand on consomme une drogue de manière répétée, on devient toxicomane.

De manière générale, la toxicomanie, du grec : toxikon, « poison » et mania, « folie » est une dépendance

psychologique voire physique d'une ou de plusieurs substances chimiques (psychotropes, drogues synthétiques, plantes, solvants) sans nécessité thérapeutique.

La toxicomanie conduit à la tolérance ou accoutumance (tendance à augmenter la dose pour retrouver le même plaisir) et à la dépendance physique ou psychique (troubles de privation tels qu'agitation, anxiété, malaise, dépression...). Elle se caractérise par :

- L'accoutumance (tendance à augmenter la dose pour même effet)
- La dépendance psychologique (toujours) et physique (souvent) contraint à continuer la consommation
- Les conséquences néfastes (émotionnelles, sociales, économiques).

Les substances toxicomanogènes peuvent être d'origine naturelle ou synthétique, elles sont classées en quatre catégories :

Quatre types d'effets :

- ✓ Perturbateurs du SN : Cannabis ;
- ✓ Hallucinogènes : LSD, kétamine, mescaline (peyotl) psilocybine (champignons) ;
- ✓ Stimulants : cocaïne, crack, amphétamines, ecstasy (NMDA), nicotine ;
- ✓ Dépresseurs : morphine, héroïne, benzodiazépines, alcool, ...

Les drogues agissant sur la transmission synaptique peuvent avoir différents effets :

- **Effet agoniste** : La drogue a le même effet que le neurotransmetteur ;
- **Effet antagoniste** : La drogue se fixe sur le récepteur du neurotransmetteur et le bloque ;
- **Inhibition du recaptage** : La drogue empêche le recaptage du neurotransmetteur dans la cellule présynaptique ;
- **Inhibition de la sécrétion** : La drogue empêche la sécrétion du neurotransmetteur.

Les principales règles assurant une bonne hygiène du système nerveux sont :

- Eviter la consommation des drogues ;
- Lutter contre les effets du stress (réaction de l'organisme aux agressions causées par certains agents physiques (chaleur, bruit...) ou psychologiques (émotion, drame...)) ;
- Assurer une bonne oxygénation et une alimentation saine ;
- Pratiquer régulièrement des activités sportives ;
- Contrôler régulièrement sa pression artérielle ;
- Travailler régulièrement et avec modération afin d'éviter le surmenage.

NB.

Le tabac (la nicotine) : Il agit sur l'ensemble de l'organisme :

- Effets physiologiques : rythme cardiaque et pression artérielle ↗, dilatation des bronches, augmentation de la salivation.
- Effets sur le comportement : Euphorie transitoire (circuit de la récompense) ; impression d'augmentation d'énergie; baisse d'appétit, du stress, de l'anxiété ressentis ;
- Effet de tolérance → augmentation de la consommation ;
- Dépendances psychiques et physiques très fortes.

Action de la nicotine : Effet stimulant par liaison au récepteur de l'acétylcholine, reste plus longtemps que l'acétylcholine dans la fente synaptique, se lie sur des récepteurs à l'acétylcholine : sur des neurones glutaminergiques excitateurs; sur des neurones à GABA (inhibiteurs);

- Effet global d'activation des neurones dopaminergiques
- L'exposition chronique à la nicotine augmente la période réfractaire → diminue l'effet positif ressenti
- L'absence de nicotine → diminution de l'activité des neurones dopaminergiques → mal-être lors du sevrage.

Je retiens :

Sur le plan anatomique, on distingue :

- un système nerveux central (le névraxe) : Comme son nom l'indique, le névraxe constitue un axe nerveux à l'intérieur de l'organisme. Encore appelé axe cérébrospinal ou ensemble encéphalo-médullaire, il se compose dans sa partie céphalique (supérieure) de l'encéphale logé dans la boîte crânienne et dans sa partie caudale (inférieure) de la moelle épinière logée dans la colonne vertébrale.

- un système nerveux périphérique : renfermant les nerfs et leurs ganglions.

En fonction de leur lieu de rattachement au névraxe, on distingue :

* les nerfs crâniens (12 paires) qui peuvent être exclusivement sensitifs (I, II, VIII), exclusivement moteurs (III, IV, VI, XI, XII) ou mixtes (V, VII, IX, X) ;

* les nerfs rachidiens (31 paires), tous mixtes.

Chez l'Homme, la moelle épinière est une tige cylindrique de 45 cm de long et 1 cm de large, en moyenne ; elle présente un renflement cervical (au niveau du cou) et un renflement lombaire (au niveau des reins) dans les régions qui donnent naissance aux nerfs destinés aux membres supérieurs et inférieurs. La face antérieure est parcourue par une fissure médiane : le sillon antérieur. La face postérieure présente un sillon postérieur profond. De chaque côté émergent 31 nerfs rachidiens.

Des coupes transversales permettent de retrouver la structure tubulaire observée dans l'encéphale.

- Le canal de l'épendyme traverse la moelle épinière et contient du liquide céphalo-rachidien.
- Il est entouré par une substance grise qui dessine 4 cornes : 2 cornes antérieures larges et 2 cornes postérieures effilées.
- La substance blanche recouvre la substance grise ; elle est divisée par les sillons et les cornes de la substance grise en 3 paires de cordons (antérieurs, latéraux et postérieurs).

Un neurone comprend :

S- Le corps cellulaire ou péricaryon ou soma : Il est de forme étoilée, en général, et entouré d'une membrane (appelée parfois neurolemme) classique. Le cytoplasme contient un noyau et tous les éléments de cellule animale ordinaire mais il est riche en mitochondries et en ribosomes qui peuvent être libres ou associés à des saccules du réticulum endoplasmique formant des petits amas connus sous le nom de corps de Nissl et des neurofibrilles. Le noyau est central, volumineux et renferme un gros nucléole. Il est bloqué en interphase.

- des prolongements cytoplasmiques qui sont de deux types :

* les dendrites plus courts mais ramifiés ; le plus souvent nombreux ;
* l'axone ou cylindraxe plus ou moins long et unique, terminé par une ramifications appelée arborisation terminale dont les principales branches sont les collatérales axoniques se détachant à angle droit. L'ensemble se termine par un bouton synaptique. L'axone possède une membrane, l'axolemme, et un cytoplasme appelé axoplasme. L'axone est entouré sur toute sa longueur d'une gaine appelée gaine de Schwann qui présente des étranglements de Ranvier et des noyaux. Une autre gaine appelée gaine de myéline, interrompue au niveau des étranglements, entoure quelque fois, l'axone. L'axone prend naissance au niveau du cône d'émergence ou cône axonique, zone de jonction avec le corps cellulaire.

Une coupe transversale d'un nerf montre des fibres, avec ou sans myéline, qui sont groupées en faisceaux entourés de gaines conjonctives minces. Généralement, les faisceaux sont noyés dans une masse de tissu conjonctif lâche, abondamment vascularisée et entourée d'une gaine épaisse de tissu conjonctif dense.

Le potentiel membranaire est la différence de potentiel ou de tension mesurée entre la face externe et la face interne de la membrane d'un neurone (ou de toute cellule vivante). Cette différence de potentiel est égale à environ -70 mV (millivolts).

Le potentiel de repos est le terme utilisé pour désigner le potentiel de membrane de la membrane plasmique d'une cellule excitabile lorsqu'elle est au repos : C'est un des états possibles du potentiel de la membrane.

La polarisation s'explique par le fait que la concentration en ions sodiques, Na^+ , est plus élevée à l'extérieur de la cellule qu'à l'intérieur de celle-ci. Les ions potassiques, K^+ , se retrouvent en plus grande concentration à l'intérieur de la cellule qu'à l'extérieur mais ne font pas le contre-poids avec les ions Na^+ pour ce qui concerne les charges électriques étant donné l'importante différence quantitative en faveur des ions Na^+ . Les ions K^+ ont tendance à sortir de la cellule, les ions Na^+ ont tendance à pénétrer dans la cellule. Deux catégories de protéines membranaires prennent en charge le passage des ions à travers la bicoche

lipidique : ce sont des «canaux» et des «pompes» à ions.

Les «canaux de fuite», ouverts en permanence, permettent une diffusion passive des ions K⁺ et Na⁺ dans le sens décroissant de leur gradient de concentration. Ils sont beaucoup plus perméables aux ions K⁺ qu'aux ions Na⁺, ce qui rend l'intérieur de la fibre électronégatif par rapport à l'extérieur.

Le maintien de concentrations différentielles en Na⁺ (plus concentré à l'extérieur) et en K⁺ (plus concentré à l'intérieur) est assuré grâce à l'activité d'une pompe la Na⁺/K⁺ ATPase (transport actif).

En réponse à une stimulation du neurone, il y a une brusque modification du potentiel de repos : on obtient un potentiel d'action. La stimulation en un point de la membrane d'un élément excitable, entraînant une dépolarisation membranaire suffisante (valeur seuil), provoque l'apparition d'un potentiel d'action (PA).

Ce PA est une inversion brutale et transitoire du potentiel de membrane. Le potentiel d'action :

- n'apparaît que lorsque le potentiel de membrane atteint la valeur seuil (- 50 mV) ; cette valeur correspond à une intensité seuil d'excitation (stimulus liminaire).

- se propage le long d'une fibre identique à lui-même sans déformation tout en gardant la même amplitude quelle que soit l'intensité du stimulus ≥ seuil : il obéit à la loi du tout ou rien. La fréquence des potentiels d'action reste liée à l'intensité du stimulus : il s'agit d'un codage en modulation de fréquence.

Ce sont en effet des mouvements de sodium et de potassium qui sont à l'origine des différentes phases du potentiel d'action.

A la suite d'une excitation efficace, ce sont toujours des canaux ioniques de la membrane plasmique qui interviennent, mais seulement au départ ou à l'arrivée d'une dépolarisation : canaux voltage-dépendants (CVD).

En réalité ces canaux sont des protéines intrinsèques (incluses dans la membrane et qui la traversent) qui se déforment pour laisser passer les ions et reprennent leur forme initiale pour les empêcher de passer.

- Phase de dépolarisation : Les canaux Na⁺VD s'ouvrent les premiers, puis se ferment aussitôt. Un nombre important d'ions Na⁺ sont ainsi entrés dans la cellule dont l'intérieur devient plus positif que l'extérieur.

L'électrode enregistre une variation d'environ +110 mV : le PA est à +40 mV.

- Phase de repolarisation : 1 à 2 ms (milliseconde) après, ce sont les canaux K⁺VD qui s'ouvrent, permettant une sortie brute d'ions K⁺. L'intérieur de la cellule redevient négatif, jusqu'à sa valeur initiale de - 70 mV.

- Phase d'hyperpolarisation : Les canaux K⁺VD ne se ferment pas aussi rapidement que les canaux Na⁺VD. D'autres ions K⁺ peuvent encore sortir de la cellule et le potentiel devient plus négatif qu'au repos. C'est la pompe Na⁺/ K⁺ - ATPase qui rétablit l'équilibre.

La stimulation supraliminaire d'un nerf moteur de mammifère permet d'enregistrer un potentiel d'action complexe présentant plusieurs pics successifs.

Ce sont généralement les fibres les plus grosses qui sont à la fois les plus excitables et les plus rapides, les fibres à myéline étant plus rapides que les fibres sans myéline. Ainsi les caractéristiques d'une fibre ultrarapide sont les suivantes : fort diamètre, myéline épaisse, étranglements espacés, rhéobase faible, période réfractaire courte, vitesse de conduction atteignant 100 m/s.

Le stimulus agit sur une structure spécialisée, le site transducteur où il est traduit en message nerveux : c'est la transduction. Il s'y crée une variation de potentiel membranaire (dépolarisation) dont le décours et l'amplitude sont fonction de l'intensité du stimulus : Le potentiel récepteur. Ce potentiel de récepteur (PR) au niveau produit une dépolariation secondaire en un site membranaire plus ou moins éloigné du site transducteur (1^{er} nœud de Ranvier) : le site génératrice où le potentiel génératrice est créé. Ces deux sites peuvent être situés sur une même cellule nerveuse, ou sur des cellules distinctes, selon les cas. Le fonctionnement d'une synapse se résume ainsi :

- * Arrivée de l'onde de dépolariisation à la terminaison nerveuse ;
- * Ouverture des canaux voltage-dépendants de Ca⁺⁺ (CVD Ca⁺⁺) et entrée de Ca⁺⁺ ;
- * Libération du médiateur chimique par exocytose des vésicules.
- * Fixation du médiateur sur des récepteurs postsynaptiques.
- * Ouverture des canaux chimio-dépendants de Na⁺ (CCD Na⁺) ;
- * Entrée de l'ion à l'origine du PPS ;
- * Inactivation du médiateur chimique.

Dans le cas de la synapse excitatrice, la fixation du médiateur chimique (Acétylcholine) sur les récepteurs post-synaptiques provoque l'entrée de Na⁺ par ouverture CCD, à l'origine d'une dépolariation ou PPSE.

Dans le cas de la synapse inhibitrice, la fixation du médiateur chimique (GABA) sur les récepteurs post-synaptiques provoque l'entrée de Cl⁻ ou la sortie de K⁺ par ouverture CCD, à l'origine d'une hyperpolarisation

ou PPSI.

Les différents PPS s'additionnent algébriquement et peuvent engendrer un ou plusieurs potentiels d'action si le seuil est atteint : on parle de sommation spatiale.

Plusieurs PPSE véhiculés par un même neurone présynaptique et rapprochés dans le temps s'ajoutent et peuvent atteindre le seuil de dépolarisation et engendrer un potentiels d'action au niveau du motoneurone : on parle de sommation temporelle.

Ainsi le neurone post-synaptique répond à la somme algébrique des PPS : il est intégrateur.

Un réflexe est une réponse motrice rapide, involontaire et prévisible à un stimulus.

Cette réponse à certains caractères :

- * elle est involontaire ;
- * elle est inconsciente, c'est-à-dire qu'elle ne dépend pas des centres supra-spinaux ;
- * elle est différente d'un acte volontaire ;
- * c'est une réponse stéréotypée (elle est toujours la même) ;
- * c'est une réponse prévisible ;

Les caractères physiologiques de cette réponse sont liés à une structure élémentaire fondamentale qui est L'arc réflexe.

Chez l'homme certains réflexes sont dits innés : ils sont observés d'emblée sans apprentissage ils interviennent dans des processus vitaux (ex respiration, posture).

Un réflexe myotatique est donc la contraction d'un muscle en réponse à son propre étirement : le muscle étiré est à la fois le capteur du stimulus et l'effecteur de la réponse.

On désigne habituellement sous le nom de drogue toute substance, naturelle ou synthétique, modifiant l'activité mentale (effet psychotrope) et susceptible de conduire à un état de dépendance constituant la toxicomanie.

Une toxicomanie est une modification du comportement qui consiste à prendre un produit (la drogue) afin de retrouver ses effets psychiques ou d'éviter les malaises de la privation. Une toxicomanie naît de la « rencontre entre un produit, un individu et un moment socioculturel ». Selon leur nature chimique, les drogues peuvent avoir différents effets sur le système nerveux :

- Au niveau de la synapse, certaines ont une action sur le neurone présynaptique en favorisant ou en inhibant la sécrétion d'un neurotransmetteur, ou bien en diminuant l'effet de recapture. D'autres agissent sur le neurone postsynaptique en prenant la place du neurotransmetteur. Si elles s'opposent à son action, leur effet est antagoniste ; si elles produisent la même action que lui, leur effet est agoniste.
- Au niveau cérébral, la suractivation ou au contraire l'inhibition des activités neuronales se traduit par une modification de l'état mental, un éloignement du réel, une altération des perceptions sensorielles. Selon l'effet principal observé sur l'activité mentale, les drogues sont classées en trois catégories : les déprimeurs, les stimulants et les dérégulateurs. Par leur action sur la transmission des messages nerveux, les drogues agissent aussi sur les fonctions cardiaque, respiratoire, digestive...

De nombreuses substances provenant de la pollution (désherbants), du dopage (amphétamines), des drogues (cocaïne, nicotine, morphine, etc.) peuvent modifier ce fonctionnement au niveau des différents stades indiqués.

Je m'exerce :

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

1- Le potentiel de repos

- a- correspond à une différence de potentiel membranaire de - 70 mV.
- b- montre que l'extérieur est plus électronégatif que l'intérieur.
- c- est présent chez toutes les cellules même non vivantes.
- d- est aussi appelé potentiel d'action.

2- Le potentiel d'action

- a- est un phénomène observable dans toutes les cellules du corps.
- b- correspond à une inversion de la polarisation de la fibre qui devient transitoirement positive à l'intérieur.

c- est un phénomène différent sur les neurones sensitifs et les neurones moteurs.

d- possède une amplitude constante quel que soit l'intensité de la stimulation.

3- Un potentiel d'action

a- se déclenche tout le temps quel que soit l'intensité de la stimulation.

b- est d'emblée d'amplitude maximale et n'est pas modulable : c'est la loi du tout ou rien.

c- est le signal élémentaire du message nerveux.

d- permet le codage de l'intensité de la stimulation en modulant son amplitude.

4- Le corps cellulaire du neurone

a- se trouve principalement dans la substance blanche de la moelle épinière.

b- est indispensable à l'intégrité de l'axone mais pas à celle des dendrites.

c- peut être détruit sans détruire pour autant les fibres nerveuses.

d- se prolonge de dendrites afférentes et d'un axone efférent.

5- Un nerf

a- est constitué toujours que d'un seul type de fibres.

b- peut contenir des fibres afférentes ou efférentes ou même les deux types.

c- est constitué d'une seule fibre nerveuse protégée par la myéline.

d- est un ensemble de fibres de nature variable (myélinisée ou non).

6- Une synapse :

a- est une cellule du cerveau.

b- est un centre nerveux.

c- permet à deux neurones de communiquer entre eux.

d- libère un messager chimique.

7- Les centres nerveux sont constitués par

a- le cerveau et la moelle épinière.

b- le cerveau et les nerfs.

c- les nerfs et la moelle épinière.

d- le cerveau, les nerfs et la moelle épinière.

8- Un récepteur est

a- un organe sensible aux stimulations extérieures.

b- un organe effectuant un mouvement.

c- un nerf qui conduit des messages nerveux.

d- un organe qui décide d'une réponse.

9- Une synapse

a- est une cellule du cerveau.

b- est un centre nerveux.

c- permet à deux neurones de communiquer entre eux.

d- libère un messager chimique.

10- La communication entre 2 cellules nerveuses se fait par l'intermédiaire de messagers

a- calorifiques.

b- mécaniques.

c- chimiques.

d- électroniques.

11- Une synapse est

- a- une zone située entre deux neurones.
- b- une zone de réception d'une stimulation.
- c- localisée uniquement au niveau des centres nerveux.
- d- une zone de passage du message nerveux dans les deux sens.

12- L'intensité du message nerveux d'une fibre est codée

- a- en nombre de potentiels d'action (fréquence).
- b- par l'amplitude du potentiel d'action.
- c- à la fois par la fréquence et l'amplitude des potentiels d'action.
- d- par une concentration chimique en neuromédiateur.

13- Le message nerveux d'un nerf :

- a- est codé en fréquence.
- b- a une amplitude fixe.
- c- a une amplitude proportionnelle au nombre de fibres recrutées par la stimulation.
- d- répond à la loi du tout ou rien.

14- Une synapse est une zone de communication :

- a-entre deux neurones uniquement.
- b- qui permet le passage du message nerveux d'une cellule vers une autre grâce à un contact
- c- physique entre les deux cellules.
- d- de nature chimique.

15- Le réflexe myotatique

- a- ne fait pas intervenir la moelle épinière.
- b- est la contraction d'un muscle en réponse à son propre étirement.
- c- est contrôlé par le cerveau .
- d- est constitué de deux neurones sensitifs successifs.

16- Les fibres nerveuses

- a- sont toujours des axones.
- b- conduisent des potentiels d'action d'amplitude variable.
- c- sont des prolongements cellulaires.
- d- sont localisées uniquement dans les nerfs.

17- Le potentiel d'action

- a- est de fréquence constante.
- b- peut se propager uniquement le long de l'axone.
- c- est un message de nature chimique.
- d- conserve toutes ses caractéristiques lors de sa propagation.

18- Un bouton synaptique

- a- est situé à l'extrémité d'un axone ou d'une dendrite.
- b- contient des vésicules de différents neurotransmetteurs
- c- libère des molécules de neurotransmetteurs en réponse à l'arrivée d'un potentiel d'action.
- d- libère toujours la même quantité de neuromédiateurs.

19- Les neurotransmetteurs

- a- sont identiques au sein du système nerveux.

- b- se déversent dans l'axone lors de l'arrivée du potentiel d'action à l'extrémité de la dendrite.
- c- se déversent dans la fente synaptique lors de l'arrivée du potentiel d'action à l'extrémité de la dendrite.
- d- restent fixés au récepteur postsynaptique.

20- Le message nerveux est unidirectionnel car

- a- il ne peut se propager que dans un seul sens sur une fibre nerveuse à cause de la période réfractaire.
- b- il y a une dissymétrie dans la constitution des fibres nerveuses.
- c- la synapse a une organisation et un fonctionnement asymétriques.
- d- le neurotransmetteur circule uniquement de la zone postsynaptique vers les récepteurs de la zone présynaptique.

21- Le fonctionnement d'une synapse

- a- est caractérisé par la libération de molécules de neurotransmetteurs dans la fente synaptique.
- b- permet de conduire le message nerveux sous une autre forme électrique.
- c- repose sur la fixation du neurotransmetteur sur un canal à cations dans la zone postsynaptique.
- d- implique la disparition rapide du neurotransmetteur pour une conduction ponctuelle du message nerveux.

EXERCICES

Exercice 1

1- Compléter les pointillés :

Le potentiel de repos est la..... enregistrée sur une fibre isolée au repos, entre la surface externe chargée et l'intérieur chargée

La stimulation en un point de la membrane d'un élément excitable, entraînant une membranaire suffisante (valeur seuil), provoque l'apparition d'un potentiel d'action (PA). Ce PA est une brutale et du potentiel de , qui obéit à la loi et se propage sans , de manière autonome, tout au long de la membrane de l'élément excité.

2- Analyser le document ci-contre :

3- Choisir la bonne réponse :

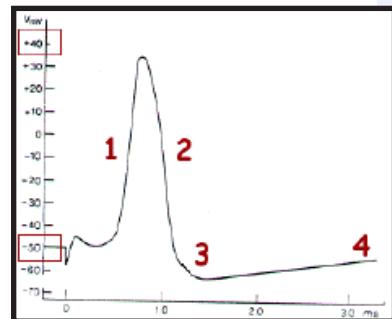
Pendant le potentiel d'action, la partie excitée d'une fibre nerveuse est chargée :

a- positivement à l'extérieur et négativement à l'intérieur.

b- négativement à l'extérieur et positivement à l'intérieur.

4- Les fibres nerveuses ont deux (2) propriétés physiologiques. Lesquelles ?

4- Quelle est l'origine ionique du potentiel de repos d'une part et du potentiel d'action d'autre part ?



Exercice 2

A - Reproduire puis compléter convenablement le tableau ci-après :

Localisation	Substance grise	Substance blanche
Cerveau		
Moelle épinière		

B – Parler de la composition histologique d'un nerf.

Exercice 3

Ahmed va cueillir des roses dans le jardin du lycée. Par advertance, il touche une épine.

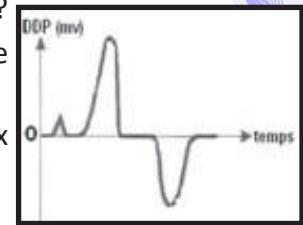
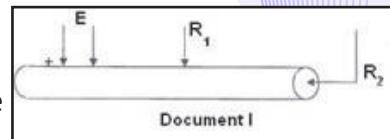
- a- Indiquer la réaction d'Ahmed.

- b- Nommer la réaction d'Ahmed.
- c- Schématiser le déroulement du phénomène à l'origine de cette réaction.
- d- Nommer ce phénomène.
- e- Expliquer le mécanisme de cette réaction (retrait de la main d'Ahmed).

Exercice 4

Dans l'étude physiologique des nerfs, on utilise des électrodes excitatrices et des électrodes réceptrices liées à un oscilloscope.

- 1) Quelle est la courbe obtenue à partir du montage du document I ?
- 2) Quel montage correspondant à la courbe du potentiel d'action diphasique ci-contre ?
- 3) Quelles propriétés de fibre nerveuse met en évidence cette courbe diphasique ?
- 4) Définir les mots : chronaxie, rhéobase. Donner leur importance dans le cadre de l'étude de la physiologie nerveuse.
- 5) Après avoir défini « synapse », dites comment se fait la propagation de l'influx nerveux à ce niveau ?
- 6) Faire le schéma annoté d'un neurone.



Exercice 5

Des expériences de stimulation sont portées sur le nerf sciatique d'une grenouille.

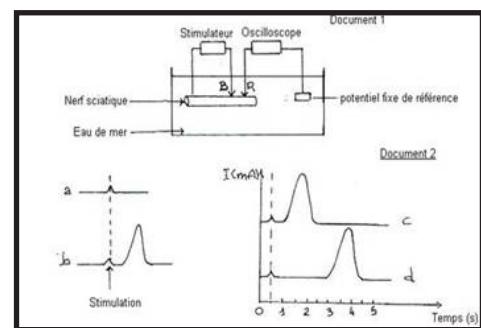
Toutes les stimulations sont portées en un point B quelconque d'un nerf (Document 1).

Les modalités des expériences sont portées dans le tableau ci-dessous.

	Intensité de stimulation en mA (I)	Place de l'électrode réceptrice R sur le nerf sciatique
Courbe a	0,1	à 150 mm de B
Courbe b	1	à 150 mm de B
Courbe c	1	à 30 mm de B
Courbe d	1	à 150 mm de B

Les courbes **a, b, c, d** sont représentées dans le document 2.

- 1-a) Analyser la courbe b du document 2, en distinguant les différentes phases.
- b) Quelles propriétés du nerf la courbe b met-elle en évidence ?
- 2- Expliquer l'allure des courbes a et b de ce document.
- 3- En utilisant les données des courbes c et d du document 2 et celles du tableau précédent, calculer la vitesse de conduction du nerf sciatique d'une grenouille.



Exercice 6

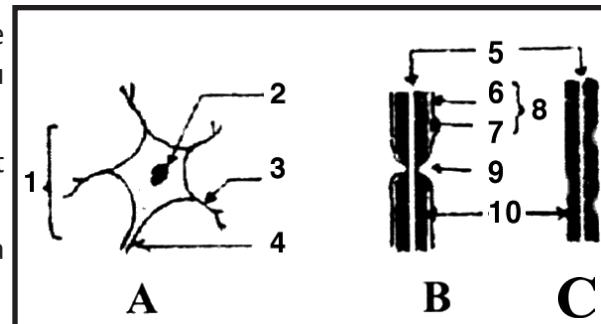
Les structures A, B et C ci-dessous sont prélevées de 3 parties différentes du tissu nerveux.

- 1) a) Annotez ces structures en précisant pour chaque numéro le nom correspondant.
- b) Indiquez à quelle partie du système nerveux appartient chacune de ces structures. Justifiez, à chaque fois votre réponse.

2) Ces différentes structures A, B et C appartiennent à une même cellule qui représente l'unité structurale du tissu nerveux.

- a) Décrivez, schéma à l'appui, une expérience permettant de mettre en évidence la continuité entre ces structures.
- b) Nommez et représentez, à l'aide d'un schéma clair, la cellule en question.

3) Les récepteurs sensoriels et les boutons synaptiques sont des terminaisons de fibres nerveuses. Précisez leurs rôles respectifs.



Exercice 7

On se propose d'étudier les perturbations électriques manifestées par une fibre nerveuse ou un nerf après excitation.

1. On explore à l'aide de deux microélectrodes et d'un oscilloscophe une fibre nerveuse isolée.

A l'issue d'une excitation efficace, l'oscilloscophe enregistre la courbe de la figure 1.

- a) Analyser la courbe.

- b) Pour cette position des électrodes, quelle serait l'allure de la courbe si la fibre n'est pas excitée. Représenter cette courbe sur les deux axes de la figure 1.

2. On utilise le même montage expérimental pour mettre en évidence les propriétés de la fibre nerveuse. On réalise l'expérience suivante : on porte successivement sur une fibre nerveuse des stimulations d'intensité croissante I_1, I_2, I_3, I_4 et I_5 .

La figure 2 représente la courbe obtenue.

- a) Interpréter cette figure 2 en spécifiant les propriétés de la fibre nerveuse mises en évidence par cette expérience

- b) La même expérience est pratiquée sur un nerf. Dessiner les courbes que l'on devrait avoir avec les cinq excitations d'intensité croissante (on suppose que l'écran de l'oscilloscophe enregistre un potentiel d'action à partir de I_2).

Exercice 8

Afin d'étudier quelques propriétés des nerfs, on utilise le dispositif expérimental suivant (figure 1) où les électrodes S et R peuvent être selon le branchement voulu soit stimulatrices soit réceptrices.

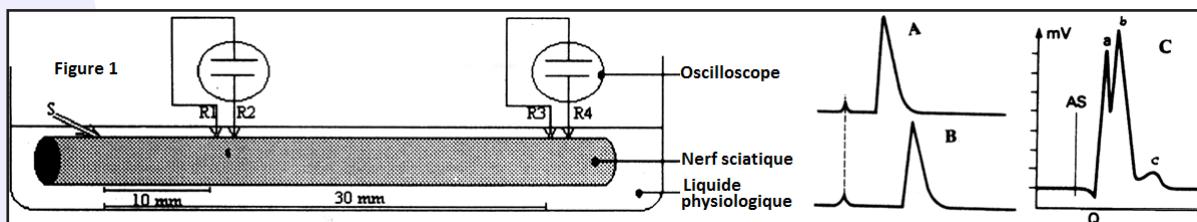
Expérience 1 : Les électrodes S étant stimulatrices et R réceptrices, une stimulation unique efficace donne le tracé A du document ci-après.

Expérience 2 : Les électrodes S deviennent réceptrices et R excitatrices, un choc unique aboutit à un enregistrement identique à la courbe A.

Note : Dans ces deux expériences, les électrodes R_3 et R_4 ne sont pas fonctionnelles.

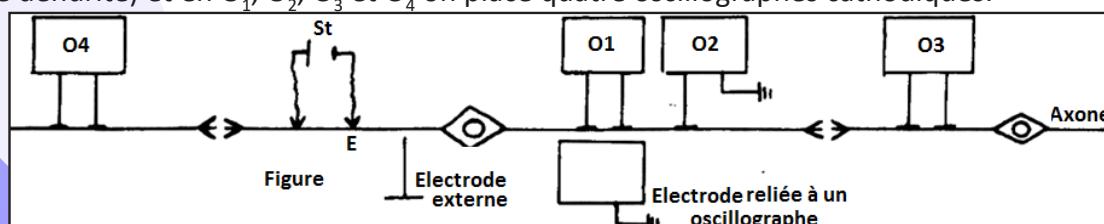
Expérience 3 : On met hors circuit les électrodes R_1 et R_2 et on branche R_3 et R_4 comme électrodes réceptrices ; S_1 et S_2 sont de nouveau excitatrices ; on obtient l'enregistrement C du document. Si l'on abaisse progressivement l'intensité de la stimulation, le 3^e pic de courbe disparait puis le 2^e.

Interprétez ces différents résultats.



Exercice 9

La figure suivante représente une chaîne de neurones. Deux électrodes excitatrices sont placées au point E (sur une dendrite) et en O₁, O₂, O₃ et O₄ on place quatre oscilloscopes cathodiques.



On applique successivement, par les électrodes excitatrices, des courants électriques dont les intensités sont données dans le tableau ci-dessous. On détermine pour chaque intensité le temps d'excitation minimum nécessaire pour obtenir une réponse (observée sur l'écran de l'oscillographe O_1).

Intensités en milliampères	0,1	0,1	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,7	1,2
.Temps d'excitation en msec	2	1	0,9	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1

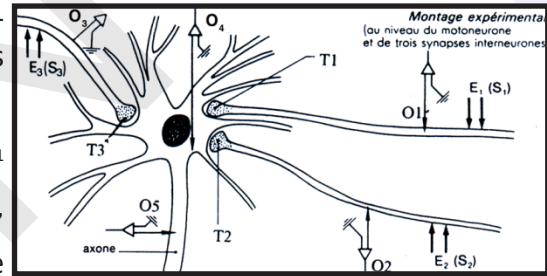
- 1) Construire la courbe $I = f(t)$ en prenant, par exemple, pour échelle : 1 cm pour 0,2 mA et 1 cm pour 0,2 msec.
- 2- a) Interprétez cette courbe et donnez les valeurs caractéristiques concernant l'excitabilité de la fibre nerveuse considérée.
- b) On excite de nouveau la fibre avec un courant d'intensité $I_1 = 0,2$ mA pendant un temps $t_1 = 0,3$ ms. Qu'observe-t-on sur l'écran de O_1 et sur celui de O_2 ? Justifiez votre réponse.
- c) Même question avec un courant d'intensité $I_2 = 0,3$ mA et un temps $t_2 = 0,6$ ms. Justifiez votre réponse.
- 3) On porte en E une excitation efficace :
 - a) Qu'observe-t-on sur l'écran de chacun des oscilloscopes (O_1 , O_2 , O_3 et O_4) ?
 - b) Des mesures ont montré que la vitesse de l'influx dans cette fibre est de 50 m/s, la distance entre E et O_3 de 12 mm et le temps mis par l'influx entre E et O_3 de 0,34 ms. Interprétez ces résultats.

Exercice 10

Les motoneurones dont les corps cellulaires sont situés dans la corne antérieure de la moelle reçoivent une multitude de terminaisons axoniques T_1 , T_2 , T_3 . On se propose d'étudier les manifestations électriques qui affectent les motoneurones suite à l'excitation de T_1 , de T_2 et de T_3 :

Δ Première série d'expériences : stimulation des terminaisons T_1 et T_2 .

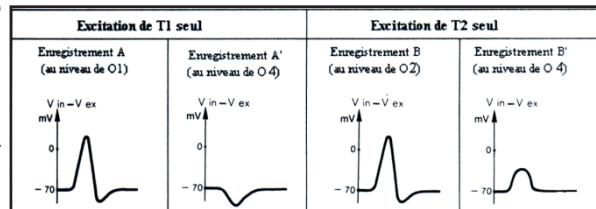
I. L'excitation de T_1 seule aboutit aux enregistrements A et A' donnés respectivement par O_1 et O_4 . L'excitation de T_2 seule donne les enregistrements B et B' donnés par O_2 et O_4 .



1) Les excitations portées sur T_1 et T_2 sont-elles efficaces ?

Justifiez votre réponse.

2) Interprétez les courbes A' et B'.



III. On porte un stimulus efficace sur T_3 , on obtient les enregistrements C et C' respectivement sur O_4 et O_5 .

1) Interprétez ces deux courbes.

2) Quels enregistrements obtiendra-t-on suite à une excitation efficace de T_1 ?

III. L'excitation simultanée de T_1 et T_2 aboutit aux courbes D et D' ci-contre qu'on vous demande d'interpréter.

IV. On excite en même temps $T_1 + T_2$ comme précédemment puis immédiatement après on excite T_2 .

Les résultats obtenus sont représentés par les courbes E et E' ci-contre qu'on vous demande d'analyser.

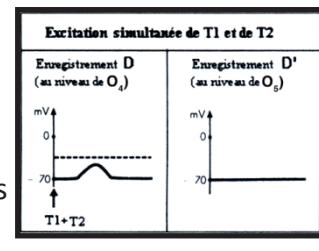
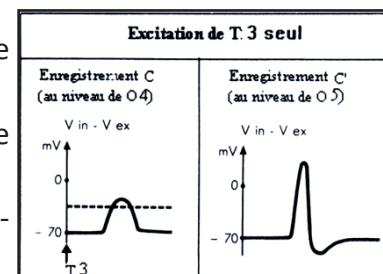
Δ Deuxième série d'expériences :

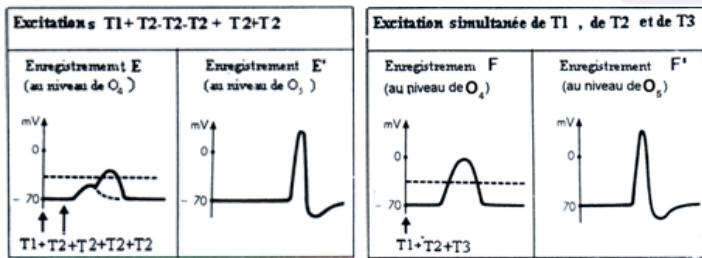
V. Excitations portées sur les 3 terminaisons T_1 , T_2 et T_3 .

On excite en même temps T_1 , T_2 et T_3 ; les résultats sont représentés par les courbes F et F' données respectivement par O_4 et O_5 .

1) Interprétez ces courbes.

2) La terminaison T_3 est-elle excitatrice ou inhibitrice ? Justifiez votre réponse.

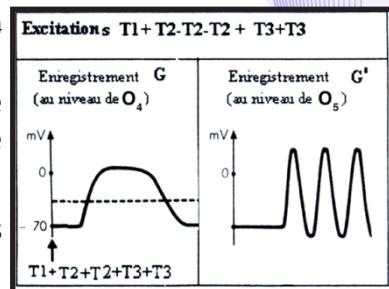




VI. On reprend les mêmes excitations que précédemment (questions 4) en répétant les excitations en T₂ et en T₃, on obtient les enregistrements G et G' donnés respectivement par O₄ et O₅; interprétez ces courbes.

VII. On refait cette dernière expérience, en y ajoutant une répétition de l'excitation en T₁. Quels en seraient les résultats? Précisez si la réponse sera supérieure, égale ou inférieure à la précédente.

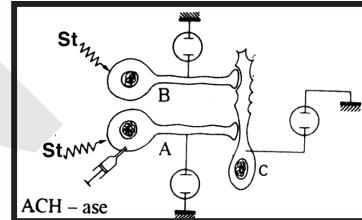
VIII. Quelle est la propriété du neurone que les diverses expériences précédentes permettent de mettre en évidence?



Exercice 11

Afin d'étudier la transmission de l'influx nerveux au niveau des synapses interneuroniques, on réalise les expériences suivantes sur des neurones de ganglions de Mollusques (figure ci-contre).

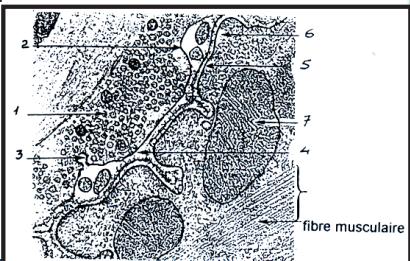
Expériences	Résultats
1) Stimulation de A	Réponse de A mais pas de B
2) Stimulation de B	Réponse de B et de C mais pas de A
3) Injection d'ACH-ase puis stimulation de A	Réponse de A mais pas de B ni de C.



A- Interprétez les différents résultats obtenus. Quelle hypothèse peut-on proposer concernant le mode de transmission de l'influx nerveux au niveau des synapses interneuroniques?

B) Le document ci-contre est une représentation schématique d'une synapse neuromusculaire (plaqué motrice) entre C et un muscle. Mettez une légende à ce schéma suivant les flèches indiquées.

C) L'influx nerveux franchit cette synapse en 1 ms. Quels phénomènes se déroulent pendant ce temps?



Exercice 12

Le curare est un poison d'origine végétale utilisé par les Indiens d'Amérique du Sud qui en enduisent leurs flèches. L'animal qui a été blessé par une flèche empoisonnée au curare devient incapable de tout mouvement. Pour comprendre l'action du curare on réalise les expériences suivantes :

Expérience 1 : On injecte un produit à base de curare dans la circulation sanguine d'une grenouille dont l'encéphale est détruit. Cinq minutes après cette injection, la grenouille a perdu ses réflexes.

Expérience 2 : On excite alors le muscle gastrocnémien d'une patte postérieure en appliquant directement les électrodes à la surface du muscle. Celui-ci se contracte après un temps de latence très court. La même excitation portée sur le nerf sciatique n'est suivie d'aucune réponse musculaire.

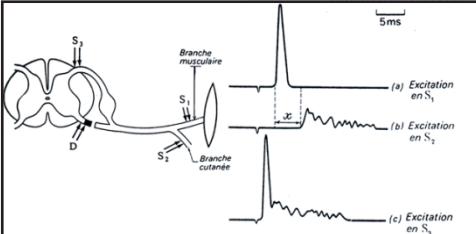
Expérience 3 : On sectionne le nerf sciatique d'une grenouille spinale, non curarisée, le plus près possible de la moelle épinière. On trempe le bout périphérique de ce nerf pendant deux minutes dans le produit à base de curare puis on l'excite. On observe une contraction du gastrocnémien.

Expérience 4 : On supprime toute connexion vasculaire entre la partie antérieure et la partie postérieure du corps, par ligature abdominale d'une grenouille non curarisée dont l'encéphale est détruit. Puis on injecte dans la partie antérieure la même quantité de produit à base de curare que dans l'expérience 1. Si l'on excite légèrement une patte antérieure on n'observe aucune réponse musculaire. Mais une excitation

forte de la même patte provoque une réponse motrice au niveau des pattes postérieures. Analyser ces expériences et suggérer une hypothèse logique permettant d'expliquer tous les résultats observés.

Exercice 13

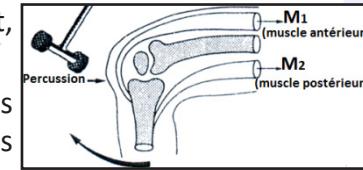
Chez un chien anesthésié, on met à nu le quadriceps, muscle situé dans la partie antérieure de la cuisse ; ce muscle est innervé entre autres par 2 branches nerveuses émanant d'un nerf rachidien, l'une musculaire et l'autre cutanée interne. Afin d'étudier le déterminisme de ces deux branches, on coupe la racine antérieure du nerf rachidien et on soumet l'animal à une série de stimulations comme c'est indiqué sur la figure ci-après ; les résultats des stimulations sont enregistrés sur la partie droite de la figure.



- 1) Les résultats des deux stimulations permettent-ils de dire si les branches musculaire et cutanée sont motrices ou sensitives ? Justifiez votre réponse et représentez sur un schéma le cheminement de leurs fibres.
- 2) Comparez les enregistrements A et B. Quelles différences présentent-ils ? Quelle(s) hypothèse(s) peut-on proposer pour expliquer la différence entre les temps de latence des deux expériences ?
- 3) Décrivez et expliquez l'enregistrement C ; cette expérience permet-elle d'éliminer une hypothèse formulée en 2 ?

Exercice 14

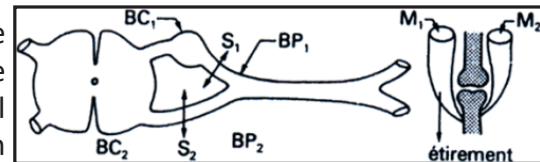
A- Chez un sujet normal et éveillé, assis jambes pendantes, on percute le tendon rotulien avec un marteau à réflexes, on constate une brève extension de la jambe. Cette réponse est innée et inéluctable. Elle ne peut être empêchée par la volonté du sujet. Une analyse plus détaillée faite chez l'animal, indique que la percussion du tendon provoque un bref étirement du muscle correspondant, étirement auquel le muscle répond par une contraction globale rapide.



La mise en jeu de réflexes est un geste médical classique : en effet des lésions traumatiques ou microbiennes de la moelle épinière ou de certaines racines rachidiennes altèrent ou suppriment la réponse.

- 1) Définir les mots suivants : inné, inéluctable, stéréotypé.
- 2) Quelles conclusions peut-on tirer de ces observations ?
- 3) Quelle est la signification physiologique de ce réflexe ?

B- Afin de préciser le mécanisme de la réponse, on travaille sur un chat anesthésié dont les racines lombaires ont été dégagées. Un bref étirement du muscle M_1 , provoque, comme chez l'homme, une réaction contractile du même muscle.

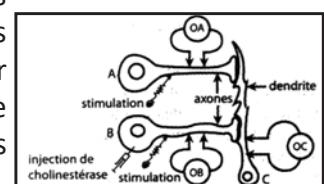


On effectue la section S_1 . Le réflexe disparaît. Une brève stimulation électrique du bout périphérique (BP_1) ne déclenche rien. Une stimulation électrique semblable du bout central (BC_1) entraîne une réaction contractile de M_1 et la disparition du tonus de M_2 .

Chez un animal semblable, on effectue la section S_2 . Le réflexe d'étirement disparaît. La stimulation électrique brève de (BP_2) entraîne une réaction musculaire de M_1 sans disparition du tonus de M_2 . Interprétez ces différentes observations.

Exercice 15

Des expériences ont été réalisées sur les neurones d'un ganglion de Mollusque, dans lequel deux neurones A et B établissent chacun une synapse avec un même neurone C. Des stimulations peuvent être portées séparément ou simultanément sur les neurones A et B, dans lesquels on peut aussi injecter des substances chimiques dont on veut étudier l'influence. Trois oscilloscopes permettent d'enregistrer l'activité électrique de ces trois neurones. Le document suivant donne le schéma et les résultats des expériences réalisées.



	Colonne 1	Colonne 2	Colonne 3
	Stimulation de A	Stimulation de B	
		seule	après injection de cholinestérase
Réponse de A	+	-	-
Réponse de B	-	+	+
Réponse de C	+	+	-

- Indique qu'il n'y a pas réponse du neurone étudié ; + indique qu'il y a réponse du neurone étudié.

- Expliquez le mécanisme de la transmission synaptique neuro-neuronale.
- Par l'étude des deux premières colonnes du tableau suivant, vous dégagerez une propriété de la transmission synaptique du message nerveux.
- Compte tenu de vos connaissances sur les neurotransmetteurs, vous montrerez pourquoi les résultats de la troisième colonne du tableau permettent de déterminer le neurotransmetteur jouant un rôle au niveau de cette synapse.

Exercice 16

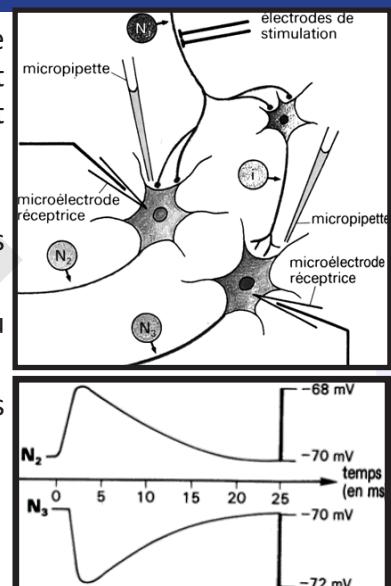
A- On stimule la fibre nerveuse N_1 provenant d'un fuseau neuromusculaire situé dans un muscle extenseur ; N_1 est reliée à deux motoneurones N_2 et N_3 . Suite à une stimulation de N_1 , l'état électrique des neurones N_2 et N_3 est modifié (voir figure).

1) Commentez ces enregistrements.

2) Un des motoneurones, N_2 ou N_3 , est relié au muscle extenseur. D'après vos connaissances, pouvez-vous dire lequel ?

B - A l'aide de micropipettes, on dépose des substances variées au niveau des synapses N_1-N_2 ou $i-N_3$.

Les réponses observées en N_2 ou N_3 sont comparables à celles enregistrées précédemment.



Substances	Aspartate	GABA	Ac. valproïque	Picrotoxine
réponse :				
- en N_2	oui	non	non	non
- en N_3	non	oui	non	non
réponse après stimulation de N_1:				
- en N_2			non	oui
- en N_3			oui	non

1) Quels rôles physiologiques pourraient jouer l'aspartate et le GABA (substances effectivement présentes dans l'organisme) ?

2) Quelles hypothèses pouvez-vous formuler pour expliquer le mode d'action de l'acide valproïque et de la picrotoxine ?

Exercice 17

On se propose d'étudier certains mécanismes du fonctionnement synaptique.

On utilise le dispositif expérimental du document 1 pour réaliser les expériences 1 et 2.

Expérience 1 :

On porte en S_1 une stimulation efficace. Sur les écrans des oscilloscopes O_1 , O_2 et O_3 , on enregistre les tracés a, b et c représentés sur le document 2.

1- Analysez ces résultats expérimentaux en vue de :

- déduire la nature de la synapse $N_1 - M$.
- dégager une propriété de l'activité électrique enregistrée en O_1 .

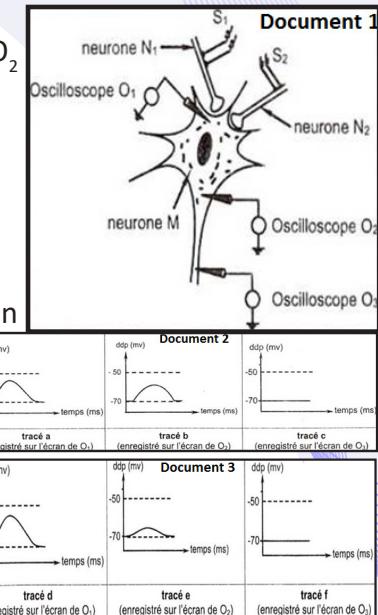
Expérience 2 :

On porte simultanément en S_1 et en S_2 deux stimulations efficaces. On enregistre les tracés d, e et f représentés sur le document 3.

2- Comparez les résultats représentés sur le document 2 et 3 en vue de déduire :

- la nature de la synapse $N_2 - M$.
- le rôle du neurone postsynaptique M.

3- Précisez dans quelle condition peut-on obtenir un potentiel d'action au niveau de l'oscilloscope O_3 .



Exercice 18

On se propose d'étudier le mode de fonctionnement des synapses. Pour cela, on réalise deux expériences selon le dispositif expérimental représenté dans le document 1.

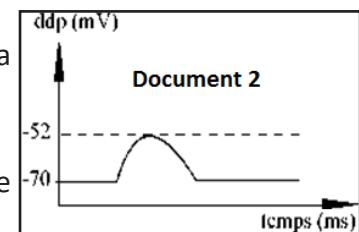
Expérience 1 : On porte 2 stimulations d'intensités croissantes I_1 et I_2 en E et on enregistre, parallèlement, les différences de potentiels au niveau des oscilloscopes O_1 , O_2 , O_3 et O_4 . Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

ddp (en mV) enregistrée au niveau de :					
	O_1	O_2	O_3	O_4	
Intensité du stimulus	I_1	- 60	- 70	- 70	- 70
$I_2 > I_1$		+30	-58	+30	+30

1- Exploitez les données fournies dans le tableau en vue :

- d'identifier la nature des potentiels obtenus en O_1 , O_2 , O_3 et O_4 , suite aux stimulations d'intensités I_1 et I_2 .
- d'expliquer la différence de réponses enregistrées en O_2 et en O_3 suite à la stimulation I_2 .
- de déduire la nature de la synapse $N_1 - N_3$.

Expérience 2 : On porte en E 2 stimulations très rapprochées d'intensité I_2 . Le document 2 représente l'enregistrement obtenu en O_3 .

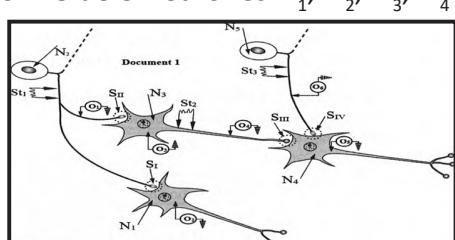


2- Exploitez les résultats des expériences 1 et 2 en vue :

- d'expliquer l'enregistrement obtenu en O_3 (document 2).
- de déduire la nature de la synapse $N_2 - N_3$.

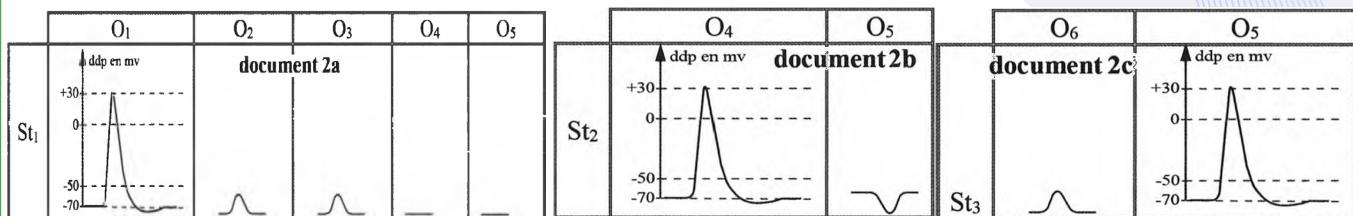
Exercice 19

On se propose d'étudier le fonctionnement d'un réseau neuronal formé de 5 neurones N_1 , N_2 , N_3 , N_4 et N_5 . Pour cela, on a réalisé trois expériences en utilisant le montage représenté par le document 1.



Expérience 1 : On stimule séparément des neurones avec une intensité supraliminaire en St_1 , St_2 et St_3 .

On a obtenu respectivement les tracés représentés en 2a, 2b et 2c du document 2.

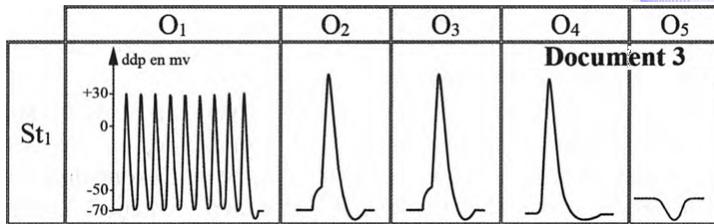


Expérience 2 : On a porté en St₁ plusieurs stimulations rapprochées d'égale intensité et supraliminaires. Les oscilloscopes O₁, O₂, O₃, O₄ et O₅ ont affiché les tracés représentés dans le document 3.

1) Analysez les tracés du document 2. En déduire la nature des synapses S_I, S_{II}, S_{III} et S_{IV} en indiquant s'il s'agit de synapse excitatrice ou inhibitrice.

2) Comparez les résultats obtenus dans l'expérience 1 (doc 2a) avec ceux de l'expérience 2. Qu'en déduisez-vous ?

3) Indiquez les résultats attendus au niveau de O₁, O₃, O₄ et O₅ si on porte en St₂ des stimulations rapprochées, d'égale intensité et supraliminaires. Justifiez votre réponse.



Expérience 3 : On a injecté séparément dans les fentes synaptiques de S_I, S_{II}, S_{III} et S_{IV} les substances X₁, X₂ et X₃.

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant.

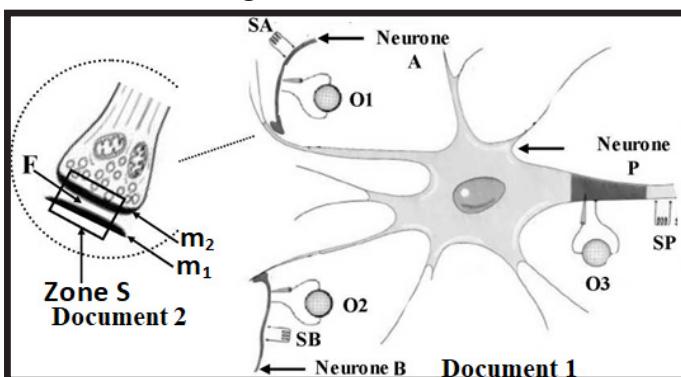
Substance injectée \ Synapse	X ₁	X ₂	X ₃
S _I	Dépolarisation de N ₁	Aucun effet sur N ₁	Aucun effet sur N ₁
S _{II}	Dépolarisation de N ₃	Aucun effet sur N ₃	Aucun effet sur N ₃
S _{III}	Aucun effet sur N ₄	Hyperpolarisation de N ₄	Aucun effet sur N ₄
S _{IV}	Aucun effet sur N ₄	Aucun effet sur N ₄	Dépolarisation N ₄

4) Analysez les résultats obtenus dans l'expérience 3 en vue de déduire le rôle physiologique et la spécificité des substances X₁, X₂ et X₃.

Exercice 20

On se propose d'étudier les mécanismes de la transmission du message nerveux au niveau d'un réseau de neurones : le document 1 représente des jonctions neuroneuroniques entre trois neurones : A, B et P ; le document 2 représente un détail de la jonction A-P. Pour ce faire, on stimulate les boutons synaptiques A et B isolément ou simultanément. Les résultats obtenus sont indiqués dans le document 3.

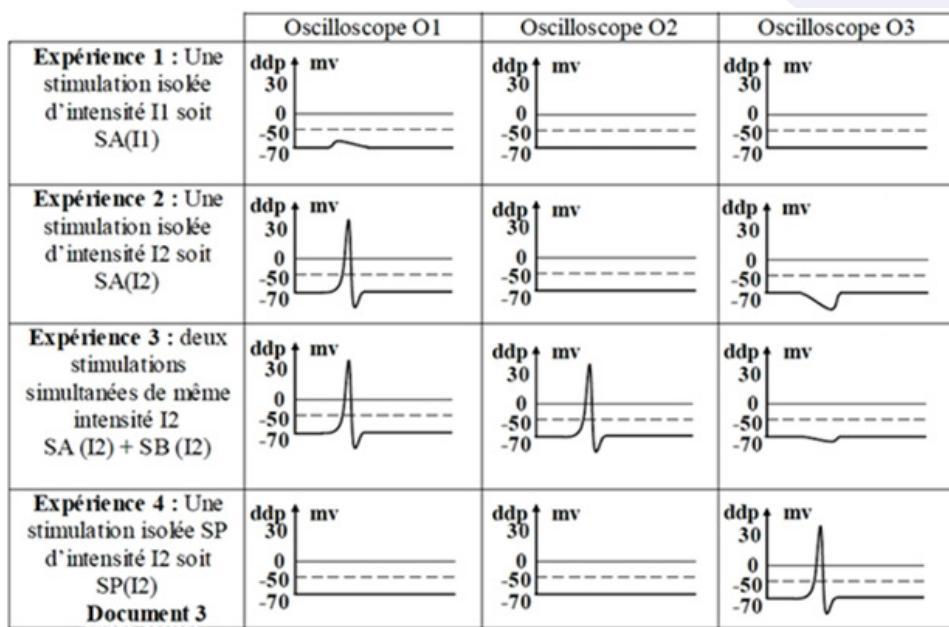
1. Analysez les résultats de l'expérience 1 en vue de dégager deux propriétés du phénomène nerveux enregistré en O₁, ainsi que la nature de la stimulation SA(I₁).



2. Analysez les résultats de l'expérience 2 en vue de déterminer la propriété de la stimulation SA(I₂), ainsi que la nature du neurone A.

3. À partir de l'analyse des expériences 2 et 3, déterminez la nature du neurone B.

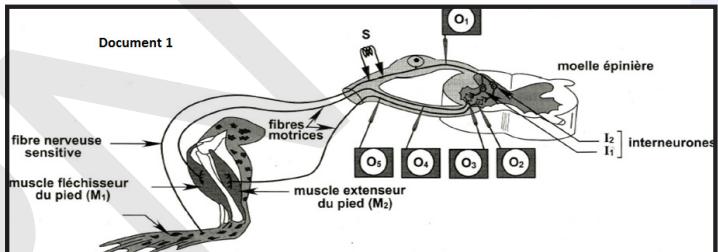
4. Analysez l'expérience 4 afin de dégager la propriété des jonctions A-P et B-P.



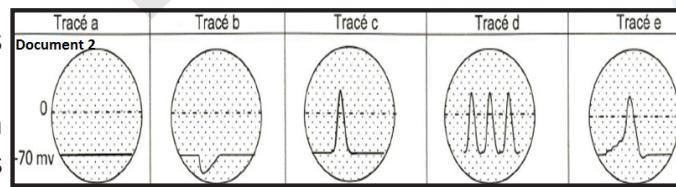
Exercice 21

On se propose d'étudier le fonctionnement du circuit nerveux du réflexe de flexion du pied chez la grenouille. Le document 1 suivant indique le montage expérimental utilisé :

On applique en S plusieurs stimulations efficaces très rapprochées : les oscilloscopes O_1 , O_2 , O_3 , O_4 et O_5 enregistrent les phénomènes électriques déclenchés. Le document 2 ci-dessous indique les tracés obtenus.

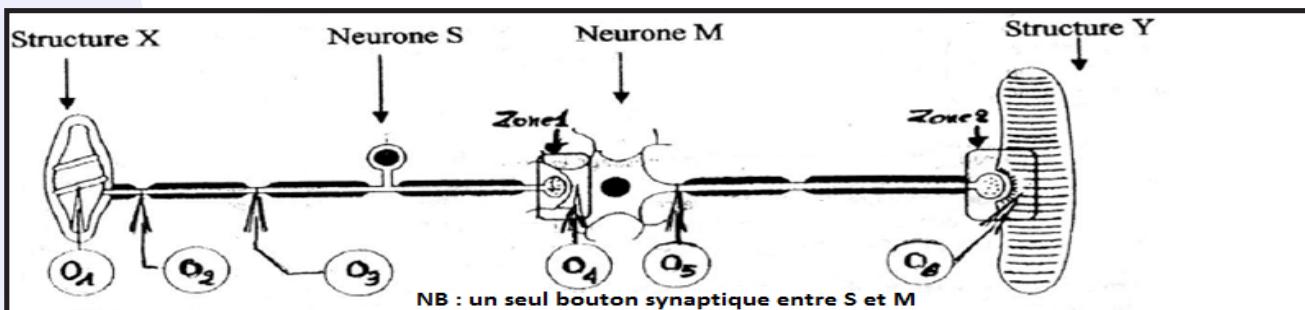


1. Faits une correspondance entre les tracés et les oscilloscopes.
2. En exploitant les données précédentes expliquez la coordination d'activité de deux muscles antagonistes M_1 et M_2 .



Exercice 22

On se propose d'étudier quelques aspects de la communication nerveuse en considérant le montage théorique suivant.



On applique sur la structure X trois étirements d'intensité croissante E_1 , E_2 et E_3 . Les enregistrements obtenus sont représentés dans le tableau ci-contre.

1. Identifiez les structures X, Y et les neurones S et M ainsi que les zones 1 et 2.
2. Analysez les enregistrements afin de dégager :
 - a- La fonction de la structure X.
 - b- Les propriétés des phénomènes électriques.
3. Comparez le fonctionnement de deux zones 1 et 2.

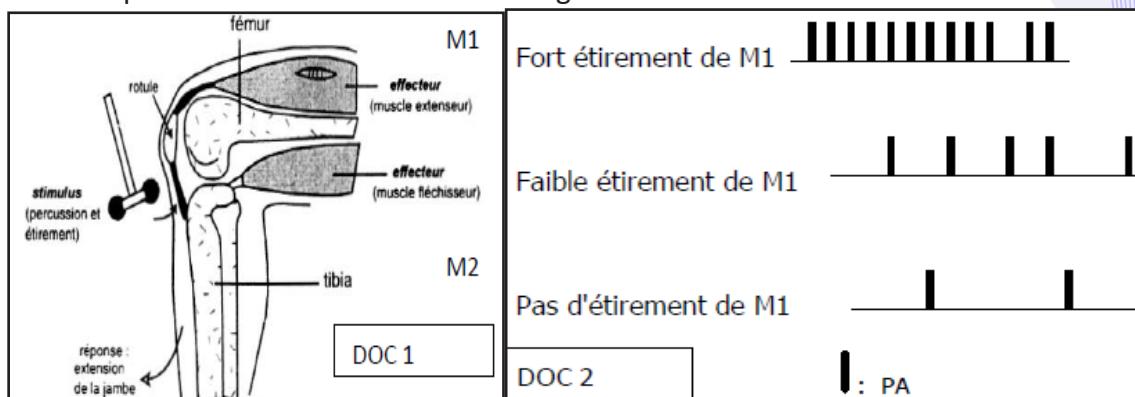
Oscilloscopes	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6
Etirement E1	Seuil -50mV	-50mV	-50mV	-50mV	-50mV	-50mV
Etirement E2	-50 mV	-50 mV	+30mV	-50mV	-50mV	-50mV
Etirement E3	-50 mV	-50 mV	+30mV	-50mV	-50mV	-50mV

Exercice 23

On se propose d'étudier quelques propriétés du réflexe myotatique

I- le dispositif représenté par le document 1 permet d'enregistrer l'activité électrique d'une fibre nerveuse N_1 issue d'un fuseau neuromusculaire du muscle M_1 .

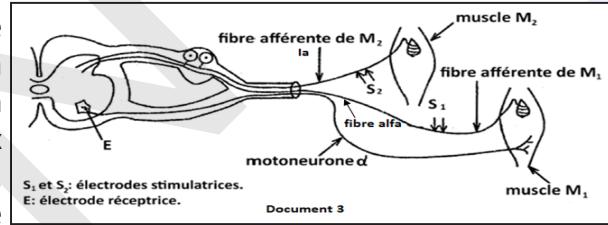
Le document 2 représente les résultats de ces enregistrements.



1) Analyser le document 2- en vue de déduire l'origine des phénomènes électriques enregistrés.

2) Expliquer l'effet des phénomènes électriques enregistrés sur la fibre nerveuse N_1 du muscle M_1 au repos et indiquer l'importance physiologique de cet effet.

II – Dans le but de déterminer le circuit nerveux impliqué dans le réflexe myotatique ; on réalise une expérience en utilisant le dispositif expérimental du document 3 (à remettre avec la copie). On stimule successivement en S_1 puis en S_2 des fibres afférentes provenant des fuseaux neuromusculaires du muscle M_1 et son antagoniste M_2 . On enregistre les réponses grâce à une microélectrode



réceptrice E placée au niveau du motoneurone innervant le muscle M_1 . On obtient respectivement les tracés a et b du document 4. Tracé a après la stimulation en S_1 et tracé b après la stimulation en S_2 .

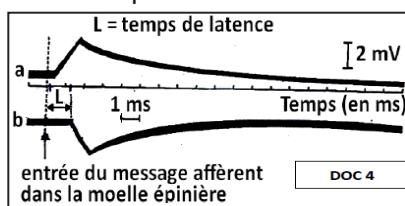
1) a- Identifiez et analysez les tracés a et b.

b- Sachant que le délai synaptique est d'environ 0,5 ms ; expliquez la différence du temps de latence observée entre les tracés a et b.

c- Sur le schéma du document 3, complétez les circuits nerveux entre les fibres afférentes des deux muscles M_1 ; M_2 et le motoneurone de M_1 pour rendre compte du circuit nerveux impliqué dans une réponse réflexe myotatique.

2) a- représentez les phénomènes électriques qu'on peut enregistrer au niveau de l'axone du motoneurone de M_1 suite à l'étirement de M_1 puis de M_2 .

b- déduisez les conséquences de ces étirements sur le muscle M_1 .



Exercice 24

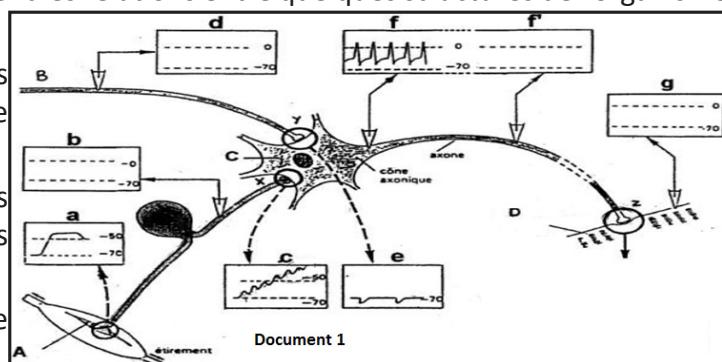
Le document 1 suivant récapitule schématiquement les relations entre quelques structures de l'organisme humain.

1- Quel type de comportement explique ces relations ? Justifiez votre réponse en précisant le rôle des éléments A, C et D.

2- Complétez les cases vides b, d, f et g (en les reportant sur votre copie) et nommez tous les tracés de a jusqu'à g.

3- Expliquer l'obtention du tracé f, en déduire le rôle de l'élément C.

4- Identifiez les structures Y et Z présentez sous forme de tableau, les différences de leur mode de



fonctionnement.

Chez l'Homme, la percussion du tendon du muscle antérieur (M_1) de la cuisse au-dessous de la rotule entraîne toujours l'extension de la jambe (Voir document 2)

Le document (3) représente un organe désigné par X, situé dans les muscles impliqués dans cette réaction photographié au microscope optique.

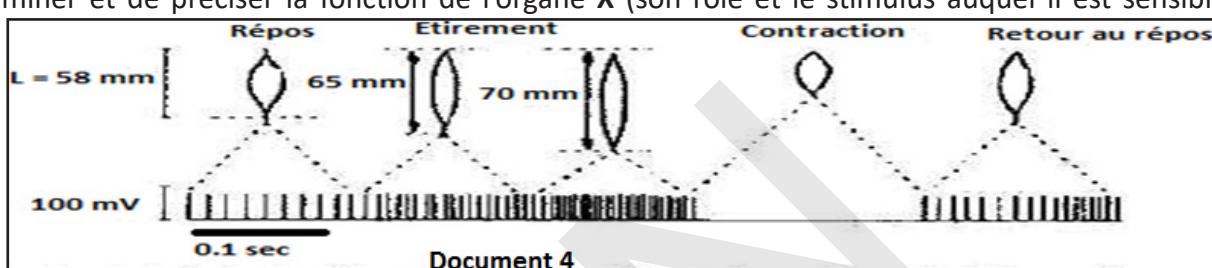
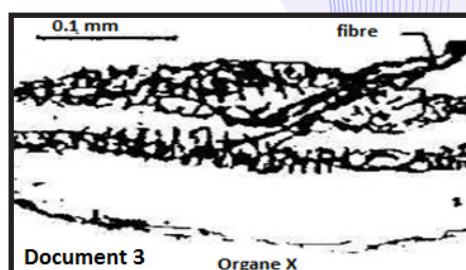
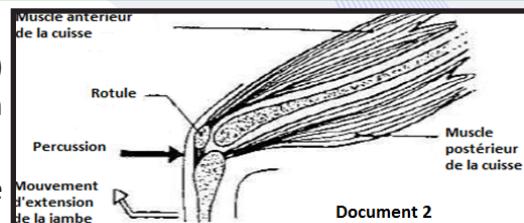
L'activité électrique de cet organe X est enregistré dans différentes situations physiologiques du muscle (repos, étirement et contraction), le document(4), rend compte des résultats obtenus :

1- Identifiez l'organe X.

2- Faites un schéma interprétatif et légendé de cet organe X.

3- Commentez le document 4.

Retrouvez les caractéristiques du message nerveux enregistré sur la fibre issue de l'organe X, afin de déterminer et de préciser la fonction de l'organe X (son rôle et le stimulus auquel il est sensible).



J'approfondis mes connaissances :

Document : Substances capables de modifier le fonctionnement synaptique.

De nombreuses substances provenant de la pollution (désherbants), du dopage (amphétamines), des drogues (cocaïne, nicotine, morphine, etc.) peuvent modifier ce fonctionnement au niveau des différents stades.

La connaissance du fonctionnement synaptique permet d'aider ou de bloquer la synapse par l'intermédiaire de médicaments (qui sont parfois les mêmes substances que les drogues mais que l'on fait agir sur des synapses malades et dont la quantité est toujours durement contrôlée).

■ Facteurs modifiant la synthèse.

-Si les nutriments appropriés (en particulier les acides aminés) ne sont pas fournis, la synthèse du neurotransmetteur ne peut pas avoir lieu.

-Dans le cas de la maladie de Parkinson, ce sont les enzymes de synthèse du médiateur, la dopamine, qui ont disparu.

Certaines drogues peuvent inhiber la synthèse d'un transmetteur.

Par exemple : l'une d'entre elles inhibe la formation de la sérotonine. Or, la sérotonine est le transmetteur essentiel impliqué dans le sommeil. La perturbation se traduit chez le Rat par une impossibilité de dormir pendant 48 heures après l'injection de la drogue.

■ Facteurs agissant sur la libération du transmetteur

Lors du dopage, les amphétamines agissent en augmentant la libération des médiateurs du même groupe que l'adrénaline. Ces médiateurs, en plus grande quantité au niveau des synapses, provoquent une excitation inhabituelle.

■ Facteurs modifiant la fixation du transmetteur sur les récepteurs postsynaptiques.

Nous avons vu que le récepteur était spécifique d'un neurotransmetteur déterminé ; mais une molécule de forme très proche peut tromper le récepteur et se fixer sur lui. Suivant le cas, elle peut l'exciter ou le

bloquer.

Exemple 1 : Mimétisme.

La morphine (extraite du Pavot) a une molécule de forme très voisine de celle de neuro-transmetteurs normalement secrétés par les neurones de certaines régions du cerveau : les endorphines qu'on appelle encore les morphines du cerveau.

Une injection de morphine libère dans le sang un grand nombre de molécules qui vont se fixer sur les récepteurs des endorphines et jouer le *même* rôle : diminuer la douleur. C'est pourquoi la morphine est utilisée en milieu hospitalier pour atténuer la souffrance dans le cas de maladies très douloureuses. Cependant, la molécule de morphine n'est pas tout à fait semblable à celle d'une endorphine. Ceci explique qu'elle ait des propriétés différentes :

- elle est moins rapidement détruite (son action est plus longue),
- elle crée un caractère d'accoutumance (cas de la morphine-drogue).

C'est-à-dire que l'organisme exige des doses de plus en plus fortes entraînant un mauvais fonctionnement de la synapse.

Exemple 2 : Blocage.

Le curare, poison d'origine végétale, était utilisé par les Indiens pour enduire leurs pointes de flèches. Le gibier atteint était rapidement paralysé. On sait maintenant que la molécule de curare est assez longue. A ses deux extrémités, elle mime grossièrement une molécule d'acétylcholine de sorte qu'elle bloque deux sites récepteurs en même temps au niveau de l'appareil sous-neural de la plaque motrice. Les sites étant déjà occupés, l'acétylcholine ne peut pas se fixer et transmettre l'excitation au muscle, d'où la paralysie.

■ Substances agissant sur l'inactivation des neurotransmetteurs

Un exemple : Certains insecticides organochlorés bloquent l'action de la cholinestérase.

L'acétylcholine n'étant pas détruite, elle continue donc à agir. Voici comment se traduit cette action :

- Au niveau des muscles lisses du tube digestif, les contractions musculaires entraînent des diarrhées.
 - Les contractions au niveau des bronches vont rendre la respiration pénible et peuvent entraîner l'asphyxie.
 - La libération d'acétylcholine à la jonction nerf-glandes exocrines (glandes salivaires et glandes sudoripares) provoque une hyper salivation et sudation intense.
 - Enfin, sur le cœur, l'acétylcholine agit comme s'il y avait une excitation permanente du système parasympathique ; c'est-à-dire un effet dépresseur entraînant une bradycardie.
- Ainsi, de nombreuses substances provenant de la pollution (désherbants), du dopage (amphétamines), des drogues (cocaïne, nicotine, morphine, etc.), peuvent modifier ce fonctionnement au niveau des différents stades précités.

J'utilise mes connaissances :

Projet de classe :

A la fin du chapitre 4, les élèves en sous-groupes réalisent une investigation sur les métiers en rapport avec les cours :

- Groupe 1 : Faire une maquette du système nerveux central et la présenter.
- Groupe 2 : Faire un schéma sur l'organisation fonctionnelle du système nerveux et le présenter.
- Groupe 3 : Faire une investigation sur les cas de pathologie du système nerveux (Maladie de Parkinson).
- Groupe 4 : Faire une investigation sur les cas de pathologie du système nerveux (Maladie d'Alzheimer).
- Groupe 5 : Faire une investigation sur les cas de pathologie du système nerveux (Maladie d'Epilepsie).
- Groupe 6 : Faire une investigation sur les cas de pathologie du système nerveux (Personnes ayant fait un AVC).
- Groupe 7 : Faire une investigation sur les Neurosciences.
- Groupe 8 : Faire une investigation sur le métier de neurologue.

S'informer auprès du professeur de Français (pour le langage scientifique adapté), de Physique (Galvanomètre, voltmètre, oscilloscope, flux, potentiel, polarisation etc.), de Chimie (Phénomènes ioniques...), de Mathématiques (Vitesse, sommation ...) et d'un professionnel en plus de la documentation en livres et internet.



CHAPITRE V :

L'ACTIVITÉ CARDIAQUE ET LA PRESSION ARTÉRIELLE

IPN

Chapitre V : L'ACTIVITÉ CARDIAQUE ET LA PRESSION ARTÉRIELLE

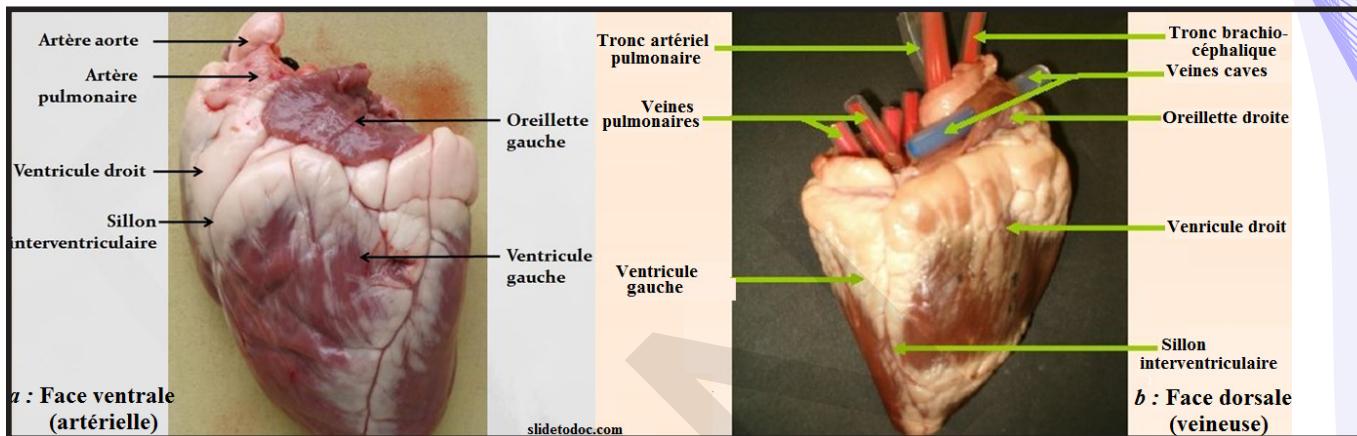
I- Activité cardiaque

A- Structure du cœur

Activité 1 :

Que montre une vue externe d'un cœur de mouton ?

- Éliminer, au moins en partie, les masses graisseuses qui recouvrent l'organe et entourent les racines des vaisseaux.
- Distinguer la face ventrale, bombée et traversée par un sillon oblique très net, et la face dorsale, plus plate et parcourue par un sillon longitudinal peu marqué (voir figure ci-dessous).



Observer attentivement la figure et dégager les caractères extérieurs du cœur.

Le cœur humain est un organe creux, musculaire présentant les caractéristiques suivantes :

- forme : pyramide triangulaire,
- couleur : rougeâtre,
- masse : environ 270 g chez l'adulte,
- dimension : 90 mm, 107 mm.

Il occupe une position oblique, entre les deux poumons, dans la moitié inférieure de la cage thoracique (le médiastin antérieur). Sa pointe est dirigée vers le cinquième espace intercostal gauche. Sa partie gauche se loge dans une dépression du poumon gauche appelée : «le lit du cœur».

Par sa taille, sa forme et sa structure, le cœur du Mouton diffère peu du cœur humain.

- face ventrale, ou face artérielle :

Entre les oreillettes aux parois brunes, minces et gaufrées, trois vaisseaux se détachent nettement :

- Le plus ventral communique avec le **ventricule droit** ; c'est l'**artère pulmonaire** qui, un peu au-dessus du cœur, se divise en deux vaisseaux équivalents destinés aux poumons.
- Les deux autres communiquent avec le ventricule gauche ; ce sont : l'**artère aorte**, qui décrit une crosse et conduit le sang au tronc et aux membres postérieurs et sa ramification, le **tronc brachio-céphalique**, qui irrigue le cou, la tête et les membres antérieurs.

Si on introduit une sonde dans les deux ventricules, on constate que :

- la paroi du ventricule droit est beaucoup plus mince que celle du ventricule gauche ;
- le sillon oblique signalé plus haut marque la ligne de séparation entre les ventricules et que, par conséquent, le ventricule gauche forme à lui seul la pointe du cœur.

Il faut signaler, au passage, les vaisseaux coronaires, chargés d'assurer la nutrition du cœur,

-face dorsale, ou face veineuse :

Sur cette face, les oreillettes et les veines qui y aboutissent peuvent être observées aisément.

A l'oreillette droite aboutissent les deux veines caves. Si on introduit la sonde dans la veine cave supérieure, elle ressort par la veine cave inférieure ou pénètre dans le ventricule droit.

Le tronc brachio-céphalique se divise un peu plus loin en donnant les deux artères carotides et les deux artères sous-clavières. Chez l'Homme, le tronc brachio-céphalique n'alimente que les artères carotide et sous-clavière droites ; l'artère carotide et l'artère sous-clavière gauches se détachent séparément de la crosse de l'aorte.

A l'oreillette gauche, aboutissent les quatre veines pulmonaires. Si on introduit la sonde dans l'une des veines pulmonaires, elle pénètre dans le ventricule gauche.

Activité 2 :

Que montre une vue interne d'un cœur de mouton ?

- Dissection du ventricule droit.

- Introduire la pointe des ciseaux dans l'artère pulmonaire et inciser la paroi de l'artère et celle du ventricule droit à quelques millimètres du sillon interventriculaire ;
- Sectionner la bride charnue (muscle transversal) qui unit les faces interne et externe du ventricule et éliminer les caillots qui encombrent sa cavité ;
- Observer successivement la valvule sigmoïde, la cavité du ventricule et la valvule tricuspidale (figure ci-contre).

- Dissection du ventricule gauche :

- Introduire les ciseaux dans l'aorte et inciser la paroi de l'artère et celle du ventricule gauche à quelques millimètres du sillon interventriculaire.
- Comparer l'épaisseur des parois des deux ventricules (celle du ventricule gauche est environ 5 fois plus épaisse que celle du ventricule droit) et observer successivement la valvule sigmoïde, la cavité du ventricule et la valvule mitrale (figure ci-contre).

- Dissection des oreillettes :

- Introduire la sonde dans l'une des veines caves et faire sortir sa pointe par l'autre ;
- Inciser la paroi suivant la ligne tracée par la sonde et faire une seconde incision perpendiculaire de façon à bien dégager la cavité de l'oreillette droite ;
- Ouvrir largement d'un coup de ciseaux l'oreillette gauche.

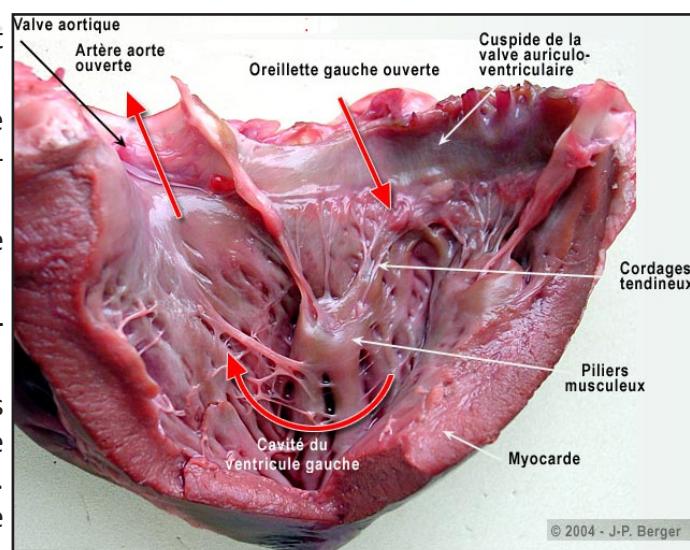
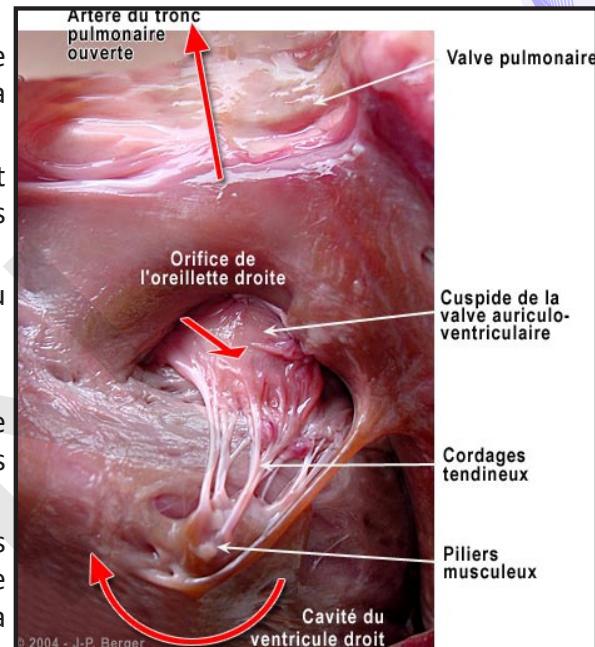
Observer attentivement les figures et décrire l'organisation interne du cœur.

La **valvule sigmoïde** est formée de trois goussets dont l'ouverture est dirigée vers le haut et dont le bord libre porte en son milieu un nodule arrondi. Cette valvule s'oppose au retour du sang de l'artère vers le ventricule.

La **cavité ventriculaire** présente de nombreuses colonnes charnues dont les anastomoses forment un réseau serré. Deux saillies plus volumineuses portent le nom de piliers.

La **valvule tricuspidale** ferme l'orifice auriculo-ventriculaire et s'oppose au reflux du sang du ventricule vers l'oreillette. Elle est formée de trois lames membraneuses que des cordons stendineux de tous calibres unissent aux parois des ventricules (piliers et cloison interventriculaire).

La valvule sigmoïde de l'aorte est tout à fait comparable à celle de l'artère pulmonaire. Toutefois, deux



goussets de cette valvule abritent ici les orifices des deux artères coronaires.

La cavité ventriculaire est caractérisée par la grande taille des colonnes et surtout des piliers.

La valvule mitrale, ou bicuspidé, est formée de deux lames membraneuses.

L'oreillette droite, surtout, est intéressante. Sa paroi est mince et sa face interne comprend deux régions distinctes : l'une, absolument lisse, correspond au sinus des Batraciens ; l'autre, proprement auriculaire, est garnie d'un réseau dense de colonnettes charnues. La région sinusale reçoit les deux veines caves ainsi que la veine coronaire dont l'orifice est bordé par la valvule de Thébésius.

Le cœur est composé de trois enveloppes superposées, qui , de l'extérieur vers l'intérieur, sont appelées :

- le **péricarde** : C'est un sac fibrosé, d'origine mésodermique qui enveloppe, fixe et protège le cœur. C'est une séreuse, c'est-à-dire une membrane double dont les deux feuillets sont séparés par un liquide visqueux, peu abondant, qui

assure le glissement des feuillets et facilite les mouvements du cœur. Le feuillet externe, ou pariétal, est doublé d'un sac fibreux qui adhère à la plèvre, au diaphragme et à la paroi thoracique. Le feuillet interne, ou viscéral, est appliqué sur le cœur dont il constitue la couche la plus externe (épicarde).

- le **myocarde** : La masse principale du cœur est constituée par un tissu musculaire, le myocarde renfermant des îlots ou des traînées de tissu nodal. C'est un tissu musculaire formé de couches cellulaires superposées, qui s'enroulent sur elles-mêmes pour délimiter les cavités cardiaques. Elles s'insèrent sur les anneaux fibreux qui constituent la charpente du cœur. Chaque cavité, oreillette ou ventricule, possède une musculature propre et indépendante au niveau d'un hémicœur donné. Cependant il existe des couches musculaires communes aux deux oreillettes et des couches communes aux deux ventricules.

L'épaisseur du myocarde n'est pas identique partout. Elle est plus faible au niveau des oreillettes qu'au niveau des ventricules. Egalement, le ventricule gauche a une paroi plus épaisse que le ventricule droit.

Les cellules myocardiques sont des cellules musculaires striées de taille moyenne 5 à 10 µm sur 20 à 30 µm (figure ci-contre).

Elles possèdent :

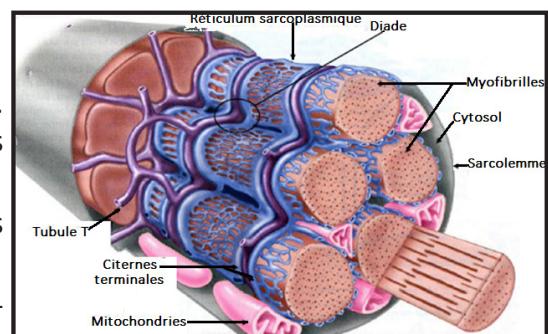
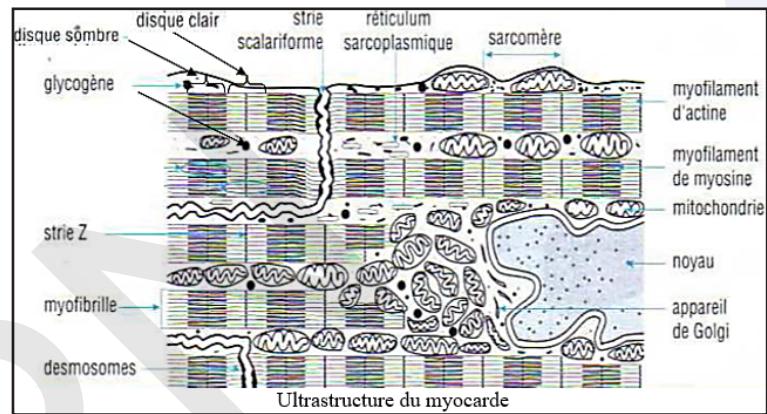
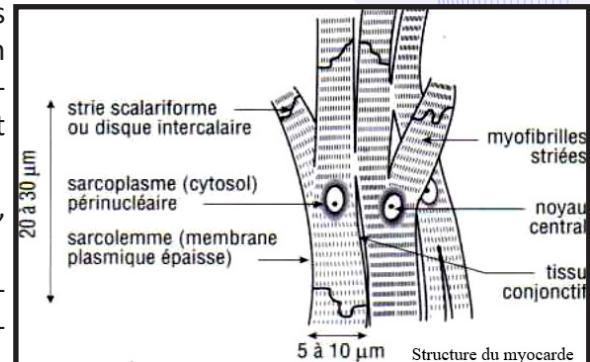
- une membrane plasmique ou sarcolemme,
- un seul noyau central ovoïde,
- un sarcoplasme riche en myofibrilles sauf autour du noyau.

Les myofilaments sont constitués d'actine et de myosine. Ils forment une striation identique à celle des muscles squelettiques. Le sarcoplasme est riche en molécules énergétiques (glycogène, lipides).

Il renferme des mitochondries volumineuses, disposées longitudinalement.

Les invaginations tubulaires du sarcolemme (système T) ont un plus gros diamètre que dans les cellules musculaires squelettiques. Disposées longitudinalement, elles se situent au niveau des stries Z plutôt qu'à la jonction des disques A et I.

Les citernes terminales du réticulum sarcoplasmique sont peu développées. Le tubule T n'entre en contact généralement qu'avec une seule citerne, formant une diade (figure ci-contre). Ces cellules se ramifient et s'anastomosent pour former un réseau cellulaire à maille étroite, qui emprisonne un tissu conjonctif

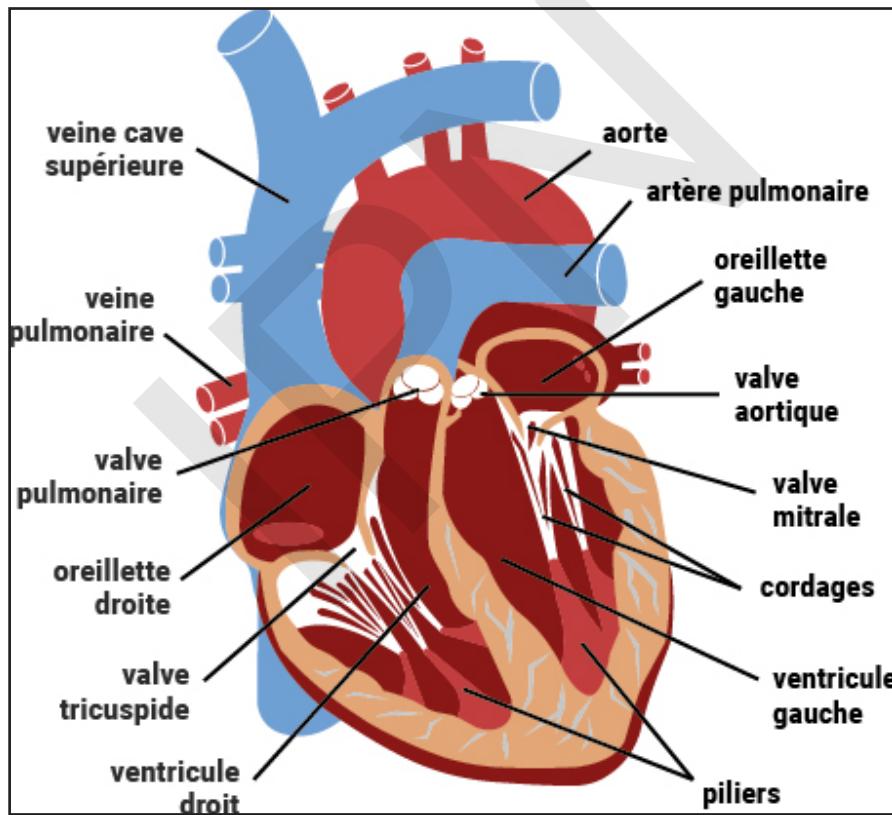


nourricier. Les zones d'accolement entre les cellules myocardiques sont appelées « disques intercalaires ». Leur disposition rappelle un escalier d'où le nom de stries scalariformes qui leur est donné.

L'association des cellules est faite par des desmosomes et des jonctions de type serré, ces dernières jouent un rôle primordial dans la transmission des ondes excitatrices entre les cellules. Le muscle cardiaque (myocarde) possède un squelette fibreux formé de quatre anneaux situés approximativement dans un plan et solidement unis entre eux. Ces anneaux portent respectivement les deux valvules auriculo-ventriculaires et les deux valvules sigmoïdes. Sur l'une des faces du plan fibreux, s'insère le myocarde auriculaire ; sur l'autre face, s'insère le myocarde ventriculaire.

Le tissu nodal (figure ci-contre) forme deux amas inclus dans la paroi de l'oreillette droite : le nœud sinusal de Keith et Flack, situé au point d'arrivée de la veine cave supérieure, et le nœud septal de Tawara, situé à la base de la cloison interauriculaire, près de l'orifice de la veine coronaire. Le faisceau de His, issu du nœud de Tawara, perce obliquement le plan fibreux auriculo-ventriculaire. Dans chaque ventricule, le faisceau de His se continue par un réseau serré, situé sous l'endocardie (réseau de Purkinje). La structure du tissu nodal diffère peu de celle du myocarde. Elle est seulement un peu plus lâche.

- **l'endocardie** : c'est un endothélium (c'est-à-dire une mince lame conjonctive formée de cellules très aplatie) polygonal, simple qui tapisse toutes les cavités du cœur. Il forme les valves au niveau des anneaux fibreux de chaque orifice. L'endocardie tapisse les cavités du cœur et se continue dans les artères et dans les veines ; il forme à lui seul la paroi des capillaires.



NB. Quelques particularités du cœur des batraciens :

L'étude graphique de la contraction cardiaque étant faite sur un cœur de Grenouille, nous dirons ici quelques mots de la conformation générale et de la structure du cœur des Batraciens.

Le cœur de la Grenouille (figure ci-contre) comprend deux oreillettes inégales et un ventricule unique. Le raccord entre les oreillettes et le ventricule est assuré par un entonnoir musculaire sur lequel s'insère la valvule auriculo-ventriculaire. Les veines caves, au nombre de trois, débouchent dans un sinus veineux distinct de l'oreillette droite. Au départ du ventricule, un bulbe artériel incomplètement cloisonné alimente deux artères carotides, deux crosses aortiques et deux artères pulmo-cutanées. Il n'existe pas de vaisseaux coronaires.

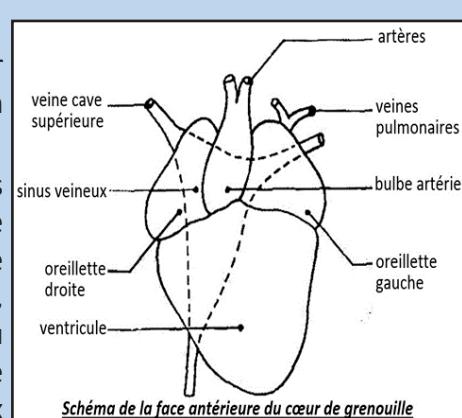


Schéma de la face antérieure du cœur de grenouille

B- Etude expérimentale (grenouille)

Activité 3 :

Comment faire une étude graphique de la contraction cardiaque ?

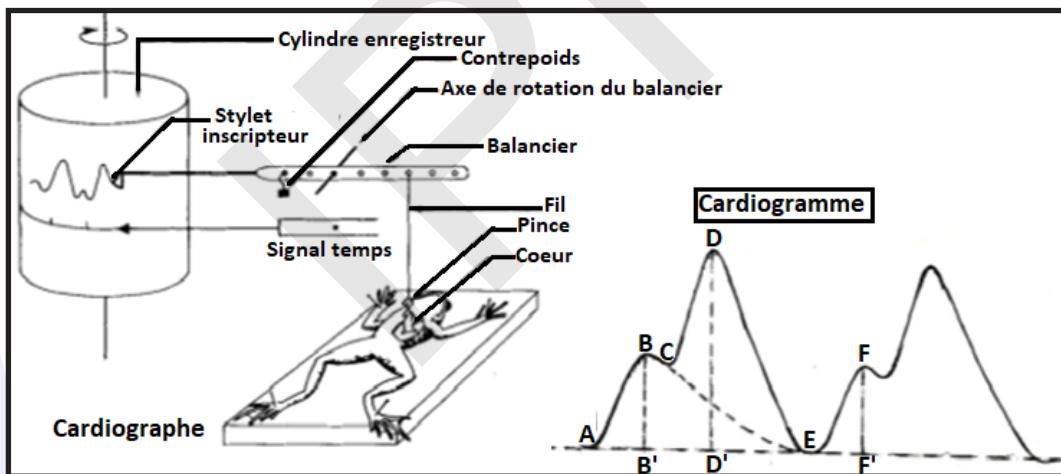
Mode opératoire :

Cette étude peut être faite sur une Grenouille privée de ses centres nerveux.

- Détruire l'encéphale et la moelle épinière d'une Grenouille ;
- Fixer l'animal sur une planchette de liège, le ventre en l'air, avec quatre épingle enfoncées dans les pattes ;
- Dégager le cœur en découplant successivement la peau, la paroi musculo-squelettique et le péricarde ;
- fixer la pince sur la pointe ventriculaire. Choisir la longueur du bras de levier de façon à obtenir une amplitude suffisante. Réduire l'effort du cœur en plaçant, sur ce même bras de levier, une petite masse compensatrice de pâte à modeler.
- Fixer la pince sur la pointe ventriculaire ;

L'inscription se fait à l'aide d'un cardiographe conçu pour l'enregistrement de la contraction cardiaque. Le modèle utilisé ici est formé d'un levier à bascule dont un bras est relié à la pointe du cœur par une pince métallique et dont l'autre bras est muni d'un stylet inscripteur. Le cylindre enregistreur est disposé verticalement (figure ci-dessous).

- Choisir la longueur du bras de levier de façon à obtenir une amplitude suffisante ;
- Réduire l'effort du cœur en plaçant, sur ce même bras de levier, une petite masse compensatrice de pâte à modeler.
- Observer le cardiogramme obtenu (figure ci-dessous).



Interpréter l'enregistrement obtenu afin de dégager les différentes parties d'une révolution cardiaque.

Chez la grenouille, si on observer les contractions cardiaques, on note que les différentes parties du cœur se contractent dans l'ordre : sinus oreillettes ventricule bulbe.

Les contractions étant surtout nettes au niveau des oreillettes et du ventricule, un cardiogramme normal présente deux courbes successives d'amplitudes différentes.

La première courbe correspondant à l'activité des oreillettes et comprend :

- une portion ascendante AB, qui représente la systole auriculaire d'amplitude BB' ; sa durée correspond au segment AB'.
- une portion descendant BC, qui représente le début de la diastole auriculaire dont la durée correspond au segment B'E : les oreillettes se reposent plus qu'elles ne travaillent.

La deuxième courbe CDE correspond au fonctionnement du ventricule et comprend :

- une portion ascendante CD qui représente la systole ventriculaire d'amplitude DD' (contraction isométrique = mise en tension) généralement suivie d'un plateau systolique (contraction isotonique =

évacuation). Sa durée CD' est plus grande que celle de la systole auriculaire.

- une portion DE qui correspond à la diastole, sa durée D'F : on voit que le ventricule se repose plus qu'il ne travail. Ce qui explique son infatigabilité.

L'ensemble ABCDE est appelé : **cycle cardiaque ou révolution cardiaque**.

On admet que chaque élément de la courbe (Mécanogramme ou cardiogramme) comprend quatre parties : un ressaut, une partie ascendante, un palier et une partie descendante.

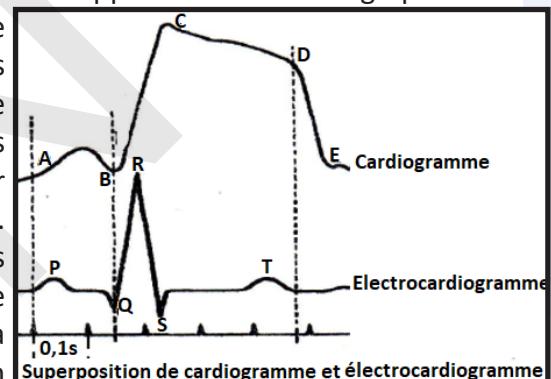
- Le ressaut correspond à la systole auriculaire : les oreillettes se contractent et refoulent le sang dans le ventricule.

- La partie ascendante de la courbe correspond au début de la systole ventriculaire. Au cours de ce premier temps, la pression intraventriculaire s'élève progressivement, mais elle est encore trop faible pour que le sang soit chassé dans le bulbe. Le sang étant, comme tous les liquides, incompressible, cette période de mise en tension correspond à une contraction isométrique.

- Le palier de la courbe commence dès que la pression intraventriculaire a atteint une valeur suffisante pour que le sang soit chassé dans le bulbe. Ainsi, l'évacuation du ventricule s'accompagne à pression constante, sous l'effet d'une contraction isotonique.

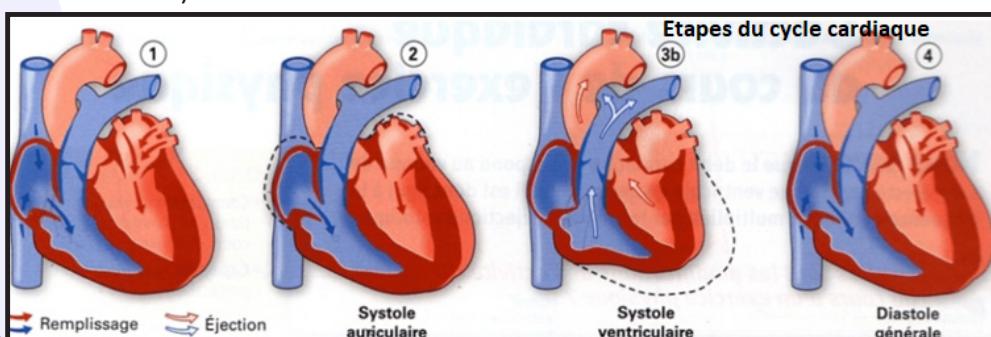
- La partie descendante de la courbe correspond au relâchement du myocarde, c'est-à-dire à la diastole générale.

Chez l'homme, l'enregistrement se fait de façon indirecte. On l'appelle électrocardiographie. Cette méthode est basée du fait que le fonctionnement du myocarde s'accompagne comme celui de tous les muscles de phénomènes électriques de dépolarisation avec le Potentiel d'Action qui se propage dans tous le corps. Il est donc possible d'enregistrer les phénomènes électriques du cœur en plaçant des électrodes sur la peau. L'électrocardiogramme correspond à la trace obtenue. Il présente 5 phases conventionnellement désignées par les lettres P, Q, R, S, T : l'onde P déclenche la systole auriculaire suivie d'une plus grande nommée Q, R, S responsable de la systole ventriculaire. Enfin on observe une légère déviation appelée : repolarisation T qui précède la diastole.



Le cycle cardiaque correspond donc à la succession d'étapes composant un battement complet du cœur pendant lequel les oreillettes et ventricules se contractent (systole) puis se relâchent (diastole). Le fonctionnement cardiaque repose sur les contractions du myocarde qui génèrent des variations de pressions à l'origine de l'ouverture et la fermeture des valves permettant la circulation du sang.

- Systole auriculaire : les oreillettes se contractent, le sang est propulsé dans les ventricules
- Systole ventriculaire : remplissage des ventricules, les valves auriculo-ventriculaires se ferment (1^{er} bruit du cœur).
- Systole ventriculaire isovolumique : ouverture des valves sigmoïdes et éjection du sang dans les artères.
- Diastole générale : les oreillettes et les ventricules se relâchent simultanément et les valves sigmoïdes se ferment (2^{ème} bruit du cœur).



Les paramètres du cycle cardiaque sont :

- **Fréquence cardiaque (FC)** : C'est le nombre de battements cardiaques par minute.

Pour un adulte en bonne santé se situe entre 50 et 80 battements par minute.

Les valeurs de la FC varient pendant un effort (220 bat. /min. maximum) et selon l'âge.

- **Volume d'éjection systolique (VES)** : C'est le volume du sang éjecté par un ventricule à chaque systole. Il varie entre 70ml au repos et 150ml à l'effort.

Il est déterminé par trois facteurs :

· La précharge : degré d'étirement du myocarde en fin de systole ;

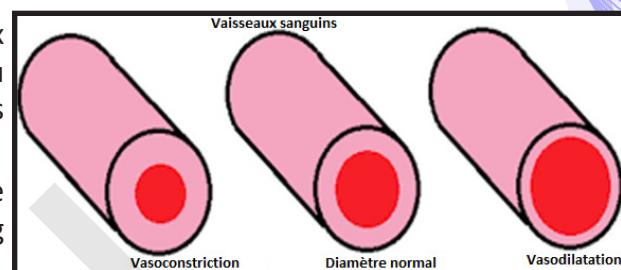
· La postcharge : résistance opposée à l'éjection du sang dans les ventricules ;

· La contractilité myocardite : force que génère la contraction du myocarde ;

- **Débit cardiaque (DC)** : Il correspond au volume de sang éjecté par chaque ventricule durant une minute : $DC (\text{ml/min}) = VS \times FC$.

- **Vasomotricité** : C'est la variation du calibre des vaisseaux sanguins consécutif à la contraction (Vasoconstriction) ou au relâchement (Vasodilatation) des fibres musculaires de leurs parois.

- **Volémie** : C'est le volume de sang dans l'organisme. Le volume du sang moyen étant de 5 l, la totalité du sang transite par le cœur à chaque minute.



Activité 4 :

Mettre en évidence l'automatisme cardiaque.

Cœur de grenouille : Trois méthodes, au choix :

1^{ère} méthode :

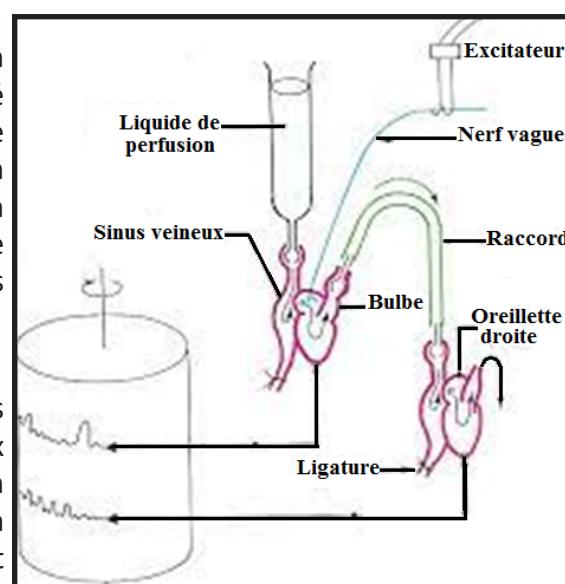
- Détruire l'encéphale et la moelle épinière d'une Grenouille ;
- Fixer l'animal sur une planchette de liège, le ventre en l'air, avec quatre épingle enfoncées dans les pattes ;
- Dégager le cœur en découplant successivement la peau, la paroi musculo-squelettique et le péricarde ;
- Constater que le cœur bat malgré la destruction des centres nerveux.

2^{ème} méthode :

Isolé du corps et immergé dans du **liquide de Ringer**, le cœur continue de battre pendant plusieurs heures en utilisant ses réserves de glycogène et l'oxygène dissous dans le liquide.

3^{ème} méthode :

Une méthode plus rigoureuse fait appel à la **perfusion**. On utilise pour cela une **canule de Straub**, tube de verre effilé portant à son extrémité un renflement arrondi. La canule étant introduite dans le bulbe et, de là, dans le ventricule, on fait une ligature et on remplit de liquide de Ringer que l'on renouvelle plusieurs fois afin d'éliminer le sang. Le ventricule renferme alors une petite quantité de liquide que brassent les systoles, tandis que le sinus et les oreillettes battent à vide.



Cœur de Mammifère :

Le cœur des Mammifères ne peut être observé en place dans une simple expérience de cours, car l'ouverture du thorax entraîne la mort de l'animal par asphyxie. Une telle opération exige l'utilisation d'un appareil de respiration artificielle. La **perfusion** d'un cœur de Mammifère est délicate et ne peut être réalisée que sous certaines conditions :

- Le liquide de perfusion doit parcourir le système vasculaire cardiaque. Pour cela, la canule est introduite

dans l'aorte et le liquide, en provoquant la fermeture de la valvule sigmoïde, s'engage dans les artères coronaires. Il s'échappe ensuite, par la veine coronaire, dans l'oreillette droite. Aucune cavité ne se remplit de liquide : **le cœur bat à vide**.

- Le liquide de Ringer, dépourvu de valeur nutritive, ne convient pas. On lui substitue une solution spéciale renfermant du **glucose** (1 %) et de l'**oxygène** (à saturation).

- Le liquide de perfusion est porté à la **température** de 38 °C et soumis à une **pression** constante.

Analyser ce résultat puis conclure.

* Chez un animal privé de ses centres nerveux; c'est-à-dire décérébré et démédullé, on constate que le cœur continue de battre de manière rythmique pendant plusieurs heures. Cette observation permet de conclure que le muscle cardiaque fonctionne de manière autonome en l'absence du système nerveux et de toutes stimulations extérieures : on dit qu'il est auto excitable : il est dit myogénique, donc doué d'**automatisme**.

* Isolé totalement de l'organisme, un cœur continue ses battements rythmiques lorsqu'il est convenablement perfusé par un liquide physiologique (comme le Ringer). Ce résultat montre que la structure responsable de l'automatisme cardiaque se trouve à l'intérieur des cavités et non à la surface.

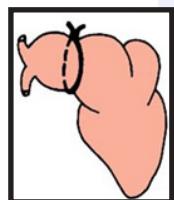
Un cœur de Mammifère cesse de battre lorsqu'il est isolé du reste du corps. Mais s'il est perfusé avec un sérum gluco- oxygéné, tempéré à 37 °C, il se contracte rythmiquement avec une fréquence supérieure à celle observée *in situ*. Il est possible de maintenir en vie un cœur hors de l'organisme en perfusant les artères coronaires avec un sérum approprié, possibilité utilisée en chirurgie.

Activité 5 :

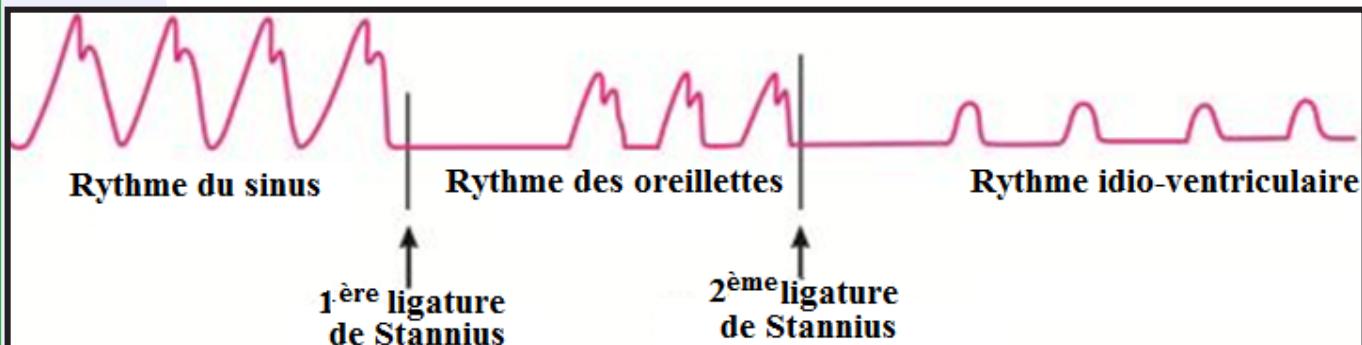
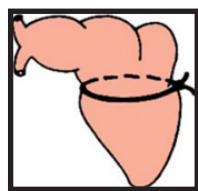
Situer le siège de l'automatisme cardiaque.

- Expériences de Stannius :

- Préparer une Grenouille avec centres nerveux détruits et cœur mis à nu ;
- Lorsqu'on pose une ligature L_1 entre le sinus veineux et les oreillettes, on constate l'arrêt des battements auriculo- ventriculaires mais le sinus veineux continue ses battements à un rythme normal. Le sinus veineux isolé du reste du cœur continue à battre normalement, mais les oreillettes et le ventricule s'arrêtent en diastole. Plusieurs minutes après les battements auriculo-ventriculaires peuvent reprendre.

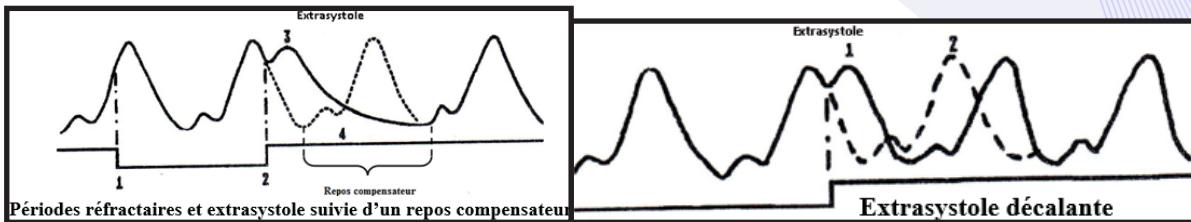


- La pose de la ligature L_2 isole le ventricule du reste du cœur. On note que le sinus et les oreillettes battent à un rythme normal, mais le ventricule bat à un rythme plus lent.
- En maintenant la ligature L_1 , on pose la ligature L_2 , les différentes parties du cœur sont isolées. Le sinus bat à son rythme normal ; celui du cœur ; les oreillettes cessent de battre, le ventricule bat à son rythme plus lent.



- Des méthodes plus précises confirment les résultats ci-dessus.

- En appliquant un corps chaud (40 °C) ou froid sur le sinus d'un cœur perfusé, on constate une modification du rythme des contractions. En opérant de même sur le ventricule, on n'observe aucun changement : le rythme sinusal, demeuré normal, continue de s'imposer à tout l'organe.
- L'excitation électrique du ventricule fait apparaître des extrasystoles non décalantes avec repos compensateur, tandis que l'excitation électrique du sinus provoque des extrasystoles décalantes.



A partir de l'analyse de ces expériences, déduire le siège de l'automatisme cardiaque.

- Ligature L_1 : Le sinus possède un centre important de l'automatisme cardiaque.
- Ligature L_2 : Le ventricule commande ses propres battements mais ils sont inhibés.
- Ligature $L_1 + L_2$: Le sinus veineux renferme le centre de l'automatisme cardiaque le plus important qui imprime son rythme à tout le cœur. On l'appelle pace maker.

Ces résultats montrent que le siège principal de l'automatisme cardiaque est situé dans le sinus. La ligature, toutefois, a pour effet de faire apparaître une seconde zone douée d'automatisme : cette zone est située dans l'entonnoir qui unit les oreillettes au ventricule. Dans les conditions physiologiques, l'automatisme sinusal impose son rythme à tout le cœur ; l'automatisme de l'entonnoir, plus lent et moins impérieux, passe alors inaperçu.

En résumé, la **preuve de l'automatisme sinusal** est fournie par les faits suivants :

- Le sinus, seul, est capable de battre à l'état isolé (Stannius).
- Toute excitation (thermique ou électrique) appliquée au sinus, et à lui seul, entraîne une modification de la contraction qui affecte tout le cœur.
- Le sinus est le point de départ du potentiel d'action responsable de la contraction cardiaque.

Après avoir prouvé que l'automatisme sinusal impose son rythme à tout le cœur, il reste à préciser si

l'« entraîneur » cardiaque (le « pace-maker ») est le sinus tout entier ou un territoire limité situé dans le sinus. En effet, la destruction des ganglions nerveux n'arrête pas les battements, tandis que la modification du rythme cardiaque par application d'un corps chaud ou froid peut être obtenue à partir de n'importe quelle région du sinus.

C'est donc le myocarde sinusal tout entier qui est doué d'automatisme.

D'après toutes ces expériences, on peut conclure que l'automatisme cardiaque chez les batraciens provient de trois structures automatogènes constituées de ganglions situé l'un dans le sinus veineux. L'**extrasystole** avec « repos compensateur », obtenue par excitation du ventricule, est **non décalante** dans la mesure où le rythme cardiaque n'est pas modifié.

Si une excitation intervient au cours d'une diastole, elle provoque une systole anticipée, ou extrasystole, suivie d'une diastole prolongée : c'est le « repos compensateur », dont la durée est telle que la systole suivante se produit au moment précis où elle se serait produite si le ventricule n'avait pas été excité. L'**extrasystole décalante**, obtenue par excitation du sinus n'est pas suivie d'un repos compensateur et par conséquent accélère le rythme cardiaque. Dans ce cas, l'extrasystole est une systole avancée ; le rythme sinusal est entièrement décalé dans le temps, si bien que la diastole suivante est une diastole normale.

Si une excitation intervient au cours d'une systole, le cardiogramme n'est pas modifié : il existe donc une période réfractaire pendant laquelle le cœur est inexcitable. Cette période, beaucoup plus longue que pour les muscles squelettiques, correspond sensiblement à la durée de la systole.

- Si on reprend l'expérience en faisant des excitations répétées, le cardiogramme présente alors une série d'extrasystoles, mais, par suite de la longue durée de la période réfractaire, on n'obtient pas de véritable tétonisation (pas de sommation).

L'excitation du sinus veineux donne des résultats comparables à une différence près : les extrasystoles sont suivies de diastoles normales, sans repos compensateur. Ce sont des extrasystoles décalantes. Cette différence est importante, car elle permet une analyse précise de l'automatisme cardiaque.

Chez les Mammifères (ou Oiseaux), de nombreux faits prouvent :

- que l'automatisme n'est pas d'origine nerveuse.
- qu'il a pour siège le tissu nodal.

L'exploration électrique du cœur montre que le potentiel d'action part du nœud de Keith et Flack. Chez les Mammifères, la destruction de ce nœud substitute au **rythme sinusal**, normal, un **rythme septal** plus lent, caractérisé par la simultanéité des contractions auriculaire et ventriculaire : dans ce cas, le potentiel d'action naît au niveau du nœud de Tawara.

Chez le Chien, la section du faisceau de His entraîne la dissociation des contractions auriculaire et ventriculaire : les oreillettes continuent de battre au rythme sinusal, tandis que les ventricules, après un bref arrêt en diastole, repartent suivant un rythme plus lent, dit **idio-ventriculaire**. Chez l'Homme, l'altération pathologique du faisceau de His (maladie de Stokes-Adams) conduit à un résultat analogue. Ainsi, comme chez la Grenouille, une hiérarchie s'établit entre les centres doués d'automatisme, ces centres étant rangés comme suit par ordre décroissant d'énergie et de fréquence :

- ✓ **Grenouille** : sinus → entonnoir.
- ✓ **Mammifères** : nœud sinusal → nœud septal → Faisceau de His ventriculaire.
- ✓ **Homme** : les rythmes propres de ces centres sont les suivants
 - Rythme sinusal (cœur énervé) : 120 à 130 battements par minute.
 - Rythme septal : 40 à 60.
 - Rythme idio-ventriculaire : 25 à 35.

Le potentiel d'action précède la contraction cellulaire. Toute variation du rythme de dépolarisation se retrouve dans le rythme de contraction.

Les variations du potentiel transmembranaire des cellules autorythmiques déclenchent la production d'un potentiel d'action, phénomène initiateur de la contraction cellulaire.

L'automatisme cardiaque naît au niveau des cellules autorythmiques. Les variations cycliques de leur potentiel de membrane font naître des excitations. Transmises aux cellules myocardiques, elles feront naître un potentiel d'action qui déclenchera une contraction.

Ces cellules autorythmiques sont regroupées en un tissu cardiaque spécialisé : le **tissu nodal**.

Le tissu nodal est constitué de cellules musculaires striées ayant gardé certains caractères embryonnaires :

- morphologiques : aspect fusiforme, sarcoplasme abondant, myofibrilles périphériques ;
- physiologiques : ce sont des cellules autorythmiques.

Ce tissu est interpénétré par des fibres et des cellules nerveuses du plexus cardiaque.

Anatomiquement, il s'organise en deux amas cellulaires ou nœuds.

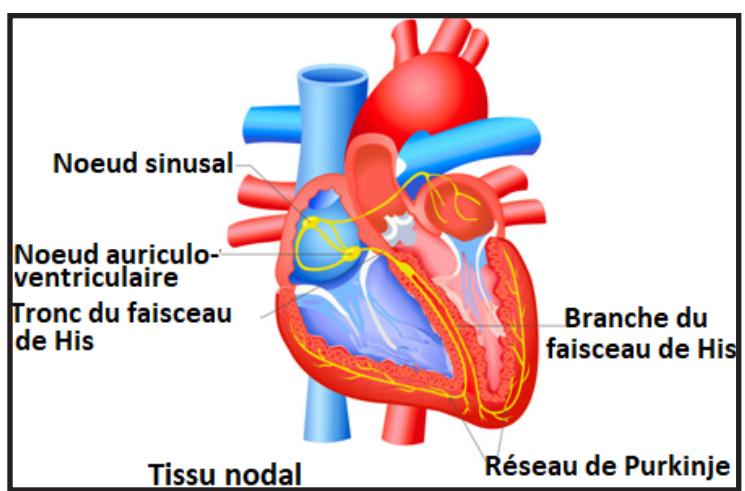
- Le nœud de Keith et Flak ou nœud sinusal : Situé dans la partie haute de l'oreillette droite, au voisinage du point d'abouchement de la veine cave supérieure, ce nœud possède un rythme d'automatisme propre : le rythme sinusal (80 excitations/min.).
- Le nœud d'Aschoff-Tawara, ou nœud auriculo-ventriculaire, ou nœud septal : Situé dans la partie basse, gauche, de l'oreillette droite, au niveau du point d'insertion de la valve interne de la valvule tricuspidale ; ce nœud possède un rythme d'automatisme propre de 40 à 50 excitations/min.

De ce deuxième nœud, part un faisceau de fibres conductrices, en direction des ventricules. Il se nomme : faisceau ventriculaire de His. Il constitue la seule voie de conduction des excitations entre les oreillettes et les ventricules. Il possède un rythme propre de 30 à 40 excitations/min.

Ce faisceau se ramifie en deux branches : droite et gauche, qui vont former dans chaque ventricule un réseau de conduction appelé : réseau de Purkinje.

Les deux nœuds ne possèdent aucune liaison nodale directe. Le rythme d'automatisme du tissu nodal est imposé par le nœud sinusal.

Le tissu nodal a des propriétés d'automatisme et de conduction. Il engendre les excitations initiatrices des contractions cardiaques et il en assure la propagation des oreillettes aux ventricules.



Activité 6 :

Décrire l'innervation du cœur.

La figure suivante montre l'innervation cardiaque.

A l'aide de la figure précédente, décrire l'organisation de l'innervation cardiaque.

Le cœur reçoit une double innervation constituée de fibres sympathiques et de fibres parasympathiques, toutes deux faisant partie du système nerveux neuro-végétatif.

1- Les centres : Les influx nerveux, qui arrivent au cœur proviennent de deux centres :

- le centre **sympathique médullaire** : il est situé dans la moelle cervicale.

Le **centre cardioaccélérateur** appartient au système sympathique. Il est situé dans la corne latérale de la moelle épinière à la hauteur des omoplates.

- le centre **parasympathique bulbaire** : il occupe une partie du plancher du quatrième ventricule.

Le **centre cardiomodérateur** appartient au système parasympathique. Il est situé dans la région dorsale du bulbe rachidien, au voisinage du centre respiratoire.

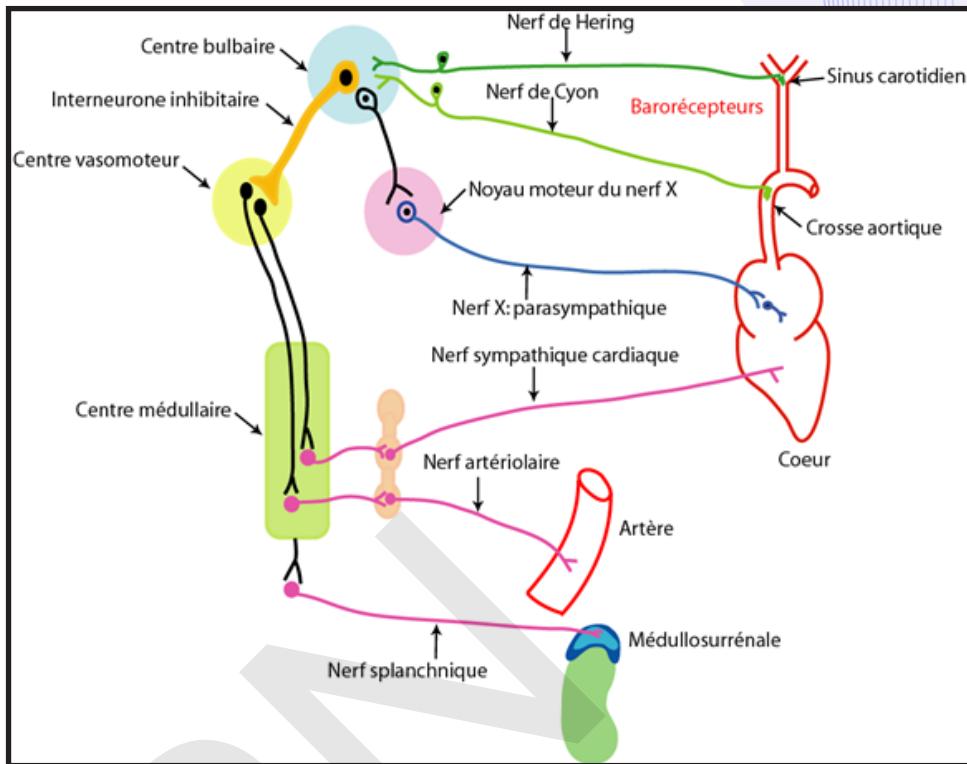
La liaison nerveuse, entre le centre neurovégétatif et le cœur, est toujours une liaison disynaptique. Les fibres sympathiques font relais dans une chaîne de ganglions situés le long de la colonne vertébrale. Les fibres parasympathiques font relais dans des ganglions situés à l'intérieur des organes innervés.

Centre cardiomodérateur et centre cardioaccélérateur sont pairs. La coordination de leurs actions est assurée, comme pour tous les centres neuro-végétatifs, par **l'hypothalamus**.

2- Les voies centrifuges (motrices) : Les filets nerveux issus du centre bulbaire s'engagent dans le nerf pneumogastrique, ou **nerf vague**, pièce maîtresse du système parasympathique. Les filets cardiomodérateurs quittent le tronc nerveux à la hauteur des oreillettes et pénètrent dans le **plexus cardiaque**, situé sous la crosse de l'aorte. Là, les neurones centraux font synapse avec des neurones ganglionnaires dont les axones pénètrent dans le myocarde. Ces axones sont particulièrement denses dans la région sinusale (pneumogastrique droit —nœud de Keith et Flack) et dans la cloison interauriculaire (pneumogastrique gauche —> nœud de Tawara). Les neurones intracardiaques, qu'ils soient épars ou groupés en ganglions, n'ont qu'un rôle de relais. Les filets nerveux issus du centre médullaire s'engagent dans les nerfs rachidiens correspondants (2^e et 3^e paires dorsales surtout) et pénètrent dans le ganglion étoilé, élément volumineux de la chaîne sympathique, situé à la limite des régions cervicale et dorsale. Là, les neurones centraux font synapse avec des neurones ganglionnaires dont les axones, groupés en plusieurs filets nerveux (nerfs cardiaques), traversent le plexus et pénètrent dans le myocarde.

Chez la Grenouille et chez quelques Mammifères (Chien), un certain nombre de filets sympathiques s'unissent au nerf vague qui devient ainsi un tronc vago-sympathique. Dans tous les autres cas (Lapin, Chat, Cheval, Homme), les deux séries de voies demeurent distinctes.

3- Les voies centripètes (sensitives) : Les nerfs sensitifs parasympathiques partent, non du cœur lui-même, mais de deux zones artérielles sensibles à la pression sanguine : les **zones vaso-sensibles**. L'une,



issue de la crosse de l'aorte, est reliée au centre cardiomodérateur par le nerf de Cyon, rameau du pneumogastrique. L'autre, située dans un léger renflement de la carotide (sinus carotidien), est reliée au centre cardiomodérateur par le nerf de Héring, branche du glosso-pharyngien. Nerfs de Héring et de Cyon sont appelés **nerfs dépresseurs**.

Des filets sensitifs sympathiques partent de terminaisons sensibles situées sous l'endocarde, dans l'oreillette droite surtout, gagnent la moelle épinière, traversent le ganglion étoilé et gagnent les centres cardiorégulateurs par les nerfs cardiaques.

L'ensemble des fibres sympathiques forment les nerfs cardiaques. Les fibres parasympathiques font partie de la structure de la dixième paire de nerfs crâniens, appelés nerfs vagues ou nerfs pneumogastriques.

4- Les récepteurs : Les centres cardiorégulateurs reçoivent des informations essentiellement à partir de deux types de récepteurs :

- les **tensorrécepteurs ou barorécepteurs** : Ce sont des récepteurs sensibles à l'étirement et par conséquent à la pression du sang, ainsi qu'à ses variations, car ils sont localisés dans la paroi de la crosse aortique et des carotides externes et internes.

Les informations, qui prennent naissance au niveau des barorécepteurs, sont véhiculées en direction des centres par deux nerfs :

- les nerfs de Cyon-Ludwig : voie afférente pour les barorécepteurs de la crosse aortique,
- les nerfs de Héring : voie afférente pour les barorécepteurs des sinus carotidiens.

Il existe d'autres tensorrécepteurs, notamment dans l'oreillette droite.

- les **chémorécepteurs** :

Lors d'une activité physique, le cœur a une concentration élevée en CO₂, en métabolites acides (acide lactique) et faible en O₂. Les métabolites acides et la forte concentration en CO₂, rendent le sang plus acide par une production de H⁺ grâce à la réaction suivante :



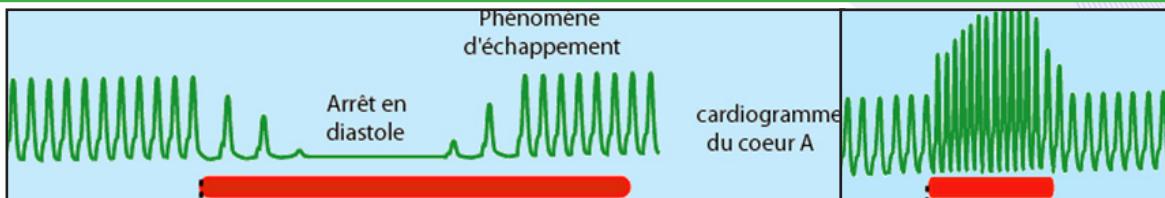
La faible teneur en O₂ et l'acidité élevée du sang excitent les chémorécepteurs ou chimiorécepteurs de la crosse aortique et du sinus carotidien (sensibles à la variation de la composition chimique) ; ce qui provoque une tachycardie.

Activité 7 :

Comment fonctionne le système nerveux cardiaque ?

Expériences sur la Grenouille :

- Préparer une Grenouille avec centres nerveux détruits et cœur mis à nu ;
- Dilacerer avec précaution les tissus situés entre l'angle de la mâchoire et la clavicule : trois nerfs sont alors visibles : Les deux premiers forment 2U emboîtés à ouverture antérieure : ce sont le glosso-pharyngien et le grand hypoglosse. Le troisième, plus fin et situé plus profondément, est le pneumogastrique, ou vago-sympathique ;
- Relier le cœur à un cardiographe et charger le vago-sympathique sur un excitateur ;
- Faire une série d'excitations :
 - Si les nerfs pneumogastriques (nerfs X) sont sectionnés, le rythme cardiaque augmente légèrement ;
 - Lorsqu'une série d'excitations supraliminaires est appliquée sur le bout périphérique, on observe un ralentissement du rythme cardiaque (bradycardie) ;
 - Une série d'excitations intenses peut arrêter le cœur en diastole ; si elle se poursuit, le cœur y échappe et reprend ses contractions ;
 - Toute excitation sur le bout central est inefficace ;
 - L'excitation du nerf de Cyon donne un résultat comparable ;
 - Si les nerfs cardiaques sont sectionnés, le rythme cardiaque diminue légèrement ;
 - L'excitation de l'extrémité périphérique d'un nerf cardiaque sectionné, entraîne une accélération du rythme (tachycardie).



Analyser ces différentes expériences afin d'expliquer le fonctionnement du système nerveux cardiaque.

NB- L'excitation du système sympathique est délicate et décevante. En revanche, l'étude de l'action de l'adrénaline et de l'acétylcholine (en injections intraveineuses) est très recommandée.

Le contrôle permanent et harmonieux des systèmes sympathiques et parasympathiques permet une adaptation souple du rythme cardiaque aux besoins métaboliques de l'organisme.

- Le nerf pneumogastrique est une voie nerveuse centrifuge : C'est une voie motrice. Le système parasympathique est cardiomodérateur ou inhibiteur.

La tachycardie due à la section des fibres parasympathiques, supprime l'action inhibitrice de ces fibres. Les fibres parasympathiques ont leurs péricaryons dans le bulbe.

Le **phénomène d'échappement** est dû à la destruction du médiateur.

Le neurotransmetteur libéré à la jonction nerf-cœur est l'acétylcholine. Elle diminue la force de contraction cardiaque entraînant une baisse du volume d'éjection systolique. Le plus souvent, on constate un ralentissement du rythme cardiaque dû principalement à un allongement des diastoles. Si l'excitation se prolonge, on peut obtenir un arrêt, presque toujours suivi d'une reprise des contractions : c'est le phénomène d'échappement.

Ce résultat s'explique par la prédominance du parasympathique sur le sympathique.

En l'absence de toute innervation, le rythme cardiaque est supérieur au rythme de repos. L'action cardiomodératrice parasympathique est donc permanente. Le centre cardiomodérateur bulinaire est un centre tonique.

- Le système sympathique est cardio-accélérateur. C'est une voie motrice.

Les fibres sympathiques ont un effet accélérateur, car leur excitation provoque une tachycardie. La bradycardie due à leur section, supprime l'action accélératrice de ces fibres. Les fibres orthosympathiques qui ont leurs péricaryons dans la moelle épinière et font un relais sympathique dans la chaîne ganglionnaire avant d'aboutir au cœur et aux vaisseaux sanguins. L'excitation du tronc vago-sympathique entraîne alors une accélération du rythme cardiaque. Le neurotransmetteur, libéré à la jonction nerf-cœur, est la noradrénaline.

Son action se traduit essentiellement par trois phénomènes :

- elle augmente la FC en accélérant la dépolarisation membranaire des cellules autorythmiques et en abaissant le seuil critique à partir duquel naît un potentiel d'action ;
- elle augmente la force de contraction du muscle cardiaque et par la même le débit cardiaque ;
- elle augmente le flux sanguin dans les artères coronaires.

L'action cardio-accélératrice du système sympathique est permanente. Le centre cardio-accélérateur médullaire est un centre tonique. Dans les conditions de repos ou d'activité faible, le tonus accélérateur sympathique est moins important que le tonus modérateur parasympathique.

L'activité cardio-accélératrice sympathique est renforcée par les médullosurrénales. Ces glandes sont comparables à des ganglions sympathiques. Elles sécrètent une hormone voisine de la noradrénaline : l'adrénaline.

L'adrénaline a de nombreux effets physiologiques dont la stimulation de l'activité cardiaque.

L'activité des médullosurrénales est contrôlée par voie nerveuse sympathique.

Conclusion :

Le rythme cardiaque est soumis à une double régulation :

- une régulation nerveuse :
- cardioaccélératrice sympathique,

- cardiomodératrice parasympathique ;
- une régulation hormonale cardioaccélératrice.

Ces deux systèmes régulateurs ont leur activité modulable par le système nerveux central. Par exemple l'attention diminue le rythme cardiaque ; une émotion violente peut l'accélérer par une vive décharge d'adrénaline, préparant l'organisme à répondre à l'agression.

A tout instant le rythme cardiaque est la résultante des différents systèmes régulateurs réflexes ou hormonaux.

Système régulateur	Récepteurs	Fibres sensitives	Centre nerveux	Fibres motrices	Organes effecteurs
Para-sympathique	Sinus carotidien Crosse aortique	Nerfs de Hering et Cyon	-Bulbaire cardio modérateur	Nerf X	Cœur Bradycardie Cardiomodérateur
Ortho-sympathique			Bulbaire et Médullaire Cardio-accélérateur	Nerf cardiaque	Cœur Tachycardie Cardio-accélérateur

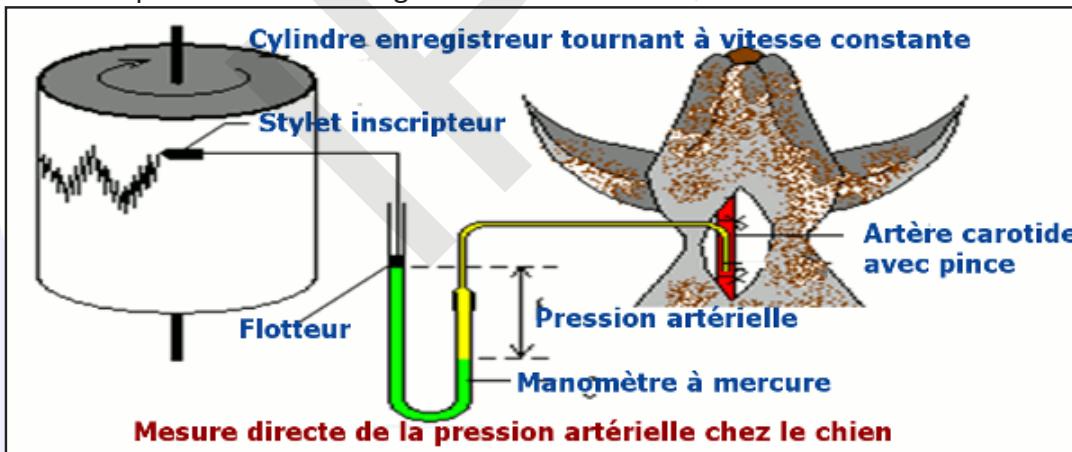
II- La pression artérielle et sa régulation

Activité 8 :

Qu'est-ce-que la pression artérielle ?

Document 1 : Mesure directe de la pression artérielle :

Elle consiste à introduire un cathéter (tube très fin) rempli de liquide anticoagulant dans une artère. Le cathéter est relié à un manomètre à mercure. La dénivellation observée correspond à la valeur de la pression artérielle exprimée en mm de Hg.



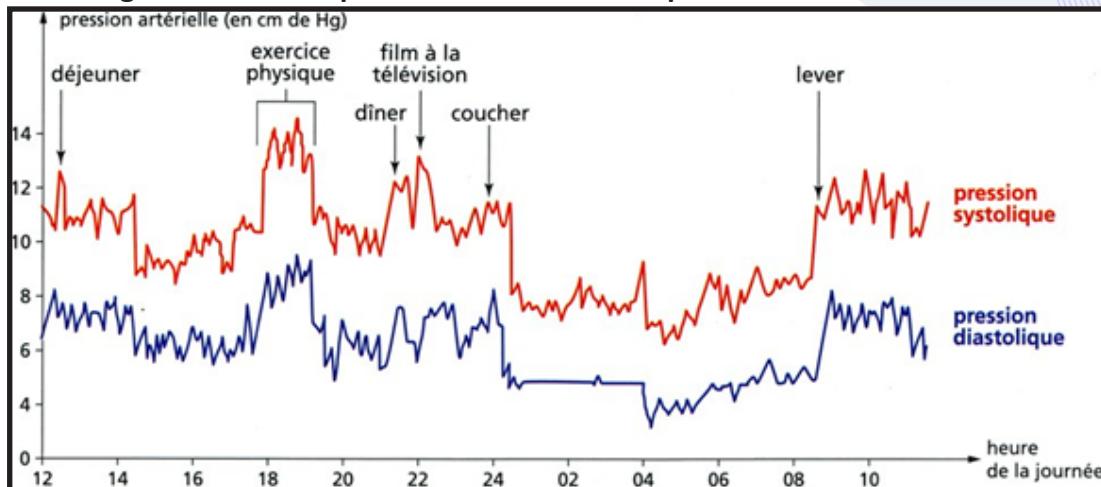
Document 2 : Mesure indirecte de la pression artérielle :

La pression artérielle est généralement mesurée pour l'artère brachiale (= du bras) gauche, à l'aide d'un sphygmomanomètre. Cet appareil consiste en un brassard de caoutchouc relié par un tube souple à une poire et, par un autre tube, à un manomètre qui mesure la pression (par exemple, une colonne de mercure graduée en mm). On place le brassard autour du bras, au-dessus de l'artère brachiale et on presse sur la poire pour le gonfler et exercer une pression sur l'artère, jusqu'à ce que la pression du brassard excède la pression du sang dans l'artère. A ce moment, le flux sanguin y est stoppé, ce que révèle un stéthoscope placé sous le brassard, au-dessus de l'artère (absence de bruit). On dégonfle progressivement le brassard jusqu'à ce que la pression soit très légèrement inférieure à la pression maximale dans l'artère. Le bruit qui correspond au rétablissement du flux sanguin est alors perçu dans le stéthoscope.



On détermine alors la pression systolique. A mesure que la pression dans le brassard est abaissée, le bruit devient plus faible, puis disparaît. On lit alors la valeur de la pression artérielle.

Document 3 : Enregistrement de la pression artérielle d'une personne de 35 ans au cours d'une journée.



A partir de l'étude des documents précédents, déduire la notion de pression artérielle et ses caractéristiques.

La **pression artérielle** (ou tension artérielle) correspond à la force exercée par le sang sur la surface interne de la paroi des artères. Elle dépend de la force de pompage exercée par le cœur, de la force de résistance exercée par la paroi des artères et du volume sanguin ou débit sanguin. C'est un paramètre physiologique important. La pression artérielle oscille entre deux valeurs :

- une valeur maximale ou **pression systolique** qui correspond à la pression artérielle pendant la contraction (systole) du ventricule gauche ;
- une valeur minimale ou **pression diastolique** qui correspond à la pression artérielle pendant le relâchement (diastole) du ventricule gauche.

La mesure de la pression artérielle d'une personne par un médecin se traduit donc par deux nombres, exprimée en cm de mercure. Chez un sujet sain, la pression artérielle est en moyenne 12/8 signifiant que la pression systolique est égale à 12 cm Hg (cm de mercure) ou 120 mm Hg et la pression diastolique est égale à 8 cm Hg ou 80 mm Hg. On parle alors d'**hypertension artérielle** (HTA), si la pression artérielle est supérieure à 140-90 mm Hg. C'est l'une des maladies les plus répandues dans le monde et constitue l'un des trois facteurs majeurs du risque cardiovasculaire. L'**hypotension artérielle** (pression systolique < 100 mm Hg) n'est pas une maladie mais le symptôme d'autres troubles : problème neurologique, effet secondaire d'un médicament ou de drogues, déshydratation, etc. Elle peut intervenir aussi lors d'un changement de position (hypotension orthostatique) ou lors de la digestion (hypotension postprandiale). Plus les 2 chiffres sont élevés, plus on tend vers l'hypertension artérielle. On parlera de tension artérielle normale lorsque les mesures sont inférieures à 14/9 (14 pour la pression artérielle systolique et 9 pour la pression diastolique).

Au-delà, il existe différents niveaux d'hypertension artérielle plus ou moins sévères.

Cependant, la pression artérielle est variable au cours d'une journée, mais toutes les perturbations sont rapidement corrigées; ce qui confirme la présence d'un système de régulation de la pression artérielle.

Les principales causes de variation sont l'exercice physique, le sommeil, le stress,... et les hémorragies.

La fréquence cardiaque et le volume d'éjection systolique influencent directement la pression artérielle. Ainsi tout facteur qui augmente leurs valeurs tend à éléver la pression artérielle. Toute variation de la vasoconstriction entraîne une variation du rythme cardiaque et de la pression artérielle.

Si le volume de sang diminue (hémorragie) ou augmente (perfusion) on a respectivement une diminution et une augmentation de la pression artérielle. Autres facteurs de variation :

- L'effort physique interne augmente le rythme cardiaque (RC) et la PA ;
- Quand on passe de la position couchée à la position debout la PA augmente ;
- Un excès de sel, un stress, une grossesse augmentent également la PA ;
- Le jeûne diminue la PA.

Activité 9 :

Comment est réglée la pression artérielle ?

Expériences :

– Chez l'animal, la stimulation électrique du bulbe rachidien entraîne une diminution du rythme cardiaque (bradycardie) et une hypotension. La destruction du bulbe rachidien entraîne une augmentation de la FC (tachycardie) et de la pression artérielle.

– La stimulation de la moelle épinière entraîne une tachycardie, une hypertension et une vasoconstriction. La lésion de la moelle épinière entraîne une bradycardie et une chute de la pression artérielle.

Analyser ces expériences puis conclure quant aux mécanismes régulateurs de la PA.

– Les 1^{ères} expériences nous montrent que le bulbe rachidien contient un centre cardio-modérateur et hypotenseur.

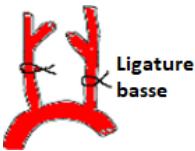
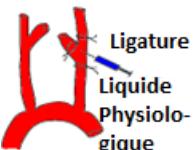
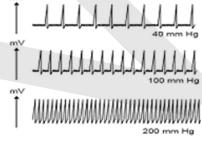
– Les 2nd prouvent que la moelle épinière renferme une zone cardio-accélératrice et vasoconstrictrice.

Il existe donc une régulation de la tension artérielle.

De très nombreux mécanismes physiologiques sont donc susceptibles d'intervenir dans le contrôle de la pression artérielle : les uns sont essentiellement nerveux, les autres sont essentiellement hormonaux. Ils sont indépendants et un contrôle correct nécessite un fonctionnement harmonieux et intégré des deux dispositifs. Les réflexes cardio et vaso-moteurs sont particulièrement efficaces pour réaliser des corrections quasi-immédiates : ils assurent une régulation à court terme. Le contrôle hormonal assure plutôt une régulation à moyen et long terme. Les mécanismes nerveux et hormonaux (neuro-hormonaux) parfaitement intégrés constituent un système de régulation par rétroaction négative. Cependant cette régulation se fait de façon hiérarchisée. Toute modification de la pression artérielle est d'abord corrigée par le mécanisme nerveux, quand celui-ci devient inefficace intervient alors le mécanisme hormonal. Quelle que soit la nature de la régulation, différents éléments, unissent leur action pour une régulation de la variation de la pression.

Activité 10:

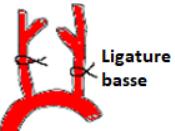
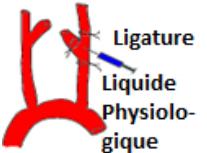
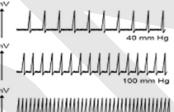
Comment mettre en évidence la régulation nerveuse de la pression artérielle ?

Expériences	Résultats	Conclusions
 Application des ligatures basses au niveau des carotides au-dessous du sinus carotidien.	<ul style="list-style-type: none"> Hypotension au niveau du sinus carotidien ; Une accélération du rythme cardiaque ; Une augmentation de la PA dans le système circulatoire. 	
 Injection du liquide physiologique au niveau du sinus carotidien isolé grâce à des ligatures.	<ul style="list-style-type: none"> Hypertension au niveau du sinus carotidien ; Ralentissement du rythme cardiaque ; Baisse de la pression artérielle dans le système circulatoire. 	
Injection du liquide physiologique à différentes pressions (40 mm Hg, 100 mm Hg et 200 mm Hg) dans le sinus carotidien.	 Activité électrique d'une fibre du nerf de Hering	
Nerfs sympathiques	Section	<ul style="list-style-type: none"> La FC et la PA diminuent ; Vasodilatation.
	Stimulation du BC	<ul style="list-style-type: none"> Sans effet.
	Stimulation du bout périphérique (BP)	<ul style="list-style-type: none"> La FC et la PA augmentent ; Vasoconstriction.
Nerfs de Cyon et de Hering	Section	<ul style="list-style-type: none"> La FC et la PA augmentent ; Vasoconstriction.
	Stimulation du PC	<ul style="list-style-type: none"> La FC et la PA diminuent ; Vasodilatation.
	Stimulation du BP	<ul style="list-style-type: none"> Sans effet.
Nerfs parasympathiques : Nerf X	Section	<ul style="list-style-type: none"> La FC et la PA augmentent ; Vasoconstriction.
	Stimulation du bout périphérique	<ul style="list-style-type: none"> La FC et la PA diminuent ; Vasodilatation.
	Stimulation du BC	<ul style="list-style-type: none"> Sans effet.
- La destruction d'une zone bulbaire entraîne l'augmentation de la fréquence cardiaque et de la pression artérielle en plus d'une vasoconstriction. - Si on stimule, chez un animal la région située au plancher du 4 ^{ème} ventricule (située au niveau du bulbe rachidien), on observe une diminution de la fréquence cardiaque (bradycardie) et de la pression artérielle et une vasodilatation. Une stimulation très forte entraîne un arrêt cardiaque. Une anesthésie de cette zone par la cocaïne, provoque une accélération du rythme cardiaque (tachycardie) et une augmentation de la PA. - La stimulation des zones latérales du 4 ^{ème} ventricule, provoque une augmentation de la fréquence		

cardiaque (tachycardie) et de la pression artérielle et une vasoconstriction. La stimulation de certaines zones de la moelle épinière, produit les mêmes effets. L'anesthésie de ces zones provoque une bradycardie.

- Lorsque le patient se lève, la pression artérielle diminue en quelques secondes, puis revient à sa valeur initiale rapidement.

Après avoir complété le tableau, analyser les expériences pour expliquer la régulation nerveuse de la pression artérielles.

Expériences	Résultats	Conclusions
 Des ligatures basses au niveau des .carotides au-dessous du sinus	<ul style="list-style-type: none"> Faible pression dans le sinus carotidien ; Une tachycardie ; Une Hypertension dans le système circulatoire. 	<ul style="list-style-type: none"> - La ligature basse entraîne une hypotension au niveau du sinus carotidien corrigée par une tachycardie.
 Injection du liquide physiologique au .niveau du sinus carotidien isolé	<ul style="list-style-type: none"> Hypertension au niveau du sinus carotidien ; Bradycardie ; Baisse de la PA dans le système circulatoire. 	<ul style="list-style-type: none"> - Le sinus carotidien renferme des barorécepteurs ; - L'hypertension dans le sinus est corrigée par une bradycardie.
Injection du liquide physiologique à différentes pressions (40 mm Hg, 100 mm Hg et 200 mm Hg) dans le sinus .carotidien	 Activité électrique d'une fibre du nerf de Hering	<ul style="list-style-type: none"> - Activité électrique (fréquence des PA) augmente dans le nerf de Hering avec la PA au niveau du sinus.
Nerfs sympathiques	Section	<ul style="list-style-type: none"> La FC et la PA diminuent Vasodilatation.
	Stimulation du BC	<ul style="list-style-type: none"> Sans effet.
	Stimulation du BP	<ul style="list-style-type: none"> FC et PA augmentent ; Vasoconstriction.
Nerfs de Cyon et de Héring	Section	<ul style="list-style-type: none"> FC et PA augmentent ; Vasoconstriction.
	Stimulation du PC	<ul style="list-style-type: none"> Diminution de la FC ; Diminution de la PA Vasodilatation.
	Stimulation du BP	<ul style="list-style-type: none"> Sans effet.
Nerfs para-sympathiques : Nerf X	Section	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la FC ; Augmentation de la PA ; Vasoconstriction.
	Stimulation du bout périphérique	<ul style="list-style-type: none"> La FC et la PA diminuent Vasodilatation.
	Stimulation du BC	<ul style="list-style-type: none"> Sans effet.

Le centre bulbaire est un centre hypotenseur (dépressif), cardiomodérateur et vasodilatateur. Dans la partie latérale du bulbe rachidien, il existe des centres cardioaccélérateurs, hypertenseurs et vasoconstricteurs agissant par l'intermédiaire de certaines zones de la moelle épinière à travers des neurones de liaison.

La régulation de la pression artérielle est un réflexe inné qui nécessite les éléments suivants :

✓ des **récepteurs sensoriels** : Les barorécepteurs localisés au niveau de la crosse aortique et au niveau des sinus carotidiens, Les barorécepteurs sont sensibles à toute variation de la pression artérielle et assurent la transduction :

La conversion de l'énergie mécanique (pression artérielle) en une énergie électrique (signal électrique)

✓ La **voie afférente** : constituée par les nerfs de Hering qui émergent des sinus carotidiens et les nerfs de Cyon qui émergent de la crosse aortique.

✓ Le **centre nerveux** : constitué d'un centre du système parasymphatique (noyau moteur du nerf X, localisé au niveau du bulbe rachidien) et des centres du système sympathique (centre vasomoteur localisé au niveau du bulbe rachidien et le centre médullaire localisé au niveau de la moelle épinière).

✓ La **voie efférente** : constituée par les nerfs parasympathiques (Le nerf X ou le nerf pneumogastrique ; les nerfs sympathiques ou orthosympathiques; les nerfs artériolaires et les nerfs splanchniques).

✓ Les **effecteurs** : Le cœur, les artères et les médullosurrénale.

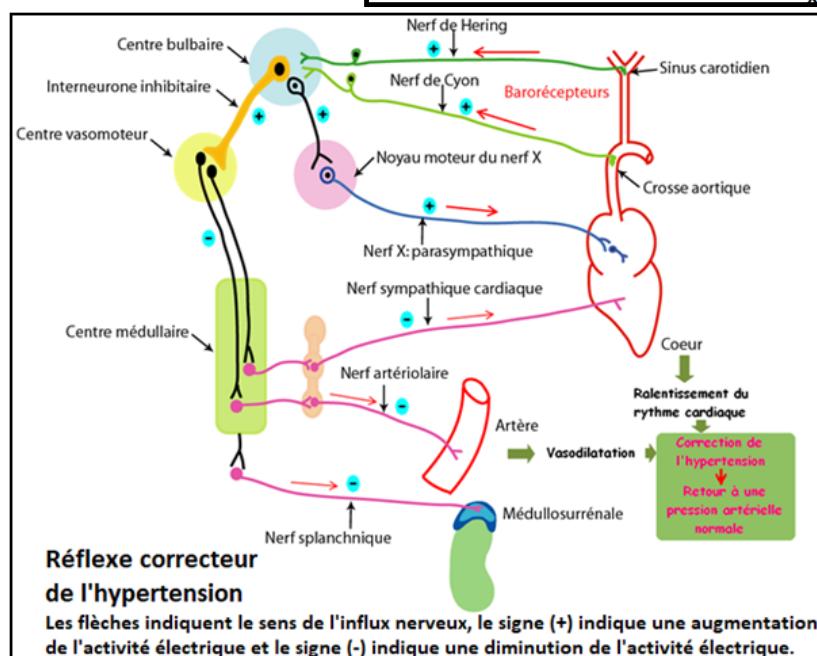
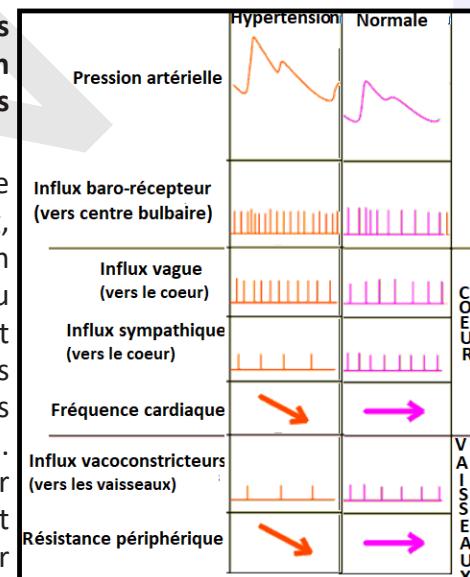
Activité 11 :

Quelle est la réponse de l'organisme à une augmentation de la pression artérielle ?

Relations entre la pression sinusale et la pression artérielle en cas d'hypertension :

A partir du document proposé, préciser le mode d'action des fibres sympathiques et parasympathiques sur la PA en cas d'hypertension et proposer un schéma de synthèse exprimant les mécanismes nerveux de la correction de l'hypertension.

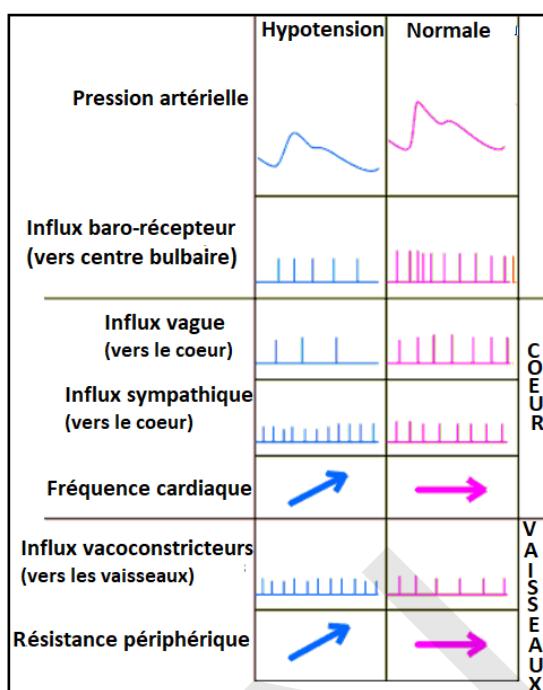
Toute élévation de pression artérielle au niveau de la crosse aortique et au niveau des sinus carotidiens provoque par afflux de sang, la distension et l'étirement de la paroi vasculaire entraînent un étirement des récepteurs (mécanorécepteurs, barorécepteurs ou tensiorécepteurs) situés à l'extrémité des fibres des nerfs de Hering et de Cyon). L'augmentation du nombre des influx que les barorécepteurs envoient au centre parasymphatique bulbaire par le biais des nerfs de Hering et de Cyon (fréquence élevée de potentiels d'action). Ce qui provoque l'intégration de cette information se traduit par une augmentation de l'inhibition exercée sur le centre vasomoteur et une augmentation de la stimulation exercée sur le noyau moteur du nerf X. Le système parasymphatique cardiomodérateur, est ainsi activé et le système sympathique inhibé (Le centre sympathique est inhibé à travers un neurone inhibiteur) : L'activité électrique du nerf pneumogastrique (nerf X) ralentisseur, augmente et celles des nerfs sympathiques accélérateurs diminuent. La diminution du rythme cardiaque et la vasodilatation qui en résultent corrigent l'hypertension et rétablissent la pression artérielle normale.



Activité 12 :

Quelle est la réponse de l'organisme à une diminution de la pression artérielle ?

Relations entre la pression sinusale et la pression artérielle en cas d'hypotension :



■ Conséquences d'une petite hémorragie (perte de sang n'excédant pas 10 % du volume sanguin total) sur différents paramètres physiologiques.

On cherche à déterminer les réactions de l'appareil cardiovasculaire à ce nouvel état.

	Avant l'hémorragie	Après l'hémorragie	
		Mesures immédiates	Mesures effectuées 5 min plus tard
PA en cm Hg :			
maximale -	12,5	8	11,5
minimale -	7,5	5,5	7,5
Volume de sang éjecté à chaque systole en mL	75	40	53
FC en bat./minute	70	70	90
DC en mL de sang expulsé/minute	250 5	800 2	470 4
Volume de sang traversant les reins en $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$	300 1	1000	850
Volume de sang traversant l'en-céphale en $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$	1300	1000	275 1

Analyser les relations entre la pression sinusale et la PA en cas d'hypotension et les modifications qui interviennent après l'hémorragie contribuant à la restauration d'une PA normale puis proposer un schéma de synthèse exprimant les mécanismes nerveux de la correction de l'hypotension.

La diminution de la pression artérielle au niveau de la crosse aortique et aux niveaux des sinus carotidiens entraîne une diminution de la stimulation des barorécepteurs, d'où la diminution de l'activité électrique des nerfs de Hering et de Cyon. Ceci entraîne une levée de l'inhibition exercée sur le centre vasomoteur et une diminution de la stimulation exercée sur le noyau moteur du nerf pneumogastrique. Le système parasympathique cardiomodérateur est ainsi inhibé et le système sympathique (orthosympathique) cardioaccélérateur est activé : L'activité électrique du nerf X diminue et celles des nerfs sympathiques augmentent. On obtient alors une accélération du rythme cardiaque, une vasoconstriction et une sécrétion de l'adrénaline qui corrigent l'hypotension et rétablissent la pression artérielle normale.

Bref, si la pression sanguine diminue, les influx centripètes deviennent imperceptibles et le tonus parasympathique s'efface devant le tonus sympathique, devenu alors prédominant.

Une hémorragie entraîne une diminution brutale du volume sanguin : elle réduit donc le volume du réservoir veineux et, par conséquent, le retour de sang veineux vers le cœur. Dès lors, le débit cardiaque diminue et un état d'hypotension peut apparaître.

La section de toutes les fibres afférentes issues des barorécepteurs de la paroi artérielle (aorte et carotides) et des récepteurs situés dans l'oreillette gauche entraîne une augmentation très nette du taux plasmatique d'ADH.

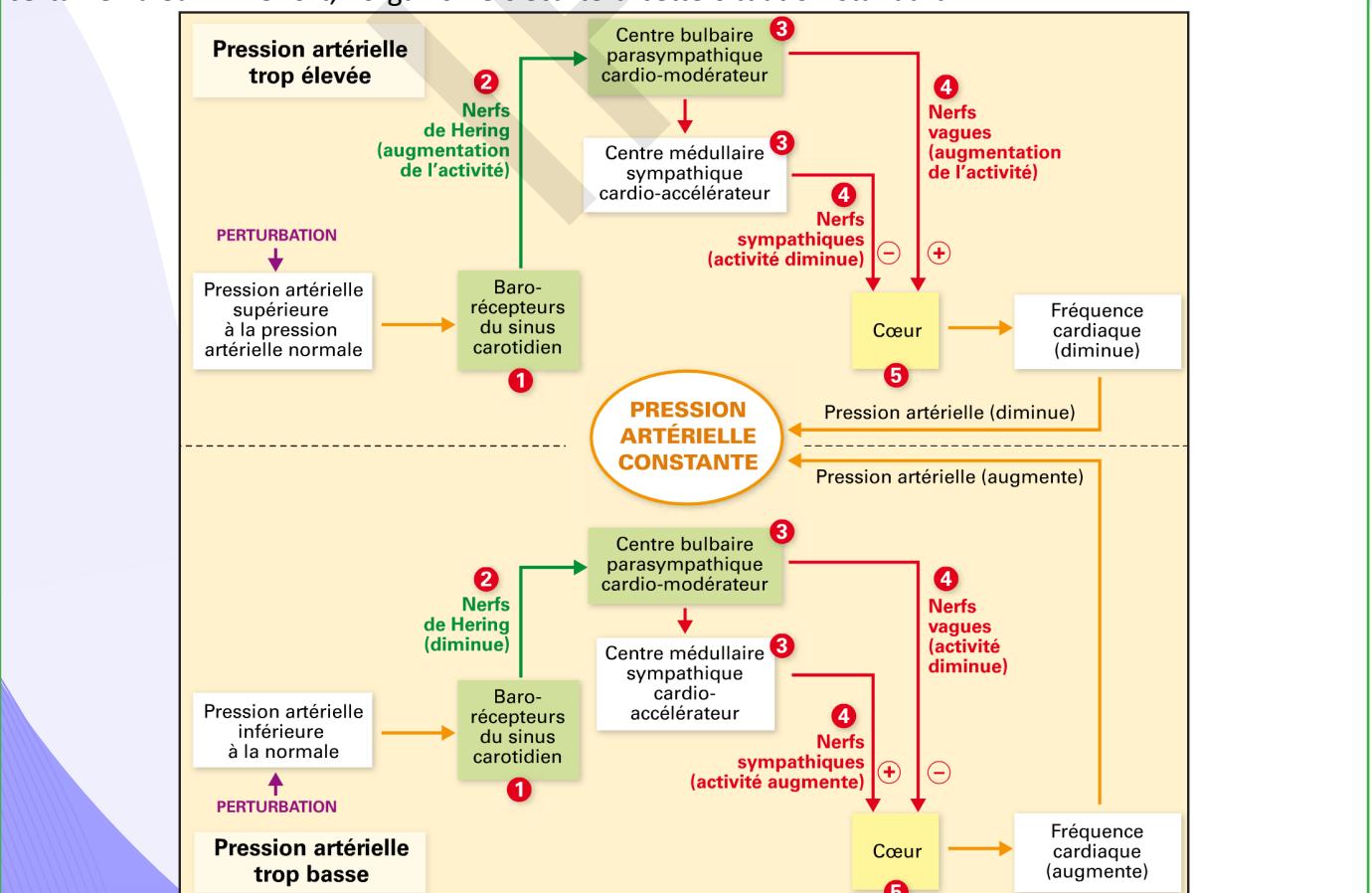
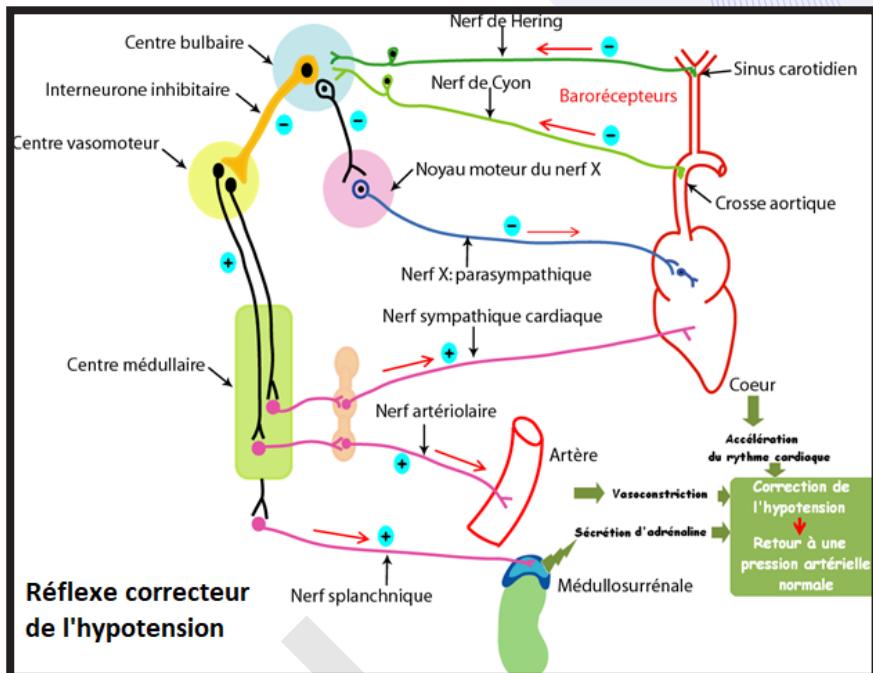
Conclusion :

La pression artérielle est une grandeur contrôlée par plusieurs paramètres.

Par exemple, il existe une boucle réflexe de contrôle de la fréquence cardiaque (dont la pression artérielle dépend par l'intermédiaire du débit) :

- des capteurs (barorécepteurs) sont sensibles à la valeur de la pression artérielle ; un centre bulbaire intègre les informations issues des barorécepteurs et module les messages nerveux en direction de l'effecteur (cœur) ;
- les informations sont transmises du centre à l'effecteur par des nerfs sympathiques et parasympathiques.

La boucle de régulation contribue à maintenir la pression artérielle dans d'étroites limites autour d'une certaine valeur. A l'effort, l'organisme s'écarte d cette situation standard.



Activité 13:

Comment se fait la régulation hormonale de la pression artérielle ?

De nombreux facteurs externes ou internes (stress, effort musculaire ...) induisent une variation rapide de la pression artérielle moyenne. Certains cas d'hypertension ou d'hypotension ont cependant une origine hormonale. On cherche à démontrer par leur étude, les rôles respectifs des reins, des glandes corticosurrénales et du foie dans les processus de régulation de la pression artérielle.

- Corticosurrénales et hypertension : effet d'une tumeur

Une tumeur des glandes corticosurrénales entraîne une forte hypertension liée à une accumulation excessive d'ions Na^+ dans l'organisme. Cette maladie se traite par l'ablation de la tumeur.

- Corticosurrénales et hypertension : effet d'une hypertrophie

Une autre forme d'hypertension présente les mêmes symptômes. Les corticosurrénales, hypertrophiées, sont alors très actives mais ne présentent pas de tumeur. L'ablation partielle des corticosurrénales ne modifie pas les symptômes.

- Reins et hypertension :

Un malade est atteint de cette forme d'hypertension. On observe que son artère rénale est obstruée. Ceci provoque une forte baisse de la pression sanguine dans les vaisseaux du rein gauche et une augmentation de cette pression dans le rein droit. On a évalué chez ce malade le taux plasmatique de rénine (enzyme produite par les reins) dans les sangs afférent et efférent aux deux reins. Les résultats, rapportés dans le tableau ci-contre, sont comparés à ceux obtenus sur un rein normal.

		Malade		Témoin
		Rein droit	Rein gauche	Rein normal
Artère	6	6	4	
Veine	6	12	5	

(Taux de rénine (en unités arbitraires

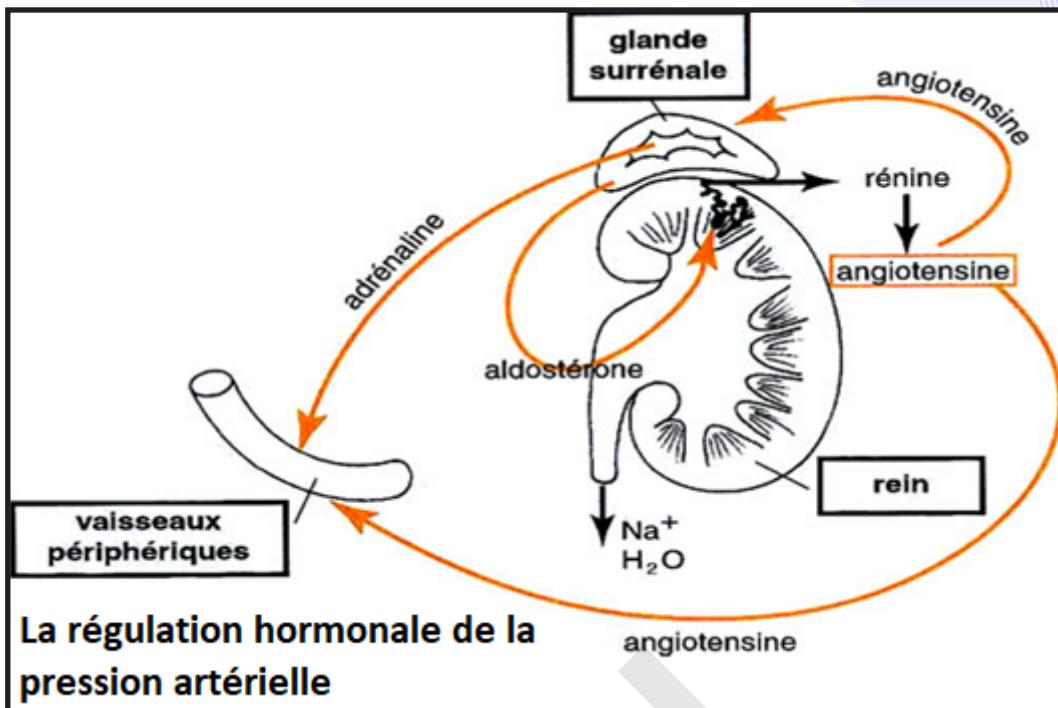
- Rénine, angiotensine et pression artérielle :

La rénine agit sur une protéine contenue dans le plasma sanguin, l'angiotensinogène, sécrétée dans le sang par le foie. Elle la transforme en un peptide d'une dizaine d'acides aminés : l'angiotensine. Cette dernière est un facteur vasoconstricteur puissant et stimule la libération d'aldostérone par les corticosurrénales. L'aldostérone est une hormone induisant au niveau des reins une rétention de sodium et par voie de conséquence, une rétention d'eau.

- Les hormones qui interviennent dans la régulation de la pression artérielle.

Hormones	Origines de sécrétion	Les organes cibles	Les effets
Adrénaline	Médullo-surrénale	Le cœur Les artères	* Accélération du rythme cardiaque * vasoconstriction
Aldostérone	Corticosurrénale	Le rein	* Activer la sécrétion de la rénine * Réabsorption des ions Na^+ → rétention d'eau → augmentation de la volémie
Angiotensine	Le foie produit l'angiotensinogène qui est transformée sous l'action de la rénine en angiotensine	Les artères La corticosurrénale	* Vasoconstriction * Activer la sécrétion de l'aldostérone
ADH (Hormone antidiurétique)	Hypophyse postérieure	Le rein	* Réabsorption d'eau → augmentation de la volémie.

- Schéma résumant la régulation hormonale de la pression artérielle.



- A partir de l'exploitation de toutes ces données,

▪ déduire le rôle du système rénine-angiotensine-aldostérone ;

▪ le mécanisme de la régulation hormonale de la pression artérielle.

- A l'aide d'un schéma fonctionnel, montrer comment ce système peut intervenir dans une régulation de la pression artérielle puis replacer, sur un schéma réunissant les reins, les corticosurrénales, le foie, et un vaisseau symbolisant l'appareil circulatoire, l'ensemble des événements qui font suite à une hypersécrétion continue de rénine par les reins.

La régulation hormonale de la pression artérielle est assurée par des hormones hypertensives et elle intervient à long terme, après la régulation nerveuse, en cas uniquement d'une hypotension.

Les mécanismes hormonaux agissent au niveau :

- du tonus vasculaire en modifiant le diamètre des vaisseaux sanguins ;
- de la volémie (volume de sang).

L'adrénaline et la noradrénaline de la médullosurrénale ont des effets physiologiques très complexes. Dans des conditions physiologiques particulières (stress, colère, émotion ...), il y a une décharge d'adrénaline par les médullosurrénales. Cette hormone véhiculée par le sang entraîne une accélération du rythme cardiaque et généralement une vasoconstriction des artéries, d'où une augmentation de la pression artérielle. Ceci constitue une régulation hormonale à court terme. La noradrénaline est surtout vasoconstrictrice.

L'adrénaline et la noradrénaline sont donc des substances hypertensives.

D'autres systèmes hormonaux interviennent à moyen et à long terme :

• le **système rénine - angiotensine** : le foie sécrète dans le sang l'angiotensinogène. Cette protéine inactive se transforme dans le sang sous l'action de la rénine (enzyme sécrétée par le rein dans le cas d'une hypotension), en angiotensine agent vasoconstricteur puissant et stimule la sécrétion d'aldostérone par les corticosurrénales qui augmente la réabsorption rénale de Na^+ et en abaissant la filtration glomérulaire rénale, augmente le volume sanguin et donc un accroissement de la pression artérielle.

La rénine est sécrétée sous l'effet direct de la :

- ✓ baisse de la pression artérielle ;
- ✓ baisse de la natrémie (taux plasmatique de sodium) ;
- ✓ stimulation des fibres parasympathiques qui innervent directement l'appareil juxtaglomérulaire.

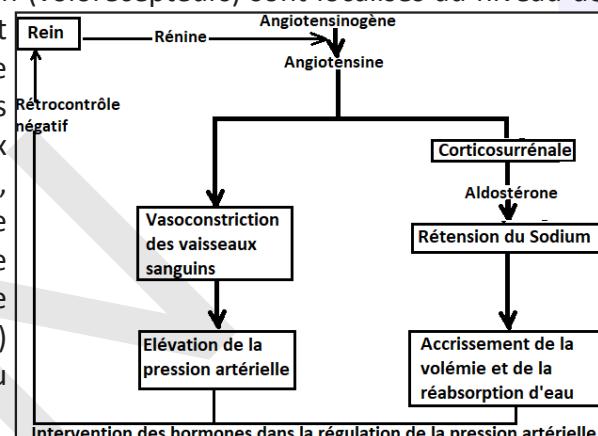
Les organes cibles et les effets de l'angiotensine sont variés :

Organes cibles	Action
Appareil circulatoire	Vasoconstriction d'où élévation de la pression artérielle
Système nerveux central	Stimulation du centre cardioaccélérateur et vasoconstricteur
Rein	Baisse de la filtration glomérulaire d'où augmentation de la volémie
Glande corticosurrénale	Stimule la sécrétion de l'aldostérone, qui augmente la réabsorption du sodium d'où une baisse de la diurèse (fuite d'eau) : cette action tend à augmenter la volémie et donc la pression artérielle.

La pression artérielle est ainsi régulée par le contrôle de la volémie et du tonus vasculaire.

- L'ADH (anti-diuretic hormon) est une hormone déversée dans le sang au niveau de la posthypophyse et produite par les neurones hypothalamiques. Une augmentation de la concentration de cette hormone fait chuter la diurèse (la fuite rénale d'eau est freinée) : cette hormone qualifiée d'antidiurétique (ADH) a donc un effet hypertenseur : on l'appelle aussi vasopressine car elle a un effet vasoconstricteur.

Des récepteurs sensibles aux variations du volume sanguin (valorécepteurs) sont localisés au niveau de l'oreillette gauche du cœur, dans la veine sus-hépatique et dans la veine cave. Une réduction du volume sanguin (suite à une hémorragie par exemple) entraîne des modifications de l'activité de ces récepteurs et une variation du taux plasmatique d'ADH, hormone empêchant par réabsorption, au niveau du rein, un rejet trop important d'eau hors de l'organisme ; d'où augmentation de la volémie et par suite de la pression artérielle. La sécrétion de l'ADH est stimulée fortement par une hypovolémie (hémorragie par exemple) ou par une hypotension. A l'inverse, l'hypervolémie ou l'hypertension modèrent sa sécrétion.



Je retiens :

Le cœur est un muscle creux situé dans la cage thoracique en position oblique entre les poumons, derrière le sternum, et légèrement décalé sur la gauche chez la plupart des individus. Une paroi épaisse divise le cœur en deux parties, gauche et droite. Chaque partie comporte deux cavités, une oreillette et un ventricule, reliées par une valve. Sa pointe est dirigée vers le cinquième espace intercostal gauche.

Sa partie gauche se loge dans une dépression du poumon gauche appelée : «le lit du cœur».

Le cœur est une masse musculaire parcourue par des sillons :

- le sillon auriculo-ventriculaire ou sillon coronaire,
- le sillon interventriculaire prolongé par le sillon interauriculaire visible sur la face postérieure des oreillettes.

Ce muscle est une pompe ayant pour fonction de propulser le sang vers tous les organes de l'organisme. Chaque anneau conjonctif est le support d'un système de valves qui oriente le flux sanguin. Ces valvules autorisent uniquement le passage du sang du ventricule vers l'artère.

Les cellules musculaires cardiaques se distinguent de celles des muscles squelettiques par plusieurs caractères :

- une répartition différente du sarcoplasme ;
- un noyau central unique ;
- la présence de stries scalariformes permettant un contact étroit entre deux cellules successives.

L'automatisme cardiaque est la production par le tissu nodal d'une activité électrique répétitive, chaque impulsion électrique (potentiel d'action) entraînant la contraction du cœur. L'activité électrique du muscle cardiaque est analysée lors d'un électrocardiogramme également appelé ECG. Physiologiquement, ce sont les cellules du nœud sinusal qui commandent le rythme cardiaque appelé pour cela rythme sinusal.

La fréquence de ce rythme est modulée en permanence selon les besoins de l'organisme par la régulation

neuro-humorale : accélération sous l'effet de l'orthosympathique et des catécholamines (adrénaline et noradrénaline) et ralentissement sous l'effet du parasympathique). Les données de l'ECG sont recueillies par 12 électrodes placées sur la peau et recueillent trois ondes à chaque battement :

- Onde P = dépolarisation auriculaire (précède et déclenche la systole);
 - Complexe QRS = dépolarisation ventriculaire (précède et déclenche la systole);
 - Onde T = onde repolarisation ventriculaire (précède la diastole).
- Une excitation sur le ventricule pendant la systole ne produit aucun effet. Le cœur possède donc une période réfractaire qui correspond à la durée d'une systole.
- Une excitation du ventricule pendant la diastole provoque une réponse immédiate appelée extrasystole ; celle-ci est suivie d'un repos long appelé repos compensateur. La durée est-t-elle que la systole suivante arrive au moment précis où elle se serait produite normalement sans excitation : c'est une extrasystole non décalante.
- Des excitations du sinus provoquent des extrasystoles pendant la diastole. Mais ces extrasystoles ne sont pas suivies de repos compensateur. Ainsi il y'a un décalage entre les réponses : ce sont des extrasystoles décalantes.

La pression artérielle, pression du sang dans la composante artérielle de l'appareil cardiovasculaire, est déterminée par :

- l'activité et donc l'efficacité de la pompe cardiaque ;
- la vasomotricité qui conditionne le volume du contenant (réseau artériel) et donc le débit vasculaire ;
- la volémie, volume du contenu (volume plasmatique pour l'essentiel).

La pression artérielle oscille, à chaque battement cardiaque, entre une valeur maximale, la pression systolique, qui correspond à la phase de contraction des ventricules, et une valeur minimale, la pression diastolique, qui correspond à la phase de relâchement du muscle cardiaque. La pression systolique dépend de l'activité cardiaque et de l'élasticité des grosses artères. La pression diastolique dépend surtout de l'écoulement du sang, c'est-à-dire de la résistance périphérique au volume circulant.

Variable physiologique, la pression artérielle (tension) est une variable réglée.

La régulation nerveuse rapide corrige en quelques secondes les variations brutales de la pression artérielle. Cette régulation réflexe met en jeu :

- des barorécepteurs artériels (localisés dans les sinus carotidiens et crosse aortique) ;
- des voies nerveuses afférentes (fibres sensitives des nerfs de Cyon et de Hering, fibres sensitives du nerf X) ;
- un centre intégrateur hypothalamo-bulbaire ;
- des voies nerveuses efférentes (fibres motrices du nerf X et fibres du système nerveux sympathique) ;
- des effecteurs : cœur et muscles lisses de la paroi artériolaire...

Des neurotransmetteurs, acétylcholine et noradrénaline, sont libérés aux terminaisons respectives des fibres parasympathiques et orthosympathiques.

Une augmentation de la pression dans les sinus carotidiens ou crosse aortique provoque une bradycardie et un relâchement du tonus vasomoteur lié à l'inhibition du système sympathique. Il en résulte une diminution de la pression artérielle.

Une diminution de la pression dans les sinus carotidiens ou crosse aortique provoque une tachycardie et vasoconstriction liées à l'inhibition du système parasympathique. Il en résulte une augmentation de la pression artérielle. D'autres récepteurs artériels, sensibles à l'hypotension (< 80 mm Hg) et à l'hypoxie (baisse du taux de dioxygène dans le sang), sont à l'origine d'une activation du sympathique et d'une augmentation de la fréquence cardiaque et de la résistance périphérique totale. Une régulation hormonale à vitesse intermédiaire est assurée, avec une vitesse de mise en œuvre qui varie de quelques minutes à une heure, par le système rénine-angiotensine. La rénine, sécrétée par le rein, est à l'origine de la formation d'angiotensine, puissant vasoconstricteur circulant, inducteur de la sécrétion d'aldostérone par les corticosurrénales. Cette dernière hormone détermine une rétention du sodium et donc une augmentation de la volémie ; c'est-à-dire du volume sanguin circulant, et capable de rétrocontrôles sur le rein et le lobe postérieur de l'hypophyse. Une régulation hormonale lente fait intervenir en un temps variant d'une heure à quelques jours, une sécrétion posthypophysaire (ADH ou hormone antidiurétique)

dont la libération est, en partie, déclenchée par la stimulation de volorécepteurs situés dans les parois veineuses et dans la paroi des oreillettes. Cette hormone est responsable de la rétention d'eau par les reins lors d'une hypovolémie, et de l'augmentation corrélative de la pression artérielle. Cette régulation à long terme de la masse sanguine circulante, ou volémie, maintient la pression artérielle à une valeur moyenne comprise entre 80 et 120 mm de Hg. Les mécanismes hormonaux, qu'ils concernent le système rénine-angiotensine ou le système vasoconstricteuradrénaline-noradrénaline de la médullosurrénale, complètent donc la correction rapide des variations de la pression artérielle et facilitent le retour à la normale de celle-ci.

Je m'exerce :

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

1- L'activité naturelle du cœur

- a- dépend de messages nerveux transmis à partir du bulbe rachidien.
- b- est une activité automatique donc ne dépendant jamais des centres nerveux, même pour accélérer.
- c- se met en place dès la naissance.
- d- est toujours supérieure à la fréquence cardiaque d'un cœur au repos.

2- L'augmentation du rythme cardiaque lors d'un effort intense

- a- est indépendante des centres nerveux cardiaques.
- b- s'explique par la diminution de l'activité du nerf parasympathique (pneumogastrique) et par l'augmentation de l'activité du nerf sympathique.
- c- s'explique par la diminution de l'activité du nerf sympathique et par l'augmentation de l'activité du nerf parasympathique (pneumogastrique).
- d- est indépendante de messages nerveux en provenance du bulbe rachidien.

3- Quelle lésion des centres nerveux provoque l'impossibilité de contrôler le rythme cardiaque ?

- a- une lésion du cortex moteur cérébral.
- b- une lésion du bulbe rachidien.
- c- une lésion du centre respiratoire.
- d- une section de la moelle épinière au-dessus du bulbe rachidien.

4- Une section du nerf parasympathique (pneumogastrique)

- a- entraîne l'accélération du rythme cardiaque.
- b- entraîne le ralentissement du rythme cardiaque.
- c- n'a aucune conséquence sur le rythme cardiaque au repos.
- d- empêche l'individu de réaliser un effort physique intense.

5- Par rapport à ce qu'il serait dans un organisme au repos, le rythme spontané d'un cœur isolé est

- a- identique.
- b- supérieur.
- c- inférieur.
- d- irrégulier. Le rythme spontané est alors parfois supérieur et parfois inférieur à ce qu'il serait dans un organisme au repos.

6- Le système nerveux

- a- n'a pas d'action sur la fréquence cardiaque.
- b- ralentit toujours le cœur.
- c- accélère toujours le cœur.
- d- peut ralentir ou accélérer le cœur en fonction de l'activité.

7- Au cours de l'effort,

- a- la fréquence cardiaque augmente.
- b- le volume d'éjection systolique reste constant.
- c- le volume courant ventilatoire ne change pas.
- d- la pression artérielle augmente.

8- La fréquence cardiaque est

- a- le nombre de battements cardiaques par minute.

- b- le nombre de cycles respiratoires par minute.
- c- le nombre de battements cardiaques par seconde.
- d- le nombre de cycles respiratoires par seconde.

9- Le débit cardiaque est

- a- la fréquence cardiaque multipliée par le volume d'éjection diastolique.
- b- le volume de sang éjecté par le cœur dans les veines par unité de temps.
- c- le volume de sang éjecté par le cœur dans les artères par unité de temps,
- d- la fréquence cardiaque multipliée par le volume d'éjection systolique.

10- Le péricarde

- a - est constitué d'un feutrage fibreux et séreux.
- b - constitue la partie externe de la paroi cardiaque.
- c - est constitué d'une cavité péricardique.
- d - est entre le myocarde et l'endocardie.

11- Le tissu nodal

- a - prend naissance avec le nœud auriculo-ventriculaire.
- b - prend naissance avec le réseau de Purkinje.
- c - est constitué du faisceau de His.
- d - chemine dans le septum interventriculaire.

12- Le cycle cardiaque :

- a - est constitué de 4 phases.
- b - comprend la phase d'éjection ventriculaire.
- c - comprend la phase de remplissage ventriculaire.
- d - est indépendante de la fréquence cardiaque.

13- Le débit cardiaque

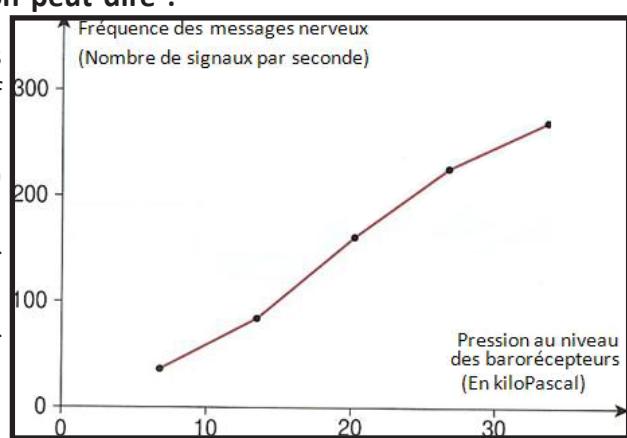
- a - dépend des conditions physiologiques.
- b - peut être mesuré à l'échographie cardiaque.
- c - augmente à l'effort.
- d - augmente en cas de bradycardie.

14- En situation d'hypotension, notre organisme déclenche par réflexe :

- a- une augmentation de la fréquence cardiaque et une diminution de la pression artérielle.
- b- une diminution de la fréquence cardiaque et une augmentation de la pression artérielle.
- c- une diminution de la fréquence cardiaque et une diminution de la pression artérielle.
- d- une augmentation de la fréquence cardiaque et une augmentation de la pression artérielle.

15- On modifie la pression artérielle au niveau des barorécepteurs et on enregistre simultanément l'activité d'un nerf sensitif A relié aux barorécepteurs. Le graphique ci-contre présente les résultats obtenus. D'après ces résultats et les connaissances, on peut dire :

- a- que lorsque la pression augmente au niveau des barorécepteurs, la fréquence des messages dans le nerf (A) diminue.
- b- qu'en cas d'hypertension, l'activité du nerf (A) augmente.
- c- que l'augmentation d'activité du nerf A doit avoir pour effet d'augmenter la pression artérielle.
- d- que l'augmentation d'activité du nerf A doit avoir pour effet de diminuer la VO₂max.



16- La pression artérielle

- a- doit être maintenue entre un minimum et un maximum.
- b- est indépendante de l'activité cardiaque.
- c- est constante au cours de l'activité physique.

d- est un paramètre contrôlé volontairement.

17- Les barorécepteurs

- a- reçoivent des informations du bulbe rachidien par le nerf pneumogastrique.
- b- envoient des informations au bulbe rachidien par le nerf de Hering.
- c- reçoivent des informations du bulbe rachidien par le nerf parasympathique.
- d- envoient des informations au bulbe rachidien par le nerf sympathique.

18- Les barorécepteurs

- a- envoient des informations au bulbe rachidien par le nerf sympathique.
- b- envoient des informations au bulbe rachidien par le nerf de Hering.
- c- reçoivent des informations du bulbe rachidien par le nerf parasympathique.
- d- reçoivent des informations du bulbe rachidien par le nerf pneumogastrique.

19- Choisir l'affirmation correcte

- a- L'augmentation de l'activité du nerf parasympathique diminue la fréquence cardiaque.
- b- L'augmentation de l'activité du nerf parasympathique augmente la pression artérielle.
- c- L'augmentation de l'activité du nerf sympathique diminue la fréquence cardiaque.
- d- L'augmentation de l'activité du nerf sympathique diminue la pression artérielle.

20- La pression artérielle

- a- est indépendante de l'activité cardiaque.
- b- est constante au cours de l'activité physique.
- c- doit être maintenue entre un minimum et un maximum.
- d- est un paramètre contrôlé volontairement.

21- Concernant la pression artérielle

- a- Le premier chiffre, généralement le plus élevé, lors de la prise de la PA reflète la pression artérielle diastolique.
- b- La pression artérielle diastolique correspond à la pression du sang quand le myocarde se relâche.
- c- Le second chiffre, généralement le plus bas lors de la prise de la PA, reflète la pression artérielle diastolique.
- d- La PA diastolique correspond à la pression du sang lorsque le cœur se contracte et propulse le sang dans les artères.

22- L'adrénaline est

- a- une hormone de régulation de la pression artérielle et du débit de filtration glomérulaire.
- b- une hormone de régulation de la pression artérielle et du débit cardiaque.
- c- une hormone régulatrice de la température.
- d- une hormone du complexe hypothalamo-hypophysaire.

23- Le Système Rénine Angiotensine Aldostérone sert à

- a- réguler la température.
- b- réguler la fréquence cardiaque.
- c- réguler la pression artérielle.
- d- réguler le débit urinaire.

24- L'Angiotensine :

- a- a des propriétés vasoconstrictrices.
- b- a des propriétés vasodilatatrices.
- c- stimule la sécrétion d'aldostérone.
- d- inhibe la sécrétion de la rénine.

25- Dans le Système Rénine Angiotensine Aldostérone :

- a- l'angiotensinogène est synthétisé par le pancréas.
- b- l'angiotensinogène est synthétisé par le foie.
- c- l'angiotensinogène se transforme en angiotensine I grâce à l'aldostérone.
- d- l'angiotensinogène est libéré dans le plasma.

EXERCICES

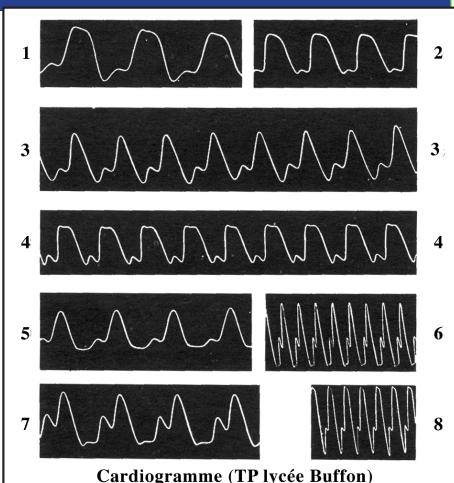
Exercice 1

- 1- Qui est-ce qui délimite la loge cardiaque ?
- 2- Quels sont les 2 sillons qui délimitent les 4 cavités cardiaques ?
- 3- Décrivez les orifices auriculo-ventriculaires.
- 4- Quels sont les 3 couches constituant la structure interne du cœur ?
- 5- Qu'est-ce que le tissu nodal ?
- 6- Quelles sont les différentes structures constituant le tissu nodal ?
- 7- A quoi correspond la systole ?
- 8- Quels sont les 4 phases du cycle cardiaque ?
- 9- Quels sont les 2 étapes du remplissage ventriculaire ?
- 10- Quelle est la formule permettant de calculer le débit cardiaque et sa valeur normale ?

Exercice 2

Les cardiogrammes de la figure ci-dessous ont été enregistrés chez la Grenouille à l'aide d'un cardiographe à balancier. Bien que les conditions expérimentales soient les mêmes pour tous les enregistrements (la vitesse de rotation du cylindre mise à part), on constate que les courbes ne sont pas identiques.

- 1) Décrire le montage utilisé en précisant la position du cœur (la pointe vers le haut ou vers le bas) et la nature du levier (1^{er} ou 2^e genre).
- 2) Analyser de façon précise et détaillée l'un des cardiogrammes (au choix).
- 3) Dire en quoi les autres cardiogrammes diffèrent de celui qui a été choisi, et préciser pour chacun d'eux le complément d'information qu'il apporte.

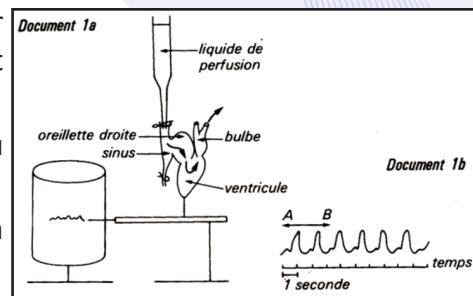


Exercice 3

A- Sur une Grenouille décérébrée et démédullée, on prélève le Cœur et on le perfuse suivant la technique représentée par le document 1a.

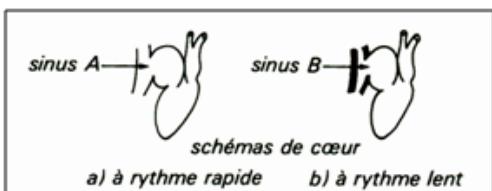
On peut alors obtenir un cardiogramme identique à celui du document 1b.

Analysez et interprétez les résultats obtenus ; vous reproduirez la partie AB que vous légenderez.



B- Copenhaver réalise des greffes de sinus veineux entre diverses espèces de Salamandres (Batraciens), les unes à « cœur lent », les autres à « cœur rapide ».

Les résultats sont représentés par le document 2.



Sinus	Greffé sur	Résultat
Sinus A	Cœur lent	Rythme rapide
Sinus B	Cœur rapide	Rythme lent

Document 2

Déduisez de ces expériences le rôle du sinus veineux dans la contraction cardiaque chez les Batraciens.

Exercice 4

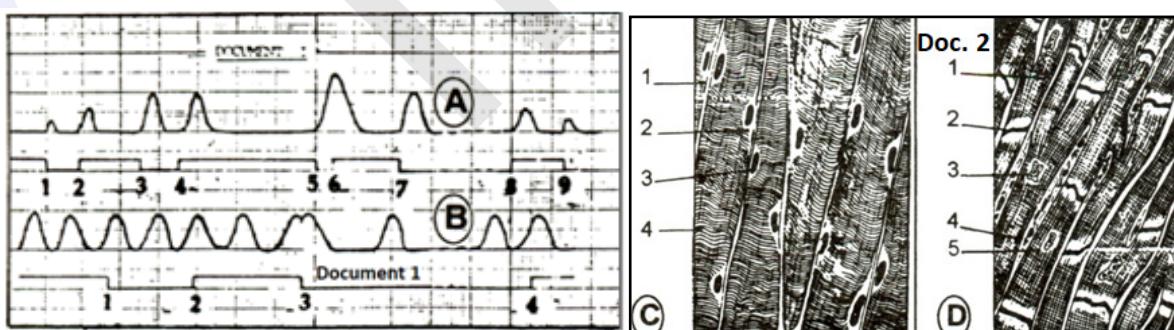
I. Le document 1 représente :

- les graphes A et B, l'un correspond à la contraction ventriculaire d'un cœur de grenouille, l'autre à celle du muscle gastrocnémien du même animal.
- une série de stimulations portées sur le nerf sciatique du gastrocnémien et d'autres stimulations appliquées directement sur le ventricule.

1) Identifiez les tracés A et B et analysez-les.

2) Quels renseignements pouvez-vous en tirer ?

II. Le document 2 représente la structure microscopique de deux types de muscles concernés par les enregistrements A et B. Donnez un titre et légandez les deux structures.

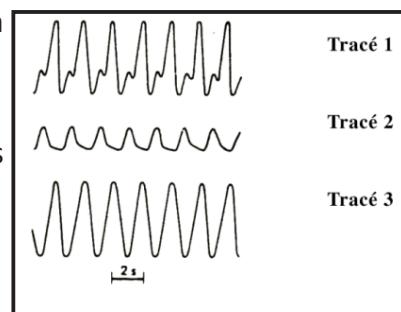


Exercice 5

Les enregistrements ci-contre illustrent l'activité des oreillettes et du ventricule et l'activité auriculo-ventriculaire d'un cœur de grenouille. Ils sont obtenus en changeant la position de la pince serre-fine du cardiographe.

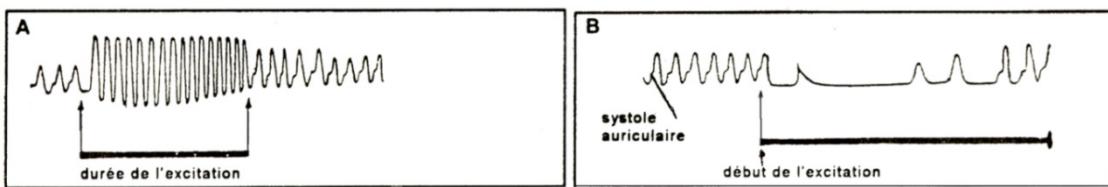
1) Analysez les 3 cardiogrammes et interprétez le tracé 1.

2) Quelles caractéristiques du fonctionnement cardiaque sont démontrées par les trois tracés ?



Exercice 6

L'étude graphique du fonctionnement cardiaque chez la grenouille a permis d'enregistrer les tracés ci-après.



1) Analysez les tracés A et B.

2) Déterminez les structures anatomiques excitées. En déduire leurs modes d'action sur le fonctionnement du cœur.

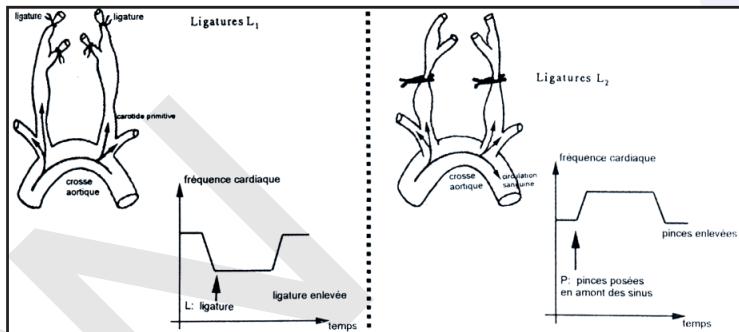
Exercice 7

La régulation de grandes fonctions de l'organisme fait intervenir généralement des systèmes de communication entre les organes, l'un nerveux l'autre hormonal.

Pour comprendre le mécanisme de la régulation cardiaque on réalise les expériences suivantes :

1^{ère} expérience :

On procède à la mise en place sur les carotides d'un chat, des ligatures L¹ puis L² comme indiqué sur le document ci-contre.

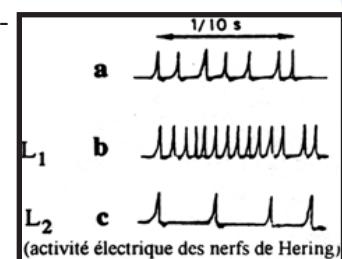


L'effet de ces ligatures et de leur suppression sur la fréquence cardiaque indiqué sur les courbes du même document 1.

2^{ème} expérience :

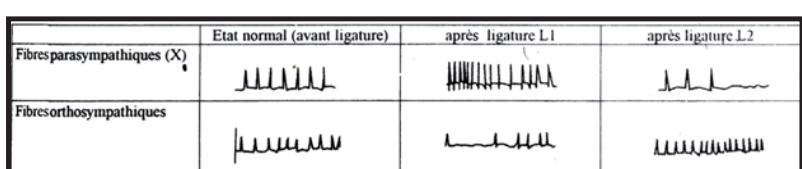
On enregistre l'activité électrique des nerfs de Hering issus des sinus carotidiens :

- avant la mise en place de toute ligature (a du document ci-contre) ;
- après les ligatures L₁ (b du document) ;
- après les ligatures L₂ (c du document ci-contre).



3^{ème} expérience :

On enregistre l'activité électrique des fibres parasympathiques et orthosympathiques cardiaques avant et après les ligatures L₁ et L₂. Les résultats obtenus figurent sur le document ci-contre.

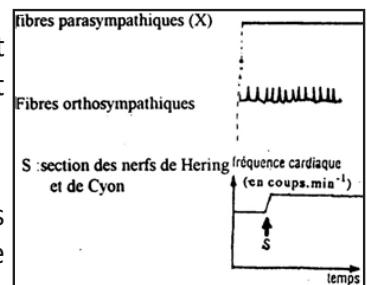


4^{ème} expérience :

On sectionne les nerfs de Hering et de Cyon et on enregistre l'activité électrique des fibres parasympathiques et orthosympathiques en même temps que la fréquence cardiaque (document ci-contre).

1) Interprétez chacune des quatre expériences précédentes.

2) En utilisant toutes les données fournies par ces expériences et vos connaissances, expliquez, à l'aide d'un schéma fonctionnel, le mécanisme de la régulation cardiaque suite à une augmentation de la pression artérielle.



Exercice 8

L'étude proposée porte sur le fonctionnement cardiaque.

A) Chez une personne volontaire, au repos, ont été mesurées les fréquences de battements cardiaques

dans différentes conditions d'administration de drogues qui bloquent préférentiellement les effets des nerfs orthosympathiques ou les nerfs parasympathiques cardiaques. Les résultats obtenus sont portés dans le tableau suivant.

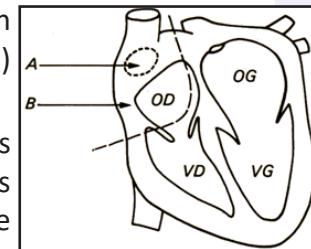
A partir de l'étude de ces résultats :

- montrez qu'il existe un automatisme cardiaque ;
- montrez qu'elle est l'action des nerfs orthosympathiques et parasympathiques sur la fréquence cardiaque du sujet au repos.

Conditions expérimentales	FC bat. par minute
Sans blocage	58
Avec blocage des nerfs orthosympathiques	44
Avec blocage des nerfs parasympathiques	95
Avec blocage simultané des nerfs ortho et parasympathiques	84

B) Pour compléter cette étude sur l'activité cardiaque et ses modifications, des enregistrements électrophysiologiques intracellulaires ont été réalisés à différents endroits d'un cœur de Mammifères (notamment A et B indiqués sur le document ci-contre) dans différentes conditions expérimentales présentées en a), b), c).

a) Le document présente des enregistrements de potentiels membranaires effectués avec une électrode intracellulaire, simultanément dans les cellules de la zone A et dans les cellules de la zone B, chez un animal au repos, dont le fonctionnement des nerfs orthosympathiques et parasympathiques a été bloqué. Parallèlement sont enregistrées les contractions de l'oreillette droite.



b) Si on détruit les cellules de la zone A, les contractions cessent et les cellules de la zone B ne présentent pas de variations de leur potentiel de membrane.

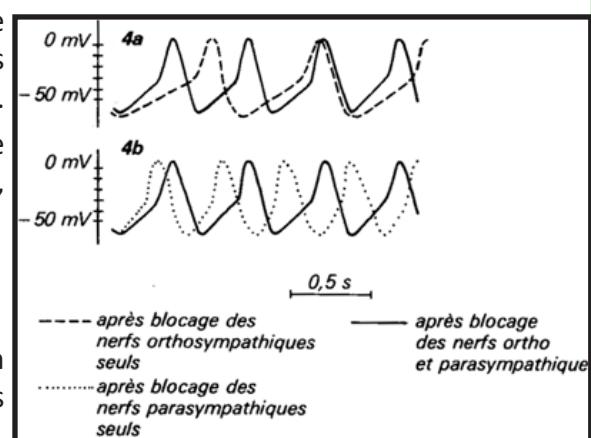
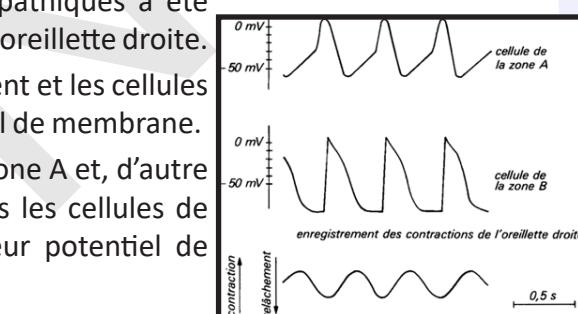
c) On a pu mettre en culture, d'une part, des cellules de la zone A et, d'autre part, des cellules de la zone B. Dans ces conditions, seules les cellules de la zone A présentent des modifications rythmiques de leur potentiel de membrane.

A partir de l'analyse précise de tous les documents et à l'aide de vos connaissances, dites quel est le tissu à l'origine de l'automatisme cardiaque et reconstituez la succession des événements aboutissant à la contraction des oreillettes.

C) On enregistre maintenant des potentiels de membrane dans les cellules de la zone A d'un cœur de Mammifère, après blocage :

- soit des nerfs orthosympathiques seuls (document 4a) ;
- soit des nerfs parasympathiques seuls (document 4b).

Analysez les enregistrements obtenus, en mettant en évidence leurs points communs et leurs différences, dans les trois conditions expérimentales choisies.

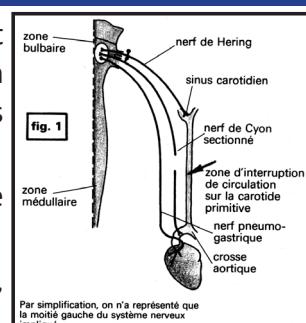


Exercice 9

A. L'adaptation de l'activité cardiaque aux variations de la pression artérielle fait intervenir des nerfs dont certains sont représentés sur la figure 1. Pour établir un des mécanismes en cause, on propose une série d'expériences réalisées chez les Mammifères de même espèce dont les nerfs de Cyon sont sectionnés.

- **Première expérience** : Lorsqu'on porte une stimulation au niveau de la zone bulbaire, on observe un ralentissement cardiaque.

- **Deuxième expérience** : Lorsque les nerfs pneumogastriques sont sectionnés,



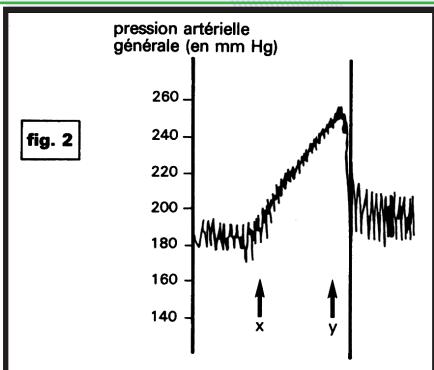
la fréquence cardiaque augmente. L'excitation des bouts centraux n'est suivie d'aucun effet.

Quels renseignements ces résultats expérimentaux vous apportent-ils ?

B. On se demande de quelle manière la zone bulbaire et les nerfs pneumogastriques peuvent intervenir dans la correction apportée à une variation de pression artérielle. Les expériences suivantes sont réalisées sur un animal dont les nerfs pneumogastriques sont intacts.

- Troisième expérience :

On modifie la pression artérielle au niveau des sinus carotidiens (figure 1).

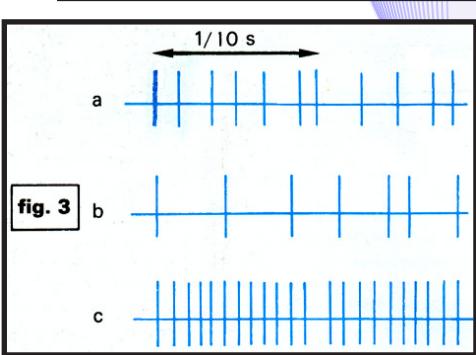


a) On interrompt la circulation dans les carotides primitives en pinçant au niveau indiqué. La pression artérielle générale, enregistrée au niveau de l'artère de la cuisse de l'animal, évolue comme le montre la figure 2.

b) On envoie dans le sinus du sang à haute pression à l'aide d'une pompe ; la pression artérielle générale diminue alors.

2° En même temps, on enregistre l'activité électrique d'une fibre d'un nerf de Hering (figure 3),

- avant l'interruption de la circulation (enregistrement a) ;
- pendant cette interruption (enregistrement b) ;
- au cours de la perfusion des sinus (enregistrement c).



- Quatrième expérience : La section des deux nerfs de Hering fait passer la pression artérielle générale de 20/18 cm de mercure à 28/26 cm. La destruction des terminaisons nerveuses au niveau des sinus carotidiens aurait la même conséquence.

Une nouvelle interruption de la circulation, pratiquée maintenant et au même niveau que précédemment, n'entraîne pas de modification notable de la pression artérielle qui se maintient à 28/26 cm de mercure. L'excitation du bout périphérique des deux nerfs de Hering est également sans action sur la pression artérielle.

Analysez méthodiquement les résultats des troisième et quatrième expériences pour dégager les rôles respectifs des sinus carotidiens et des nerfs de Hering au cours des variations expérimentales de la pression artérielle.

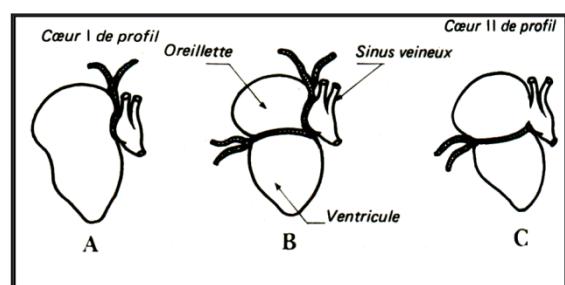
Exercice 10

Un cœur de grenouille, dégagé avec précaution, est placé dans un liquide physiologique. Il continue à battre. Que peut-on en déduire ?

Pour chercher les causes de cette activité cardiaque, on procède, sur deux coeurs I et II, à des ligatures (figure).

Sur le cœur I, une ligature est disposée entre le sinus veineux et l'oreillette droite (Fig. A). Le sinus continue à battre normalement ; les oreillettes et les ventricules s'arrêtent en diastole.

Sur le cœur I, on fait une seconde ligature entre oreillettes et ventricule (fig. B). Le ventricule se remet à battre, mais à un rythme plus lent que celui du sinus.



Sur le cœur II, on fait une ligature entre oreillettes et ventricule (fig. C). Sinus et oreillettes battent normalement. Le ventricule, après un temps d'arrêt, reprend ses contractions sur un rythme très lent.

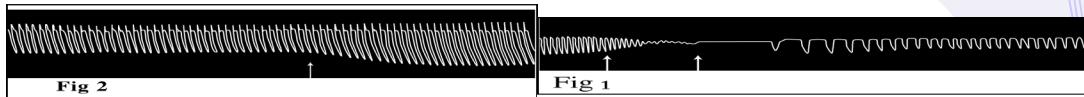
Que peut-on en déduire de ces expériences ?

Exercice 11

Un cœur de grenouille étant perfusé à l'aide de liquide de Ringer, on remplace momentanément celui-ci par une solution d'acétylcholine à 1/1000, puis on reprend l'irrigation par le liquide de Ringer.

On obtient l'enregistrement de la figure 1.

L'expérience est recommencée mais en ajoutant cette fois une solution d'adrénaline à 1/10000. L'enregistrement obtenu est celui de la figure 2. Analyser avec précision et commenter les résultats obtenus d'après les enregistrements 1 et 2.



Exercice 12

À partir d'une exploitation de diverses données expérimentales, on se propose de dégager des informations en rapport avec la régulation de la pression artérielle.

1^{ère} donnée : Chez les grands brûlés, on observe la formation d'œdème dû à l'infiltration du plasma sanguin à partir des vaisseaux sanguins et son accumulation dans les espaces intercellulaires. Lorsque la perte de plasma atteint 8% du volume plasmatique total, on note l'augmentation de la concentration sanguine d'une substance, la vasopressine, secrétée par l'hypothalamus. Des mesures permettent d'obtenir des résultats consignés dans le tableau suivant :

Taux sanguin de la vasopressine	Volume d'urine émise en L / 24 h
Faible	4.2
Élevé	0.5

1) Quel effet sur la pression artérielle générale entraîne la formation d'œdème chez les grands brûlés ? Justifiez votre réponse.

2) À partir d'une exploitation des résultats du tableau, proposez une hypothèse expliquant le but d'augmentation du taux sanguin de vasopressine.

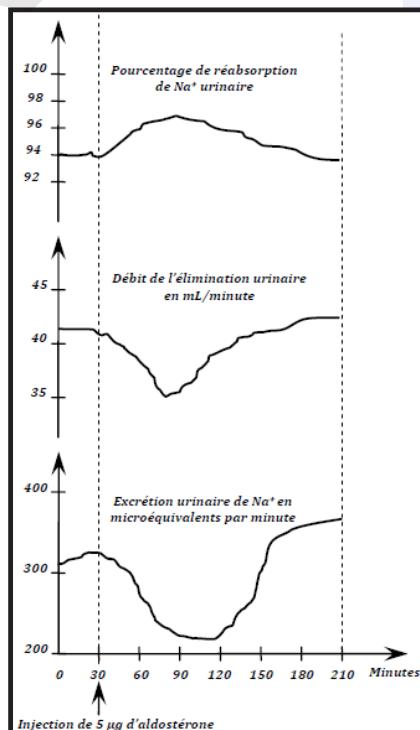
2^{ème} donnée : La rénine est une enzyme produite par les reins lors d'une baisse de la pression artérielle. Elle catalyse la transformation d'une protéine d'origine hépatique, l'angiotensinogène, en angiotensine qui est un très puissant vasoconstricteur et un stimulateur de la sécrétion d'aldostérone.

3^{ème} donnée :

Expérience 1 : L'ablation de la partie externe des glandes surrénales (corticosurrénales) entraîne de nombreux troubles, en particulier au niveau de l'élimination urinaire. Ces troubles sont corrigés par des injections d'extraits corticosurrénaliens contenant de l'aldostérone.

Expérience 2 : Les graphes suivants montrent les effets de l'injection d'une dose unique de 5 µg d'aldostérone dans le sang, sur l'élimination urinaire chez le chien ayant subi l'ablation des glandes surrénales. On précise qu'une fuite excessive de Na⁺ par voie urinaire s'accompagne d'une importante élimination urinaire, d'une baisse de la volémie, ...

3) Quelles informations pouvez-vous dégager de l'exploitation des expériences de la 3^{ème} donnée ?



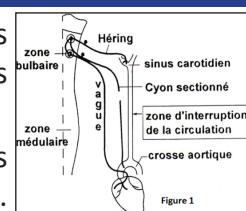
4) Faites un schéma fonctionnel de synthèse montrant le mécanisme de la régulation de la pression artérielle suite à une fuite importante de plasma.

(NB : le schéma doit être fondé exclusivement sur les informations fournies par les données).

Exercice 13

On se propose de rechercher le rôle des nerfs pneumogastriques, de certaines zones nerveuses et cardiaques et de certains organes comme les reins et les glandes surrénales dans la régulation de la pression artérielle.

A- Première série d'expériences : On dispose d'expériences réalisées chez des mammifères de même espèce dont les nerfs de Cyon sont sectionnés (figure 1).



1^{ère} expérience : Lorsqu'on porte une stimulation au niveau de la zone bulbaire représentée sur la figure 1, on observe un ralentissement cardiaque.

2^{ème} expérience : lorsque les nerfs pneumogastriques sont sectionnés, la fréquence cardiaque augmente. L'excitation de la zone bulbaire ou celle des bouts centraux des nerfs sectionnés n'est suivie d'aucun effet. La figure 2 donne les effets de l'excitation des bouts périphériques de ces nerfs sur la pression artérielle.

3^{ème} expérience : L'expérience a été réalisée sur un mammifère dont les nerfs X sont intacts.

Au niveau des sinus carotidiens (figure 1), on modifie la pression artérielle des manières suivantes :

Expérience a : On interrompt la circulation dans les carotides primitives en pinçant au niveau indiqué sur la figure 1. La pression artérielle générale, enregistrée au niveau de l'artère de la cuisse de l'animal, évolue comme le montre la figure 3.

Expérience b : Une seringue placée en communication avec l'un des deux sinus carotidiens suite à des ligatures qui isolent le sinus carotidien (voir figure 4), permet d'y faire varier la pression sanguine, on enregistre la pression générale de l'animal.

1) Quelles conclusions peut-on tirer à partir de l'analyse de ces expériences (Donner la réponse sous forme d'un tableau).

2) D'après vos connaissances, expliquez le mécanisme responsable de la variation de la pression artérielle observée dans la figure 5 suite à l'injection liquide.

B- Deuxième série d'expériences :

Expérience 1 : On dose le taux plasmatique de l'aldostérone sécrétée par un chien avant et après l'ablation des reins puis après l'injection intraveineuse d'extrait de rein prélevé chez un autre chien. Le document suivant montre les résultats obtenus (document ci-contre) :

Expérience 2 : On mesure la concentration des ions Na⁺ dans le plasma, l'élimination urinaire des ions Na⁺ et le débit urinaire (diurèse) chez des animaux sains et surrénalectomisés.

Le tableau suivant présente les résultats obtenus :

	Concentration plasmatique des ions Na ⁺ (g/L)	Excrétion urinaire des ions Na ⁺ (gr/jour)	Le débit urinaire (ml/h)
Animal sain	3.3	5	200
Animal surré-nalectomisé	3.1	6.5	350

3) À partir de l'analyse des résultats des expériences 1 et 2 et en utilisant vos connaissances, expliquez les rôles des reins et des glandes surrénales dans la régulation de la pression artérielle.

J'approfondis mes connaissances :

Document 1 : Notion de médiateurs chimiques

a) Expérience de Loewi

Par l'intermédiaire du bulbe artériel, on enfonce une canule dans un cœur de grenouille isolé mais muni de son innervation parasympathique. On lave plusieurs fois les cavités cardiaques au liquide de Ringer afin d'éliminer tout le sang. Ensuite on laisse séjourner dans la canule un petit volume de Ringer qui est brassé par les systoles ventriculaires. Au bout de quelques minutes, on prélève ce liquide et on le conserve comme témoin. On le remplace dans la canule par un volume identique de Ringer qui est laissé en place pendant le même temps mais alors que les nerfs vagaux sont soumis à une stimulation électrique suffisamment durable et intense pour entraîner l'arrêt du cœur en diastole. Ce deuxième volume, appelé liquide vagal est également mis à côté. On perfuse successivement le même cœur (ou un cœur « neuf ») à l'aide du

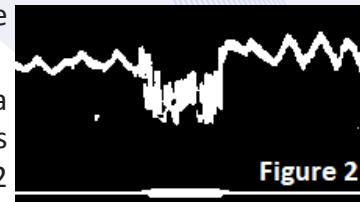


Figure 2

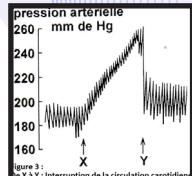


Figure 3 : Interruption de la circulation carotidienne

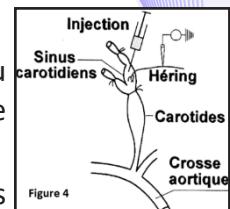


Figure 4

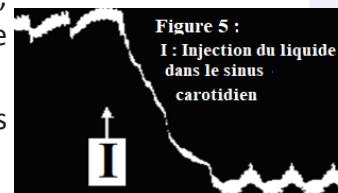


Figure 5 : I : Injection du liquide dans le sinus carotidien

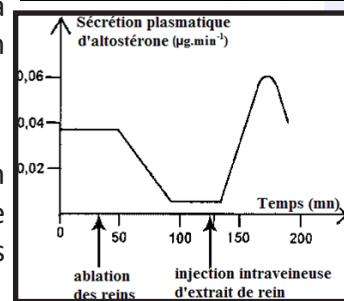


Figure 6

liquide témoin puis du liquide vagal. Le premier est sans action tandis que le second reproduit les effets de l'excitation des nerfs vagus : ralentissement du rythme, diminution de la puissance des contractions. On en conclut que l'excitation du vague entraîne la libération d'une « substance vagale » responsable de l'effet modérateur. Opérant de même sur des crapauds (ces animaux, en hiver, présentent une prédominance du tonus sympathique), Loewi a pu mettre en évidence une « substance accélératrice », antagoniste de la substance vagale.

b) Nature des médiateurs chimiques

Loewi avait pressenti, et les travaux ultérieurs lui ont donné raison, que la substance vagale était de l'acétylcholine. L'acétylcholine est synthétisée dans le cytoplasme des cellules nerveuses puis stockée dans des vésicules golgiennes qui viennent se rassembler au niveau de l'arborisation terminale des nerfs vagus. Sous l'effet de la stimulation de ces nerfs, elle est libérée dans le myocarde. Contrairement à ce qui se passe dans le muscle strié squelettique, elle ne provoque pas l'apparition d'un potentiel d'action dans les cellules musculaires cardiaques mais retarde la dépolarisation spontanée des cellules du nœud sinusal. De ce fait, le temps nécessaire au déclenchement automatique du potentiel d'action dans ces cellules est allongé ce qui se traduit par un ralentissement du rythme cardiaque. Lorsque la stimulation des nerfs vagus est suffisamment intense, la quantité d'acétylcholine est telle que le potentiel d'action n'apparaît pas : le cœur s'arrête en diastole. Toutefois, après sa libération dans le myocarde, l'acétylcholine est rapidement détruite par une enzyme, la cholinestérase. Son effet est donc très fugace. Il est possible que le phénomène d'échappement résulte de la production d'un excès de cholinestérase causée par la sécrétion prolongée d'une quantité importante d'acétylcholine. La substance accélératrice, appelée par la suite sympathine (Cannon, 1932), caractérise les neurones ganglionnaires sympathiques. Longtemps identifiée à l'adrénaline, la sympathine est en réalité une substance très voisine : la noradrénaline. La noradrénaline est synthétisée dans les neurones orthosympathiques, stockée dans le cytoplasme des terminaisons et libérée sous l'effet d'une excitation. Elle agit sur les cellules nodales en accélérant leur dépolarisation spontanée et, par conséquent, en précipitant l'apparition d'un potentiel d'action. Ceci se traduit par une accélération du rythme cardiaque. Toutefois, la libération de noradrénaline, après excitation des nerfs orthosympathiques, n'est pas immédiate : ceci explique le temps de latence observé entre le moment où commence la stimulation et celui où le cœur commence à réagir.

La noradrénaline est détruite dans le myocarde grâce à l'intervention d'une enzyme qui l'oxyde.

Vis-à-vis du cœur, l'adrénaline renforce l'action du système orthosympathique. En particulier, elle accélère et intensifie les contractions. Mais l'action de la médullo-surrénale est plus brutale et plus généralisée que celle du sympathique. L'excitation du centre bulbaire entraîne une décharge d'adrénaline qui, en quelques instants, affecte tous les organes réactionnels. Un exercice violent, une émotion vive provoquent une telle décharge, caractéristique d'un véritable état de crise. Cannon a montré que, chez le Chat, l'accélération cardiaque consécutive à une émotion vive (présentation d'un Chien) est due à une décharge d'adrénaline : en effet, si l'on sectionne les nerfs splanchniques, nerfs sympathiques destinés à la médullo-surrénale, la réaction ci-dessus s'annule. C'est pourquoi on dit volontiers que « l'adrénaline est l'hormone de l'émotion ».

Document 2 : Influence des ions plasmatiques

a) Les ions Ca^{2+}

On perfuse le cœur de rat avec une solution physiologique à 30 °C dans laquelle la concentration en ions Ca^{2+} a été triplée. On observe une augmentation de l'amplitude des contractions alors que la fréquence cardiaque demeure inchangée. Si on répète la même expérience avec la même solution dépourvue d'ions Ca^{2+} , on observe une diminution de l'amplitude des contractions jusqu'à l'arrêt complet du cœur.

b) Les ions K^+

On perfuse le cœur avec une solution physiologique à 30 °C dans laquelle la concentration en ions K^+ a été diminuée de 10 %. On observe une augmentation de l'amplitude des battements.

c) Les ions Na^+

On perfuse un cœur de rat isolé à l'aide d'une solution, physiologique à la température de 30°C. Au bout d'un certain temps, l'amplitude des contractions faiblit : le cœur est fatigué. On remplace alors le liquide de perfusion par une solution physiologique quatre fois moins riche en ions Na^+ . On observe une augmentation considérable de l'amplitude des contractions.

d) Interprétation

L'ion calcium semble renforcer les contractions du myocarde : ceci peut être mis en parallèle avec ce qui a été observé dans le cas du muscle squelettique. L'ion potassium a un effet inverse, inhibiteur de la contraction cardiaque. Il en est de même pour l'ion sodium mais son action est surtout nette sur un cœur fatigué. Ces expériences montrent la nécessité de la constance de la balance ionique dans le sang et le milieu intérieur.

Document 3 : Hypertension 25 août 2021

«Principaux faits

- L'hypertension est une élévation pathologique de la tension artérielle qui augmente significativement les risques d'infarctus du myocarde, d'accident vasculaire cérébral et d'insuffisance rénale, notamment.
- On estime que 1,28 milliard de personnes dans le monde âgées de 30 à 79 ans sont atteintes d'hypertension, et que la plupart d'entre elles (les deux tiers) vivent dans des pays à revenu faible ou intermédiaire.
- On estime que 46 % des adultes atteints d'hypertension l'ignorent.
- Moins de la moitié des adultes (42 %) souffrant d'hypertension sont diagnostiqués et bénéficient d'un traitement.
- L'hypertension est maîtrisée chez environ un adulte sur 5 (21 %).
- L'hypertension est l'une des premières causes de décès prématûre dans le monde.
- L'une des cibles mondiales en matière de maladies non transmissibles est de réduire la prévalence de l'hypertension de 33 % entre 2010 et 2030.

Qu'est-ce que l'hypertension ?

La pression sanguine est la force exercée par le sang en circulation sur la paroi des artères, c'est-à-dire les principaux vaisseaux qui permettent la circulation du sang dans l'organisme. On parle d'hypertension lorsque cette pression est trop élevée. La tension artérielle est indiquée par deux chiffres. Le premier chiffre (qui indique la tension systolique) correspond à la pression dans les artères lorsque le cœur se contracte ou bat. Le deuxième chiffre (qui indique la tension diastolique) correspond à la pression dans les artères au moment du relâchement du cœur. On considère qu'une personne souffre d'hypertension lorsque l'on constate à deux reprises, et pas le même jour, une tension artérielle systolique supérieure ou égale à 140 mm Hg et/ou une tension artérielle diastolique supérieure ou égale à 90 mm Hg.

Quels sont les facteurs de risque d'hypertension ?

Les facteurs de risque modifiables sont l'alimentation déséquilibrée (consommation excessive de sel ou de graisses saturées et d'acides gras trans, et consommation insuffisante de fruits et de légumes), la sédentarité, la consommation de tabac et d'alcool, et le surpoids ou l'obésité. Les facteurs de risque non modifiables sont les antécédents familiaux d'hypertension, le vieillissement (personnes âgées de plus de 65 ans) et la coexistence d'autres pathologies telles que le diabète ou une maladie rénale.

Quels sont les symptômes courants de l'hypertension ?

On dit de l'hypertension qu'elle tue en silence. En effet, la plupart des personnes qui en souffrent l'ignorent car elle ne s'accompagne pas toujours de symptômes ou de signes avant-coureurs. Par conséquent, il est essentiel de faire mesurer sa tension artérielle régulièrement. S'ils apparaissent, les symptômes peuvent prendre la forme de maux de tête matinaux, de saignements de nez, de battements de cœur irréguliers, d'altérations de la vue et de bourdonnements d'oreille. Les symptômes de l'hypertension sévère sont la fatigue, les nausées et vomissements, la confusion, l'anxiété, les douleurs à la poitrine et les tremblements musculaires. Pour dépister l'hypertension, le seul moyen est de faire mesurer sa tension artérielle par un professionnel de la santé. Ce processus est rapide et indolore. Bien qu'il soit également possible de mesurer sa tension artérielle à l'aide d'un appareil automatique, le risque et les pathologies associées doivent absolument être évalués par un professionnel de la santé.

Quelles sont les complications d'une hypertension non maîtrisée ?

L'hypertension peut entraîner de nombreuses complications et notamment de graves lésions cardiaques. Elle peut provoquer un durcissement des artères diminuant le flux sanguin et l'apport d'oxygène au cœur. L'hypertension et la réduction du flux sanguin peuvent entraîner :

- Des douleurs thoraciques (angine de poitrine ou angor).

- Un infarctus du myocarde, qui se produit lorsque la circulation sanguine vers le cœur est interrompue et que les cellules du muscle cardiaque se nécrosent par manque d'oxygène. Plus l'interruption est longue, plus les lésions cardiaques seront importantes.
- Une insuffisance cardiaque, qui survient lorsque le cœur n'est plus en mesure de pomper suffisamment de sang et d'oxygène à destination des organes vitaux.
- Un trouble du rythme cardiaque, qui peut conduire à une mort subite.

L'hypertension peut également provoquer l'éclatement ou l'obstruction d'une artère qui irrigue le cerveau et l'alimente en oxygène, et entraîner un accident vasculaire cérébral.

De plus, l'hypertension peut entraîner des lésions et une insuffisance rénale.

Pourquoi l'hypertension est-elle un problème important dans les pays à revenu faible ou intermédiaire ?

La prévalence de l'hypertension varie selon les régions et les groupes de revenu des pays. C'est dans la Région africaine de l'OMS que la prévalence de l'hypertension est la plus élevée (27 %) et dans la Région OMS des Amériques qu'elle est la plus faible (18 %).

Le nombre d'adultes souffrant d'hypertension est passé de 594 millions en 1975 à 1,13 milliard en 2015, et c'est surtout dans les pays à revenu faible ou intermédiaire que cette hausse a été observée. Elle s'explique principalement par une augmentation des facteurs de risque parmi les populations de ces pays.

Comment réduire la charge de morbidité de l'hypertension ?

La réduction de l'hypertension permet de prévenir les infarctus du myocarde, les accidents vasculaires cérébraux, les lésions rénales, ainsi que d'autres problèmes de santé.

Mesures préventives

- Réduire l'apport en sel (à moins de 5 g par jour) ;
- manger plus de fruits et de légumes ;
- avoir une activité physique régulière ;
- éviter de consommer du tabac ;
- consommer moins d'alcool ;
- limiter la consommation d'aliments riches en graisses saturées ;
- éliminer/réduire les acides gras trans de l'alimentation.

Prise en charge

- Réduire et gérer le stress ;
- faire mesurer régulièrement sa tension artérielle ;
- traiter l'hypertension ;
- prendre en charge les autres maladies.» <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/hypertension>

J'utilise mes connaissances:

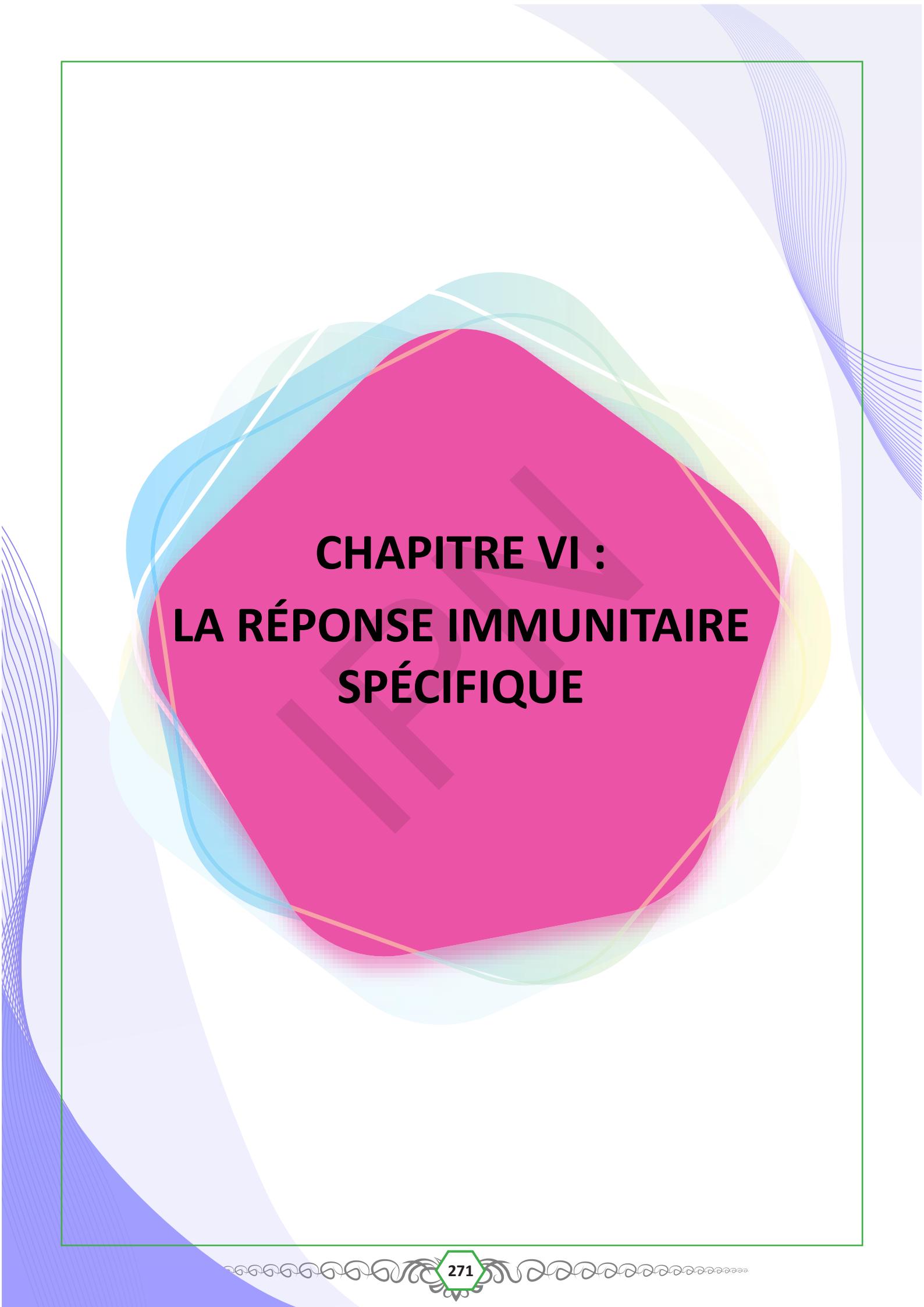
Projet de classe :

A la fin du chapitre 5, les élèves en sous-groupes préparent un compte rendu d'une recherche sur l'activité cardiaque et pression artérielle : faire une recherche documentaire auprès de personnes ressources, rédiger un compte rendu et le présenter aux élèves de la classe.

S'informer auprès du professeur de Français (pour le langage scientifique adapté), de SVT, d'EPS, de Physique (Cardiographe et électrocardiographe, fréquence, pression), de Chimie (Phénomènes ioniques).

- Groupe 1 : Compte rendu sur les pathologies cardiaques et pression artérielle dans le milieu. Causes et aspects.

- Groupe 2 : Recherche sur la pression artérielle ; Comment la mesurer et interpréter les résultats.
- Groupe 3 : Recherche sur la pratique du sport et activité cardiaque et pression artérielle.
- Groupe 4 : Réaliser un prototype de l'activité cardiaque et pression artérielle.
- Groupe 5 : Elaborer une fiche du métier du cardiologue.



CHAPITRE VI :

LA RÉPONSE IMMUNITAIRE

SPÉCIFIQUE

IPN

CHAPITRE VI : LA RÉPONSE IMMUNITAIRE SPÉCIFIQUE

Je découvre :

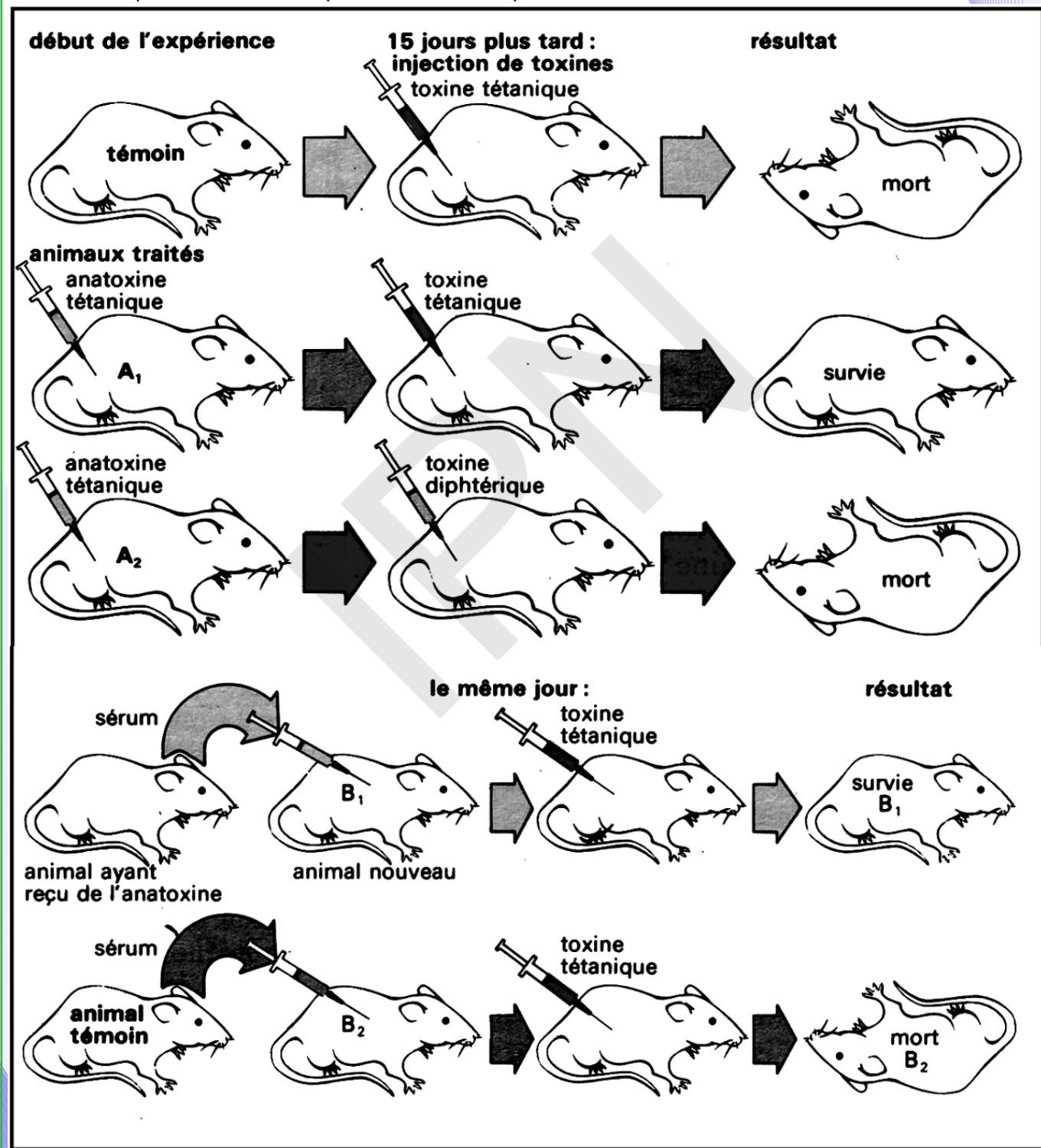
I- Réactions spécifiques

Activité 1 :

Qu'est-ce que l'immunité acquise et quelles sont ses caractéristiques ?

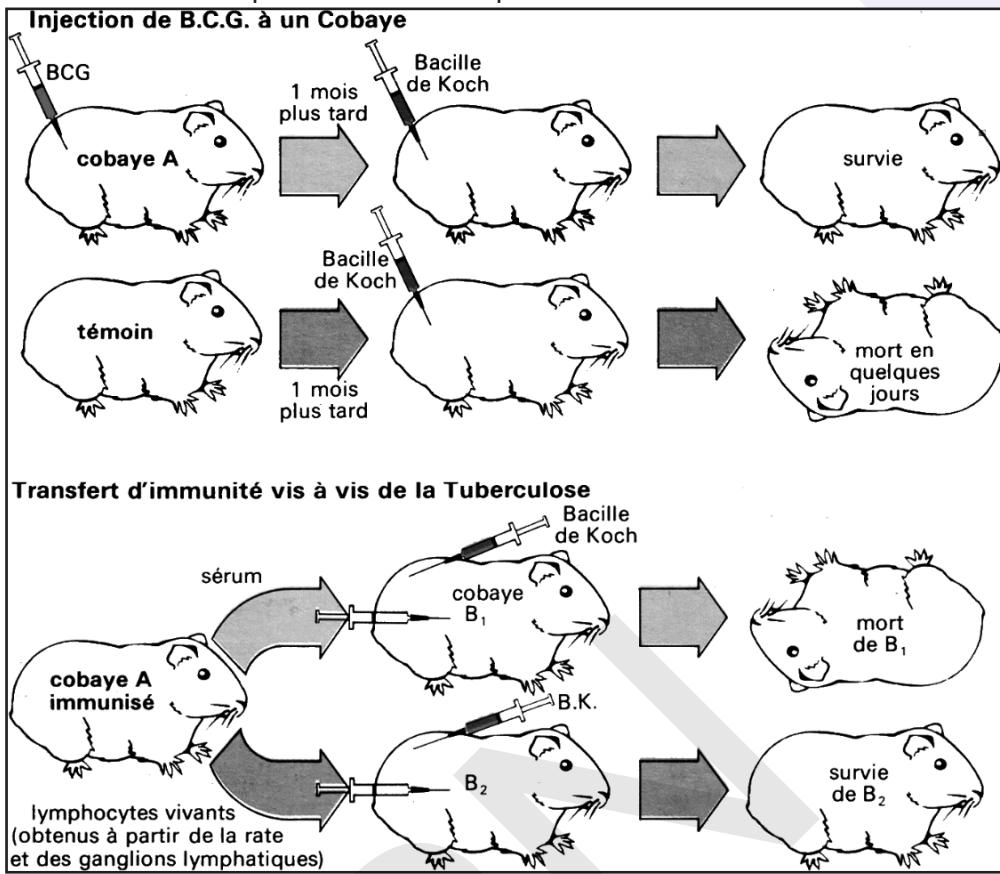
1^{ère} série d'expériences : Conséquences d'injections de l'anatoxine tétanique à des souris.

On réalise la première série d'expériences décrites par le document ci-dessous.



2^{ème} série d'expériences : Conséquences d'injections de BCG à des cobayes.

On réalise la deuxième série d'expériences décrites par le document ci-dessous.



Exploiter les différentes expériences afin de

- définir l'immunité spécifique ;
- dégager ses différentes caractéristiques ;
- déterminer les types d'immunité spécifique.

Exploitation des expériences :

Première série d'expériences : La réponse immunitaire à médiation humorale (RIMH).

* La souris témoin montre que la toxine téstanique est **mortelle** pour les souris.

* La souris A₁ a déclenché une réponse immunitaire contre l'anatoxine téstanique (antigène) qui l'a immunisée (grâce à la vaccination) contre la toxine téstanique (vrai antigène) : La réponse immunitaire est **acquise** (par le vaccin). Cette protection est obtenue au bout de 15 jours : l'immunité est **retardée**.

* L'anatoxine n'a pas protégé la souris A₂ contre la diphtérie : l'immunité est **spécifique**.

* Des lymphocytes ayant eu un 1^{er} contact avec un antigène sont toujours conservés ; on parle de lymphocytes mémoire : l'immunité est **mémorisée**.

* La souris B₁ est protégée par le sérum de la souris immunisée contre le téstanos : l'immunité est **transférable**. On peut protéger immédiatement et momentanément un animal contre la toxine téstanique en lui injectant le sérum d'un animal de même espèce préalablement immunisé. La protection est due à une substance circulant dans les « humeurs » de l'animal, c'est-à-dire le milieu intérieur et qui s'est formée après injection d'anatoxine.

L'anatoxine téstanique a entraîné une **Réponse Immunitaire à Médiation Humorale (RIMH)**.

Deuxième série d'expériences : La réponse immunitaire à médiation cellulaire (RIMC)

* **Expérience 1** : Un cobaye (A) immunisé par le BCG (Bacille Calmette-Guérin) survit à une injection de Bacille de Koch (BK) normalement **mortelle** (témoin).

Ainsi, Le BCG (vaccin) est donc responsable de l'immunisation de l'animal.

* **Expérience 2** : L'injection du sérum du cobaye A immunisé par le BCG contre le bacille de Koch n'entraîne

pas la protection d'un autre (B_1) contre le BK et par conséquent, l'agent responsable de l'immunisation ne se trouve pas dans le sérum.

Cependant, le transfert de lymphocytes vivants du cobaye A immunisé par le BCG contre le bacille de Koch à un autre (B_2) permet l'immunisation de ce dernier. On en déduit que les lymphocytes (cellules) transférés sont les agents de cette protection car ils ont acquis le pouvoir de reconnaître le BK grâce à leur contact avec le BCG. Cet exemple de protection illustre une autre forme de réponse : **Réponse Immunitaire à Médiation Cellulaire (RIMC)**.

NB. Une anatoxine est une toxine bactérienne atténuee par l'action combinée du formol et de la chaleur. Elle a perdu son pouvoir pathogène tout en conservant son pouvoir antigénique.

Le bacille de Koch (BK) est la bactérie responsable de la tuberculose. Le bacille de Calmette et Guérin (BCG) est le bacille de Koch atténue, c'est-à-dire rendu non pathogène mais conservant son pouvoir antigénique.

L'immunité **spécifique** ou **adaptative** est l'ensemble des mécanismes de neutralisation et de destruction dirigé de manière spécifique contre un antigène donné. L'immunité spécifique possède une mémoire.

- o elle est **spécifique**, elle est donc **adaptée** à chaque agent infectieux ;
- o elle nécessite une reconnaissance préalable de l'agresseur : sa première mise en œuvre est par conséquent **retardée** ;
- o ses modalités sont variées et font appel à des médiateurs cellulaires, les **lymphocytes T et B**.
- o elle se distingue de l'immunité non spécifique par sa faculté de conserver en mémoire le souvenir de la première agression ; une agression ultérieure par le même agent infectieux entraînera une réponse immunitaire plus rapide, plus affine et plus intense ;
- o Elle est **transférable**.
- o Elle est **acquise**.

L'immunité à médiation humorale est mise en jeu lorsque l'agresseur est d'origine extracellulaire : bactérie, toxine, parasite. Elle fait intervenir des lymphocytes B (LB). Chaque LB reconnaît un antigène moléculaire, le plus souvent présenté par une cellule présentatrice de l'antigène (CPA). Ils peuvent également reconnaître directement les Ag libres existant dans le milieu intérieur (ex : toxines) ou les antigènes inclus dans les membranes des bactéries des virus etc... L'immunité à médiation cellulaire vise les cellules infectées par des agents étrangers (virus, bactéries, parasites), les cellules cancéreuses ou les cellules d'un greffon étranger. Elle fait intervenir des lymphocytes T (LT), il en existe 2 catégories que l'on peut différencier selon leur rôle :

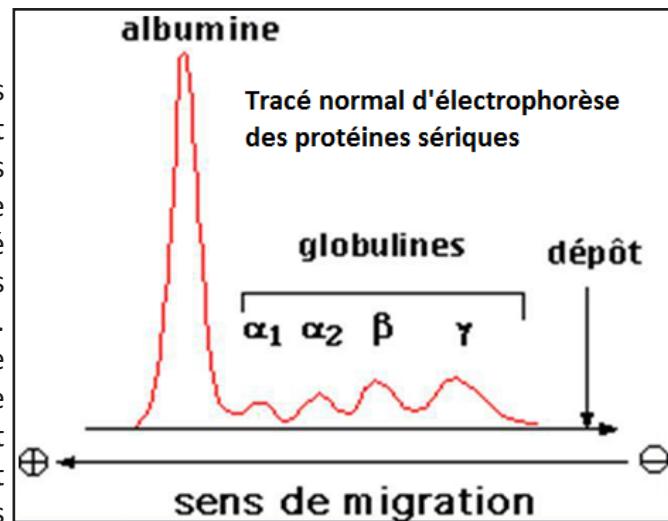
- les LT auxiliaires (LTh (helper), LT4) : ils activent les LB ou les LT cytotoxiques ou encore des agents de l'immunité non spécifique (cellules NK et monocytes/macrophages).
- les LT cytotoxiques (LTc, LT8) : ils détruisent les cellules infectées par des virus ou des parasites intracellulaires. Ils nécessitent une présentation.

Activité 2 :

Dégager les notions d'anticorps / antigènes.

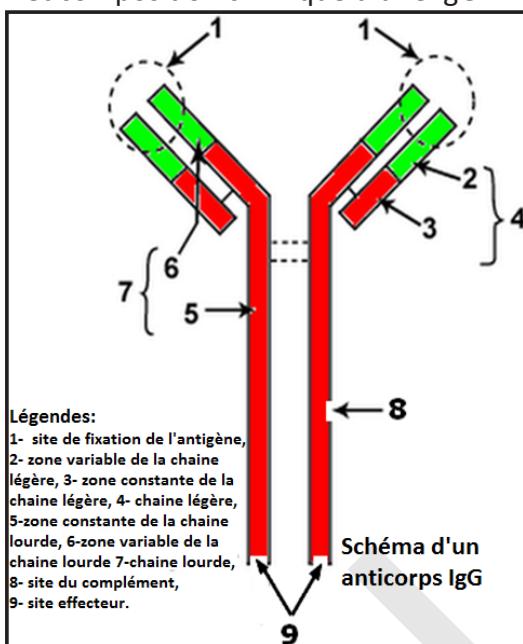
Document 1 : Electrophorèse des protéines sériques

C'est une méthode utilisée de routine dans les laboratoires de biologie clinique dont le but est de séparer les protéines du sérum, d'identifier les fractions protéiques et de déterminer le pourcentage relatif de chacune d'elles. Elle repose sur la capacité des protéines chargées à migrer au travers des pores d'un gel lorsqu'on applique un courant électrique. Cinq grandes fractions apparaissent sur le diagramme d'électrophorèse classique. Celle-ci apporte de nombreux renseignements en particulier sur l'état inflammatoire, nutritionnel, et permet le dépistage et le suivi d'une immunoglobulinopathie. La fraction des



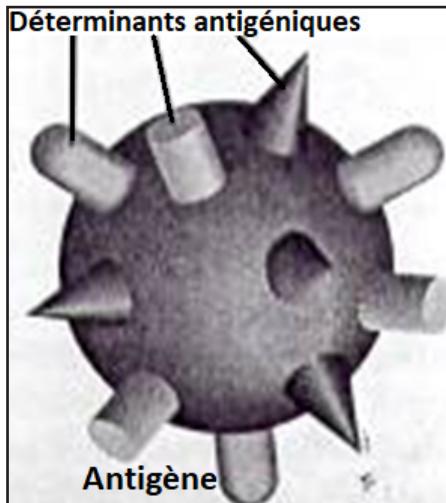
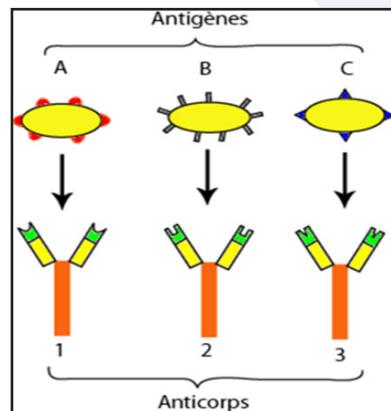
immunoglobulines (les γ -globulines) comprenant G, M, A, D et E représente environ 17 % du total. Les immunoglobulines (Ig) ou Ac sont des glycoprotéines présentes dans le sérum et les liquides interstitiels des mammifères.

Document 2 : Structure, fonction et composition chimique d'une IgG.



Document 3 : Les principales caractéristiques des cinq classes d'anticorps.

Classes d'Ig	Rôles
Ig G : 75 % des Ac 	Est l'Ig la plus abondante dans le sérum et la seule à traverser la barrière placentaire : c'est ainsi que l'immunité passive est transmise par la mère au fœtus. Elle augmente l'activité phagocytaire contre les bactéries et les virus en jouant le rôle d'opsonines, elle neutralise les toxines et déclenche l'activation du complément.
Ig A : 15 % des Ac 	Aussi appelée Ig A sécrétoire, elle se trouve surtout dans les muqueuses qu'elle protège des agents pathogènes (immunité localisée aux muqueuses). Forme libre dans le plasma
Ig M : 5 à 10 % des Ac 	Est la 1ère classe d'Ac libérée dans le sang par les plasmocytes. Elles provoquent l'agglutination (Ag-Ac) et la lyse des microbes car ils peuvent activer le complément. C'est une protéine de la membrane plasmique des LB immunocompétents = Ig membranaire = récepteur antigénique des LB (BCR)
Ig D : 1 % des Ac 	C'est une protéine de la membrane plasmique des LB immunocompétents = Ig membranaire = récepteur antigénique des LB (BCR)
Ig E : 0,1 % des Ac 	se lie aux mastocytes et au polynucléaires provoquant la libération de substances (histamines) responsables de la réaction inflammatoire et de certaines réactions allergiques

Document 4 : Déterminants antigéniques.**Document 5 : Région de l'antigène à structure tridimensionnelle complémentaire du site de liaison de la molécule d'anticorps**

Exploiter les documents afin de définir les notions d'anticorps et d'antigène et de dégager leurs principaux rôles et caractéristiques.

Les anticorps (Ac) ou immunoglobulines (Ig) sont des protéines appartenant au groupe des globulines et capables de se fixer sur les déterminants antigéniques qui lui sont spécifiques pour former un complexe immun Ag-Ac.

On distingue deux catégories d'immunoglobulines (Ig) :

- ✓ Les Ig de membrane : elles sont synthétisées par les LB et sont présentes à leur surface. Ces Ig de membrane servent de récepteurs membranaires aux antigènes ;
- ✓ Les Ig circulantes : elles sont synthétisées et sécrétées par les plasmocytes et sont retrouvées dans le plasma, la lymphe, le liquide interstitiel et diverses sécrétions.

Les Ac font partie des protéines sériques (= protéines contenues dans le sérum). Ces protéines peuvent être séparées par électrophorèse en 4 groupes (Document 1) : albumine et globulines (α , β , γ). Les anticorps (Ac) sont des gammaglobulines (γ -G), en vertu de leur migration électrophorétique. On les appelle encore immunoglobulines (Ig). Il existe différentes catégories d'Ac dans le sérum qui sont toutes bâties sur le même modèle de base. Pour cette raison, on s'intéresse à l'Ig G qui est majoritaire dans le sérum (= sert de référence, modèle).
- Au niveau de la structure (Document 2) : Leur structure spatiale est celle d'un Y formé de quatre chaînes polypeptidiques :

- ✓ 2 chaînes lourdes identiques 2 à 2 dites H (Heavy) ;
- ✓ 2 chaînes légères identiques 2 à 2 dites L (Light).

La structure est maintenue grâce à des ponts disulfures.

Les chaînes lourdes et légères sont formées de 2 parties différentes (partie constante et partie variable).

Les chaînes lourdes (H= heavy) sont des glycoprotéines.

Dans chaque chaîne lourde, deux zones caractéristiques peuvent être mises en évidence :

- ✓ une région constante C_H ;
- ✓ une région variable V_H .

Située du côté $-COOH$ terminal et contenant 330 à 440 acides aminés (aa), la région constante est ainsi qualifiée parce qu'on y retrouve une séquence d'acides aminés relativement constante (pour un même type de chaîne).

Cette région constante présente une zone flexible (charnière) responsable de la forme caractéristique en Y. C'est à ce niveau que s'établissent les ponts disulfures qui réunissent les deux chaînes lourdes.

La région variable est située du côté $-NH_2$ terminal et contient 117 acides aminés. Elle contient 3 régions hypervariables dont la séquence en acides aminés présente des différences importantes dans les Ac qui réagissent avec des Ag différents. Deux types de chaînes légères (L= light) ont été reconnues et identifiées kappa (k) et lambda (l). Une molécule d'Ig contient soit 2 chaînes kappa (k), soit 2 chaînes lambda (l). Ces deux types de chaînes se distinguent par leur séquence en acides aminés.

La chaîne légère est constituée :

- ✓ d'une région constante, -COOH terminale Ck ou Cl ;
- ✓ d'une région variable, NH₂ terminale Vk ou Vl.

Les chaînes légères présentent tout comme les chaînes lourdes 3 régions hypervariables au sein de leur région variable.

Il existe 5 classes d'Ig différentes (Document 3) définies selon la structure des parties constantes : **IgG, IgA, IgM, IgD et IgE**.

- Au niveau fonctionnel, on distingue :

- ✓ un site anticorps constitué par la combinaison des domaines hypervariables d'une chaîne lourde et d'une chaîne légère (= paratope) ;
- ✓ des sites de liaison :
- le complément se fixe au niveau du domaine CH₂ (= Fc),
- les Ig se fixent à des cellules par le domaine CH₃,
- on observe donc une dualité fonctionnelle, avec un pôle de reconnaissance de l'antigène (Fab) et un effecteur (Fc).

Toutes les Ig (5 principales classes) présentent l'unité structurale précédemment décrite : 2 chaînes lourdes et 2 chaînes légères reliées par des ponts disulfures.

Chaque classe d'Ig possède un type de chaîne lourde spécifique caractérisée par une séquence particulière d'acides aminés. Il y a donc 5 types de chaînes lourdes : g (G), a (A), m (M), d (D) et e (E).

Les chaînes légères ne peuvent être que de 2 types : k ou l.

Chaque classe assume un rôle différent dans la réaction immunitaire : (Voir document 3).

Le terme antigène (Document 4) vient de « engendrer des anticorps ». Il s'agit de toute substance capable d'engendrer (d'entraîner) une réaction immunitaire. L'origine de l'antigène pouvant être endogène ou exogène. Ces derniers pouvant pénétrer dans l'organisme par différentes voies : voie respiratoire, voie digestive ou par injection.

Toutes substances naturelle ou synthétique reconnue par le système immunitaire est donc un antigène.

Les antigènes complets présentent 2 propriétés fonctionnelles essentielles :

- ✓ l'**immunogénicité** : pouvoir d'induction de la réponse immunitaire (= capacité à stimuler la prolifération de LT et LB immunocompétents spécifiques et à induire la formation d'Ac spécifiques). Une substance immunogène est forcément antigénique ;
- ✓ la **réactivité antigénique** (antigénicité) : la réactivité antigénique (antigénicité) ou capacité de réagir avec les produits de la réponse immunitaire. C'est-à-dire la capacité de réagir avec les lymphocytes spécifiques activés et les anticorps libérés en réponse à un antigène donné.

La réactivité antigénique ou capacité de reconnaissance et de liaison spécifique avec l'anticorps réside dans une partie limitée de l'antigène, connue sous le nom de **déterminant antigénique** ou **épitope**. En effet, seules quelques parties de l'antigène sont antigéniques. Cette région de l'antigène possède une structure tridimensionnelle complémentaire du site de liaison de la molécule d'anticorps (Document 5).

L'épitope ou déterminant antigénique est donc la plus petite unité structurale reconnue par l'anticorps. Le nombre de déterminant antigénique à la surface d'un antigène détermine sa valence. Chaque déterminant antigénique est reconnu par un lymphocyte spécifique, du coup un antigène donné possédant n déterminants antigéniques peut mobiliser contre lui plusieurs lymphocytes et stimuler la production d'une grande variété d'anticorps.

D'une façon générale, on distingue :

- les auto-antigènes, présents chez l'individu lui-même.

Ex : cellules cancéreuses, maladies auto-immunes...

- Les allo-antigènes, qui caractérisent des groupes d'individus au sein d'une même espèce.

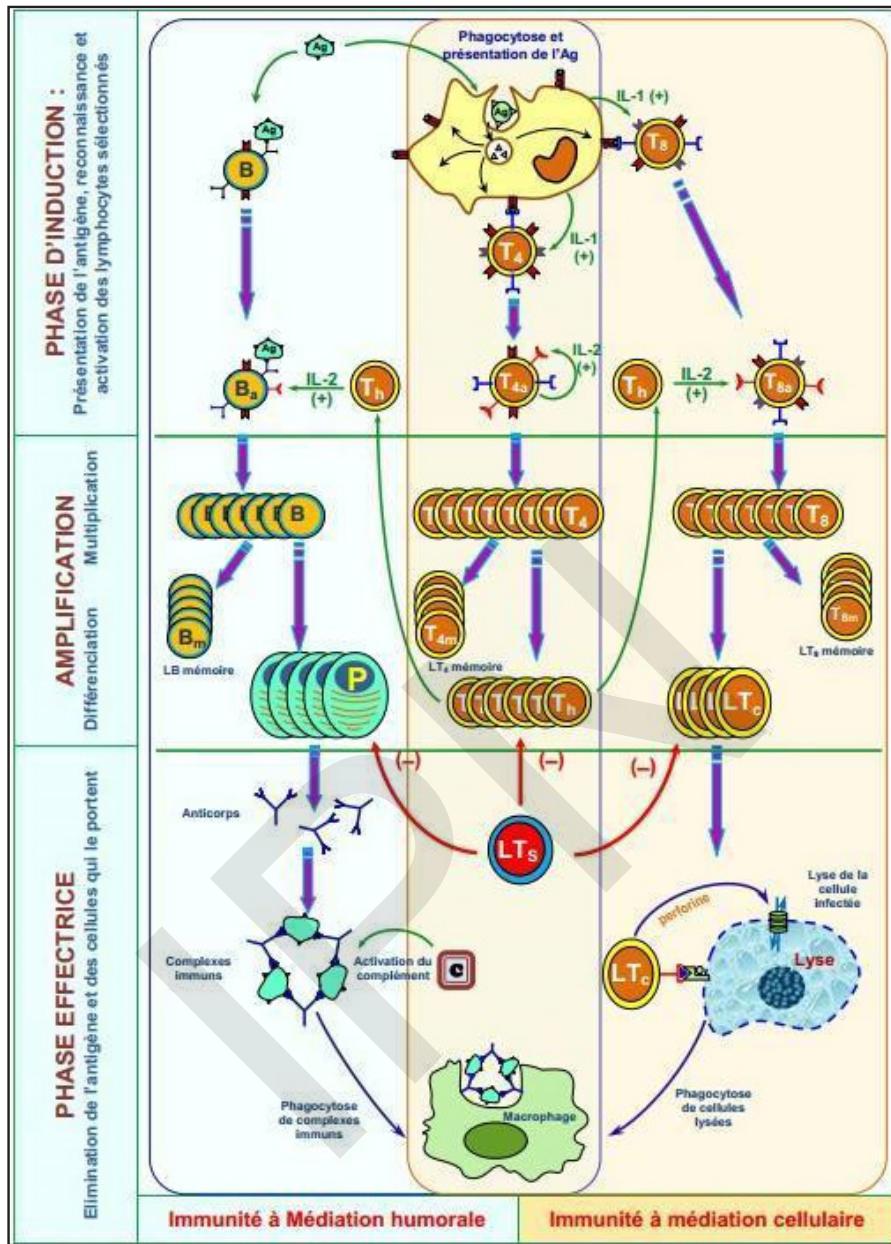
Ex : HLA, système ABO ...

- Les xéno antigènes, ou hétéro-antigènes portés par les individus d'une espèce différentes. Un anticorps ou un lymphocyte reconnaît une structure particulière (un épitope) à l'exclusion de tout autre.

Activité 3 :

Déroulement ou mécanisme de la réponse immunitaire spécifique.

Le document suivant donne le bilan de la réponse immunitaire spécifique.



Exploiter ce document afin de montrer comment neutraliser par agglutination ou détruire un antigène lors d'une réaction immunitaire spécifique.

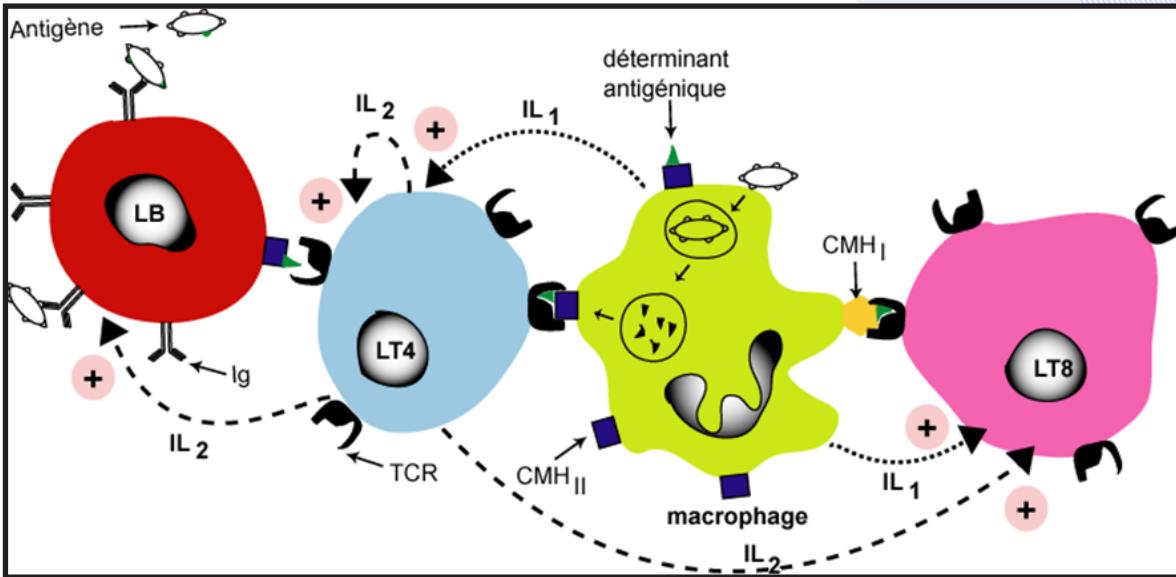
Si un élément étranger réussit à franchir les barrières naturelles (peau et muqueuse), il se produit une réaction immunitaire en deux étapes : tout d'abord la réaction immunitaire non spécifique (réaction inflammatoire) dont les symptômes sont : des rougeurs, un dégagement de chaleur, des douleurs et des œdèmes. Puis si la réaction immunitaire non spécifique ne suffit pas, alors on a une réaction immunitaire spécifique qui va se mettre en place avec à la fois une immunité cellulaire et humorale.

NB. L'immunité spécifique utilise les mécanismes effecteurs de l'immunité naturelle auxquels s'ajoutent le phénomène de reconnaissance spécifique des molécules étrangères et la mémoire immunologique.

La réponse immunitaire spécifique se fait en trois étapes :

1- LA PHASE D'INDUCTION :

Cette phase est caractérisée par la reconnaissance de l'antigène, la coopération entre les cellules immunitaires (LB, LT et macrophage) et l'activation des lymphocytes (LB, LT₄ et LT₈).



Les CPA (macrophage, cellules dendritiques) traitent et présentent les antigènes exogènes. Ces CPA sont placées stratégiquement aux lieux de pénétration des Ag exogènes.

Après avoir captées les Ag exogène les CPA migrent jusqu'aux ganglions lymphatiques par les vaisseaux lymphatiques.

La reconnaissance de l'antigène : une reconnaissance directe et simple de l'antigène par les macrophages et les LB. Une reconnaissance indirecte et double de l'antigène par les LT₄ (si l'antigène est associé à un CMH₂) et les LT₈ (si l'antigène associé au CMH₁) grâce aux CPA.

NB. La coopération cellulaire et l'activation des lymphocytes : la RIMH et la RIMC nécessitent une coopération cellulaire entre les macrophages, les LB, et les LT.

Une coopération directe (par contact direct entre les lymphocytes et le macrophage) et indirecte (par l'intermédiaire des substances chimiques appelées les interleukines : IL₁ et IL₂).

2- LA PHASE D'AMPLIFICATION ET DE DIFFERENTIATION :

Cette phase est essentielle car un trop petit nombre de LB ne pourrait être suffisant pour lutter contre le virus.

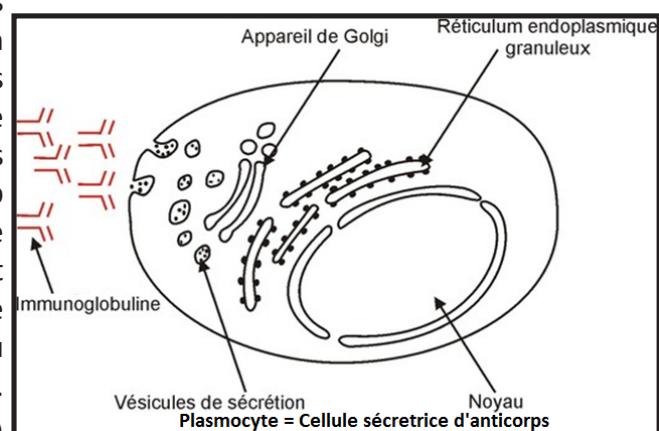
Les lymphocytes (LB, LT₄ et LT₈) sélectionnés et activés par les interleukines produites par les LT₄ subissent une multiplication active par des mitoses successives pour donner des clones qui comportent de lymphocytes mémoires et des lymphocytes effecteurs.

Après la phase d'**amplification** par mitoses, les LB se différencient en deux catégories :

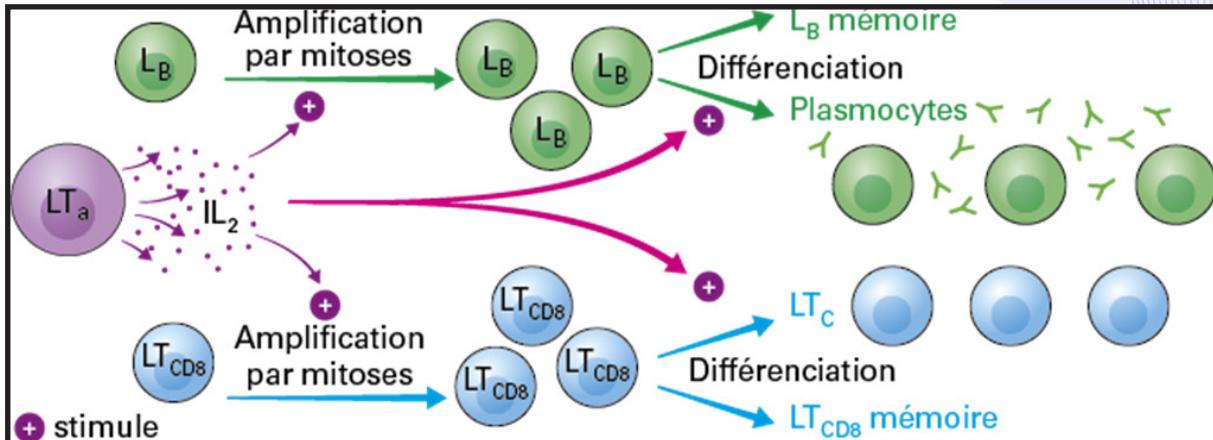
- En Lymphocytes B mémoires, qui resteront dans les organes lymphoïdes et qui pourront rapidement répondre en cas d'une seconde infection par le même virus. Ils ont une durée de vie plus longue. Ayant été préactivés, leur temps de réponse sera considérablement réduit; ce qui permettra une réponse intense en quelques heures au lieu de quelques jours pour un premier contact.

- Les LB effecteurs se différencient en plasmocytes sécréteurs d'anticorps libres (voir figure ci-contre) en devenant beaucoup plus grands. Ils comprennent dans leur cytoplasme énormément de REG et d'appareil de Golgi, organites nécessaires à la synthèse de protéines (d'anticorps). Ils contiennent également beaucoup de mitochondries permettant la synthèse d'énergie nécessaire à la synthèse protéique. Ils fabriquent alors activement des anticorps libres dont la partie variable correspond à celle qui a initialement reconnu l'antigène. Ces anticorps sont spécifiques de l'antigène.

Les LT₄ effecteurs se différencient en LT auxiliaires (LT_a) encore appelés LT helper (LT_h) sécréteurs d'interleukine 2.



Les LT_g effecteurs se différencient en LT cytotoxiques (LT_c) sécrétors des perforines. Un groupe de LT_g effecteurs se différencient en LT suppresseurs (LT_s) qui interviennent après l'élimination de l'antigène pour supprimer la réponse immunitaire.

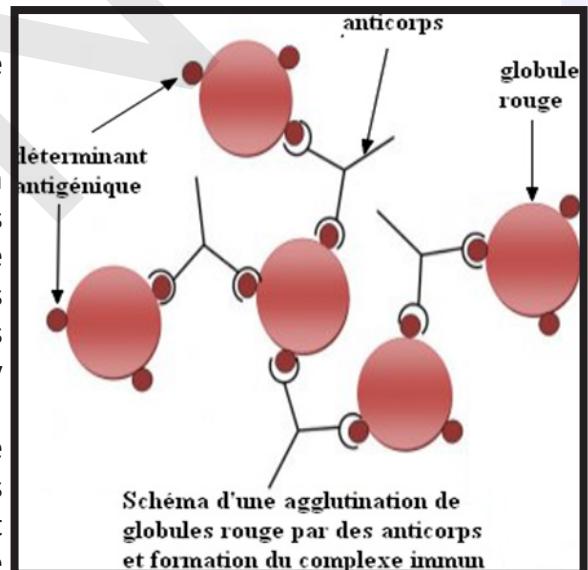


3- LA PHASE EFFECTRICE

- Dans le cas de la RIMH :

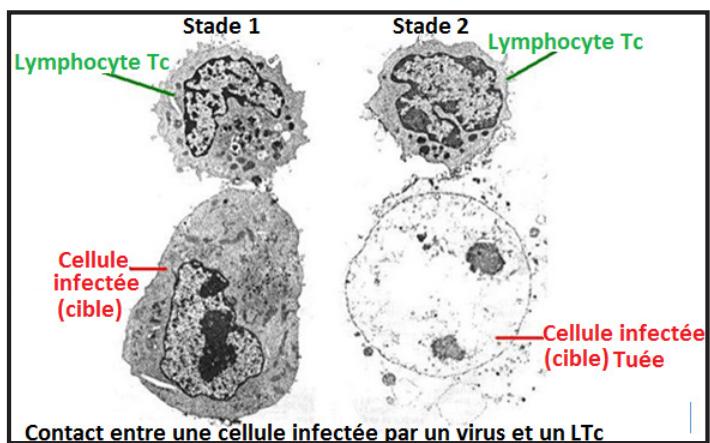
Les anticorps solubles (non fixés) circulent dans le sang et la lymphe. La partie constante de l'anticorps est reconnue par les cellules phagocytaires exprimant des récepteurs de cette partie constante. Cette reconnaissance facilite alors la phagocytose et l'élimination de l'antigène. Les Ac se lient aux marqueurs antigéniques présents sur les antigènes et forment des complexes immuns tout autour de la cellule infectée ou étrangère pour les neutraliser ; ce qui aboutit à :

- la neutralisation et l'arrêt de la multiplication de l'antigène mais non à sa destruction ;
- la précipitation des antigènes solubles ;
- la lyse de l'antigène qui ne se produit que suite à l'intervention du complément (ensemble de protéines sériques dont la plupart sont enzymatiques). Il est activé par les complexes immuns. Lorsque les anticorps sont fixés sur les antigènes d'une cellule étrangère (bactérie), des molécules du complément s'intègrent à sa membrane et y forment des pores entraînant sa lyse.
- l'opsonisation : La membrane des phagocytes comporte des récepteurs membranaires sur lesquels se fixent les complexes immuns grâce à la partie basale du fragment constant des anticorps. Cette fixation facilite la phagocytose : c'est l'opsonisation. Le complexe immun est phagocyté par une cellule phagocytaire (macrophage ou polynucléaire). Cette phagocytose facilitée accélère l'élimination de l'antigène.



- Dans le cas de la RIMC

Les LTc se fixent par leurs récepteurs membranaires spécifiques aux cellules possédant à leur surface le soi modifié (cellules infectées, cancéreuses, mutées) complémentaire de leurs récepteurs. Ce contact entraîne chez le LTc, l'exocytose des granules de cytolysé remplies de protéines hydrolytiques : les perforines. Les perforines se polymérisent et s'enchâssent dans la membrane de la cellule à détruire et forment un canal transmembranaire par lequel l'eau entre, ce qui provoque son éclatement.



Si un élément étranger réussit à franchir les barrières naturelles (peau et muqueuse) il se produit une réaction immunitaire en deux étapes : tout d'abord la réaction immunitaire non spécifique (réaction inflammatoire) dont les symptômes sont : des rougeurs, un dégagement de chaleur, des douleurs et des œdèmes. Puis si la réaction immunitaire non spécifique ne suffit pas, alors on a une réaction immunitaire spécifique qui va se mettre en place avec à la fois une immunité cellulaire et humorale.

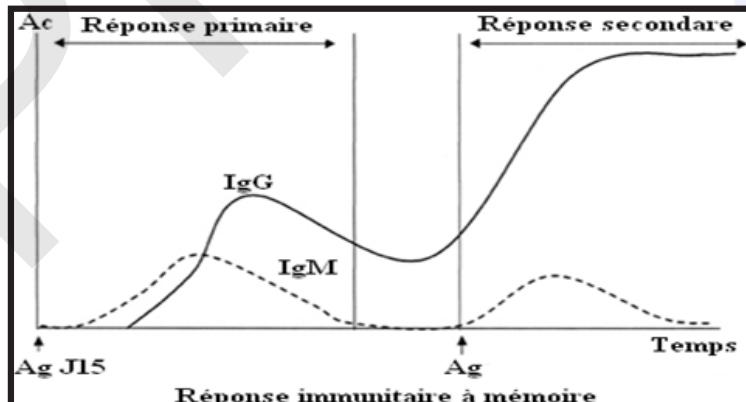
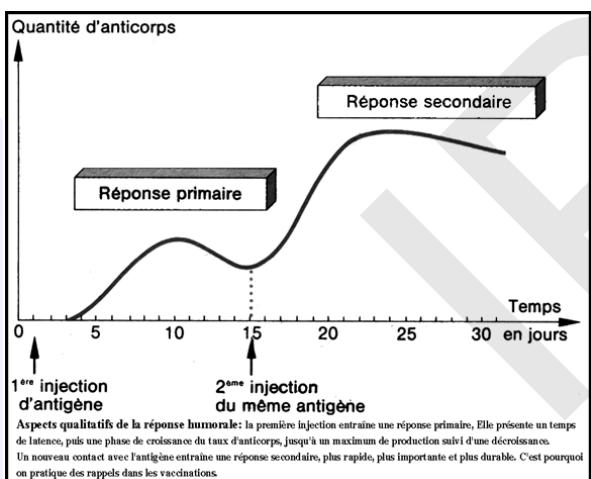
Quelles sont les voies d'infection ?

L'infection peut se faire par simple contact avec l'environnement (tétanos) ou par contacts individuels. Il peut s'agir, alors d'une transmission directe nécessitant un contact physique entre personne infectée et personne saine (exemple : I.S.T.) ou d'une transmission indirecte (grippe). Dans certains cas, la transmission nécessite un troisième organisme appelé vecteur (paludisme). Ces agresseurs entrent en contact avec notre corps, soit au niveau de la peau, soit après pénétration dans les cavités de l'organisme, en relation avec le milieu extérieur (voies digestives, respiratoires, urinaires, génitales, ...). Ces cavités sont tapissées de tissus appelés muqueuses. Souvent, la peau et les muqueuses vont constituer un obstacle à la pénétration des microbes. Si un élément étranger réussit à franchir les barrières naturelles (peau et muqueuse) il se produit une réaction immunitaire en deux étapes : tout d'abord la réaction immunitaire non spécifique (réaction inflammatoire) dont les symptômes sont : des rougeurs, un dégagement de chaleur, des douleurs et des œdèmes. Puis si la réaction immunitaire non spécifique ne suffit pas, alors on a une réaction immunitaire spécifique qui va se mettre en place avec à la fois une immunité cellulaire et humorale.

Activité 4 :

Comment notre organisme peut-il se rappeler des antigènes qu'il a déjà rencontrés ?

Les graphes ci-contre illustrent la dynamique des sécrétions d'anticorps au cours des réponses primaire et secondaire.



A partir du graphe, montrer comment prouver l'existence d'une mémoire immunitaire et comment identifier son support cellulaire ?

La réponse en deux temps : réponse primaire et secondaire (mémoire) :

La mémoire immunitaire désigne la capacité qu'a le système immunitaire de réagir plus rapidement et plus efficacement lors des contacts ultérieurs avec un antigène déjà reconnu. Elle repose sur l'existence des LB et les LT mémoires; c'est-à-dire; des lymphocytes n'ayant pas achevé leur différenciation et sur le phénomène de maturation d'affinité; c'est-à-dire l'augmentation avec le temps de la précision de la reconnaissance d'un antigène par un anticorps. Les cellules mémoires ont une durée de vie très longue contrairement aux cellules effectrices.

Lors du premier contact avec l'antigène, la réponse immunitaire appelée alors réponse primaire est faible. Elle est donc tardive, peu intense, peu durable.

Lors d'un second contact avec le même antigène, la réponse immunitaire appelée réponse secondaire est quasi immédiate et forte comme si le premier contact avait été mémorisé.

Les principales caractéristiques de la réponse immunitaire secondaire sont les suivantes :

- *elle est immédiate, sans phase de latence (les premiers anticorps synthétisés peuvent être détectés au bout de quelques heures, voire de quelques minutes),
- *elle est beaucoup plus intense (x 100) que la réponse primaire, le taux des anticorps atteint étant beaucoup plus élevé que lors de la réponse primaire,
- *elle comporte d'emblée une majorité d'IgG,
- *elle laisse derrière elle des taux d'anticorps résiduels plus élevés et plus durables que ceux qui proviennent d'une réponse primaire.

Les réponses primaire et secondaire s'accompagnent toutes deux d'une production d'anticorps hétérogène. Cette hétérogénéité porte sur :

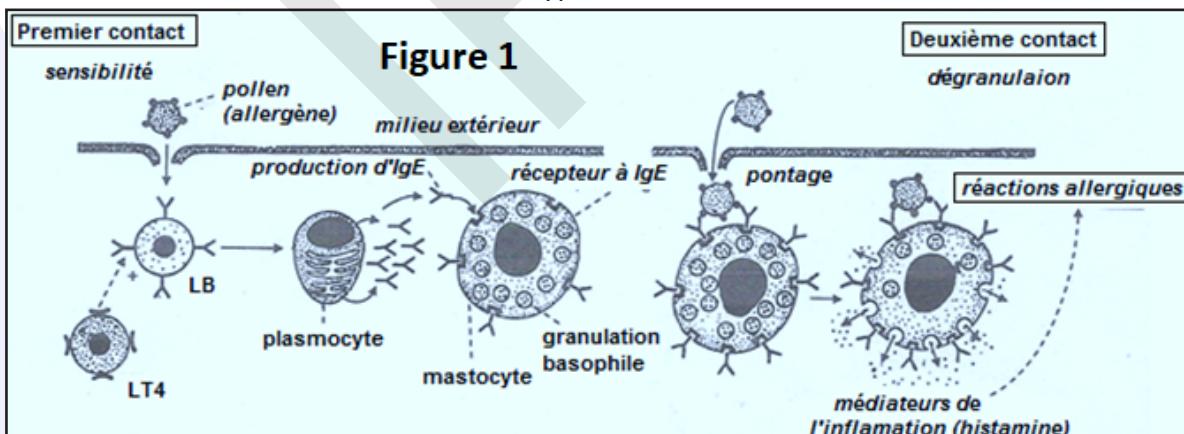
- les diverses classes et sous classes d'Ig : la réponse primaire, principalement constituée d'IgM, s'accompagne parfois d'une très faible production d'IgG. De même, certaines réponses secondaires, surtout lorsqu'elles sont induites tardivement après la primo-stimulation antigénique, peuvent s'accompagner d'une production initiale transitoire d'IgM. En outre, au sein de chaque classe d'anticorps, toutes les sous-classes sont en principe synthétisées (IgM1, IgG1, 2, 3, 4). L'affinité des anticorps pour l'antigène ayant induit leur synthèse : elle augmente progressivement pendant la réponse immunitaire et l'on a montré que l'affinité des anticorps synthétisés au bout de plusieurs semaines pouvait être 10 000 fois supérieure à celle des premiers anticorps apparus. Ceci correspond au phénomène de maturation de la réponse immunitaire : l'affinité des anticorps est toujours plus élevée au cours de la réponse secondaire qu'au cours de la réponse primaire. Des lymphocytes ayant eu un 1^{er} contact avec un antigène sont toujours conservés : on parle de lymphocytes mémoire. Si un 2^{ème} contact a lieu avec le même antigène, ils se multiplient plus vite, produisent plus d'anticorps. La réponse immunitaire secondaire est plus forte et plus rapide que la réponse primaire (vaccination). Notre système immunitaire peut garder en mémoire les bactéries et virus particuliers qu'il a déjà rencontrés au 1^{er} contact, afin de rendre la seconde rencontre beaucoup plus rapide et efficace.

II- Dysfonctionnement du système immunitaire

Activité 5 :

Un défaut du système immunitaire de notre organisme : l'hyperfonctionnement

La figure 1 ci-dessous décrit le mécanisme de l'hypersensibilité immédiate.



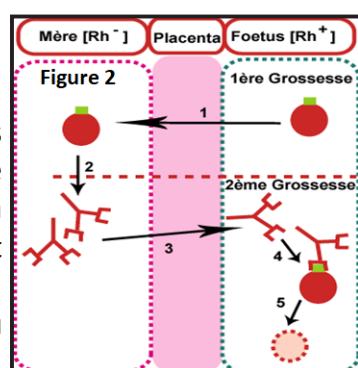
La figure 2 donne un exemple de maladie auto-immune : **La maladie hémolytique du nouveau-né**.

La maladie hémolytique du nouveau-né ne peut infecter que les enfants [Rh⁺] issus d'une mère [Rh⁻].

L'enfant atteint doit être précédé par la naissance d'un enfant [Rh⁺] sain.

Au cours de la première grossesse, au moment de l'accouchement, quelques hématies de l'enfant [Rh⁺] peuvent passer vers la mère [Rh⁻] qui déclenche une réponse immunitaire et synthétise des anticorps anti-Rh⁺. Au cours de la deuxième grossesse, les anticorps anti-Rh⁺ traversent le placenta et passent vers le fœtus [Rh⁺] provoquant une agglutination et la lyse de ses hématies.

A partir de l'étude de ces figures, dégager quelques aspects du dysfonctionnement du système immunitaire (cas d'hyperfonctionnement).



Dans certaines circonstances, le système immunitaire peut connaître un dérèglement matérialisé soit par des réactions excessives (violentes) soit par des déficiences (insuffisances). Dans les deux cas, il en résulte une réponse inadaptée avec des conséquences pathologiques.

Les allergies sont des réactions immunitaires excessives à des allergènes. Une **allergie** (hypersensibilité) est une réaction exagérée vis-à-vis de certaines substances généralement inoffensives auxquels on donne le nom d'allergènes. Ce terme caractérise les antigènes normalement tolérés par l'organisme (pollen, certaines cosmétiques, nickel, produits alimentaires,...) surtout responsables des réactions d'hypersensibilité.

L'allergie comprend deux phases :

- **phase de sensibilisation** : elle correspond à la phase de stimulation par l'allergène.

Dans l'allergie immédiate, une classe particulière d'anticorps est en cause : les IgE. Produits lors d'un premier contact avec l'allergène, les Ig E n'entraînent pas de pathologie particulière. Elles se fixent sur des cellules particulières, remplies de granulations riches en histamine : les polynucléaires basophiles (une catégorie de globules blancs) et les mastocytes des tissus.

La première étape dite de sensibilisation est silencieuse.

- **phase de déclenchement** : c'est la **réaction allergique** proprement dite au cours de laquelle, une réponse immune se déclenche lors d'un nouveau contact avec le même antigène ou un allergène de structure proche. Deux IgE membranaires reconnaissent l'allergène et se combinent à lui. Cette union provoque l'éclatement du mastocyte et la libération (dégranulation immédiate) dans le sang de médiateurs chimiques (histamine, leucotriènes) responsables des manifestations cliniques. Ce sont ces médiateurs chimiques qui sont en grande partie responsables de l'état inflammatoire.

Les substances responsables d'allergies sont diverses. On peut citer : les médicaments, les aliments, les poils, les poussières, les piqûres d'insectes, les venins, des produits chimiques, des acariens, le pollen, ... Les réactions allergiques sont variées on peut avoir : des vomissements, des démangeaisons, de la toux, des boutons, des œdèmes, la conjonctivite, urticaires, l'asthme, le rhume...

On distingue deux types d'allergie, l'une à médiation humorale (hypersensibilité immédiate), l'autre à médiation cellulaire (hypersensibilité retardée).

ANAPHYLAXIE : Ce terme désigne une réaction d'hypersensibilité immédiate survenant après l'introduction d'un antigène (un allergène) chez un individu déjà sensibilisé à cet antigène. L'anaphylaxie peut être locale ou générale. Certains antigènes appelés allergènes peuvent induire chez des sujets sensibilisés, des réactions brutales (ex : asthme, eczéma, choc anaphylactique).

Le système immunitaire doit distinguer le soi du non soi, lorsque ce n'est plus le cas, des maladies chroniques peuvent s'installer ou bien le système immunitaire peut se retourner contre l'organisme lui-même et détruire certains organes ou induire des dysfonctionnements à l'origine des maladies auto-immunes. Elles s'installent lorsque le système immunitaire ne reconnaît plus comme faisant partie du soi les cellules de l'organisme. Mais au contraire les reconnaît comme étrangères et les élimine.

Une maladie auto-immune est causée lorsque le système immunitaire se retourne contre le soi et détruit ces propres cellules, on note dans ce cas la production d'auto-anticorps (anticorps dirigé contre le soi). Les causes des maladies auto-immunes sont nombreuses :

- Le dérèglement du système de reconnaissance du soi ;
- Les facteurs héréditaires ;
- Le dérèglement de l'organe cible ;
- L'analogie de structure entre l'agent pathogène et une molécule du soi.

Elles résultent d'un défaut de tolérance du soi.

On connaît actuellement plusieurs maladies auto-immunes :

N°	Maladies	Organes ou tissus cibles
1	Diabète insulino-dépendant	Cellules β du pancréas
2	Sclérose en plaque	Cerveau et moelle épinière
3	Myasthénie	Synapse neuromusculaire
4	Anémie pernicieuse	Cellules pariétales gastriques
5	Polyarthrite rhumatoïde	Tissus conjonctifs

- Dans le cas du diabète insulino-dépendant, les lymphocytes fabriquent des anticorps qui sont dirigés vers les cellules β des îlots de Langerhans du pancréas, sécrétrices d'insuline ;
- Dans le cas de la sclérose en plaque, il y a destruction, par des macrophages, des molécules de myéline qui constituent la substance blanche du système nerveux central. Les fragments qui en résultent sont présentés aux LT qui déclenchent une RIMC contre les cellules nerveuses sécrétrices de myéline.
- La polyarthrite rhumatoïde est une atteinte principalement articulaire.

Les maladies auto-immunes sont plus fréquentes chez les personnes âgées et essentiellement les femmes. Cette prédominance est liée à des facteurs génétiques et hormonaux.

C'est pendant la vie fœtale que les cellules immunitaires acquièrent une éducation à la tolérance du soi. Les clones des lymphocytes du soi capables d'induire une réaction immunitaire contre les peptides du soi sont alors naturellement éliminés par mort génétiquement programmée (apoptose). Si cet état de tolérance du soi est déficient, l'organisme se retourne contre lui-même et le soi est combattu comme le non soi.

Activité 6 :

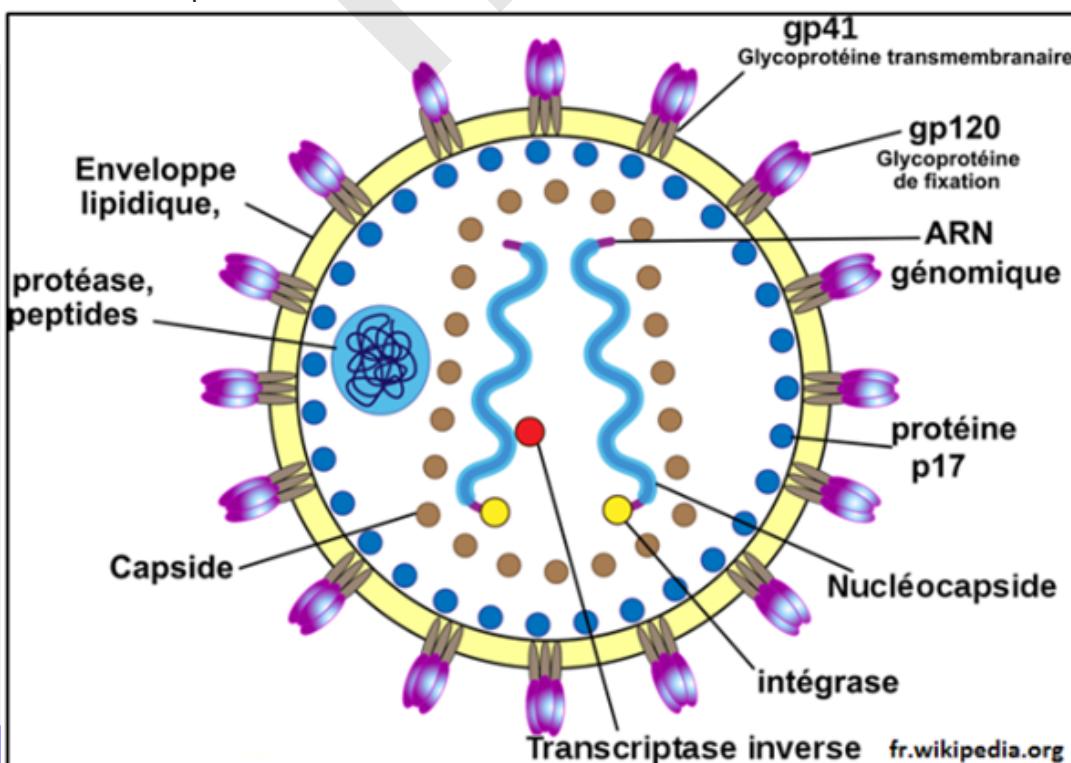
Etudes d'exemples d'hypofonctionnement du système immunitaire.

L'immunodéficience est soit innée, on l'a dès la naissance, c'est un problème d'origine génétique, soit acquise suite à une maladie (SIDA), à un cancer ou à un traitement immunosuppresseur (ex : pour une greffe) entre autres. Les documents suivants illustrent le cas du SIDA.

Document 1 : Structure du VIH.

L'agent responsable du SIDA, identifié dès 1983, est le VIH ou Virus de l'Immunodéficience Humaine. Il apparaît en microscopie électronique comme une particule sphérique de 80 à 120 nanomètres de diamètre. Le VIH appartient à un type de virus particulier, les **rétrovirus** : Son matériel génétique est de l'**ARN**, présent en double exemplaire. La capsid renferme également des enzymes : une **transcriptase inverse**, pour transformer l'ARN viral en ADN intégrable dans un chromosome de la cellule hôte, une **protéase** et une **intégrase**. La coque, ou capsid protéique, est, dans le cas du VIH, entourée par une enveloppe, formée d'une bicouche de lipides, dans laquelle sont intégrées des protéines (Gp41, Gp17, Gp120...).

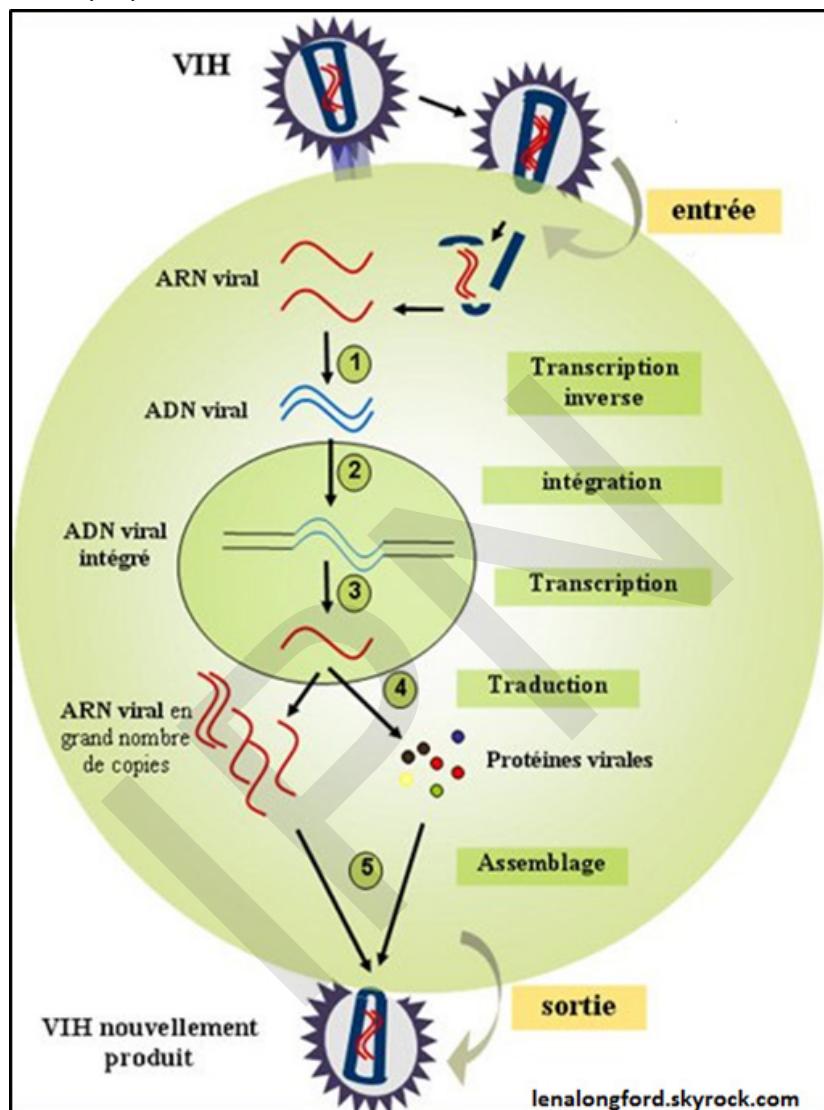
Le VIH a une particularité qui explique la gravité de l'infection qu'il initie : ses cellules hôtes sont en majorité des cellules immunitaires spécifiques (LT4, macrophages et certaines cellules nerveuses et intestinales). Il affaiblit donc notre système de défense et provoque l'apparition du **SIDA**, ou syndrome d'immunodéficience acquise.



Document 2 : Les étapes de l'infection du VIH.

L'infection par le VIH détermine le développement d'une immunodéficience, marquée notamment par la diminution graduelle d'une population de cellules immunitaires, les lymphocytes T4. Ceux-ci constituent un type particulier de lymphocytes, ainsi appelés du fait de la présence dans leur membrane d'une protéine particulière, la protéine CD4. Cette protéine se retrouve dans la membrane d'autres cellules immunitaires, les macrophages. L'entrée du virus dans la cellule cible fait intervenir la protéine membranaire CD4 sur laquelle le virus s'amarre grâce à une protéine de son enveloppe, la protéine gp120.

Le document ci-dessous explique le mode d'action du VIH.

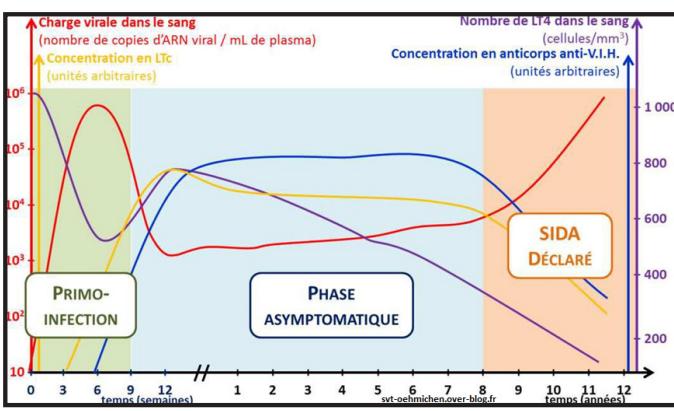


Document 3 : Evolution de l'infection par le VIH.

La reconnaissance entre protéines CD4 et protéines de l'enveloppe virale conduit à la fusion de l'enveloppe du virus avec la membrane cellulaire. Les molécules d'ARN, ainsi que les enzymes virales, dont la transcriptase inverse, se trouvent alors dans le cytoplasme de la cellule cible. La structure de la particule virale, observée dans le milieu extracellulaire disparaît.

Les graphes ci-contre permettent de suivre le cycle du VIH lors de l'infection : de la contamination au SIDA.

A partir de l'étude de cet exemple, dégager la notion de déficits immunitaires et montrer les caractéristiques de chaque type.



On dit que le système immunitaire est déficient lorsque ce dernier est incapable de défendre l'organisme contre les agressions du milieu extérieur. Cette déficience peut être innée.

- **Déficits congénitaux (primitifs)** : Les déficits immunitaires primitifs se caractérisent par un défaut de certaines cellules du système immunitaire qui constituent les défenses de l'organisme contre de nombreux agents infectieux.

Ils concernent la RIMH ou la RIMC et apparaissent chez le nouveau-né de plus de 6 mois après cessation de la protection qu'assuraient les anticorps maternels. Ce type de déficits se manifeste par une baisse du nombre des LB et des plasmocytes ou par leur absence d'où absence ou baisse du taux d'anticorps.

Il peut, en outre, se manifester par une absence ou déficience du thymus et des lignées T. Certains enfants naissent avec une déficience totale du système immunitaire : la moelle osseuse ne possédant pas des cellules souches de la lignée immunitaire. En raison d'anomalies quantitatives affectant certaines cellules ou de leur dysfonctionnement, l'organisme ne peut se défendre normalement contre certaines infections virales, fongiques (champignons) parasitaires ou encore bactériennes.

Ce type d'enfants doit être conservé dans des enceintes stériles (des bulles) en attendant une greffe de moelle osseuse ou de thymus fœtal ; ils sont souvent appelés bébés-bulles.

Un déficit immunitaire peut être d'origine génétique ou secondaire à de nombreuses pathologies.

Il se caractérise par un affaiblissement des défenses de l'organisme contre de nombreuses infections dites « opportunistes ». Plus de 200 formes de déficits immunitaires primitifs, de sévérité variable, sont aujourd'hui identifiées.

- **Déficits immunitaires secondaires (acquis)** : Ils sont plus répandus que la forme précédente et apparaissent chez les différents âges.

Leurs causes sont diverses : malnutrition (carence protéique de la kwashiorkor), insuffisances rénales, maladies virales (rougeole, SIDA...), parasitoses (paludisme), certains médicaments, vieillissement...

La malnutrition sévère, plus particulièrement la sous-nutrition, affecte certaines fonctions de réponse immunitaire de l'organisme et augmente le risque de contracter une maladie infectieuse.

Les patients qui souffrent du diabète de type 2 possèdent en effet moins de cellules immunitaires que les personnes saines.

Dans le cadre du diabète de type 2, une équipe de l'INSERM a récemment mis en évidence le lien entre glycémie élevée, nombre réduit de cellules immunitaires NK et affaiblissement chronique du système immunitaire.

Différents cancers et une insuffisance sévère du fonctionnement du foie peuvent être responsables d'un déficit de l'immunité.

Exemple : SIDA

Le virus d'immunodéficience humaine (VIH) est une cause possible d'immunodéficience secondaire.

Le **SIDA** ou **Syndrome d'Immunodéficience Acquise** est une infection virale dont l'agent pathogène est le VIH (Virus de l'Immunodéficience Humaine). Ce germe a été découvert en 1983 par le professeur MONTAGNIER en France (document 1). Le SIDA est une maladie mortelle qui évolue pendant plusieurs années. Malgré les variations importantes d'un individu à l'autre, on peut distinguer quatre phases, de l'invasion de l'organisme par les VIH (document 2) jusqu'à l'évolution en SIDA (document 3).

- La primo-infection : L'entrée du VIH dans l'organisme est suivie dans un premier temps par une augmentation importante de la charge virale, traduisant une réplication intense du virus. Cette prolifération détermine une infection aiguë, dont les symptômes sont ceux d'une maladie virale bénigne, évoquant parfois ceux d'une grippe, mais passant même parfois inaperçus. Les signes cliniques apparaissent deux à douze semaines après l'infection et ne persistent que quelques semaines, d'ailleurs seulement 20 à 40 % des malades consultent un médecin à ce stade. Les principaux signes sont : une adénomégalie, un état pseudo-grippal, une éruption cutanée, une candidose ou des aphtes, des troubles neurologiques. Cette phase provoque une intense réaction immunitaire de l'hôte, qui conduit notamment à l'apparition de molécules, ou anticorps, spécifiquement dirigés contre les protéines virales, et que l'on pourra déceler. Cette apparition correspond à la séroconversion, qui marque le début de la séropositivité : le sujet étant

alors dit «séropositif» pour le VIH.

La réaction du système immunitaire se matérialise dans les premières semaines par la production des anticorps anti-VIH et l'augmentation du taux de LT8, ce qui contribue à diminuer la charge virale vers la fin de cette phase. La primo-infection correspond donc à la période s'étendant de l'entrée du virus à l'apparition des mécanismes immunitaires spécifiques.

• La phase asymptomatique : La diminution de la charge virale dans le sang, en fin de primo-infection, révèle la mise en jeu de mécanismes immunitaires. Il en résulte une phase dite asymptomatique de durée variable, pouvant s'échelonner d'un à plus de dix ans. L'infection par le VIH provoque une augmentation des lymphocytes T8 capables de détruire les cellules infectées. La mise en jeu de ces lymphocytes T8 explique la diminution de la charge virale mesurée dans le plasma. Leur activité contrôle pendant un temps la prolifération du virus marquée par une libération quotidienne importante et un renouvellement régulier des particules virales. L'activité des lymphocytes T8 peut être accrue par une augmentation de leur production. Cette phase asymptomatique ne correspond donc pas à une phase de latence pendant laquelle le virus ne s'exprimerait pas, mais à une infection chronique très active limitée en permanence par des réactions immunitaires importantes, auxquelles le virus finit cependant par échapper. L'infection par le VIH se traduit à long terme par une diminution constante des lymphocytes T4, dont le nombre devient inférieur à 200 par microlitre (valeur normale 1 200).

• La phase symptomatique : L'évolution de l'infection peut alors conduire à la phase symptomatique qui signe le déclenchement de la maladie SIDA. Elle dure quelques mois et est révélée par des adénomégalies multiples et douloureuses, des affections touchant la peau et les muqueuses, des manifestations inflammatoires (polyarthrite, etc.). Puis, le sujet présente une fièvre modérée persistante, une perte de poids de plus de 10 %, une diarrhée chronique, etc. La production d'anticorps et de lymphocytes T4 et T8 n'est plus suffisante pour assurer la protection immunitaire du malade.

• Le SIDA déclaré : il est défini par l'apparition d'infections opportunistes graves, des tumeurs malignes responsables du sarcome de Kaposi et de lymphomes, des manifestations respiratoires, digestives, neurologiques, tuberculose, la pneumonie, la candidose, la toxoplasmose, etc. La charge virale augmente à nouveau dans le sang. Les défenses immunitaires se sont totalement effondrées ; ce qui entraîne le décès du malade en quelques mois.

- Les modes de contamination du sida

Les modes de transmission du VIH d'une personne à une autre sont :

- la transmission lors des rapports sexuels : c'est la plus fréquente (80 % des cas dans le monde) ;
- la contamination par le sang : transfusion de sang contaminé, utilisation des objets tranchants souillés par le sang d'un malade (des seringues, des aiguilles, des rasoirs non stérilisés...) ;
- la transmission de la femme enceinte à son enfant au cours de la grossesse, au cours de l'accouchement ou par l'allaitement (30% des cas en Afrique).

- Les modes de prévention du sida

Pour prévenir le sida, il faut :

- o s'abstenir des rapports sexuels extraconjugaux ;
- o être fidèle à un seul partenaire légitime ;
- o utiliser les préservatifs lors des rapports sexuels douteux ;
- o se faire dépister pour connaître sa sérologie le test ELISA (Enzyme-linked Immunosorbent Assay) détecte les anticorps présents dans le sérum.
- o Faire des examens prénuptiaux.

III-Les aides à la réponse immunitaire

Activité 7 :

Comment aider notre organisme à éviter ou combattre certaines maladies ?

Document 1 : La vaccination.

Lorsqu'une personne guérit d'une maladie infectieuse comme la rubéole, elle acquiert une immunité ACQUISE. Lors d'un contact ultérieur avec le même agent infectieux, la réponse immunitaire sera beaucoup plus rapide évitant à la personne d'être malade. Cette seconde réponse est due à l'existence d'une mémoire immunitaire.

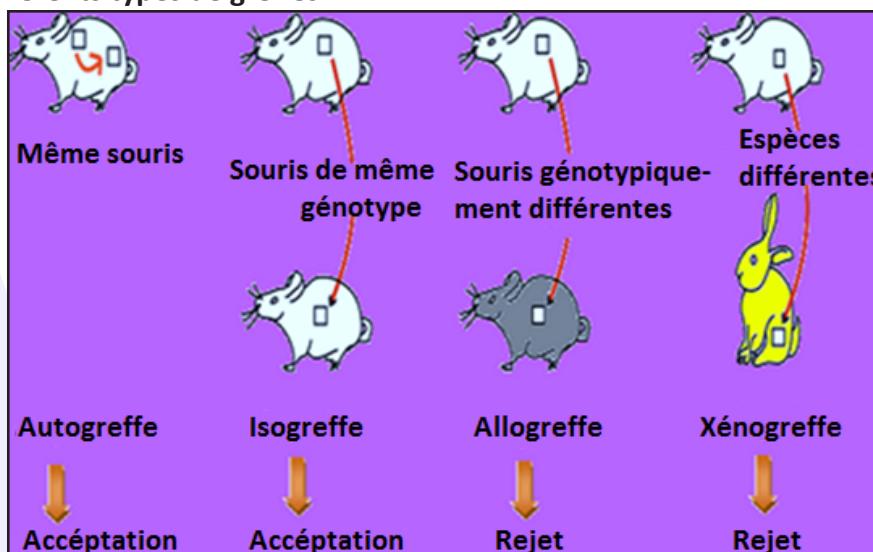
PRINCIPE DE LA VACCINATION	CARACTÉRISTIQUES DE LA VACCINATION
La vaccination consiste en une injection d'Ag non virulents.	Ne provoque pas la maladie.
La vaccination induit chez un sujet non immunisé un état de protection comparable à celui que procure la maladie naturelle apparente ou non.	- Induit une protection sans déclencher la maladie : immunité acquise.
L'immunité acquise par la vaccination n'apparaît qu'après un certain délai, celui-ci est nécessaire au développement de la réponse immunitaire (production Ac, fabrication de cellules mémoires).	- Nécessite un délai pour une protection efficace : immunisation non immédiate - Induit une immunité active spécifique.
La vaccination induit une réponse du système immunitaire pour un Ag donné en formant des cellules mémoires qui, lors d'un contact avec le microbe virulent ou lors de rappels, permettront une réponse secondaire beaucoup plus rapide.	- Induit une mémoire du système immunitaire : lors d'un contact ultérieur : la réponse sera plus rapide, plus affine et plus durable.

Document 2 : La sérothérapie.

Les différents types de sérums :

- Origine animale** : Ce sont des sérums préparés à partir de plasma de chevaux ou de moutons immunisés vis à vis d'un germe donné (animal hyper immunisé). Coût faible, production d'Ac en grandes quantités. Mais : problème les Ac injectés sont eux-mêmes antigéniques pour l'individu receveur. Il y a alors un risque de réaction allergique.
- Origine humaine** : Ce sont des sérums humains contenant des IgG fabriqués à partir du plasma de donneurs volontaires vaccinés. Coût élevé et nombre de donneurs limité. Ces sérums sont mieux tolérés et ont donc une action plus durable.

Document 3 : Les différents types de greffes.



Les conditions de réussite d'une greffe :

• Histocompatibilité :

On réduit les réactions de rejet en faisant correspondre au mieux les Ag du CMH du donneur et ceux du receveur. Plus la similitude entre ces Ag est grande, plus les risques de rejet sont faibles. Les 2 types de greffes présentant le meilleur taux de réussite, sont les autogreffes, et les isogreffes. Cependant, pour des raisons de faible pourcentage de compatibilité entre donneurs et receveurs, les greffes les plus fréquentes sont les allogreffes.

• Traitement immunosuppresseur : Lutte contre le rejet de greffe.

Afin de faciliter la réussite des allogreffes (type de greffe les plus fréquentes), le receveur est traité à l'aide de médicaments immunosuppresseurs. Ces médicaments en plus de supprimer, avec plus ou moins de succès, le rejet de greffe vont également supprimer les réactions immunitaires du receveur à tous les Ag. La cyclosporine, dérivée d'un champignon, est utilisée comme immunosuppresseur pour éliminer les complications liées aux transplantations du rein, du foie et du cœur. Cette molécule inhibe la sécrétion d'interleukine 2 par les LT_c sans perturber de façon trop importante l'action des LB (le rejet est évité, et les moyens de luttes contre les maladies restent efficaces).

Le mécanisme de rejet :

En cas d'incompatibilité, il y a rejet de greffe : L'organisme reconnaît les protéines du tissu ou de l'organe reçu comme des molécules étrangères. Une réaction immunitaire à médiation cellulaire se met en place et aboutit au rejet du greffon vers le 12^{ème} jour. Il y a aussi une réponse humorale contre les Ag du CMH.

Document 4 : Chimiothérapie et médicaments immunosuppresseurs

La chimiothérapie consiste à lutter contre une maladie (cancer) par l'utilisation de substances chimiques. L'efficacité et la tolérance d'un médicament dépendent de sa bonne utilisation. Il doit être pris quand c'est nécessaire, aussi longtemps qu'il faut et à la dose prescrite par la seule personne à qui il est destiné. Dans le traitement du cancer, la chimiothérapie est une cause fréquente de baisse de la fonction immunitaire de l'organisme. Les médicaments immunodépresseurs (cyclosporine...), utilisés dans le cadre d'une greffe d'organe ou pour traiter certaines maladies auto-immunes, affaiblissent également la réponse immunitaire de l'organisme.

La leucémie, maladie qui se caractérise par la production excessive de globules blancs anormaux dans le corps, perturbe le fonctionnement du système immunitaire. L'organisme est alors plus vulnérable à de nombreuses infections. Une personne greffée doit prendre un traitement immunosuppresseur comme la cyclosporine. Ces médicaments limitent le risque d'attaque de l'organe par le système immunitaire en inhibant l'activité des LT_c : le risque de rejet du greffon est ainsi minimisé.

On peut dans certains cas, utiliser des substances stimulantes comme l'IL₂.

A l'aide de ces documents, expliquer les principales techniques d'aide au système immunitaire.

Parmi les aides au système immunitaire, on peut citer la **vaccination**. La vaccination par un antigène non virulent est une méthode préventive fondée sur la faculté de faire acquérir à l'organisme ses moyens de défenses spécifiques dans le but d'éviter la maladie.

C'est une méthode qui consiste à prévenir une maladie par l'utilisation d'un vaccin. Le vaccin crée une réaction immunitaire sans provoquer la maladie. Au cours de la vaccination, on inocule un agent infectieux qui a perdu son pouvoir pathogène mais qui garde ses propriétés antigéniques. Cette méthode est active puisqu'elle permet à l'organisme de développer ses propres défenses. Son but est de faire fabriquer des anticorps par le sujet vacciné et une mémoire immunitaire. Lors de toute réponse immunitaire spécifique, la création de cellules mémoires (LB_m et LT_m) qui ont pour rôle de se souvenir de l'identité de l'antigène. Cela leur permet d'agir beaucoup plus efficacement lors d'une éventuelle nouvelle apparition de ce même antigène (réponse immunitaire secondaire). L'immunité conférée par le vaccin est **non immédiate, acquise, spécifique, active, durable et garde une mémoire** de l'Ag injecté.

Son intérêt est préventif. Elle est réalisée :

* directement, à l'occasion d'une maladie infectieuse (maladie immunisante) ;

* par vaccination : immunité acquise active.

Il existe plusieurs types de vaccins :

- les vaccins avec microbes atténus : ici les microbes affaiblis sont introduits dans l'organisme; c'est le cas pour la rougeole, la fièvre jaune, la tuberculose et la poliomyélite.
- les vaccins avec microbes tués : ici ce sont des microbes inactifs qui sont introduits dans l'organisme. Ce type de vaccin est en principe moins dangereux. C'est le cas du vaccin contre la thyroïde, le choléra, la grippe, la rage et la poliomyélite forme injectable.
- les vaccins avec anatoxines : dans ce cas le produit injecté correspond à des toxines bactériennes rendues inoffensives par la chaleur ou le formol. C'est le cas du vaccin contre le tétanos et le vaccin contre la diphtérie.

La **sérothérapie** consiste en l'injection massive d'anticorps spécifiques d'une maladie ou d'une toxine (exemple : anticorps spécifique de la toxine tétanique, anti-venins, ...). Cet apport d'anticorps permet de lutter contre une toxine circulante en quantité finie dans le corps mais ne confère qu'une immunité à court terme contre une infection. C'est une immunité passive, immédiate qui est limitée dans le temps. Cette technique est utilisée en urgence pour une protection immédiate contre le tétanos, la rage, le venin de serpent... ou de manière préventive si le risque infectieux est élevé (rubéole chez la femme enceinte, Ac anti-Rh⁺ lors d'histocompatibilité fœto-maternelle, tétanos, rage...).

- Dans le cas du covid19, il n'y a pas encore de stock de sérum contenant des anticorps anti Covid19, étant au cœur de la pandémie.
- La sérovaccinothérapie ou sérovaccination : Elle consiste à combiner deux méthodes la vaccination et la sérothérapie. Une personne présentant une plaie suspecte sera immédiatement protégée par une injection du sérum antitétanique, si la vaccination est inexiste ou trop ancienne, on associe une vaccination antitétanique.

La **greffe** est le transfert d'un tissu ou d'un fragment d'organe dans un même organisme ou entre 2 organismes différents.

La **transplantation** est la greffe d'un organe entier accompagnée du rétablissement des connexions vasculaires entre les vaisseaux du receveur et ceux du greffon.

Il existe quatre types de greffe :

Noms	Natures	Résultats
Autogreffe	Chez le même individu	Greffon accepté
Isogreffe	Individus de même génotype	Greffon accepté
Allogreffe	Individus de génotypes différents	Greffon rejeté
Xénogreffe	Individus d'espèces différentes	Greffon rejeté

On peut traiter certaines maladies et renforcer le système immunitaire par une greffe de moelle osseuse comme dans le cas des leucémies.

Certains enfants naissent avec une déficience totale du système immunitaire : La moelle osseuse ne possédant pas des cellules souches de la lignée immunitaire. Très vulnérables aux infections, ces enfants sont gardés dans des bulles qui les mettent à l'abri de tout contact avec le milieu ambiant polluant.

Pour reconstituer leur système immunitaire, on procède à une greffe de la moelle osseuse.

La greffe de moelle osseuse ou de thymus consiste à greffer des cellules de moelle osseuse ou de thymus d'un donneur sain chez un sujet immunodéficient en raison d'une production insuffisante de cellules immunitaires. Il faudrait donc une certaine compatibilité entre le donneur et le receveur car le rejet est fréquent.

Les cellules de la moelle rouge sont extraites des os des hanches et sont injectées dans le sang. Là se pose le problème des rejets : si le receveur ne présente pas de risques majeurs car il est dépourvu de défense immunitaire ou a été irradié avant la greffe, il n'en est pas de même pour le greffon accompagné de LT matures capables d'attaquer les cellules du receveur. Pour cette raison, il est indispensable de détruire ces LT avant la transfusion, par des anticorps spécifiques anti-lymphocytes, de filtrer la moelle et surtout de pratiquer un traitement immunosuppresseur chez le greffé en lui administrant de la ciclosporine.

Il est possible de pratiquer des greffes de tissus embryonnaires chez les enfants qui présentent un déficit immunitaire congénital en administrant des tissus du foie et du thymus extraits d'un embryon de 2 semaines à 13 semaines.

Ce choix se justifie par le fait que les cellules immunitaires ne posent pas le problème d'incompatibilité HLA. A ce stade c'est le foie qui est responsable de la production des cellules sanguines et des cellules des organes lymphoïdes. Cependant, la greffe du thymus est utilisée pour traiter l'aplasie thymique.

Greffe syngénique : équivalent d'isogreffe mais pour les animaux (animaux syngénique= animaux de même lignée).

La méthode du traitement immuno-modulateur repose sur l'utilisation des substances stimulatrices comme les interleukines produites par LT4 ou par des cellules infectées par des virus. Ce qui permet la protection de très grands nombres de cellules saines. D'autre part, on peut utiliser des substances à effet suppresseur comme la ciclosporine qui inhibe l'activité du LTC. Lesquelles substances peuvent être utilisées pour limiter les risques de rejets de greffes (cas de xénogreffes).

Pour lutter contre le VIH, il existe des médicaments appelés anti-rétroviraux.

Ces médicaments ne font pas disparaître le virus mais ralentissent considérablement l'évolution de la maladie. Cependant en bloquant la multiplication du virus, ces médicaments laissent le temps et la possibilité à nos propres défenses immunitaires de détruire les cellules infectées par le virus. On associe souvent 3 médicaments, ce sont les trithérapies.

Je retiens :

La réponse immunitaire adaptative ou spécifique est la continuité de la réponse immunitaire innée lorsque celle-ci est dépassée par l'attaque du pathogène. Toutes les catégories de lymphocytes sont mobilisées à la fois : les lymphocytes T4, les lymphocytes B et les lymphocytes T8 d'où coopération cellulaire. La sélection du bon clone de LB ou LT4 ou LT8 se fait par reconnaissance de l'antigène. La différence est que les LB reconnaissent directement par leur anticorps membranaire l'antigène alors que les LT4 et les LT8 ont une reconnaissance indirecte. Une CPA leur présente un double signal composé du CMH portant le déterminant antigénique. Grâce à leur récepteur TCR, les LT4 et les LT8 s'activent à la reconnaissance de ce double signal de la CPA : cas de double reconnaissance. Les LT4 se multiplient en premier et grâce aux interleukines (IL2) qu'elles sécrètent en grande quantité, elles activent à distance les LT8 et les LB sélectionnés. Ils se multiplient à leur tour par mitose puis se différencient respectivement en plasmocytes sécréteurs d'anticorps circulants (RIMH) et en lymphocytes T cytotoxiques (RIMC) capables de lyser ou d'induire la mort de la cellule infectée. Les anticorps circulants neutraliseront les antigènes en formant le complexe immun qui sera phagocyté en entier par un macrophage. Les mécanismes de recombinaisons et d'associations des chaînes des anticorps et des TCR assurent la fabrication d'une grande diversité de Lymphocytes, capables de reconnaître tous les antigènes circulants.

L'immunité spécifique ou adaptative est une réponse très spécifique, inducible et donc, retardée.

Elle est due aux lymphocytes (T et B) et aux anticorps produits par les plasmocytes. Elle utilise des récepteurs d'antigènes hautement spécifiques, très divers et clonaux (TCR et BCR). Cette immunité confère une protection, en cas de réinfection (mémoire immunitaire) par le même pathogène (réponse adaptée).

La moelle osseuse est le lieu de production des lymphocytes (T et B) et de maturation des LB seulement.

Le thymus est le lieu de maturation des LT. Les organes lymphoïdes secondaires (rate, ganglions, muqueuses intestinale, rhinopharyngée, buccale et bronchiques) sont le lieu de stockage et de multiplication lymphocytaire.

Les étapes de la réponse immunitaire : Sélection clonale des LT8 spécifiques (ou Lymphocyte T CD8), amplification clonale, différenciation et élimination par lyse des cellules infectées.

La RIMH est une défense immunitaire spécifique, assurée en majorité par les LB qui libèrent des anticorps, et donc transmissible par le sérum.

Les effecteurs de la RIMH sont les anticorps. Produits par les plasmocytes, ils se lient spécifiquement aux antigènes grâce à leurs sites de reconnaissance (sites anticorps) et assurent la formation des complexes

immuns ce qui aboutit à :

- >la neutralisation et l'arrêt de la multiplication de l'antigène mais non à sa destruction ;
- >la précipitation des antigènes solubles ;
- >la lyse de l'antigène qui ne se produit que suite à l'intervention du complément.
- >l'opsonisation : La réponse est complétée par la phagocytose des complexes immuns.

Les LTC détruisent les cellules étrangères, les cellules cancéreuses et les cellules infectées. Grâce à leurs récepteurs, ils se fixent sur les cellules-cibles qui présentent sur leur membrane un épitope associé à une molécule de HLAI déclenchant ainsi l'opération de destruction par la sécrétion d'une substance appelée perforine dans l'espace intercellulaire. Ce sont les effecteurs de la PIMC.

La réponse immunitaire à un premier contact avec l'antigène est lente et de faible ampleur : c'est la réponse primaire. Le deuxième contact avec le même antigène entraîne une réponse rapide et excessive appelée réponse secondaire.

Dans certaines circonstances, le système immunitaire peut connaître un dérèglement matérialisé soit par des réactions excessives (violentes) soit par des déficiences (insuffisances). Dans les deux cas, il en résulte une réponse inadaptée avec des conséquences pathologiques comme :

- Une allergie est une réaction excessive et violente de l'organisme (hypersensibilité) à des antigènes normalement tolérés appelés allergènes. Elle comprend deux phases :
 - * phase de sensibilisation : elle correspond à la phase de stimulation par l'allergène.
 - * phase de déclenchement : au cours de laquelle, une réponse immune se déclenche lors d'un nouveau contact avec le même antigène.

On distingue deux sortes d'hypersensibilité : Hypersensibilité immédiate et retardée.

- Les maladies auto-immunes correspondent à de troubles dus à une agressivité du système immunitaire vis-à-vis de l'organisme d'où rupture de la tolérance du soi.
- Les déficits immunitaires primitifs (congénitaux) concernent la RIMH ou la RIMC et apparaissent chez le nouveau-né de plus de 6 mois après cessation de la protection qu'assuraient les anticorps maternels. Ce type de déficits se manifeste par une baisse du nombre des LB et des plasmocytes ou par leur absence d'où absence ou baisse du taux d'anticorps. Il peut, en outre, se manifester par une absence ou déficience du thymus et des lignées T.
- Les déficits immunitaires secondaires (acquis) apparaissent chez les différents âges. Leurs causes sont diverses : malnutrition (carence protéique de la kwashiorkor), insuffisances rénales, maladies virales (rougeole, SIDA...), parasites (paludisme), certains médicaments, vieillissement...

Parmi les aides au système immunitaire, on peut citer la vaccination (utilisée surtout à titre préventif), la sérothérapie (utilisée surtout à titre curatif), les greffes dont on cite :

- Autogreffe : Greffe d'un fragment tissulaire d'un sujet sur lui-même ;
- Isogreffe : Greffe entre un donneur et un receveur génétiquement identiques (jumeaux).
- Allogreffe : Greffe entre 2 individus de la même espèce mais génétiquement différents
- Xénogreffe : Greffe entre individus d'espèces différentes.

Dans les 2 premiers cas, le greffon est accepté car il y a histocompatibilité (même CMH) alors que dans les 2 derniers cas, le greffon sera rejeté au bout de quelques jours.

Certains cas sont traités en renforçant le système immunitaire par une greffe de moelle osseuse rouge (cas de leucémie). On peut aussi greffer en cas de nécessité, le thymus.

Je m'exerce :

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

1- Le CMH désigne

- a- des marqueurs biologiques situés sur des globules rouges.
- b- les gènes qui gouvernent la synthèse de molécules HLA.
- c- les molécules HLA qui marquent l'identité biologique de l'individu.
- d- le complexe majeur d'histocompatibilité.

2- Un individu du groupe sanguin A possède

- a- des agglutinogènes B à la surface de ses hématies.
- b- des agglutinines B dans son sérum.
- c- des agglutinogènes A à la surface de ses globules blancs.
- d- des agglutinines A à la surface de ses hématies.

3- Lors d'une transfusion sanguine entre un donneur du groupe A et un receveur du groupe B, il y a agglutination des hématies chez le receveur car

- a- les anticorps anti-B du donneur se fixent sur les anticorps anti-A du receveur.
- b- les anticorps anti-A du receveur se fixent sur les antigènes A du donneur.
- c- les antigènes A du donneur se fixent sur les antigènes B du receveur.
- d- le donneur et le receveur n'ont pas le même CMH.

4- La réaction du rejet d'un greffon chez un receveur se produit lorsque

- a- le donneur et le receveur sont de même CMH.
- b- le donneur et le receveur sont de CMH différents.
- c- le donneur et le receveur sont de même groupe sanguin.
- d- le donneur et le receveur sont de groupes sanguins différents.

5- Le vaccin contient

- a- des agents atténués (affaiblis).
- b- des substances qui tuent les microbes.
- c- des anticorps spécifiques.
- d- des phagocytes.

6- La sérothérapie assure

- a- l'immunisation définitive contre une maladie.
- b- le développement d'une immunité durable.
- c- la protection immédiate contre une toxine particulière.
- d- l'acquisition d'une immunité cellulaire.

7- Le thymus est un organe lymphoïde

- a- où naissent les LT.
- b- où les LT âgés viennent mourir.
- c- où les LT deviennent compétents.
- d- sans lequel il n'y aurait pas de réaction immunitaire spécifique.

8- Les LT8

- a- sont des cellules immunocompétentes.
- b- naissent dans le thymus.
- c- sont appelés aussi les LTc.
- d- interviennent dans les RIMH.

9- Les propriétés de l'immunité spécifique sont

- a- la spécificité.

b- l'acquisition d'une mémoire immunologique.

c- la transférabilité.

d- la diversité.

10- Les effecteurs de la réaction de rejet de greffe sont

a- des anticorps spécifiques.

b- des lymphocytes T4.

c- des macrophages.

d- des lymphocytes cytotoxiques.

11- Les contacts entre les cellules de l'immunité spécifique permettent

a- la présentation de l'antigène aux lymphocytes.

b- l'activation des lymphocytes.

c- la synthèse d'anticorps spécifiques.

d- l'élimination de l'antigène.

EXERCICES

Exercice 1

1- En prenant l'exemple de cellules infectées par le VIH, et en te limitant à la phase asymptomatique de l'infection, rappelle les mécanismes responsables de l'immunité acquise faisant intervenir les lymphocytes T8. Faire un schéma bilan illustrant les mécanismes.

2- Dans la réponse immunitaire spécifique, différentes cellules coopèrent pour l'élimination d'un antigène. Par un exposé clair et illustré, expliquez les mécanismes de cette coopération.

3- Les lymphocytes T4 sont des cellules du système immunitaire. Le déclenchement du SIDA (Syndrome de l'Immuno-Déficience Acquise) est lié à une destruction massive des lymphocytes T4, suite à une infection par le VIH.

Exercice 2

1- Par un exposé clair et judicieusement illustré, montre que la destruction des lymphocytes T4 (LT4) explique la déficience du système immunitaire.

2- Pour dépister une infection virale dans l'organisme humain, le médecin recherche dans le plasma du sujet la présence d'anticorps dirigés contre le virus.

Par un exposé clair et illustré, expliquez le mécanisme de l'apparition des anticorps circulants au cours de l'infection virale et leur mode d'action dans l'élimination du virus.

Exercice 3

Définir les termes ou expressions ci-après : allergène, allergie, cellule mémoire, complément, complexe immun, coopération cellulaire, CP-Ag, histocompatibilité, hypersensibilité, immunité, immunocompétent, immunoglobuline, interleukine, lymphocytes, macrophages, maladies opportunistes, organes lymphoïdes, mastocyte, moelle osseuse, pathogène, phagocytose, plasmocyte, séropositif, sérothérapie, sérum, SIDA, vaccination, VIH et virulence.

Exercice 4

Pour connaître les caractéristiques de la réponse immunitaire (spécificité et mémoire), on dispose de souris, de la toxine tétanique, de la toxine diphtérique, de l'anatoxine tétanique et de l'anatoxine diphtérique.

1- Définir les termes suivants : antigène, anticorps, toxine et anatoxine.

2- En utilisant des souris et les substances qui conviennent parmi celles indiquées précédemment (toxines et anatoxines), et en vous basant sur vos connaissances, décrire deux expériences qui permettent de dégager les notions de spécificité et de mémoire immunologiques. Appuyer votre réponse par des illustrations.

Exercice 5

On dispose de :

- Deux souches S_1 et S_2 de bactéries pathogènes, les pneumocoques,
- Des rats qui n'ont jamais été infectés par les pneumocoques,
- Le sérum A prélevé sur des lapins, 30 jours après leur vaccination contre la souche S_1
- Le sérum B prélevé sur d'autres lapins, 30 jours après leur vaccination contre la souche S_2 .

Les rats sont répartis en trois lots et subissent les traitements suivants :

Lots de rats	Traitements appliqués aux rats	Conséquences
1	Inoculation de pneumocoques de la souche S_1	Mort
2	Inoculation de pneumocoques de la souche S_1 , puis injection de sérum A	Survie
3	Inoculation de pneumocoques de la souche S_1 , puis injection de sérum B	mort

1- En quoi consiste la vaccination des Lapins ? Expliquer comment le vaccin agit sur le système immunitaire du Lapin ? Pourquoi attendre 30 jours pour prélever le sérum ?

2- Expliquer l'effet des traitements sur les animaux des trois lots.

3- En déduire :

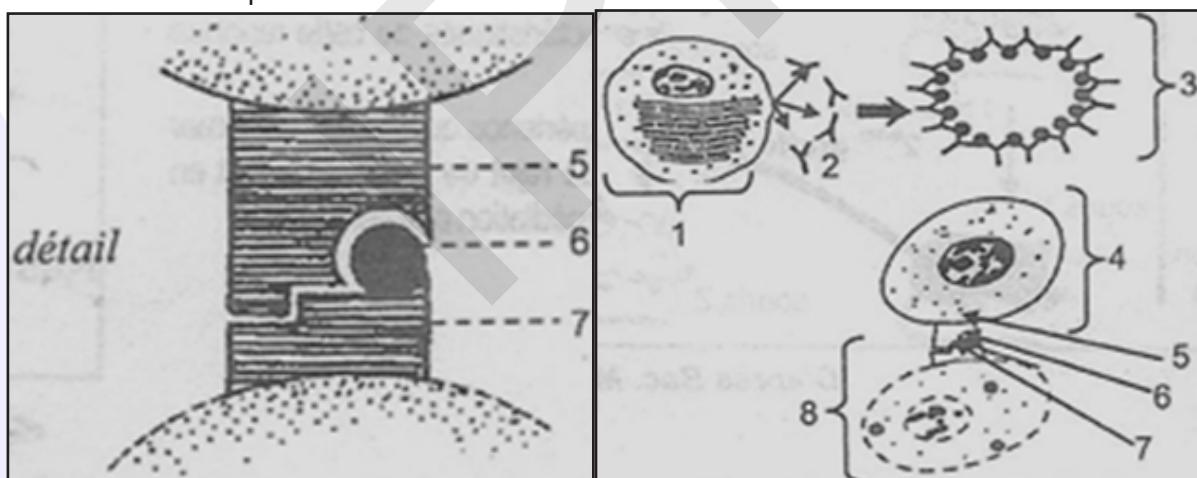
a- le type de réponse immunitaire spécifique mise en jeu.

b- les propriétés de cette réponse immunitaire mise en évidence.

Exercice 6

Indiquer les propriétés de l'immunité spécifique.

Le document suivant est une représentation schématique de ce qu'on pourrait voir dans l'organisme d'un individu contaminé par un virus V.



1- Mettre la légende du document proposé.

2- Préciser le ou les type (s) de réaction (s) immunitaire (s) mis en jeu contre ce virus V. Justifier votre réponse.

Exercice 7

On a pratiqué sur trois lots de souris les traitements indiqués sur le tableau A. On rappelle que l'irradiation tue les cellules à multiplication rapide et notamment celles de la moelle osseuse. Après traitement, on réalise sur les trois lots de souris l'expérimentation indiquée sur le tableau B.

Tableau A

Tableau B

Souris	Traitement effectué	Conséquences	Expérimentation	Tests après 5 jours	Résultats des tests
Lot A	Irradiation + greffe de moelle osseuse	Production de LB et LT	Injection de pneumocoques tués à toutes les souris	Sérum de souris A + pneumocoques	Agglutination nette
Lot B	Ablation du thymus + irradiation + greffe de moelle osseuse	Production de LB seulement		Sérum de souris B pneumocoques +	Très légère agglutination
Lot C	Ablation du thymus + irradiation + greffe de thymus	Pas de production de LB et LT		Sérum de souris C + pneumocoques	Pas d'agglutination

1- Faîtes ressortir le rôle respectif du thymus et de la moelle osseuse dans la production des lymphocytes, en analysant les conséquences de ces traitements.

2- A quoi attribuez-vous l'agglutination des pneumocoques révélée par les tests ?

3- Expliquez les résultats des tests à l'aide des renseignements fournis par le tableau A. En quoi cette expérimentation montre-t-elle l'existence d'une coopération cellulaire ?

Exercice 8

Diverses expériences ont été réalisées chez le cobaye pour montrer certaines modalités des défenses immunitaires.

Dans l'expérience I, on immunise des cobayes A par injection de bacilles diphtériques dont la toxine a été atténuée par addition de trichlorure d'iode. Quinze jours plus tard, on prélève chez les cobayes A du sérum et des lymphocytes T pour les injecter respectivement à des cobayes B et C non immunisés. Le même jour, on injecte aux animaux A, B et C la toxine diphtérique active.

Dans l'expérience II, des cobayes D sont immunisés contre la tuberculose par injection de bacilles tuberculeux bovins atténusés (principe de la vaccination BCG). Un mois plus tard, on prélève chez ces cobayes, du sérum et des lymphocytes T qu'on injecte respectivement à des cobayes E et F non immunisés. Le même jour, on injecte aux animaux D, E et F le bacille de Koch actif, agent de la tuberculose.

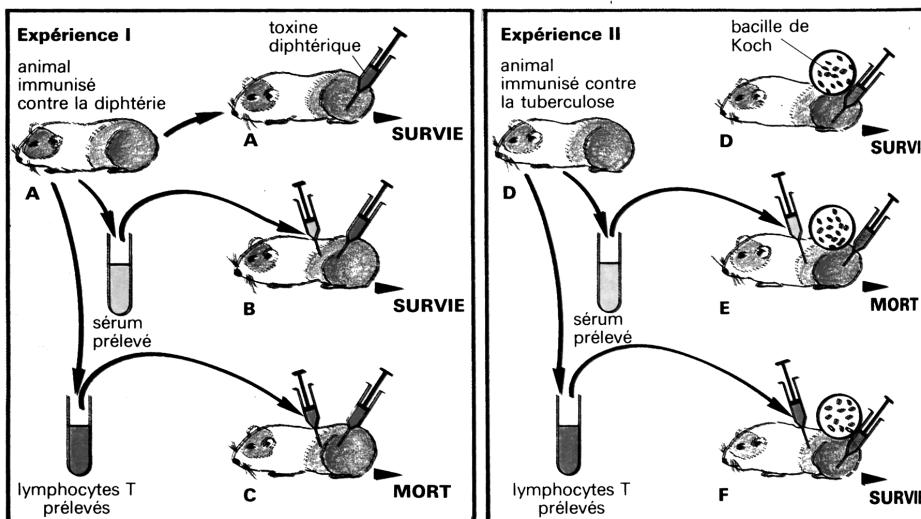
Les résultats de ces expériences sont indiqués sur la figure. On supposera que tous ces cobayes sont histocompatibles.

1- Comment expliquez-vous la survie des cobayes A et B et la mort du cobaye C à la fin de l'expérience I ?

2- Comment expliquez-vous la survie des cobayes D et F et la mort du cobaye E à la fin de l'expérience II ?

3- Comparez les deux types de réactions immunitaires mises en jeu au cours de ces expériences.

4- Quels résultats pouvez-vous prévoir dans le cas où on injecte au cobaye A des bacilles tuberculeux au lieu de toxine diphtérique. Justifiez votre réponse.



Exercice 9

Comparer les premières phases des réponses immunitaires (RIMC et RIMH) qui aboutissent à l'activation des cellules de l'immunité.

Comparer la phase effectrice des deux réponses immunitaires : RIMC et RIMH.

Définir et localiser sur un schéma simple les organes de l'immunité.

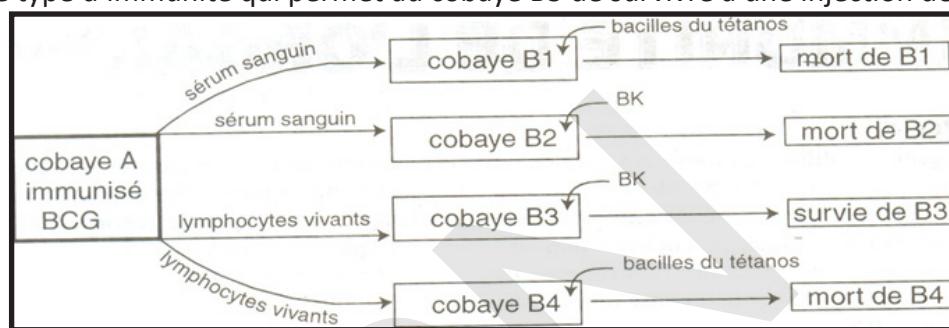
Donner les caractéristiques des cellules de l'immunité (macrophage, LB et LT) tout en précisant leur origine et leur mode de fonctionnement.

Exercice 10

Le Bacille de Koch (BK) est une bactérie pathogène ; sa prolifération dans l'organisme provoque une maladie grave, la tuberculose ; chez le cobaye non immunisé, cette maladie est mortelle. L'homme et l'animal peuvent être protégés contre cette bactérie par le vaccin BCG (Bacille Calmette Guérin) constitué de bacilles de Koch ayant perdu leur virulence.

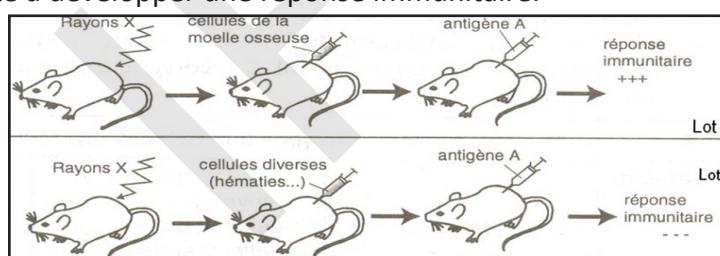
1- Analysez l'expérience présentée par les schémas du document ci-après.

2- En déduire le type d'immunité qui permet au cobaye B3 de survivre à une injection de BK.



Exercice 11

On soumet des souris à une irradiation aux rayons X, on leur injecte différentes catégories de cellules et l'on mesure leur capacité à développer une réponse immunitaire.



Interprétez ces résultats.

Exercice 12

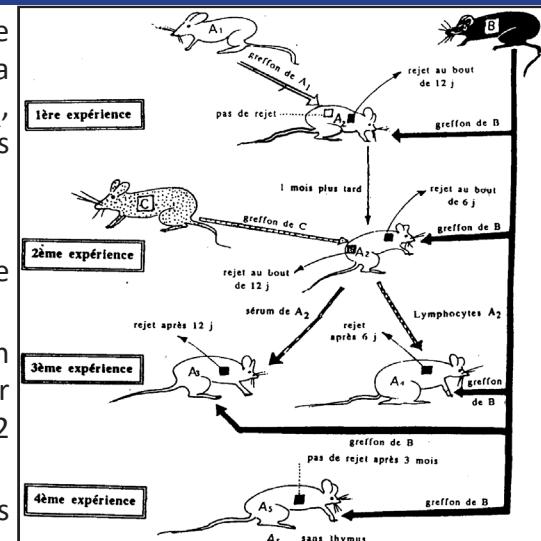
On réalise une série d'expériences de greffes de peau, on utilise pour cela trois souches de souris, la souche A (A_1, A_2, \dots, A_5), la souche B et La souche C (document ci-dessous). Les individus A_1, B et C sont considérés comme des donneurs, les autres individus A_2, A_3, A_4 et A_5 sont des receveurs.

Expérience 1 :

A_2 reçoit simultanément un greffon de A_1 et un greffon de B, le premier est accepté, le second est rejeté au bout de 12 jours.

Expérience 2 : un mois plus tard, la même souris A_2 reçoit un greffon provenant de B et un greffon provenant de C ; le premier est rejeté au bout de 6 jours, le second est rejeté au bout de 12 jours.

Expérience 3 : on prélève le sérum de A_2 ainsi que des



lymphocytes se trouvant dans les ganglions lymphatiques de cet animal.

- Le sérum de A₂ est injecté à une souris A₃, à laquelle on greffe également un fragment de peau de B.

- Les lymphocytes de A₂ sont inoculés à une souris A₄, à laquelle on greffe un fragment de peau de B.

A₃ rejette le greffon provenant de B au bout de 12 jours. A₄ rejette le greffon de B au bout de 6 jours.

Expérience 4 : A une souris A₅, à qui on fait l'ablation du thymus à la naissance, on greffe un fragment de peau de B, le greffon n'est pas rejeté au bout de 3 mois.

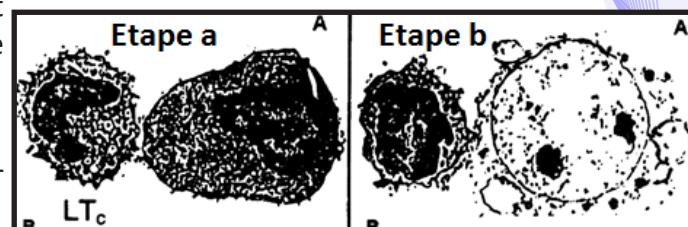
1- Interprétez chacune de ces expériences en dégageant le type de réaction immunitaire manifesté ainsi que ses principales propriétés.

2- Envisagez les autres possibilités de greffe de peau et indiquez ses résultats possibles.

3- Lors du rejet d'un greffon, on observe tout d'abord une revascularisation du greffon puis une infiltration du greffon par les éléments B issus du receveur. Il est ensuite possible d'observer les faits illustrés par le document ci-contre.

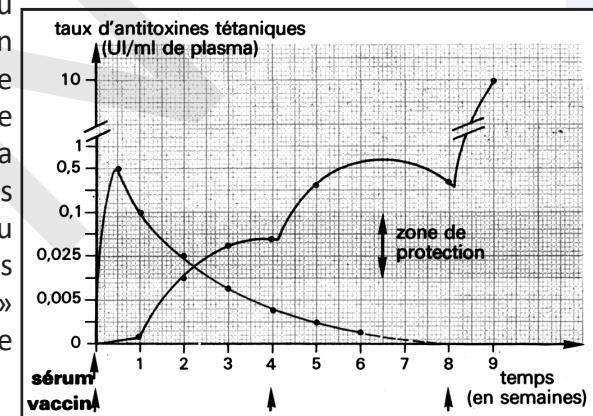
a- Décrivez ces faits.

b- Quelle information supplémentaire peut apporter ce document quant aux résultats de l'expérience 3 ?



Exercice 13

Une personne n'ayant pas subi de rappel antitétanique depuis 15 ans s'est profondément blessée sur une clôture souillée. Afin d'enrayer le développement éventuel du tétanos, le docteur procède à une séro-vaccination (injection à deux endroits différents d'un sérum anti-tétanique chevalin et d'un vaccin anti-tétanique) qui sera suivie d'une deuxième puis d'une troisième injection du vaccin seul. La figure permet de suivre l'évolution du taux des antitoxines téstaniques présentes dans le plasma du blessé en fonction du temps. Pour faciliter l'étude, on a représenté séparément les antitoxines sériques et vaccinales. La « zone de protection » correspond au taux d'antitoxines minimal protégeant contre la maladie (ce taux varie selon les individus).



1- Que contiennent respectivement le sérum et le vaccin utilisés ?

2- En utilisant les données du graphique, comparez l'action du sérum à celle du vaccin dans la prévention du tétanos. Quel est l'intérêt de la combinaison des deux procédés ?

3- Comparez et expliquez les variations du taux d'antitoxines obtenues à chacune des trois injections vaccinales.

4- Avant d'injecter le sérum, on demande au blessé s'il a reçu d'autres sérum (antidiphérique, antivenimeux...) et s'il a déjà manifesté des accidents allergiques. Pourquoi ?

Exercice 14

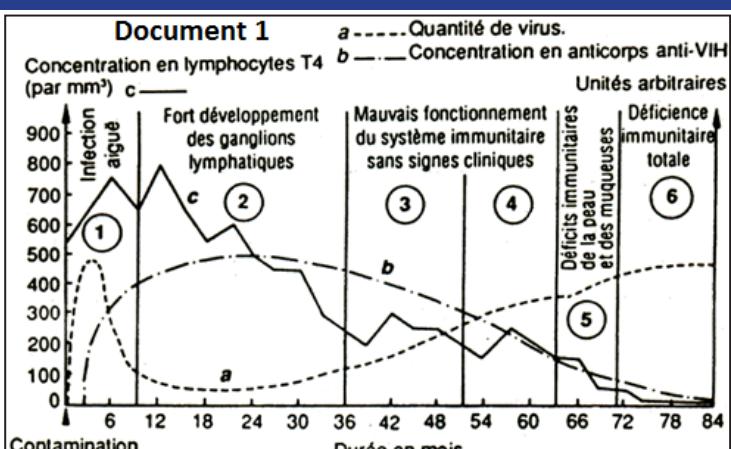
Le VIH est l'agent causal du SIDA. On a montré *in vivo* et *in vitro* qu'il s'attaque spécialement aux LT₄.

Chez les personnes contaminées, le SIDA évolue au fil des ans en 6 stades numérotés de 1 à 6 sur le document 1 ci-contre.

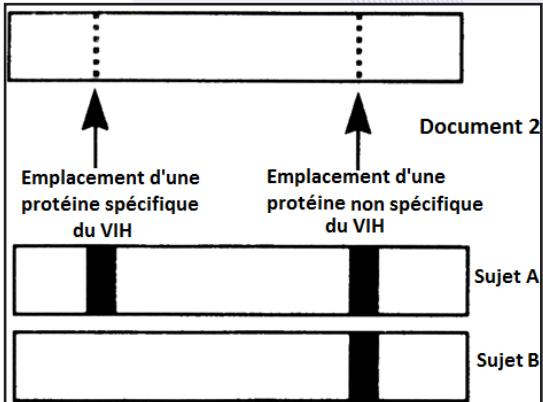
1- Indiquez les voies de transmission du SIDA.

2- Pourquoi le VIH attaque plutôt les LT₄ que les autres lymphocytes ?

3- D'après les données fournies ici, indiquez les réactions de l'organisme pendant la première



année de l'infection par le VIH et établissez le parallélisme entre le développement de la maladie et l'évolution des moyens de défense durant les sept années qui suivent la contamination. L'observation du virus VIH restant difficile, on détecte indirectement la présence de VIH. Pour cela, on produit par génie génétique des protéines virales qui sont disposées sur une bandelette. Ces protéines, lorsqu'elles sont reconnues de façon spécifique par des molécules contenues dans le sérum de l'individu à tester, forment une réaction caractéristique qui permet de les repérer. Le sérum de l'individu à tester est déposé sur la bandelette. Le test est déposé chez deux individus A et B. Les résultats obtenus sont donnés par le document 2.



- 4- Que recherche-t-on dans le sérum de l'individu à tester ? Expliquez la nature de la réaction observée.
- 5- A quelles conclusions aboutissez-vous concernant les individus A et B ?
- 6- Dans le cadre d'un dépistage de l'infection, quand peut-on réaliser des tests précoce à résultats sûrs ?
- 7- Les enfants nés de mères séropositives sont tous séropositifs de naissance. Trois mois après, 50% des enfants demeurent séropositifs et sont alors en grand danger de faire un SIDA mortel. Expliquez.

Exercice 15

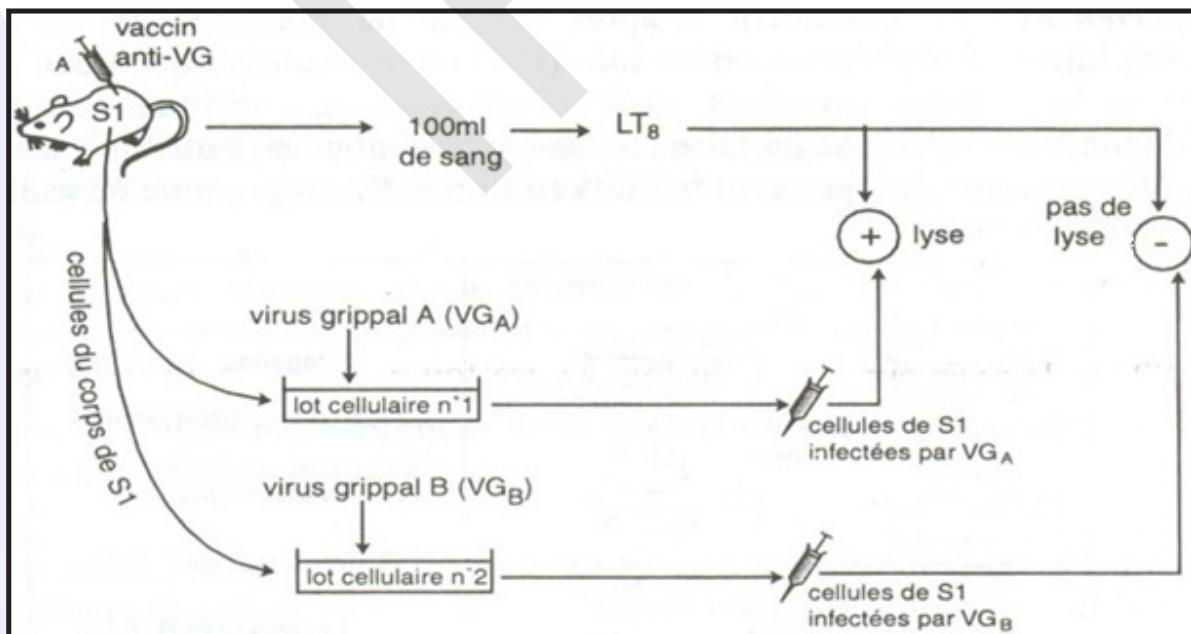
On immunise un sujet S_1 contre un virus grippal virulent de souche VG-A, en lui administrant au temps t_0 un vaccin anti-VG-A. Après 21 jours, on prélève 100 ml du sang de S_1 , et on isole la fraction lymphocytaire à partir de laquelle on sélectionne des LT_8 .

Par ailleurs on choisit des cellules banales du corps de S_1 et on les répartit en 2 lots cellulaires L_1 et L_2 .

On infecte ensuite chacun des 2 lots par un seul type de virus :

- le lot L_1 par le virus grippal de souche VG-A ;
- le lot L_2 par le virus grippal d'une autre souche VG-B ;

On fait agir les LT_8 précédemment sélectionnés sur les cellules infectées des 2 lots ; On constate la lyse rapide des cellules du lot 1, mais non celle du lot 2 /M.



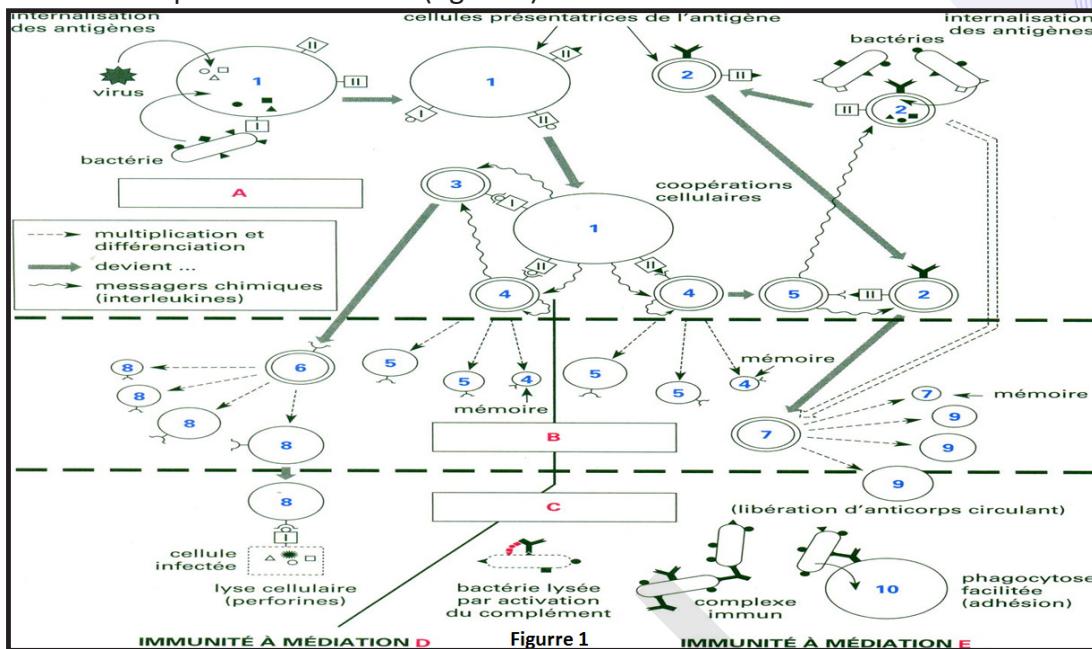
- 1) Expliquer ce résultat.

On vaccine maintenant un autre sujet S_2 , contre le virus grippal VG-A. Après 21 jours, on sélectionne comme précédemment des LT_8 de ce sujet et on les fait agir sur des cellules infectées du sujet S_1 (lot 1 et lot 2)

- 2) Quel résultat prévoyez-vous ? Justifiez votre réponse.

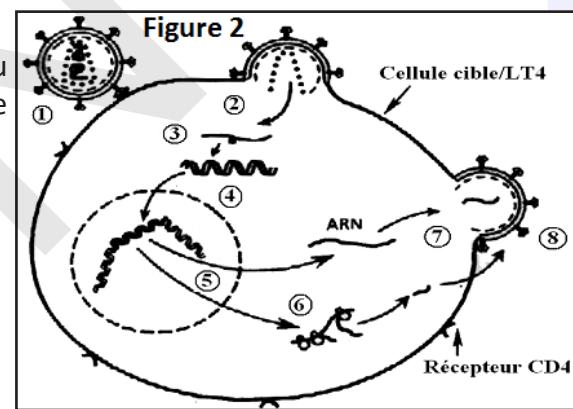
Exercice 16

1- Attribuez une légende correcte aux cellules de 1 à 10 représentées sur le schéma synthétique qui illustre les mécanismes de la réponse immunitaire (figure 1).



2- Complétez les étapes de A à E par un titre correct.

3- La figure 2 représente un cas de dysfonctionnement du système immunitaire. Elle résume les étapes expliquant le mode d'action du VIH. Indiquez ces étapes de 1 à 8.



Exercice 17

A - Lorsqu'une femme Rh⁻ porte un enfant Rh⁺, on observe quelques jours après l'accouchement la présence d'anticorps anti-rhésus dans environ 1/5 des cas. Au cours de l'accouchement des hématies fœtales se sont mélangées au sang maternel.

B - Lorsqu'une seconde grossesse se déroule sans précautions préalables, le fœtus (s'il est Rh⁺) est atteint d'une anémie due à la lyse de ses hématies : c'est la maladie hémolytique qui peut être mortelle. Autrefois le seul traitement consistait alors dans l'exsanguino-transfusion (remplacement du sang du nouveau-né ou du fœtus par du sang Rh⁻),

C- Actuellement les mères Rh⁻ accouchant d'un enfant Rh⁺ subissent un traitement permettant de détruire immédiatement les éventuelles hématies fœtales qui pourraient se trouver dans leur sang. Pour cela elles reçoivent, au plus tard 72 h après la naissance, l'injection d'anticorps anti rhésus.

- 1- Comment explique-t-on l'apparition des anticorps anti-rhésus après la 1^{ère} grossesse ?
 - 2- Expliquez la cause de la maladie hémolytique du fœtus et justifiez son traitement actuel. Les anticorps peuvent-ils, à eux seuls, provoquer la lyse des hématies ?
 - 3- Que provoquent les anticorps anti-rhésus introduits chez la mère ?
- La protection obtenue vaut-elle pour tous les enfants à naître ou faut-il recommencer le traitement à chaque naissance ?
- 4- Lorsque l'examen sanguin révèle la présence d'anticorps anti-rhésus chez la mère, le traitement est inutile. Pour quelle raison ? La grossesse suivante présentera-t-elle un risque maximal ou un risque nul ?

Exercice 18

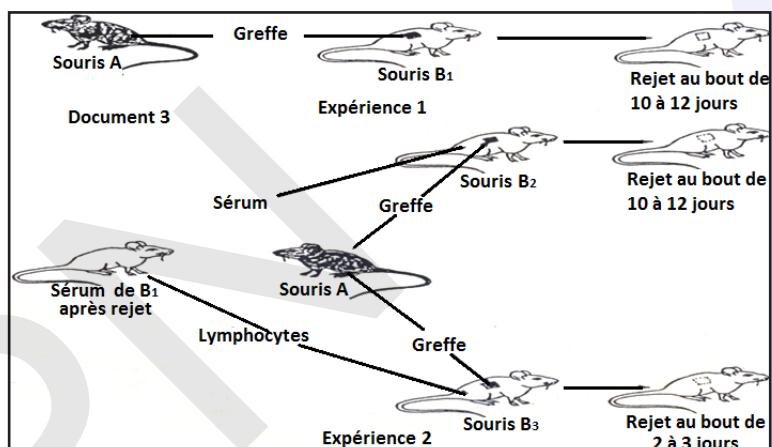
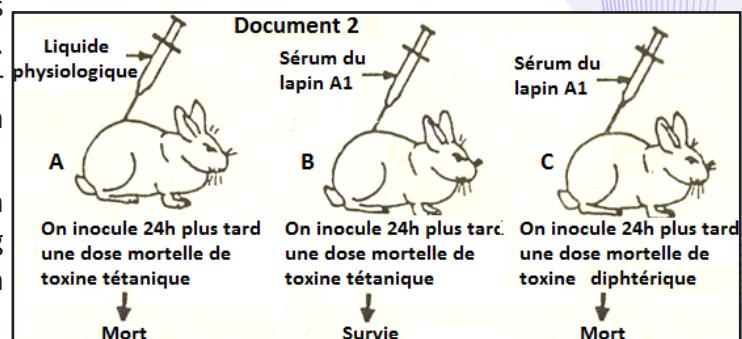
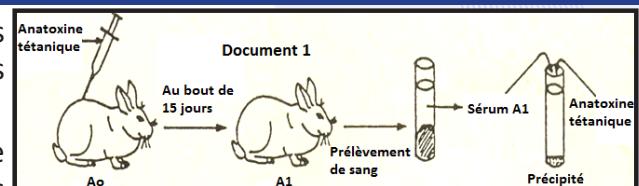
I- Afin de dégager quelques caractéristiques des réactions immunitaires, on a procédé à plusieurs expériences significatives.

A- Le tétanos est une maladie grave, due à un bacille qui sécrète une toxine. Cette toxine provoque des contractions musculaires des mâchoires puis des muscles respiratoires pouvant entraîner la mort. A partir de la toxine tétanique on peut fabriquer de l'anatoxine, en ajoutant du formol à 4% et en plaçant le tout à l'étuve à 40°C.

- On injecte de l'anatoxine tétanique à un lapin A_0 . Au bout de 15 jours, on prélève du sang sur ce lapin devenu A_1 et on prépare du sérum (document 1).

A une solution aqueuse d'anatoxine tétanique on ajoute du sérum du lapin A_1 et on constate un précipité.

- Quelle est la nature de la réaction ? Que contient le sérum du lapin A_1 ?
 - Quelle est la propriété qu'a conservée l'anatoxine ?
 - Quelle serait la réaction du lapin A_1 lors d'une injection de toxine tétanique ?
- Dans un deuxième temps on réalise les expériences du document 2.

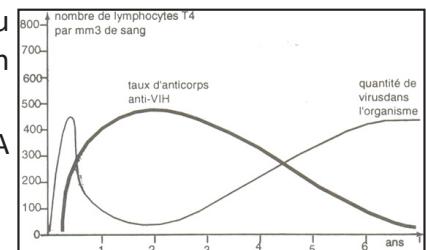


- Interprétez ces expériences.
 - A partir des expériences des documents 1 et 2, quels caractères de l'immunité sont ainsi mis en évidence ?
- B - Des travaux sur la transplantation de peau entre souris de souches différentes (souche A et souche B) ont permis de montrer les résultats contenus dans le document 3.
- Analysez avec précision chacune des expériences, que pouvez-vous en déduire ?
 - À quel type d'immunité a-t-on affaire ? Quel est le rôle des lymphocytes dans ce cas ?

Exercice 19

Les graphes suivants représentent deux variables, à savoir la quantité du virus VIH et le taux d'anticorps anti-VIH en fonction du temps chez un malade du SIDA.

En faisant appel à vos connaissances sur la biologie du virus du SIDA expliquer les courbes observées.



Exercice 20

L'organisme ne contracte certaines maladies infectieuses (exemples : rougeole, varicelle...) qu'une seule fois au cours de la vie, même s'il est à plusieurs reprises confronté aux pathogènes à l'origine de ces maladies.

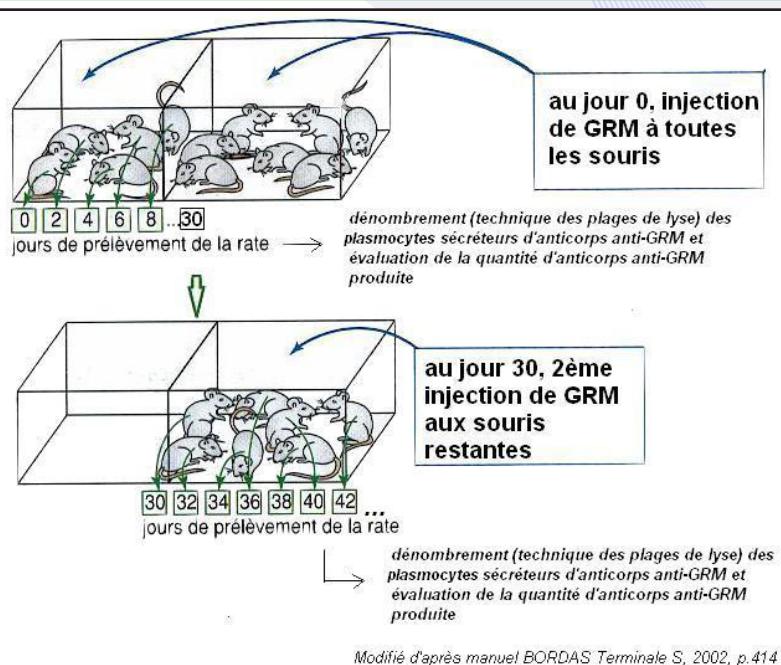
Ces faits surprenants suggèrent l'existence d'une « mémoire immunitaire » qui rend les réponses immunitaires plus efficaces lors de la seconde rencontre avec l'antigène.

Deux lots de souris (lots A et B) reçoivent une première injection de globules rouges de mouton (GRM) au jour zéro. Ces GRM jouent le rôle d'antigènes.

EXPÉRIENCE 1 : Parmi toutes les souris du lot A, la moitié subit des prélèvements de rate : une première souris le jour de l'injection, une seconde deux jours après l'injection, une troisième quatre jours après, etc.

Les souris restantes reçoivent une seconde injection de GRM, le 30^{ème} jour après la première injection. Des prélèvements de rate sont ensuite réalisés successivement tous les deux jours chez les différentes souris de ce deuxième lot.

Les lymphocytes provenant de chaque prélèvement sont mis en culture en présence de GRM et le nombre sécréteurs d'anticorps anti-GRM est apprécié à l'aide de la technique des plages de lyse. Les tableaux suivants donnent les résultats.



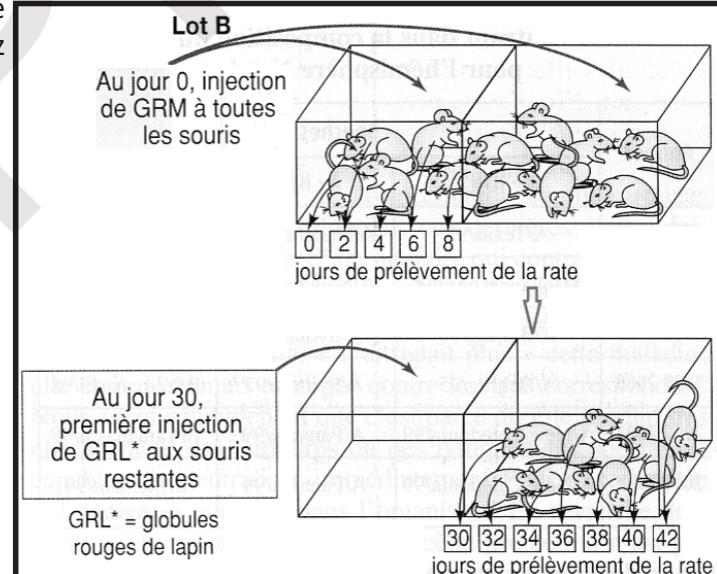
SOURIS du lot A	Souris ayant reçu la 1 ^{re} injection de GRM							Souris ayant reçu les deux injections de GRM				
	0	2	4	6	8	30	32	34	36	38	50	42
Jour de prélèvement	0	2	4	6	8	30	32	34	36	38	50	42
Nombre de LB sécréteurs d'anticorps anti GRM (en milliers)	0	3	15	90	20	1	180	850	500	300	100	70

Des résultats plus précis sont disponibles pour cette expérience : Vous tracerez les graphes correspondant aux nombre de plasmocytes et au nombre d'anticorps en fonction du temps. (Vous placerez un deuxième axe vertical). Vous suivrez toutes les consignes de méthode pour faire une courbe. Vous légenderez aussi complètement que possible ce graphique.

EXPÉRIENCE 2 :

Une moitié des souris du lot B est soumise au même traitement que les souris du lot A.

- Les souris restantes reçoivent une injection de globules rouges de lapins (GRL) le 30^{ème} jour après l'injection de GRM du jour 0. On réalise ensuite des prélèvements de rate échelonnés comme précédemment.
- Cette fois, c'est le nombre de LB sécréteurs d'AC anti-GRL contenus dans chacun des prélèvements qui est estimé (en cultivant des lymphocytes en présence de GRL).



SOURIS du lot B	Souris ayant reçu la 1 ^{re} injection de GRM							Souris ayant reçu les deux injections de GRM puis de GRL				
	0	2	4	6	8	30	32	34	36	38	50	42
Jour de prélèvement	0	2	4	6	8	30	32	34	36	38	50	42
Nombre de LB sécréteurs (d'anticorps anti GRL (en milliers)	0	0	0	0	0	0	2	75	95	20	10	3

1. Montrer, après une analyse rigoureuse, que l'expérience 1 met en évidence l'existence d'une mémoire immunitaire.
2. Indiquer, après une analyse rigoureuse, la précision apportée par l'expérience 2.
3. Déterminer les cellules qui interviennent dans cette expérience.

J'approfondis mes connaissances :

Document : Le développement des techniques de génie génétique ouvre de nouvelles possibilités.

« Des vaccins vivants atténués par génie génétique

Il est désormais possible de créer de nouvelles souches de micro-organismes rendues totalement inoffensives par voie génétique. Il s'agit d'inactiver précisément, ou d'éliminer, -quand ils sont connus- les gènes responsables de leur pouvoir pathogène ou gènes de virulence. Les bactéries ou virus ainsi atténués ne sont finalement pas très différents des vaccins vivants classiquement atténués : on obtient des micro-organismes inoffensifs mais identiques en apparence, donc pour le système immunitaire, aux souches naturelles.

Mais leur coût de production est moindre, ce qui est loin d'être négligeable quand on sait que les pays en développement sont les premiers touchés par les maladies infectieuses. Ils sont également plus intéressants du point de vue de la sécurité, le risque de réversion vers la virulence, possible avec les vaccins classiques, étant supprimé. [...]

Des microbes « présentoirs »

Les techniques de « recombinaison génétique » permettent également de faire présenter par des virus ou des bactéries des molécules immunogènes (antigènes ou épitopes) d'autres micro-organismes. Les gènes codants pour ces molécules étrangères sont introduits dans les micro-organismes « vecteurs », qui les exprimeront ensuite à leur surface, ou les sécrèteront dans le milieu extérieur. Ces vaccins vivants recombinants sont des vaccins mixtes qui permettent de vacciner à la fois contre le vecteur et contre le virus ou la bactérie dont ils présentent les antigènes au système immunitaire. On peut imaginer à terme faire porter par des vecteurs des antigènes provenant de plusieurs agents pathogènes différents et obtenir ainsi des vaccins multivalents. [...].

Les vaccins sous-unités :

Les vaccins protéiques

D'immenses progrès ont été réalisés ces dernières années dans l'identification des antigènes des virus, des bactéries et des parasites, et surtout dans l'isolement et le clonage des gènes permettant la fabrication de ces antigènes. Ceci permet de produire ces molécules immunogènes par génie génétique : le gène codant pour un antigène donné peut être introduit dans une bactérie, une levure ou une cellule animale, qui vont servir d'« usines biologiques » pour la synthèse de l'antigène. Ces antigènes « recombinants » sont ensuite purifiés et peuvent servir de base à des vaccins moléculaires aussi appelés vaccins sous-unités. Il ne s'agit donc plus ici d'utiliser des germes entiers pour la vaccination, mais uniquement les molécules antigéniques des micro-organismes. Ces antigènes sont généralement administrés avec une substance qui stimule leur pouvoir immunogène, appelée adjuvant. [...].

Les vaccins conjugués

Lorsque les fragments antigéniques sont de courte taille ou sont formés par des sucres, il est nécessaire de les coupler chimiquement à une protéine porteuse (anatoxine tétanique ou diphtérique par exemple) ou à une autre structure, pour les rendre immunogènes. On parle alors de vaccins conjugués. Certains de ces vaccins existent déjà, contre la méningite et les infections à pneumocoques notamment. De tels vaccins, chimiquement définis, présentent des avantages en termes de sécurité. [...].

Systèmes de délivrance d'antigènes

D'autres moyens sont encore explorés pour présenter des antigènes au système immunitaire. On peut par exemple utiliser des « enveloppes vides » de virus ou des toxines rendues inoffensives, pour délivrer des antigènes étrangers aux cellules immunitaires. Contrairement aux vecteurs microbiens présentés plus haut, ces systèmes de délivrance d'antigènes ne se multiplient pas dans l'organisme : ce sont des vecteurs dits « non-réplicatifs », qui présentent d'importants avantages en termes de sécurité, tout en restant très immunogènes. [...].

La vaccination « génétique »

Vaccins à ADN ou ARN nu

La vaccination génétique ou vaccination par ADN nu est un concept totalement novateur en vaccinologie, né au début des années 90. Il ne s'agit plus là d'administrer des antigènes seuls ou portés par une bactérie,

un virus ou une protéine, mais d'introduire directement dans certaines cellules de l'organisme (les cellules musculaires en l'occurrence) le gène codant pour l'antigène vaccinal. L'administration se fait par injection intramusculaire ou par « bombardement » de particules sur la peau. L'ADN pénètre dans la cellule musculaire qui va ensuite synthétiser elle-même l'antigène. Le vaccin est donc produit, localement, par l'organisme de l'individu à immuniser. Cette méthode de vaccination, simple et peu coûteuse, présente d'importants avantages en termes d'efficacité : l'antigène ainsi produit se présente généralement sous sa forme native, en tout point similaire à celui synthétisé lors d'une infection. Surtout, il est produit de façon prolongée par les cellules de l'organisme, et cette présentation durable de l'antigène au système immunitaire devrait permettre d'éviter le recours aux rappels pour certains vaccins. Par ailleurs, cette stratégie ne présente aucun risque d'infection post-vaccinale, un point particulièrement important pour les individus immunodéprimés. Le risque d'intégration de l'ADN introduit dans les cellules de l'organisme, bien que peu probable pour les cellules musculaires, doit cependant être évalué avant une utilisation à grande échelle de ce type de vaccination »

www.pasteur.fr/actu/.../vaccins/vacfuturs.html Les vaccins du futur - Institut Pasteur - FR

J'utilise mes connaissances :

Projet de classe :

A la fin du chapitre 6, les élèves en sous-groupes préparent un compte rendu d'une recherche sur le système immunitaire : faire une recherche documentaire auprès de personnes ressources, rédiger un compte rendu et le présenter aux élèves de la classe.

S'informer auprès du professeur de Français (pour le langage scientifique adapté), SVT, Chimie (pour la composition des molécules), biologiste, Instruction civique (Prévention et sensibilisation contre les IST).

- Groupe 1 : Compte rendu au sujet des infections chroniques, comme le VIH et autres maladies infectieuses.
- Groupe 2 : Compte rendu au sujet du diagnostic d'un déficit immunitaire : C'est quoi un bilan immuno-ologique ?
- Groupe 3 : Compte rendu au sujet : Qu'est-ce qui peut déclencher une maladie du système immunitaire ?
- Groupe 4 : Préparer une fiche métier d'un immunologue (Activités, compétences, formation, carrière).

BIBLIOGRAPHIE

- A. ANQUETIL, N. COHEN : Science de la Vie et de la Terre T^{erm} S, Le Guide, Nathan, 2005.
- A. MBAREK : Bio Bac tome 1, Les Sciences Naturelles en 4^è AS, A. MBarek.
- A. NOËL, M. DUPIN : Science de la Vie et de la Terre T^{erm} S, Le Guide, Nathan, 2005.
- A. OULMOUDEN, D. DELOURME : Génétique, Dunod, 1999.
- Annales du bac : Sciences Naturelles, pour le bac 89, Vuibert, 1988.
- C. CALAMAND, J. ARRIGHI : Biologie Géologie Ter.S, Hachette Education, 1999.
- C. DESIRE : L'épreuve de Biologie au baccalauréat C, Armand Colin, 1984.
- C. DEVAUX, N. RABINEAU : Biologie humaine, Dunod, 1988.
- C. DURAND, F. LALEVÉE : Science de la Vie et de la Terre T^{erm} S, Bloc fiches, Nathan, 2002.
- C. DURAND, F. LALEVÉE : Science de la Vie et de la Terre T^{erm} S, Annales bac 2006, Nathan, 2005.
- CH. DESIRE : Sciences Naturelles – Terminale C, Bordas, 1980.
- G. LUCOTTE : Exercices de génétique, Academic press, 1980.
- H. CHADLI, M. DARGHOUTH : Biologie 7^è Année Math-Sciences, Centre National Pédagogique (Tunisie), 1985.
- H. et J.M. HOMASSEL : Sciences de la Vie et de la Terre – T^{le} S, Bordas, 2002.
- H. et J.M. HOMASSEL : Sciences de la Vie et de la Terre – T^{le} S, MémoBac, Bordas, 2005.
- IPN : Sciences Naturelles 7AS, 2012.
- J. BERGERON, J-C HERVE : Science de la Vie et de la Terre S, Hatier, 2005.
- J. DAVID RAWN : Traité de Biochimie, Editions universitaires, 1990.
- J. ESCALIER : Biologie – Terminale D, Fernand Nathan, 1980.
- J. ESCALIER, L. GIRARD : Bac Biologie D, Hachette Education, 1991.
- J. LAUVERJAT, G. MIQUEL : Biologie Géologie 4^è, Hachette Collèges, 1988.
- J. P.BODEN : Biologie – Premières L &ES, Bordas, 1994.
- J-P. BODEN, J. LAMARQUE : Biologie Terminale C, Bordas, 1989.
- J-P. BODEN, J. LAMARQUE : Biologie Terminale D, Bordas, 1989.
- P. ROUSSEAU : Génétique Licence 1 D1, LMGM (UMR5100, CNRS-UPS)
- M. BREUIL : Dictionnaire des Sciences de la Vie et de la Terre, Nathan, 2005.
- M. DION, J. ESCALIER : Biologie- Terminale D, Hachette Lycées, 1989.
- M. DION, M. FONTANET : Biologie - Terminale D, Fernand Nathan, 1983.
- M. EI HAJ YOUSSEF : L'épreuve de Sciences Naturelles au baccalauréat, Devoirs types, STEP, 2001.
- M. Le BELLEGARD : Science de la Vie et de la Terre 4^è, Hatier, 1998.
- M. MEDHIOUB : Biologie, Documents pratiques, 7^è, M. Medhioub, ...
- N. BOUCHES, A. FLORIMOND : Sciences de la Vie et de la Terre T^{erm} S, Nathan, 2005.
- N. SALVIAT : Sciences de la Vie et de la Terre, T^{le} S, Hachette Education, 2003.
- P. VINCENT : Biologie – Terminale D, Vuibert, 1985.
- P. VINCENT : Sciences Naturelles - Terminale D, Vuibert, 1974.
- R. DEMOUNEM, J. GOURLAOUEN : Biologie – Terminale D, Nathan, 1989.
- Y. DATTEE, P. VINCENT : Exercices de Génétique, baccalauréat, Vuibert.

REFERENCES

- <https://www.icours.com/cours/biologie/transmission->
- www.cours-univ.fr/génétique-L2
- <http://membres.multimania.fr/coursgenetique/genetiq>
- <http://www.catoirefantasque.be/dossiers/genetique/>
- <http://www.snv.jussieu.fr/vie/dossier/gpes-sanguins>
- <http://fr.wikipedia.org/lesloisdemendel>
- <https://biologievegetale.be/morphologie-vegetale/>
- <https://elearning.gov.mr/storage/app/public/html/>
- <https://docplayer.fr/20780468-Biologie-vegetale->
- https://www.larousse.fr/encyclopedie/images/Ovules_
- <https://studylibfr.com/doc/4068504/reproduction->
- <https://www.youtube.com/watch?v=bhLhTufi1q8>
- https://issuu.com/hmadanamar/docs/manuel_scol
- <https://www.jardinsdefrance.org/de-pollinisation>
- <https://www.super-bac.com/cours/terminale-generale>
- <https://www.botanique.org/sac-embryonnaire->
- <https://www.aquaportal.com/definition-10951->
- <https://www.aquaportal.com/definition-10486-double>
- <https://www.youtube.com/watch?v=60E9P3UzgVU>
- <https://slidetodoc.com/les-angiospermes-a-gnralits->
- [www.webpedago.com](http://webpedago.com)
- <http://encyclopedia.arbre-celtique.com/palynologie>
- <https://elearning.gov.mr/storage/app/public/html/>
- <https://www.li-sci.com/2020/06/la-formation-du->
- <https://apluseduc.com/1292-reproduction-des-plantes->
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Fabaceae_floral
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Diagramme_floral
- http://unt-ori2.crihan.fr/unspf/2015_Rouen_Chosson
- <https://www.pinterest.fr/pin/590112357408790349/>
- <https://sunudaara.com/svt/la-reproduction-chez-les->
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Sac_embryonnaire
- <https://www.jardinalphindulautaret.fr/botanique>
- <https://fr.sawakinome.com/articles/science/>
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Anth%C3%A8re>
- <https://www.aquaportal.com/definition->
- <http://wwwENCYCOPOLLENS.fr/la-face-cachee-des->
- <https://www.sante-sur-le net.com/maladies/cardio->
- <https://www.fedecardio.org/je-m-informe/le->
- <https://www.chuv.ch/fr/cardiologie/car-home/patients-et->
- <https://www.coeuretavc.ca/maladies-du-coeur/qu-est-ce->
- <http://campus.cerimes.fr/semiologie-cardiologique/->
- <http://campus.cerimes.fr/cardio-angiologie-et-maladies->
- <http://campus.cerimes.fr/cardio-angiologie-et-maladies->
- <http://alizarine.vetagro-sup.fr/cardio-canine/Automatisme>
- <https://planet-vie.ens.fr/thematiques/animaux/>
- <https://www.fedecardio.org/je-m-informe/l-activite->
- <http://campus.cerimes.fr/semiologie-cardiologique/>
- <https://www.universalis.fr/encyclopedie/myocarde/>
- <https://www.pourlascience.fr/sd/medecine/au-coeur-de-l->
- <https://sante.lefigaro.fr/mieux-etre/sports-activites->
- <https://www.futura-sciences.com/sante/dossiers/medecine->
- <http://tpedurire.weebly.com/i-observation-et->
- <https://www.e-cardiogram.com/automatisme-anormal/>
- <https://knoow.net/fr/sciences-medicales/medecine/cycle->
- <http://campus.cerimes.fr/semiologie->
- <https://futurinfirmier.fr/ue-2-2-s1-le-systeme->
- <http://ibooksmed.blogspot.com/2016/12/physiologie-dcur->
- <https://slidetodoc.com/etude-morphologique-et->