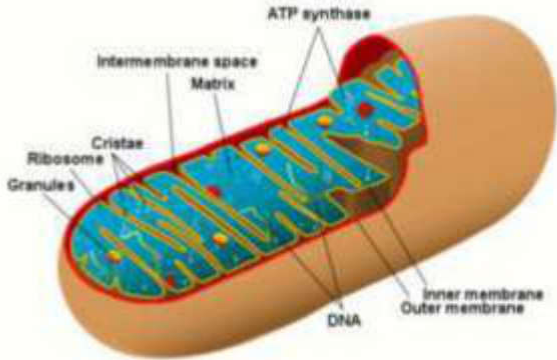
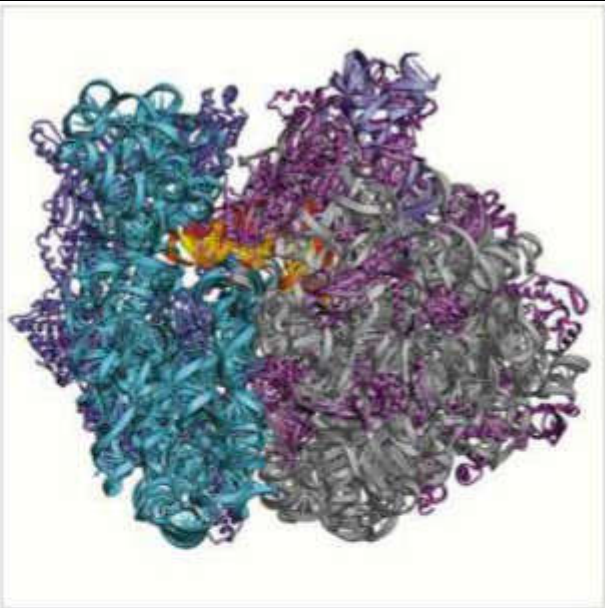
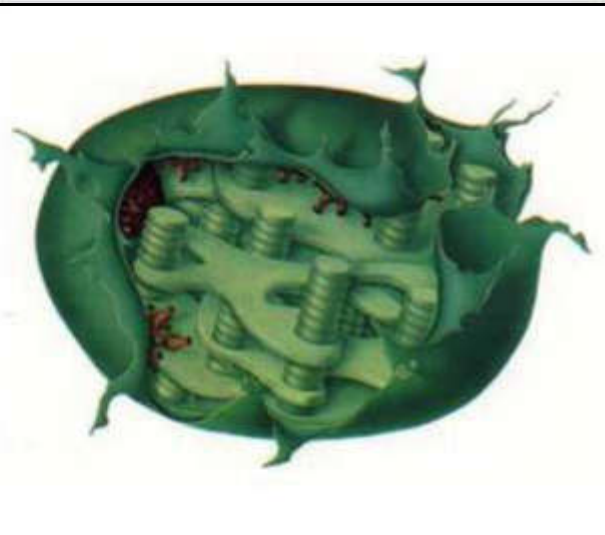
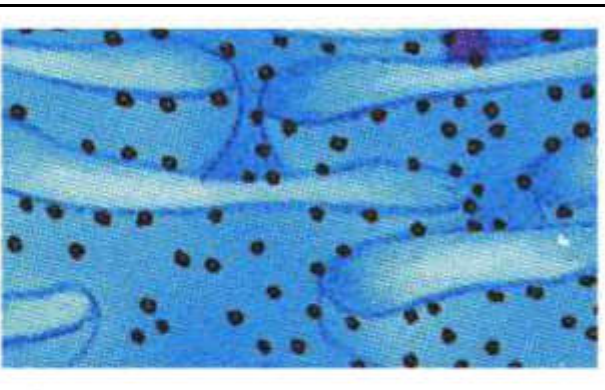
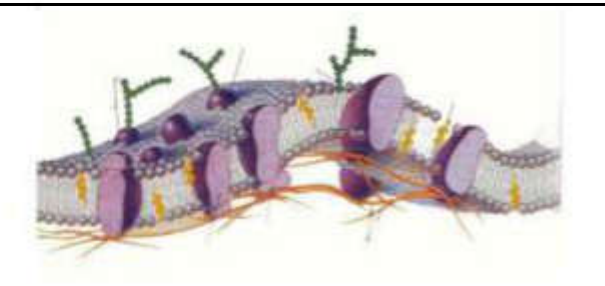


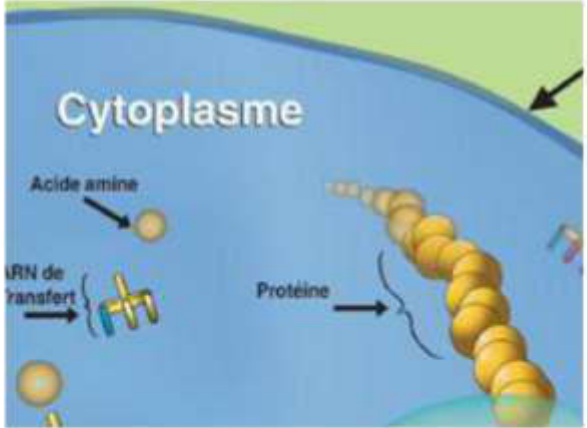
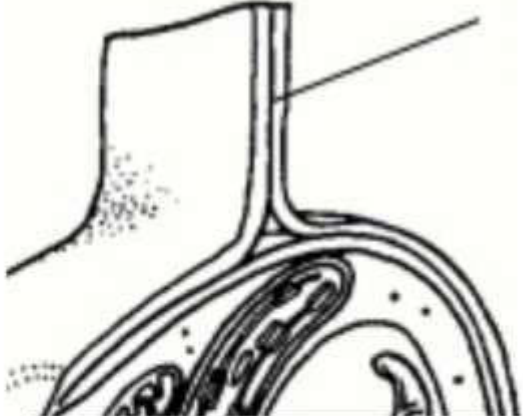
PARTIE I : BIOLOGIE

Chapitre I : BIOLOGIE MOLECULAIRE

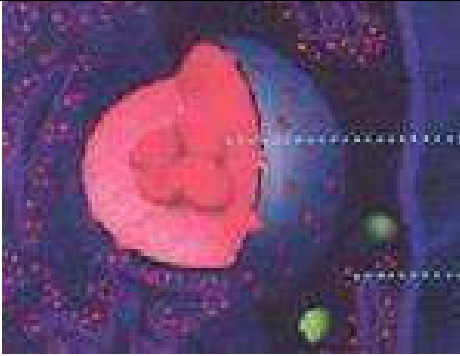
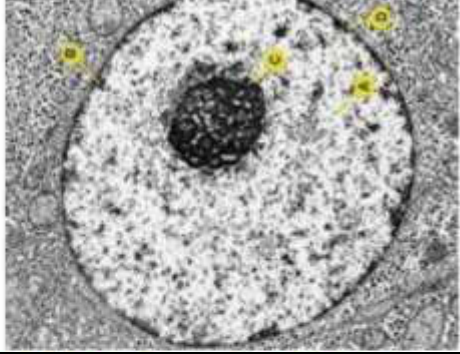
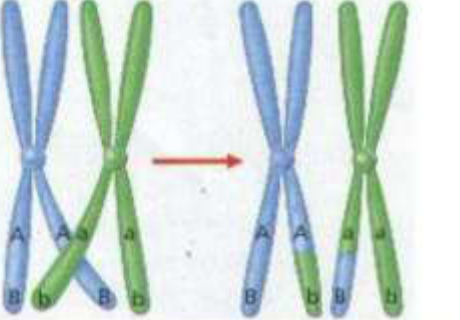
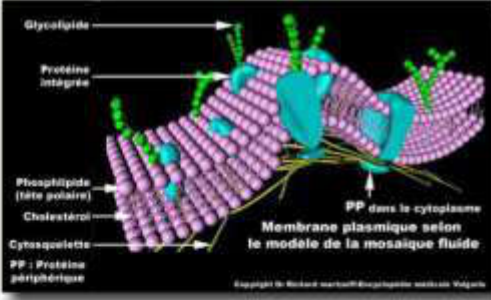
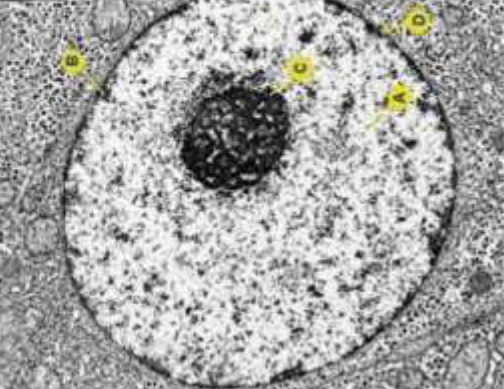
A- RAPPELS SUR LES ULTRASTRUCTURES DE QUELQUES ORGANITES CELLULAIRES

ORGANITE OU STRUCTURE	IMAGE	ROLE	DESCRIPTION
Mitochondrie		Responsable de la respiration cellulaire . Elle libère l'énergie contenue dans la nourriture (sucres surtout)	En forme de sphère ou cylindre. À l'intérieur, on peut voir des replis (crêtes)
Vacuole	 Figure 1	Réserve de sucres, minéraux, protéines, d'eau et autre	Sphérique ou ovale. Une ou quelques grosses dans la cellule végétale. Plusieurs et petites dans la cellule animale
Lysosome		Réserve d'enzymes qui digèrent la nourriture et les cellules mortes ou bactéries.	Petites sphères.

Ribosome		Aide à la fabrication des protéines (qui sont très importantes pour les êtres vivants).	Très petits à grains dans le cytoplasme et souvent sur les parois du réticulum endoplasmique.
Chloroplaste		Responsable de la photosynthèse dans les cellules végétales. Il <i>capte la lumière</i> (source d'énergie) grâce à la chlorophylle . Le chloroplaste est le lieu de la <i>fabrication des sucres</i> (énergie potentielle chimique) qui sert à la respiration cellulaire	Sphères de couleur verte.
Réticulum endoplasmique		Transporte des produits (surtout protéines) faits dans la cellule à d'autres endroits dans la cellule principalement	Réseau de canaux qui circulent dans la cellule, souvent de la membrane cellulaire à la membrane nucléaire. Il est souvent pigmenté de ribosomes
Membrane cellulaire		Protège la cellule et contrôle ce qui entre et sort de la cellule.	Mince couche (double) de lipides et protéines entourant toute la cellule

Appareil de Golgi		Responsable de la transformation des protéines . Il les distribue (dans la cellule et à l'extérieur de la cellule) grâce à des vésicules (petites bulles) qui se forment aux bouts de l'Appareil de golgi	Genre de sacs aplatis avec des vésicules aux bouts.
Cytoplasme		C'est le milieu où baignent les organites et les structures. C'est là que circulent beaucoup de substances (sucres, minéraux, protéines, gaz); ces substances voyagent par diffusion. Le cytoplasme est surtout composé d'eau.	Liquide compris entre la membrane cellulaire et la membrane nucléaire.
Paroi cellulaire ou membrane pécto-cellulosique ou membrane cytoplasmique		On la retrouve seulement dans la cellule végétale (avec la membrane cellulaire). Elle donne une forme et soutient puisqu'elle est assez rigide. Elle est principalement faite de cellulose.	Couche plus épaisse que la membrane cellulaire. On la retrouve à l'extérieur de la membrane cellulaire.
Centrioles		Ils jouent un rôle important dans la mitose, dans la formation de l'aster. On les retrouve seulement dans la cellule animale.	Deux groupes de 9 bâtonnets qui sont à 90° l'un de l'autre.

PARTIES DU NOYAU

Noyau		C'est le centre de contrôle de la cellule. C'est lui qui est responsable de la transmission de caractères héréditaires (génétique). C'est le principal acteur dans la mitose.	Sphérique, près du centre dans la cellule animale, plus sur le bord dans la cellule végétale. Il est troué de pores.
Nucléoplasme		Un peu comme le cytoplasme mais dans le noyau, peut-être un liquide un peu plus épais.	Liquide épais
Chromatine		Elle est responsable de la transmission des gènes; les caractères héréditaires. Lors de la mitose, ce mince filament se transforme en chromosomes. Elle est faite d'ADN (acide désoxyribonucléique).	Mince filament entouré sur lui-même. Si on le déroulait, il y en aurait près de 2 mètres dans chaque cellule!
Membrane nucléaire		Protège et contrôle ce qui entre dans le noyau. Les pores permettent l'échange de substances (ARN et protéines surtout) entre le nucléoplasme et le cytoplasme	Couche double, avec des pores, qui entourent le noyau.
Nucléole		Il joue un rôle important dans la fabrication des protéines.	Sphérique, on en retrouve un ou plusieurs dans le noyau

B- INFORMATION GENETIQUE

Existence de l'information génétique :

L'information génétique est un programme biologique qui gouverne la transmission des caractères héréditaires d'une génération à l'autre. Elle est l'ensemble des informations qui déterminent les caractères héréditaires des individus.

Chaque cellule possède dans son noyau l'ensemble de l'information génétique nécessaire au fonctionnement, et au développement d'un organisme, sous la forme de chromosomes, eux-mêmes constitués d'ADN. Les gènes sont des segments de ces chromosomes. Chaque gène code un caractère héréditaire déterminé.

Remarque :

Le chromosome est le support cellulaire de l'information génétique.

L'ADN est le support moléculaire de l'information génétique.

Acides Nucléiques

Les acides nucléiques sont des polymères de nucléotides. Les deux types d'acides nucléiques sont l'ADN (acide désoxyribonucléique) et l'ARN (acide ribonucléique).

Le nucléotide est le plus petit élément constitutif d'un acide nucléique. Il est constitué par 3 éléments :

Un acide phosphorique (H_3PO_4) ;

Un sucre réducteur en C5 (Ribose pour l'ARN et désoxyribose pour l'ARN);

Une base azotée : Adénine ; Thymin (spécifique pour l'ADN) ; Guanine ; Cytosine ; Uracile (Spécifique pour l'ARN).

Pour mettre en évidence les acides nucléiques, il existe 2 méthodes de coloration.

Méthodes	Réactions	Résultats	Conclusions
BRACHET	Vert de méthyl + ADN	Coloration Verte	ADN dans le noyau
	Pyronine + ARN	Coloration rose ou rouge clair	ARN dans le nucléole et le cytoplasme
FEULGEN	HCl + ADN	Libération des désoxyriboses	ADN dans le noyau
	Reactif de Schiff + désoxyribose	Coloration rouge	

2.1. ADN, support de l'information génétique

L'ADN (Acide désoxyribonucléique), support moléculaire de l'information génétique, est un long filament formé de la succession de quatre **nucléotides** différents, qui s'enroule en une double hélice (double chaîne ou 2 chaînes). La double hélice d'ADN est repliée sur elle-même sous la forme de chromosomes et **se situe dans le noyau** de chaque cellule.

Le désoxyribonucléotide, la plus petite unité constitutive de l'ADN, est formé par 3 éléments :

Acide phosphorique (H_3PO_4) ;

Sucre réducteur désoxyribose ;

Base azotée : A, T, C et G

Remarque :

La séquence des nucléotides sur l'ADN forme l'Information Génétique.

ADN : Porteur et transmetteur de l'information génétique

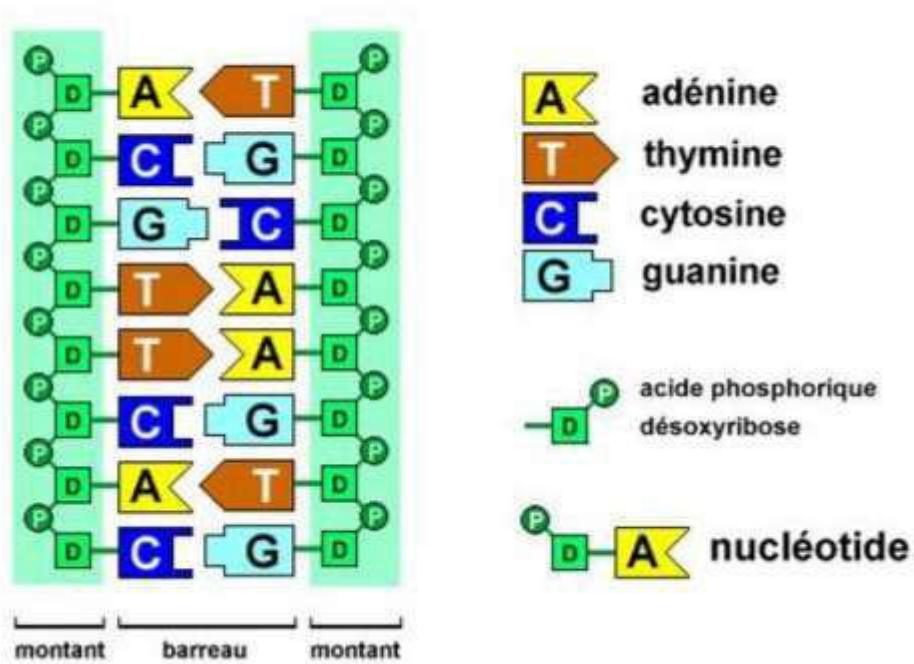
- En dehors du noyau, on trouve également un petit brin d'ADN dans les mitochondries. Ces organites produisent l'énergie nécessaire au fonctionnement de la cellule et contiennent leur propre molécule d'ADN (l'ADN mitochondrial). Ce petit ADN circulaire porte quelques informations génétiques utiles pour la mitochondrie seulement.

2.1.1. Structure plane de l'ADN

La structure plane est comme une échelle. Les deux montants sont formés par des acides phosphoriques et des sucres à 5 carbone (5C) tandis que les barreaux sont formés par des bases azotées liées entre-elles par une liaison faible (liaison hydrogène). Les bases complémentaires sont :

A = T (liées par 2 liaisons hydrogènes) ;

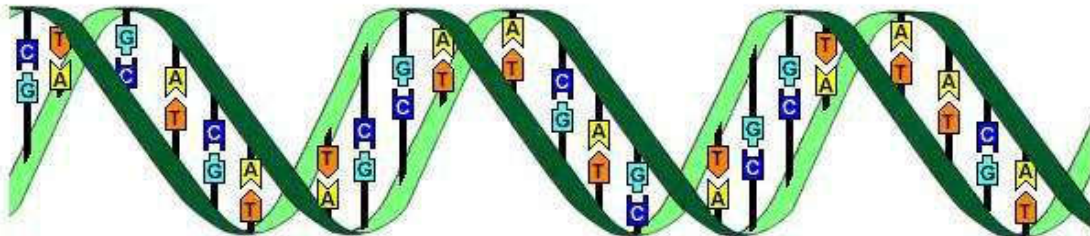
G ≡ C (liées par 3 liaisons hydrogènes).



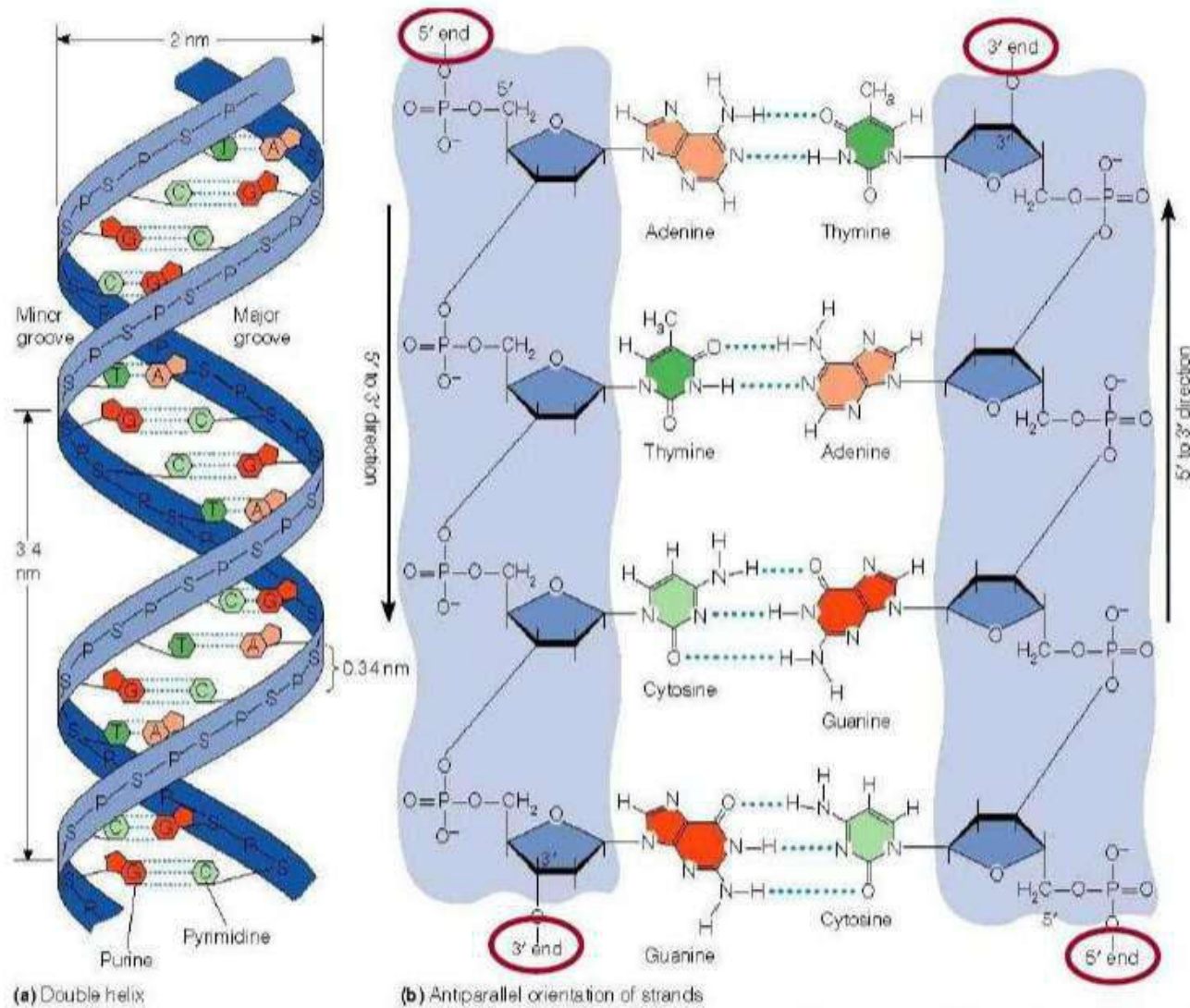
Structure plane de l'ADN

2.1.2. Structure dans l'espace de l'ADN selon WATSON ET CRICK

La structure moléculaire en double hélice de l'ADN est établie en 1953 par WATSON et CRICK. En effet, l'ADN est formé par 2 chaînes de nucléotides enroulé l'une sur l'autre.



Structure dans l'espace de l'ADN



Hélice dextrogyre d'ADN - B

Groove = sillon et strand = chaîne

2.2. Réplication de l'ADN

2.2.1. Définition

La réplication de l'ADN est le doublement de la quantité d'ADN en **phase S** du cycle cellulaire, en prévision de la division cellulaire. Grâce au processus de réplication **semi-conservative**, les deux molécules filles possèdent la même information génétique.

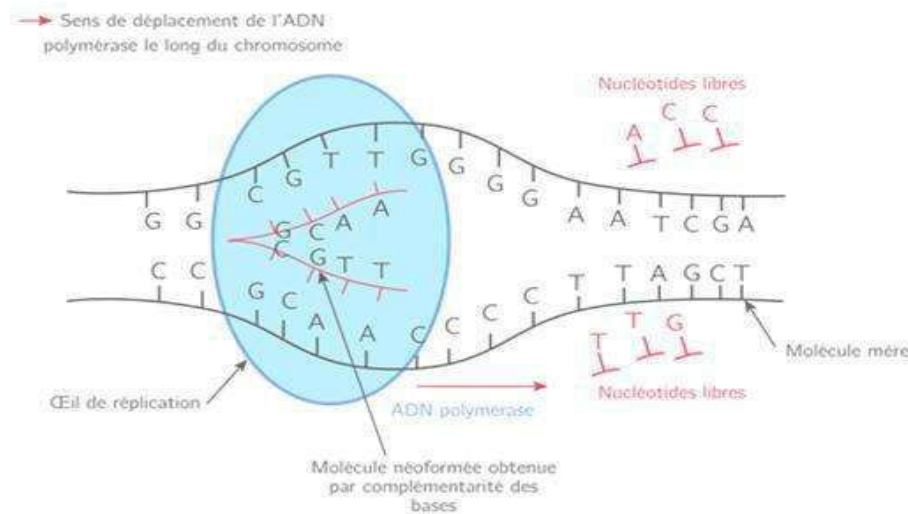
2.2.2. Mécanisme de la réplication

La molécule d'ADN double brin s'ouvre, en ce qui forme un **œil de réplication**. Au sein de cet œil, les **nucléotides libres** sont positionnés de façon à former une molécule double, **mi-mère, mi-néoformée**, par **complémentarité des bases** (A associé à T et C associé à G). La formation de ce brin néoformé se réalise grâce à un complexe enzymatique appelé **ADN polymérase**.

Ce complexe enzymatique (ADN polymérase) assure :

l'écartement des deux brins de la molécule initiale d'ADN ainsi que l'insertion de un par un de nouveaux nucléotides.

la Coupure des liaisons d'hydrogène entre les deux chaînes.



Réplication de l'ADN

Remarque :

La réplication est dite « **semi-conservative** », puisque la moitié de la molécule mère est conservée dans la molécule fille.

La réplication est « **une reproduction conforme de l'ADN** » car l'information génétique de la molécule fille se ressemble à celle de la mère.

C- REPRODUCTION CONFORME DE LA CELLULE : LA MITOSE

1. Type des cellules

Une cellule est l'élément de base fonctionnel et structural qui compose les tissus et les organes des êtres vivants. Elle contient **l'information génétique de l'individu et est à l'origine de la création biologique. Chez tous les êtres vivants, il existe deux types de cellules :**

Les cellules somatiques (cellules du corps), elles renferment **2n** chromosome ou cellule diploïde.

Les cellules sexuelles (spermatozoïdes et ovules), elles renferment **n** chromosome ou cellule haploïde.

Remarque : La formule chromosomique des cellules que ce soient somatiques ou sexuelles varie en fonction de l'espèce.

Espèce	2n (diploïde)	n (haploïde)
Homme	48	23
Drosophile	8	4
Chien	78	39

2. Type des chromosomes

Un chromosome est une structure en forme de bâtonnet située à l'intérieur du noyau de chaque **cellule**. Il sert de support aux gènes qui contiennent l'information héréditaire. Chez les cellules, il existe deux types de chromosomes :

Les autosomes : Ce sont des chromosomes non sexuels. Leurs nombres sont **2n-2** dans les cellules somatiques et **n-1** dans les cellules sexuelles.

Les Gonosomes : Ce sont des chromosomes sexuels. Leurs nombre sont **2** dans la cellule somatiques et **1** dans la cellule sexuelles. Les deux gonosomes sont identiques chez la femme (**XX**) mais ils sont différents chez l'homme (**XY**).

La Mitose

3.1. Définition :

La **mitose** est un mode de division cellulaire par laquelle une cellule mère diploïde donne naissance à deux cellules filles diploïdes.

La **mitose** est la période pendant laquelle les chromosomes, bien visibles, sont équitablement répartis entre deux cellules-filles.

3.2. Différentes phases de la mitose

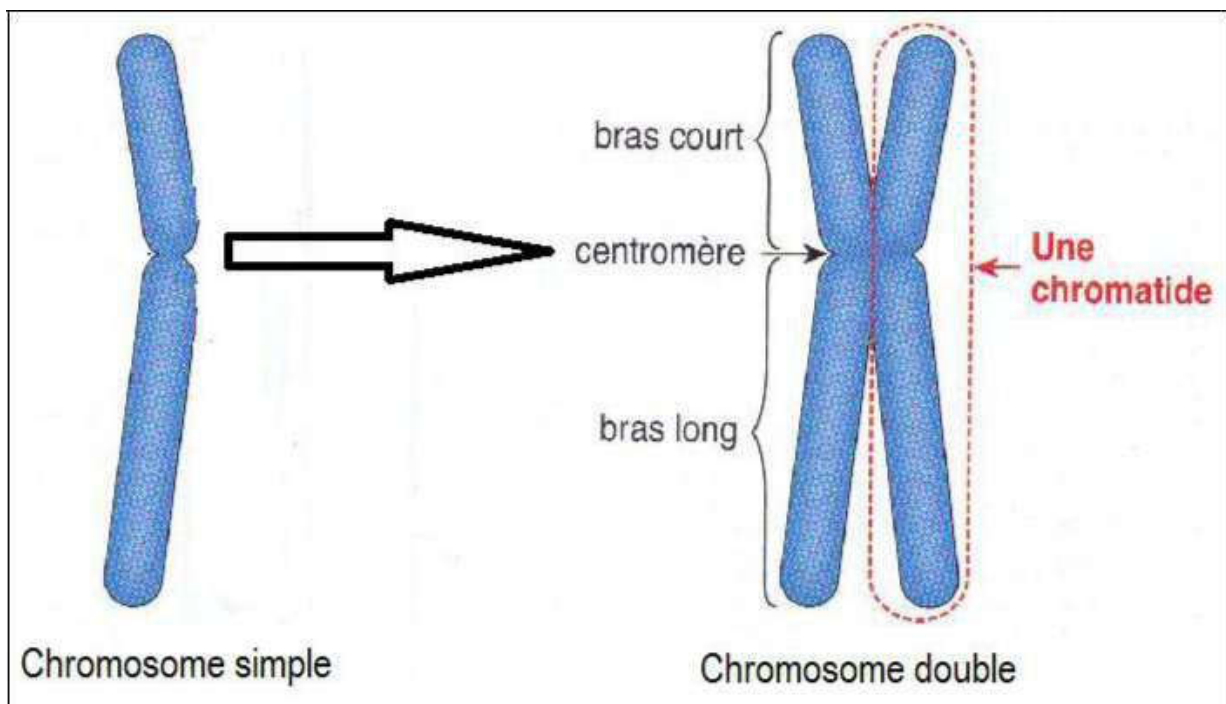
Avant la mitose proprement dite, il y a une phase de préparation appelée **interphase**, pendant laquelle s'effectue la réplication de l'ADN et on obtient alors deux molécules d'ADN qui formeront les deux chromatides de chromosome. Ainsi, un chromosome simple devient un chromosome double.

L'interphase peut être découpée en trois phases :

La phase G1 pendant laquelle la quantité d'ADN par cellule reste constante et peut être qualifiée de simple (quantité = q). Pendant cette étape, la cellule utilise son information génétique, peut croître et exercer ses fonctions.

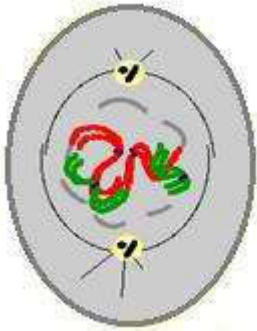
La phase S (S comme synthèse) est marquée par un doublement progressif de la quantité d'ADN. C'est donc au cours de la phase S, qui dure plusieurs heures, que s'effectue la réplication de l'ADN.

La phase G2 : la cellule se prépare à la mitose. La quantité d'ADN pendant cette phase est stable, elle est le double de celle de la phase G1 (quantité = $2q$).



Condensation de l'ADN

Conventionnellement la mitose se divise en 4 phases : Prophase, Métaphase, Anaphase et Télophase.



Prophase

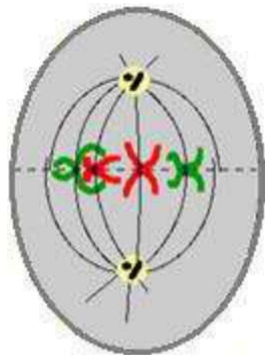
Cette phase dure 9 à 15 min et est caractérisée par :

La disparition de la membrane nucléaire et nucléole

La migration des 2 centrioles vers les deux pôles cellulaires. Ils vont être entourés par des fibres rayonnantes et l'ensemble s'appelle « aster » ;

Le gonflement des chromatines par spiralisation et on obtient des chromosomes

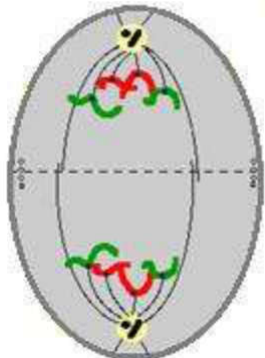
L'apparition des fuseaux achromatiques au niveau de centromère de chaque chromosome



Métaphase

Elle est très brève de 2 à 3min ; elle est caractérisée par :

L'alignement des chromosomes fissurés (à deux chromatides) par leur sur le plan équatorial de la cellule et formant une « plaque équatoriale »

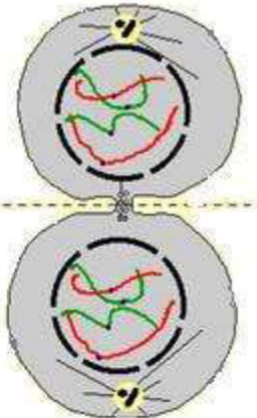


Anaphase

Elle dure 3 à 5min ; elle est caractérisée par :

La division des centromères (Séparation des chromatides)

La séparation des deux lots de chromosomes fils vers les deux pôles cellulaires (ascensions polaires)



Télophase

Sa durée est semblable à celle de la prophase ; elle est caractérisée par :

La disparition des asters et des fuseaux achromatiques

L'apparition de la membrane nucléaire et le nucléole

La décondensation des deux lots de chromosomes et ils reviennent à l'état des filaments de chromatine pour former deux noyaux dans les deux futures cellules filles.

La division du cytoplasme ou cytodierèse (La cellule se scinde en deux)

Remarque :

La cytotéièrese est différente chez la cellule animale et végétale **Cellule animale :** la membrane plasmique se contracte de la périphérie vers le centre

Cellule végétale : une membrane pectocellulosique se forme de centre vers la périphérie

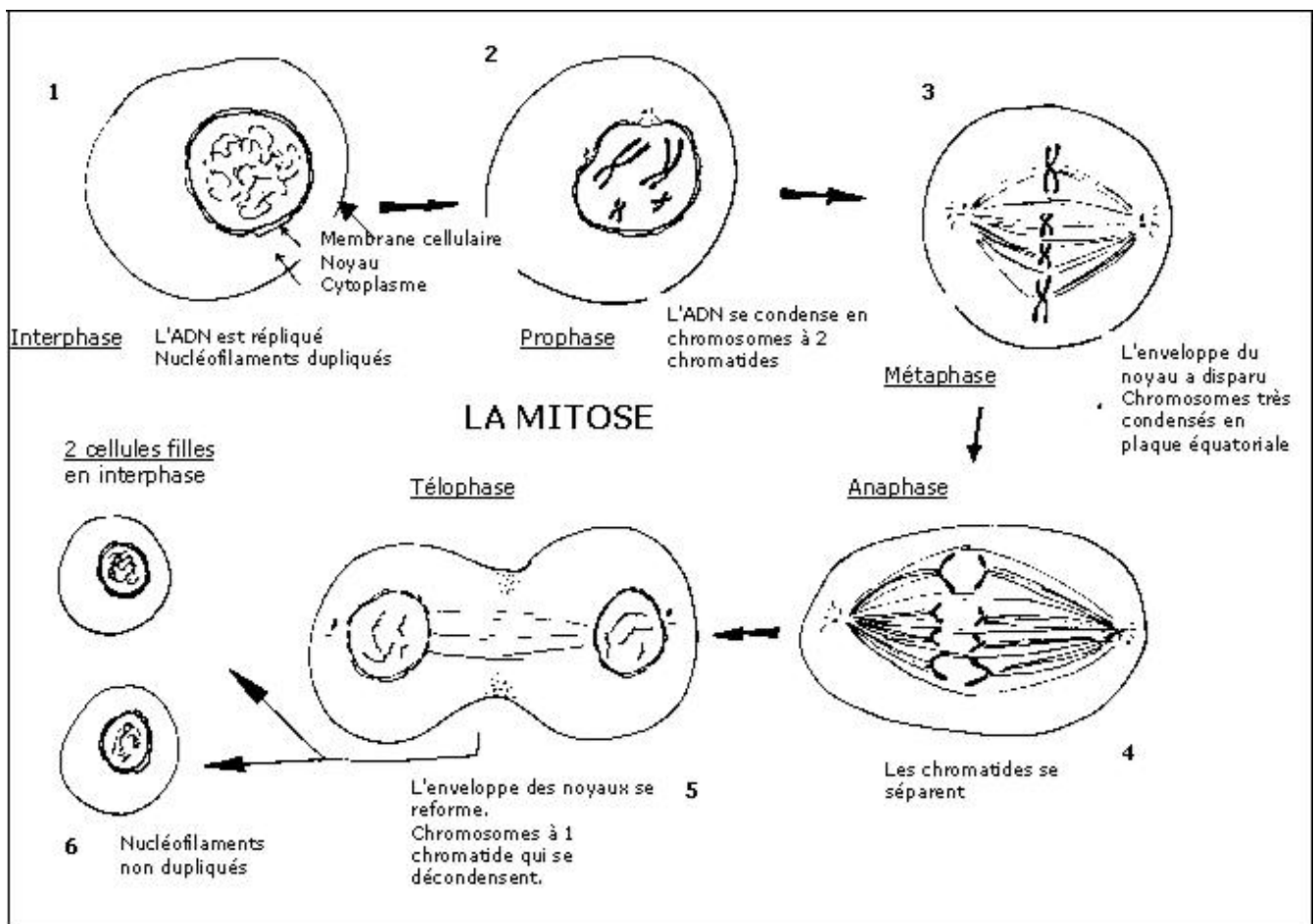
La durée de la mitose varie suivant la cellule

On peut bloquer la mitose par un facteur physique **rayon X** et par un facteur chimique la **colchicine**

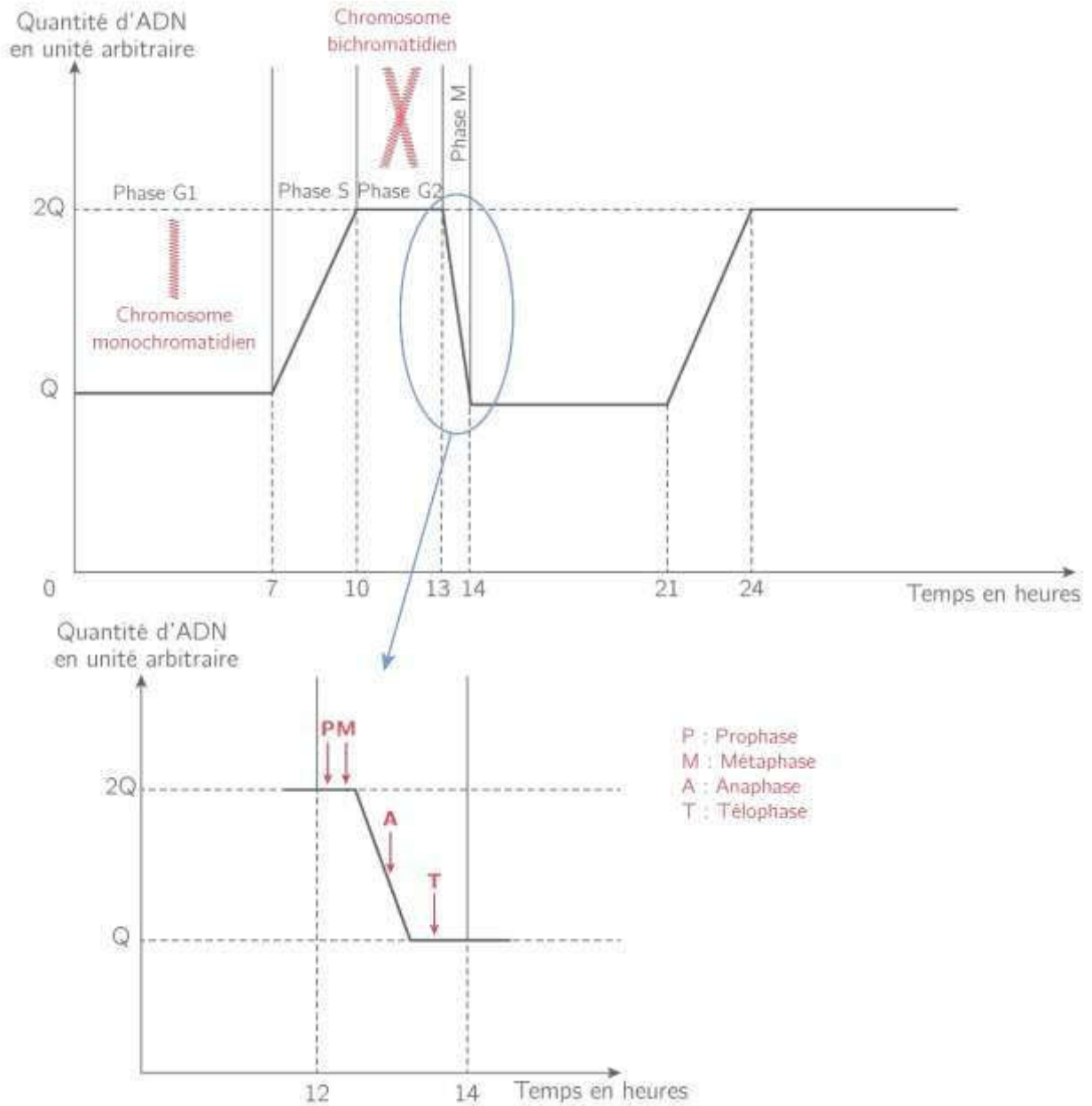
Les 2 cellules filles sont identiques à la cellule mère (elles possèdent le même équipement chromosomique, donc même information génétique), on dit que la mitose est **une reproduction conforme**

On part d'une cellule diploïde et on obtient 2 cellules filles diploïdes, on dit que la mitose est **une division équationnelle**

On appelle « cycle cellulaire » l'ensemble d'une interphase et d'une mitose.



Résumé schématique de la mitose



Quantité d'ADN dans la cellule pendant le cycle cellulaire

D- EXPRESSION DE L'INFORMATION GENETIQUE : LA SYNTHÈSE PROTEIQUE

1. Définitions

L'**expression génétique** est la fabrication par la cellule d'une protéine donnée, en suivant l'information génétique portée par un gène de l'ADN.

Un **gène** est un fragment d'ADN, se trouvant à un endroit précis sur un chromosome précis, caractérisé par la séquence ordonnée de ses nucléotides, portant l'information génétique codant pour la synthèse d'une protéine déterminée.

Les **protéines**, constituants essentiels des êtres vivants, sont des macromolécules d'une infinie variété, caractérisées par leur séquence d'acides aminés. La **séquence des acides aminés** d'une protéine est codée génétiquement : la synthèse d'une protéine est le résultat de l'expression d'un gène (Ce gène s'exprime).

2. Correspondance gène – protéine

La correspondance entre un gène et une protéine porte le nom de code génétique. Le **code génétique** est un système de codage qui permet de traduire les séquences de nucléotides en séquences protéiques (ou séquences peptidiques). Il fait correspondre à chaque triplet de nucléotides, appelé **codon**, un **acide aminé** déterminé.

En effet, il existe 20 acides aminés différents ; avec les quatre bases (A, U, G et C), on peut former 64 combinaisons de trois bases (4x4x4). Un acide aminé donné est donc désigné par plusieurs codons ; de plus, certaines combinaisons ne désignent aucun acide aminé: on les appelle "**codons stop**". Ces acides aminés sont les suivants :

- | | | |
|--------------------------|---------------------|-----------------------|
| – Acide aspartique (Asp) | – Histidine (His) | – Tyrosine (Tyr) |
| – Acide glutamique (Glu) | – Isoleucine (Ile) | – Phénylalanine (Phe) |
| – Alanine (Ala) | – Leucine (Leu) | – Proline (Pro) |
| – Arginine (Arg) | – Lysine (Lys) | – Valine (Val) |
| – Asparagine (Asn) | – Méthionine (Met) | |
| – Cystéine (Cys) | – Sérine (Ser) | |
| – Glutamine (Gln) | – Thréonine (Thr) | |
| – Glycine (Gly) | – Tryptophane (Trp) | |

Ce code génétique est universel (c'est le même pour tous les êtres vivants); non chevauchant ou univoque (dans une séquence, une base donnée ne peut pas appartenir à deux codons successifs : les codons sont lus les uns à la suite des autres sans qu'il y ait partage d'une base) ; répétitif ou redondant ou dégénéré (2 codons distincts peuvent coder un même acide aminé).

Tableau de code génétique

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

3. La synthèse protéique ou expression génétique

L'Information génétique est localisée dans le noyau alors que la synthèse des protéines s'effectue dans le **cytoplasme**. On admet l'existence d'une molécule transporteur de message appelé « **ARN messenger** » qui transporte l'Information génétique du noyau vers le cytoplasme.

La synthèse protéique s'effectue en 2 étapes :

La transcription : synthèse d'une molécule d'ARNm à partir de l'ADN ;

La traduction : synthèse de protéines ou polypeptide à partir de l'ARNm

3.1. La transcription

Par définition, la transcription de l'ADN est la fabrication, dans le noyau, d'une molécule d'ARN-messenger, dont les nucléotides (A, U, C, G) sont complémentaires de ceux du **brin transcrit** de l'ADN. Celui-ci sera ensuite diffusé dans le cytoplasme : il servira en quelque sorte de transfert de l'information génétique.

3.1.1. Généralités sur l'ARN

L'ARN (Acide Ribonucléique) est un acide nucléique, donc il est formé par plusieurs nucléotides (Ribonucléotide). Ce ribonucléotide, plus petit élément constitutif de l'ARN, est composé de 3 éléments :

Un acide phosphorique (H_3PO_4)

Un sucre réducteur Ribose ;

Une base azotée : A, U, C et U

Comparaison de l'ADN et de l'ARN

Acides nucléiques	Acide phosphorique	Sucre en C5 (Sucre réducteur)	Bases azotées	Structure de la molécule	Nombre de chaînes ou de brins
ADN	H_3PO_4	Désoxyribose	Adénine Thymine Cytosine Guanine	Bicaténaire	2
ARN	H_3PO_4	Ribose	Adénine Uracile Cytosine Guanine	Monocaténaire	1

Il existe trois types d'ARN :

ARN messenger ou ARNm : une chaîne formée par quelques centaines de ribonucléotides. Il assure le transport de l'information génétique du noyau vers le cytoplasme.

ARN de transfert ou ARNt : une petite molécule formée de 70 à 80 ribonucléotides. Il possède à sa base un triplet de nucléotides appelé anti-codon formé de trois nucléotides complémentaires à ceux du codon de l'ARNm. Il transporte l'acide aminé dans la cavité du ribosome (l'ensemble s'appelle

complexe **Amino-acyl-ARNt**) et une fois à l'intérieur d'un ribosome, il s'apparie (grâce à son anti-codon) à un codon de l'ARNm qui lui correspond.

ARN ribosomal ou ARNr : une petite molécule d'ARN, localisée dans le ribosome. Il assure la lecture du message porté par l'ARNm au niveau du ribosome.

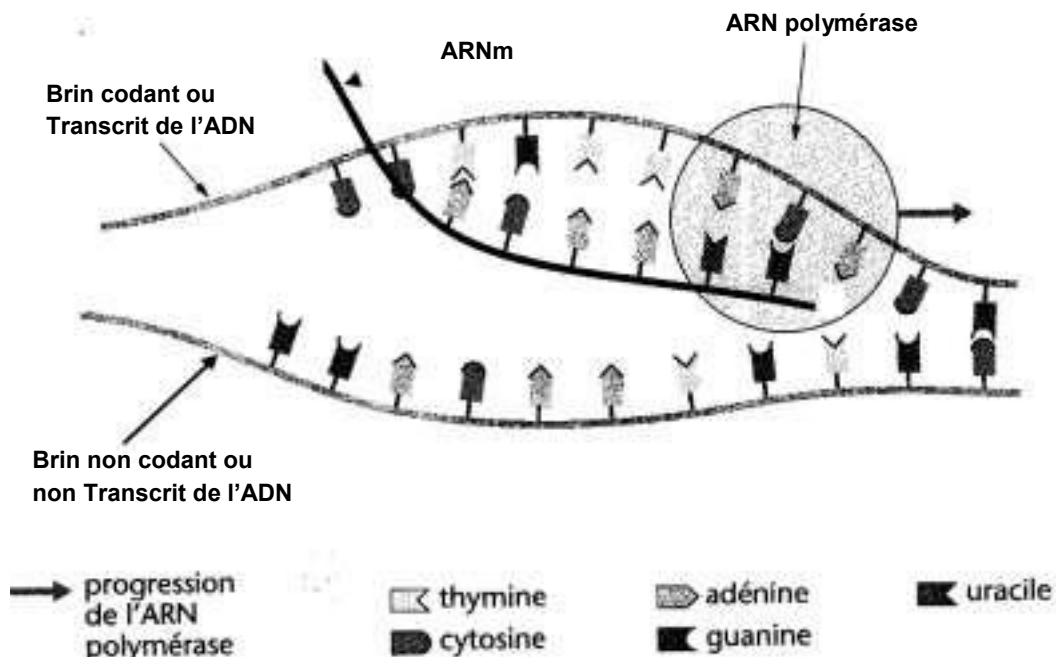
3.1.2. Mécanisme de la transcription

La double hélice d'ADN est tout d'abord ouverte sur une courte portion. Des nucléotides libres (ou ribonucléotides) présents dans le noyau viennent alors, sous l'action d'une enzyme appelée ARN polymérase, s'associer pour former une chaîne complémentaire à celle du brin codant ou transcrit d'ADN. Une fois formé, l'ARNm passe tout de suite dans le cytoplasme.

En effet, la structure de l'ARNm est très similaire à celle de l'ADN. Seule différence, celles-ci sont maintenant A, G, C et U (U remplace la T). L'adénine s'apparie à l'uracile, la guanine s'apparie à la cytosine.

L'ARN polymérase assure :

- La reconnaissance de l'endroit par où commençait et terminait la transcription ;
- La coupure des liaisons hydrogène de l'ADN permettant l'ouverture de la molécule
- Polymérisation des nucléotides (ribonucléotides) libres dans le nucléoplasme,



3.2. La traduction

La traduction est la fabrication d'une protéine, en associant des acides aminés précis par des liaisons. Elle est « l'étape cytoplasmique » de la synthèse d'une protéine.

La traduction s'effectue en 3 étapes :

Phase d'initiation

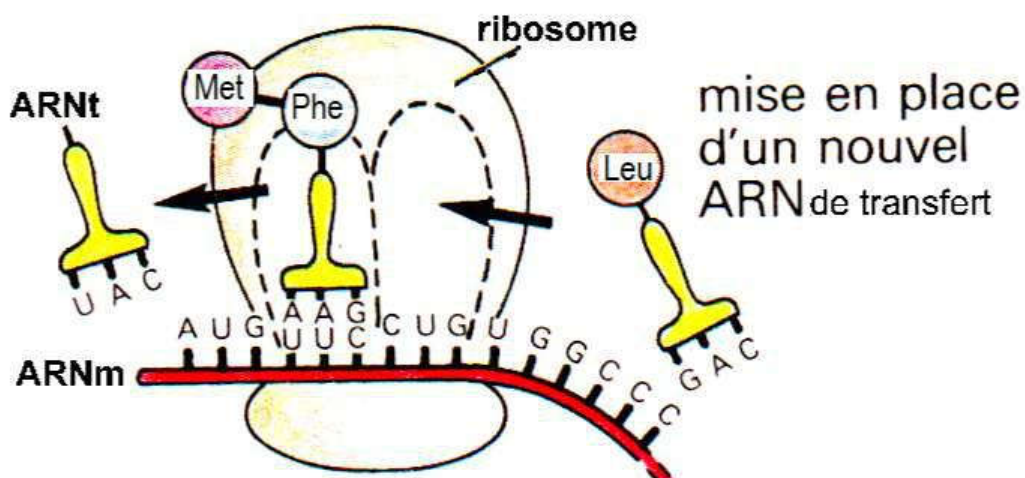
Le début de la traduction est déterminé par un **codon initiateur AUG**, sur laquelle se fixent le ribosome et un complexe amino-acyle-ARNt. L'adaptation **codon initiateur - anti-codon** s'effectue dans le site P et l'acide aminé correspondant est la Méthionine. La fixation de cet ensemble dans le site P déclenche la synthèse protéique.

Phase d'élongation

L'arrivée d'un deuxième complexe amino-acyle-ARNt dans le site A du ribosome permet l'établissement et la liaison peptidique entre 2 acides aminés. Le déplacement du ribosome le long de la chaîne d'ARNm permet l'élongation de la chaîne peptidique.

Phase de terminaison

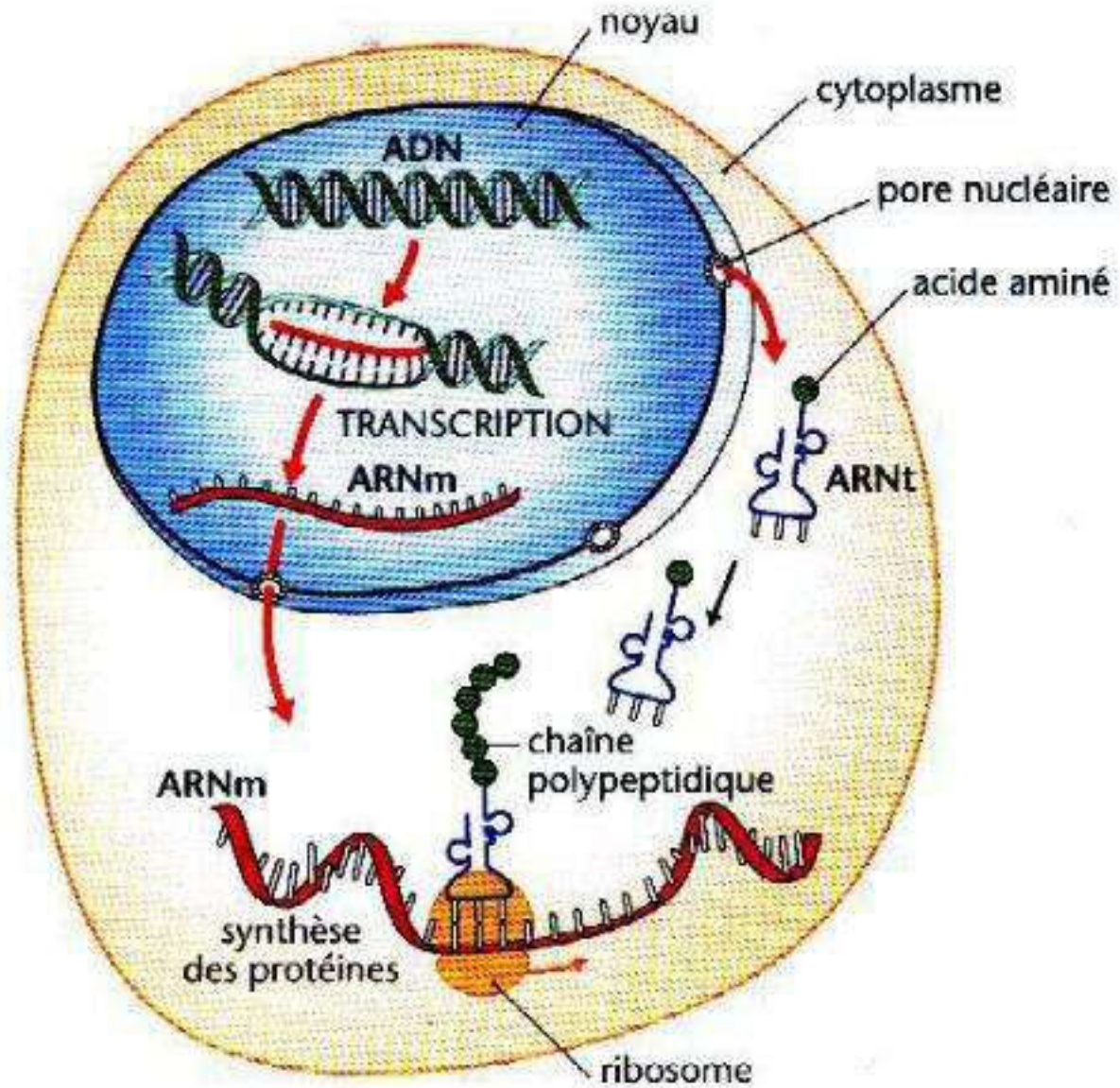
Le passage du ribosome sur un **codon stop** ou **codon non-sens** détermine la fin de la synthèse protéique. Les codons stop (UAA, UAG, UGA) ne correspondent à aucun acide aminé. Les acteurs de la synthèse se séparent (ARNt, ARNm, ribosome) et on obtient une chaîne polypeptidique.



Remarque :

Une molécule d'ARNm pourrait être traduite 6 à 8 fois.

Un court enchaînement d'acides aminés s'appelle un peptide ; un très long enchaînement de nombreux acides aminés forme une protéine.



Expression de l'Information génétique

E- VARIATION DE LA MOLECULE D'ADN : MUTATION

1. Définition

La mutation est la modification brusque (accidentelle et irréversible) de la séquence des nucléotides du brin transcrit de l'ADN qui gouverne la synthèse protéique. Cette mutation peut affecter la qualité des protéines synthétisées.

2. Types de mutations ponctuelles

Il existe 4 types de mutations ponctuelles c'est-à-dire des mutations qui affectent un seul triplet de nucléotides du brin transcrit de l'ADN.

Types de mutation	ARNm correspondant au gène normal et les protéines synthétisées	ARNm correspondant au gène muté et les protéines synthétisées
Substitution : c'est le remplacement d'un nucléotide par une autre	...CCA GAG ACU... ...Pro-Glu-Thr...	...CCA GUG ACU... ...Pro-Val-Thr...
Inversion : c'est le retournement d'un triplet de nucléotides	...UUC UGG GCU... ...Phe-Tyr-Ala...	...UUC GGU GCU... ...Phe- Gly-Ala...
Délétion : c'est la perte d'un nucléotide	...UAC ACC ACGA... ...Tyr-Thr-Thr...	...UAC GAC CGA... ...Tyr-Pro-Arg...
Insertion : Il y a une introduction (ou ajout) d'un nucléotide supplémentaire.	...UAC ACC ACG... ...Tyr-Thr-Thr...	...UAC GAC CACG... ...Tyr-Asp-His...

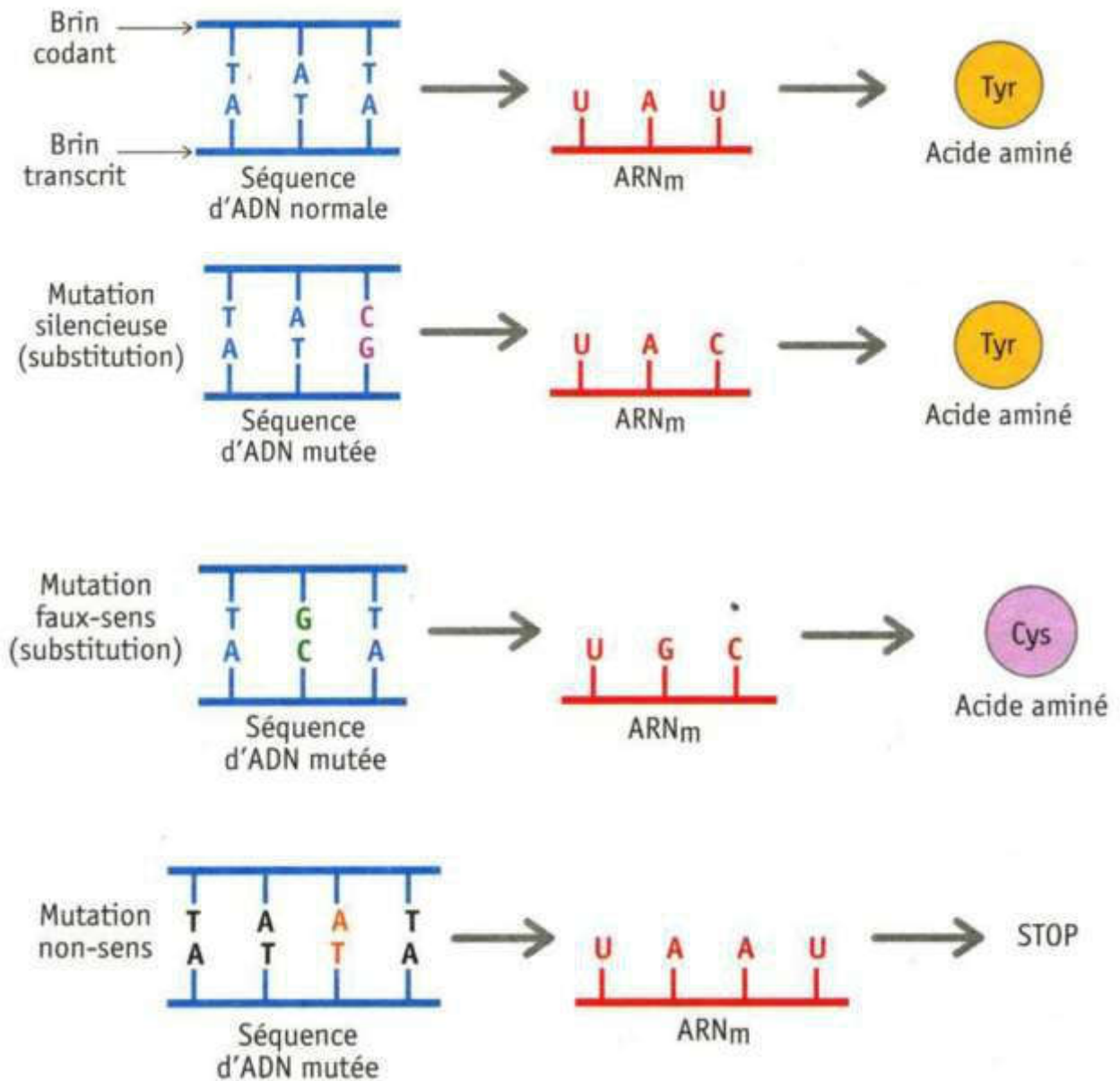
3. Conséquences des mutations

La mutation est **inefficace** ou silencieuse si la séquence des acides aminés synthétisés après la mutation n'est pas modifiée. Elle est dite **efficace** lorsque la séquence des acides aminés de la protéine synthétisée est modifiée. Pour ce cas de la mutation efficace, on appelle :

mutation faux sens : remplacement d'un acide aminé par un autre dans la chaîne polypeptidique.

mutation non-sens : arrêt de la synthèse par codon stop donc une chaîne polypeptidique plus courte.

Mutation décalante : séquence d'acide aminé fortement modifiée donc une chaîne polypeptidique très différente.



Remarque :

Quelques soit le type de mutation, elle est brusquement d'emblée héréditaire car elle touche l'ensemble des cellules sexuelles et elle se transmet à chaque réplication de l'ADN.

Les individus atteints de la mutation sont appelés les **mutants**

Les agents mutagènes sont des facteurs capables d'augmenter la fréquence des mutations : **agents physiques** (radiations ionisantes) et **agents chimiques** (acridine acide nitreux).

Chapitre II : REPRODUCTION HUMAINE

A- REPRODUCTION : MEIOSE

1. Définition

La méiose est un mode division cellulaire par laquelle une cellule diploïde donne naissance à quatre cellules filles haploïdes. Elle se localise dans les « **gonades** » lors de la formation des cellules sexuelles.

2. Différentes phases de la méiose

Conventionnellement, la méiose est constituée de deux divisions cellulaires et huit phases bien distinctes :

ère

4 phases pour la 1^{ère} division appelée division réductionnelle

4 phases pour la 2^{ème} division appelée division équationnelle

2.1. Première division méiotique : division réductionnelle

Prophase I

Cette phase est caractérisée par :

La disparition de la membrane nucléaire et nucléole

La migration des 2 centrioles vers les deux pôles cellulaires. Ils vont être entourés par des fibres rayonnantes et l'ensemble s'appelle « aster » ;

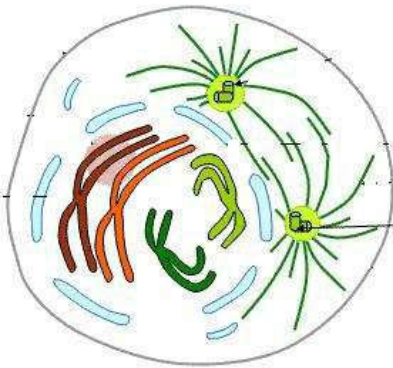
Le gonflement des chromatines par spiralisation et on obtient des chromosomes ;

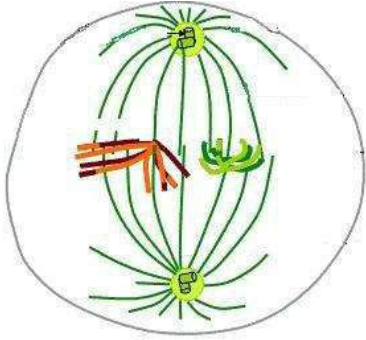
L'apparition des fuseaux achromatiques au niveau de centromère de chaque chromosome

Le rapprochement de chromosomes homologues formant une **tétrade** ;

La recombinaison génétique ou crossing-over (échanges des matériels génétiques entre les deux chromosomes homologues) formant des chiasmas ;

Enjambement des chromatides (Les bras des chromatides adjacentes se lient et se recombinent).



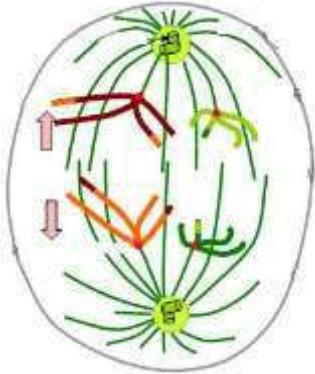


Métaphase II

Elle est caractérisée par l'alignement des tétrades sur la plaque équatoriale du fuseau achromatique (les chromosomes homologues se disposent de part et d'autre de la plaque équatoriale).

Les chiasmas (au niveau desquels ils sont attachés) sont sur la plaque équatoriale.

Les centromères sont de part et d'autre de la plaque équatoriale.

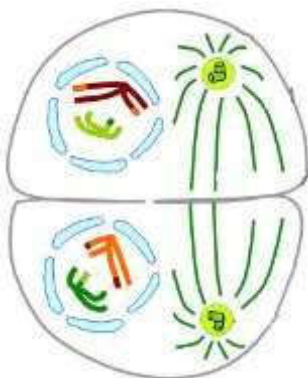


Anaphase I

Elle est caractérisée par :

La séparation des chromosomes homologues qui forme la tétrade et la rupture des chiasmas

L'ascension polaire ou migration des chromosomes homologues vers les deux pôles de la cellule



Télophase I

Elle est caractérisée par :

La reconstitution de la membrane nucléaire autour des deux lots de chromosomes homologues.

la division du cytoplasme permettant d'avoir **2 cellules haploïdes**, suivie d'une courte interphase sans phase S.

La première division méiotique est dite **réductionnelle**, puisque le nombre de chromosome est réduit à moitié.

2.2. Deuxième division méiotique : division équationnelle

Prophase II

Cette phase est caractérisée par disparition de la membrane nucléaire et la formation des fuseaux achromatiques. Elle est semblable à la prophase 1 mais sans recombinaison.

Métaphase II

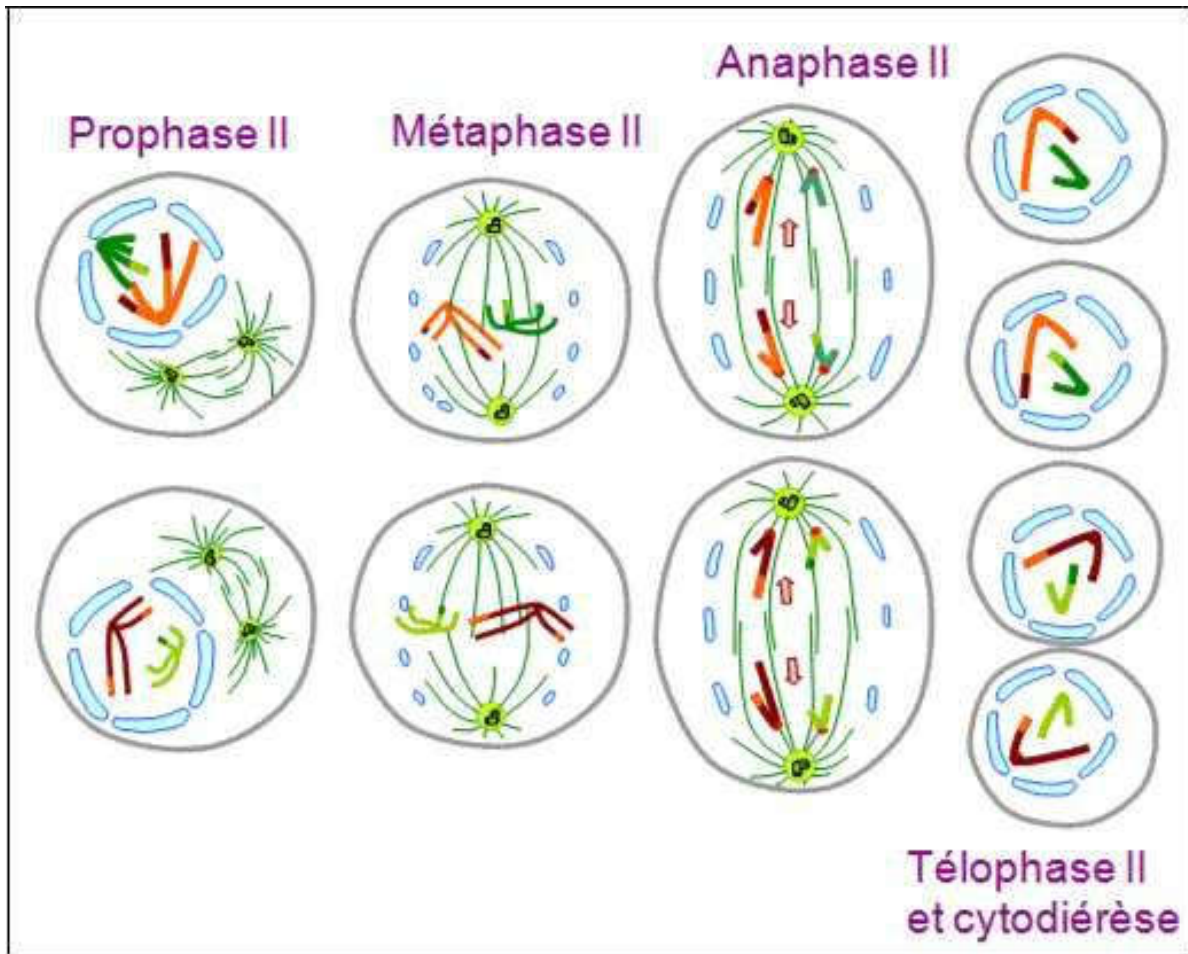
Pendant cette phase, les chromosomes fissurés se disposent sur le **plan équatorial de la cellule**.

ANAPHASE II

Les chromatides sœurs de chaque chromosome se séparent (**division de centromère**) et migrent aux pôles opposés (**migration polaire**).

TELOPHASE II

La **division du cytoplasme (cytodiérèse)** des 2 cellules permet l'obtention des **4 cellules filles haploïdes**.

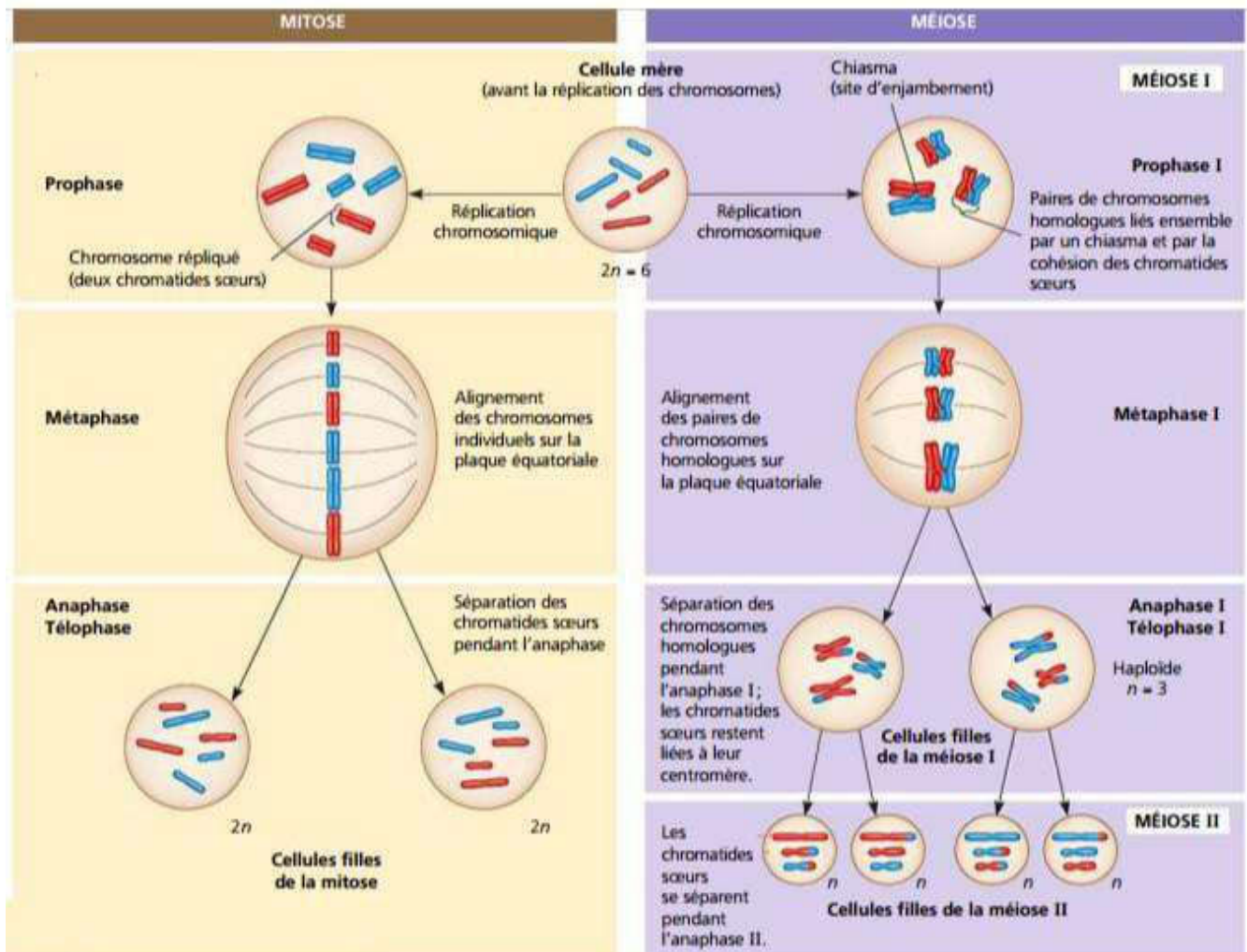


Deuxième division méiotique

Remarque : Puisqu'on part de 2 cellules haploïdes et on obtient 4 cellules haploïdes, la deuxième division méiotique est **équationnelle**.

3. Tableau de comparaison de la mitose et de la méiose

	MITOSE	MÉIOSE
Type de division	Une division (pas une réduction chromatique)	Deux divisions successives à réduction chromatique
Cellules concernées	Cellules somatiques	Cellules germinales
Comportement des chromosomes	Homologues indépendants	Les homologues restent en paires (tétrades) jusqu'à l'anaphase I.
Nombre de cellules filles	2 cellules filles	4 cellules filles
Ploïdie des cellules filles	Diploïdes	Haploïdes
Qualité des cellules filles	Génétiquement identiques à la cellule mère	Génétiquement différentes les unes des autres et de la cellule mère
Activité dans le temps	Toute la vie dès la naissance	A partir de la puberté (principalement)
Fonction des cellules produites	Croissance, réparation, reproduction asexuée	Reproduction sexuée
Durée de la division	Courte	Relativement longue



B- FORMATION DES GAMÈTES : GAMETOGENESE

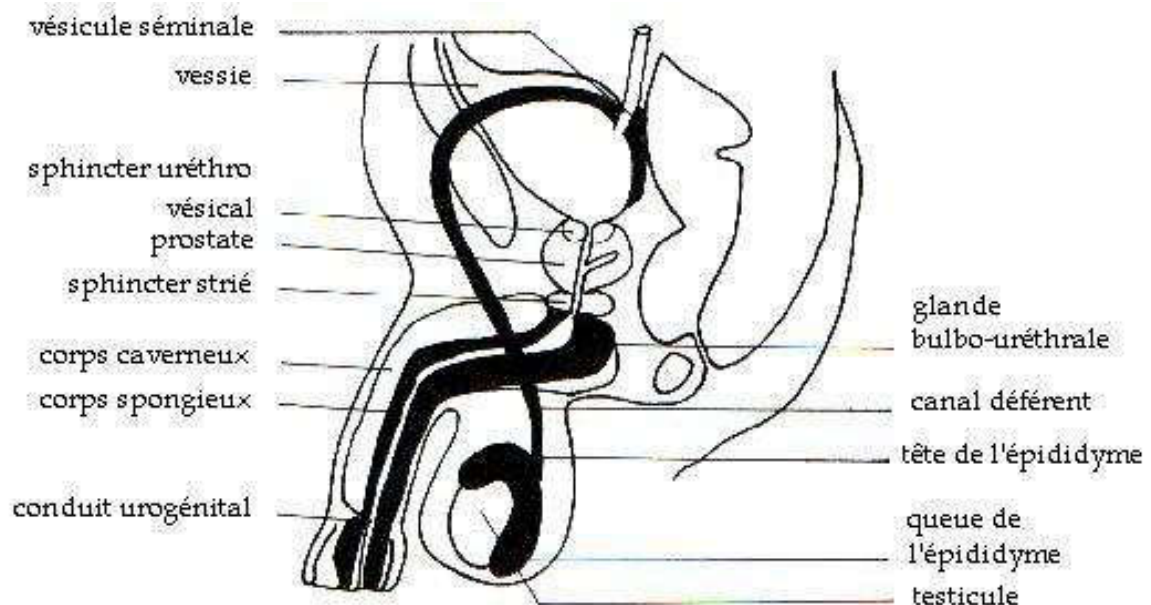
Dans l'espèce humaine, les individus ont des milliers de milliards de cellules. La majorité de ces cellules sont des cellules somatiques. Celles-ci forment des tissus, des organes, des appareils. La minorité des cellules sont les cellules germinales. Celles-ci sont à l'origine des gamètes. Les gamètes sont les cellules qui interviennent dans la reproduction. Elles sont produites lors de la gamétogenèse. La gamétogenèse est un mécanisme complexe qui comporte une phase de multiplication des cellules germinales, une phase de croissance, une phase de maturation et une phase de différenciation des gamètes.

Par définition, la gamétogenèse est donc la formation des gamètes ou cellules sexuelles. Il existe deux types gamétogenèse : la spermatogenèse (formation des gamètes mâles ou spermatozoïdes) et l'ovogenèse (formation des gamètes femelles ou ovules).

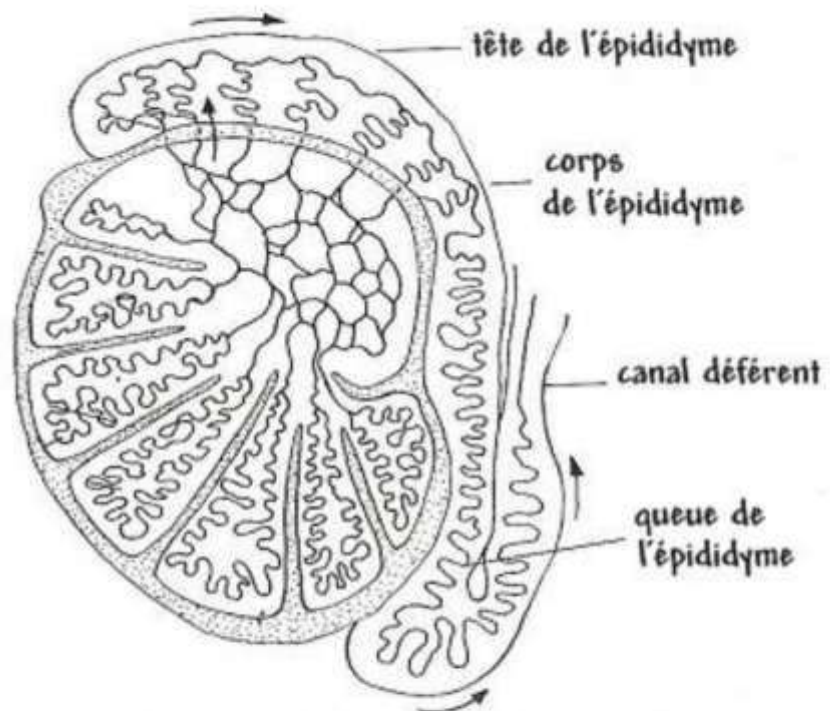
1. Spermatogenèse

La spermatogenèse est en fait la formation des gamètes mâles ou spermatozoïdes. Elle a lieu au niveau des parois tubes séminifères dans les testicules et les spermatozoïdes formés passent par les canaux d'efférents et arrivent dans l'épididyme, rejoignent le canal déférent jusqu'à la prostate. Les testicules, glandes sexuelles masculines, sont le siège de la spermatogénèse ainsi que de la synthèse de l'hormone mâle, la testostérone.

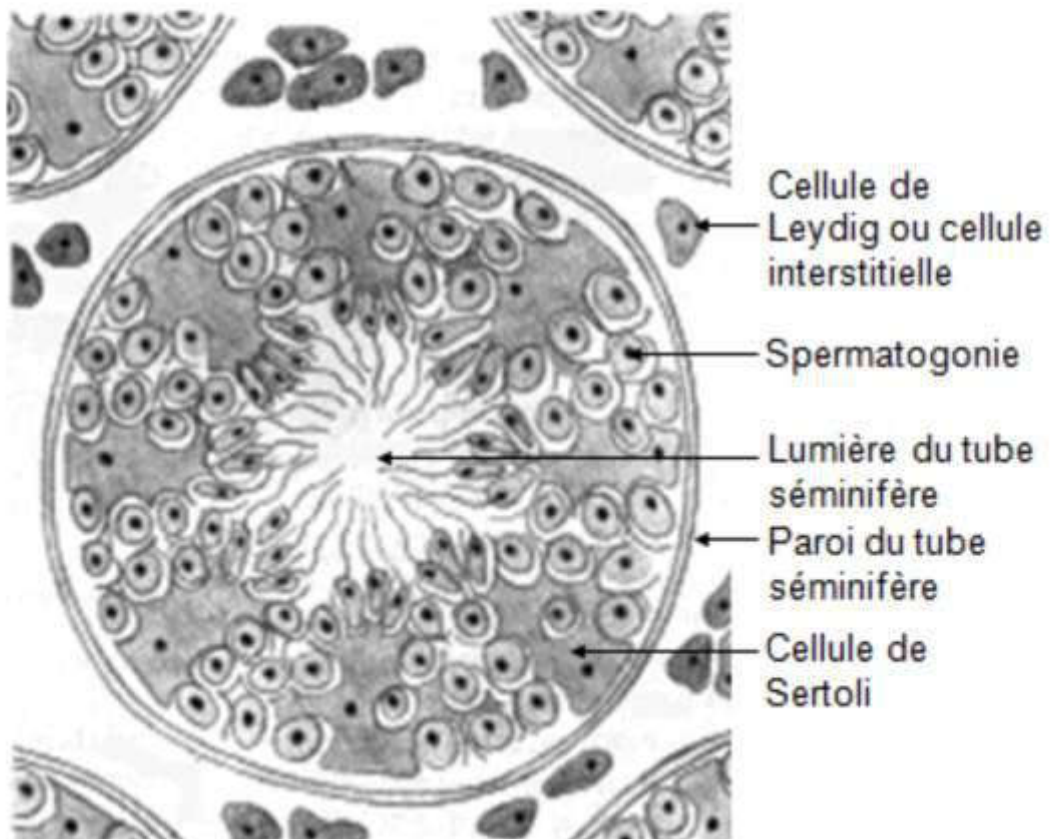
1.1. Appareil reproducteur mâle



Coupe de l'appareil génital mâle



Coupe longitudinale d'un testicule d'après Reece W.



Coupe transversale d'un tube séminifère

1.2. Différentes phases de la spermatogenèse

La spermatogenèse commence dès la vie fœtale et elle est **ininterrompue** jusqu'à la mort de l'individu. Elle se passe en quatre (4) étapes :

Phase de multiplication

Elle se caractérise par des mitoses ordinaires et les cellules obtenues s'appellent **spermatogonies** à $2n$ chromosomes (Cellules diploïdes).

Phase d'accroissement

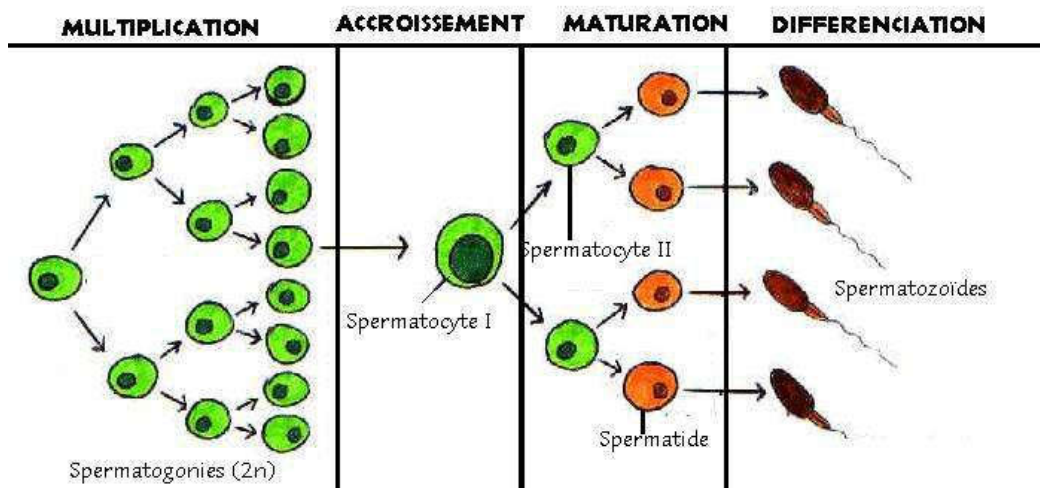
Source: <https://www.researchgate.net/publication/309111111>

Phase de maturation

Le spermatocyte I subit la division réductionnelle (première étape de la méiose). On passe alors d'une cellule diploïde (possédant $2n$ chromosomes à deux chromatides) à deux cellules haploïdes (possédant n chromosomes à deux chromatides) appelées **spermatocytes II**. Chacun des spermatocytes II subit alors la division équationnelle et on aboutit à quatre cellules appelées **spermatides** à n chromosomes.

Phase de différenciation

Cette phase est caractérisée par la différenciation des spermatides en spermatozoïdes en prenant une forme allongée.



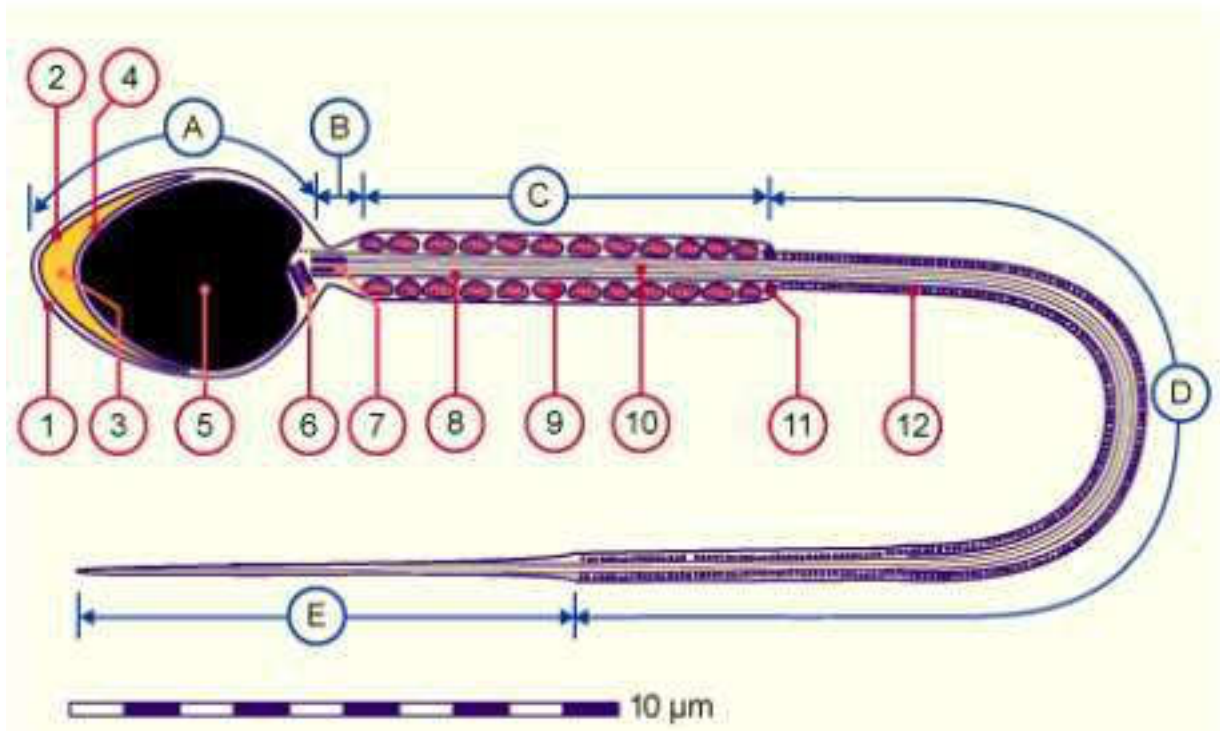


Schéma détaillé d'un spermatozoïde

- | | |
|---|------------------------|
| 1. Membrane plasmique | A. Tête |
| 2. Membrane acrosomiale externe | B. Collet |
| 3. Acrosome | C. Pièce intermédiaire |
| 4. Membrane acrosomiale interne | D. Pièce principale |
| 5. Noyau | E. Pièce terminale |
| Centriole proximal | |
| Restes du centriole distal | |
| Faisceaux longitudinaux extérieurs denses | |
| Mitochondrie | |
| Axonème | |
| Annulus | |
| Fibres denses externes | |

Chaque constituant à son rôle, tels que :

Le noyau détient l'IG

L'acrosome renferme une enzyme appelée « hydrolase »

Les centrioles sont les moteurs du flagelle

L'hélice mitochondriale fournit l'énergie nécessaire au déplacement du spermatozoïde.

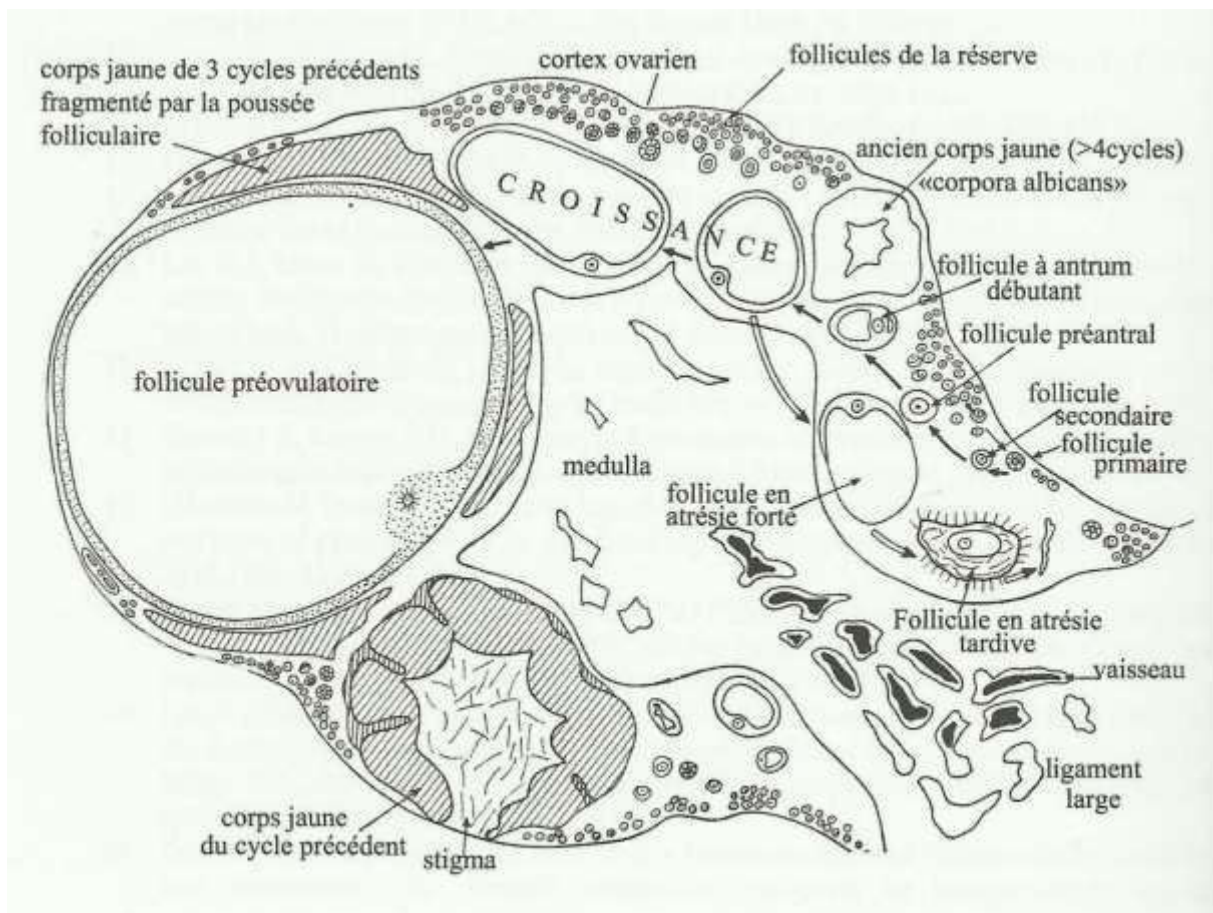
Le flagelle assure le déplacement

2. Ovogenèse

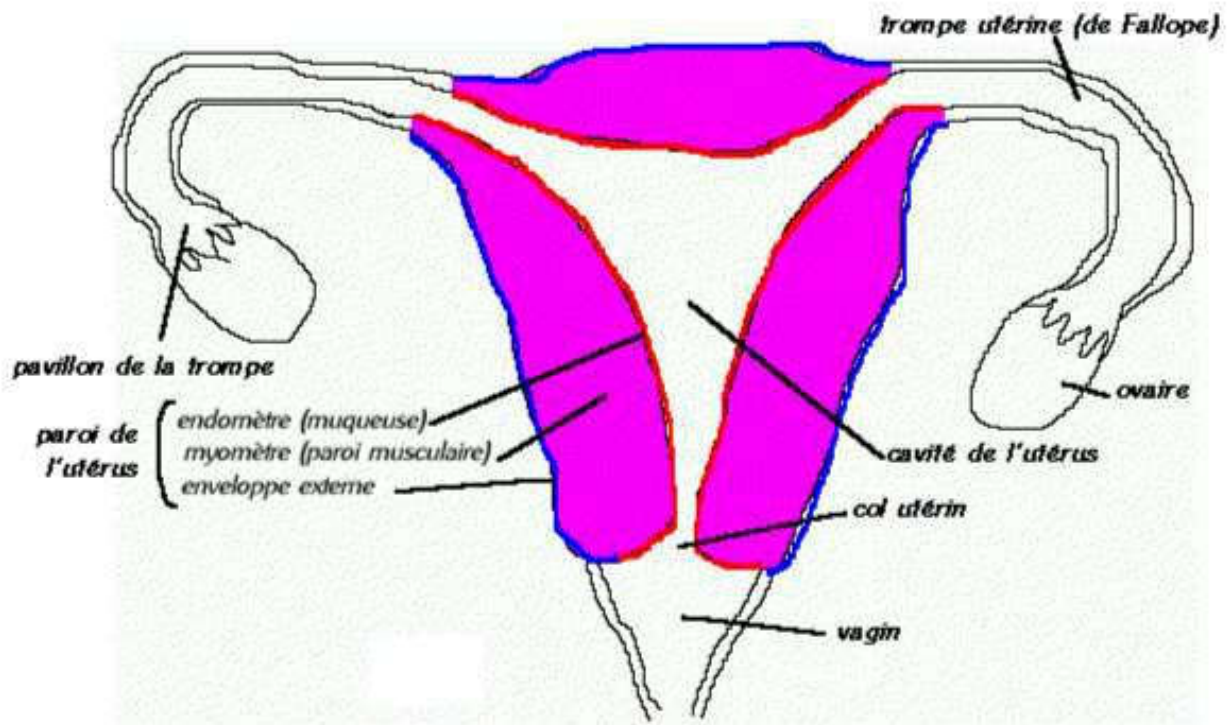
L'ovogenèse est la formation des gamètes femelles ou ovules. Tout comme le testicule chez l'homme, les glandes sexuelles de la femme, les ovaires, sont à la fois le siège de la synthèse des hormones sexuelles (œstrogènes et progestérone) et de la formation des ovules.

L'ovaire est une glande de 5 cm de long, située dans le petit bassin. Les cellules reproductrices sont localisées dans la **zone corticale de l'ovaire** (Lieu de déroulement de l'ovogenèse), chacune entourée de cellules d'un autre type, les cellules folliculaires, qui forment une coque. L'ensemble forme un follicule.

2.1. Appareil reproducteur femelle



Coupe théorique de l'ovaire



Coupe longitudinale de l'appareil génitale femelle

2.2. Différentes phases

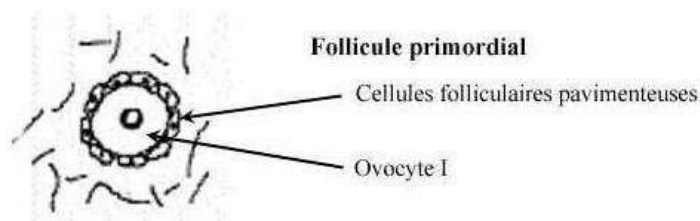
L'ovogenèse s'effectue en trois étapes :

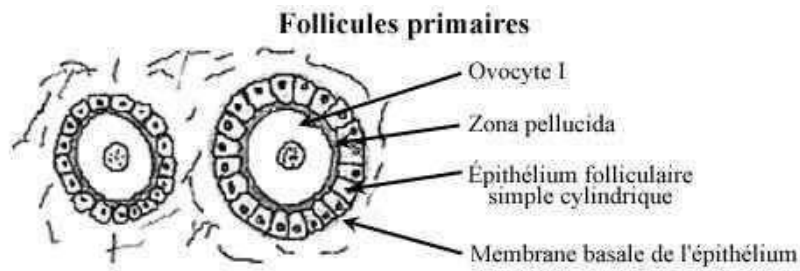
Phase de multiplication

Elle commence dès la vie fœtale. Une cellule souche se multiplie activement et donne des **ovogonies** (à $2n$ chromosomes). Un fœtus de 5 mois renferme dans son ovaire 5 millions d'ovogonies.

Phase d'accroissement

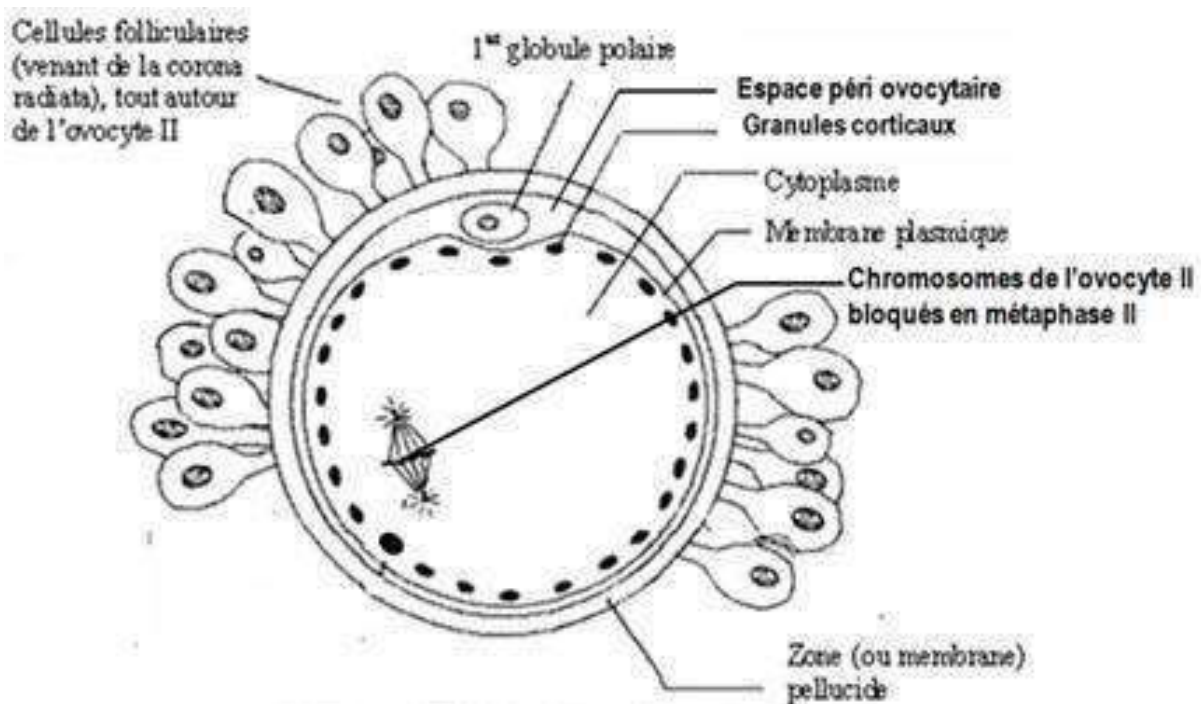
Encore pendant la vie fœtale, chaque ovogonie augmente de volume en accumulant des réserves et donne une cellule appelée **ovocyte I** (à $2n$ chromosomes) qui est entouré par quelques cellules folliculaires. L'ensemble s'appelle **follicule primordial**.



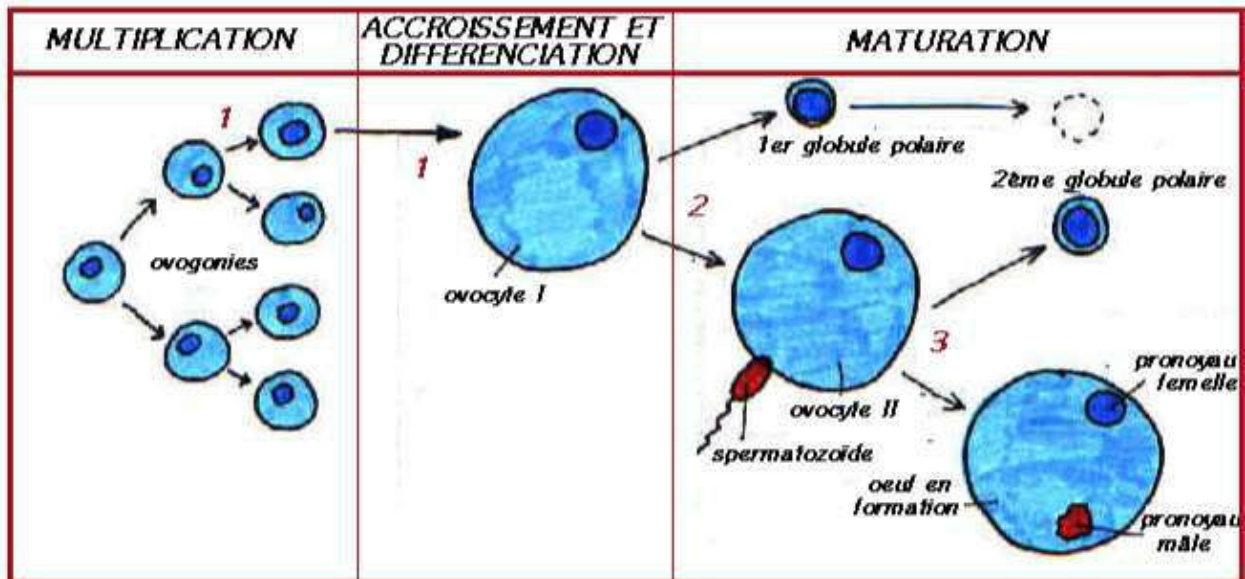


Phase de maturation

L'ovocyte I entre tout de suite en division réductionnelle mais bloqué en **Prophase I**. Elle reprend son cours normal **à la puberté** (20h avant l'ovulation). On obtient **2 cellules** de tailles inégales : la plus grande s'appelle **ovocyte II** (à n chromosomes) et la plus petite **1^{er} Globule polaire** (à n chromosomes). L'ovocyte II entre tout de suite en division équationnelle mais se trouve **bloqué en métaphase II**. C'est au stade d'**ovocyte II bloqué en métaphase II** que le gamète femelle sort de l'ovaire au moment de l'ovulation. La division équationnelle ne s'achève que si l'ovocyte II rencontre un spermatozoïde. On obtient ainsi 2 cellules de tailles inégales : un ovotide et 2^e Globule polaire.



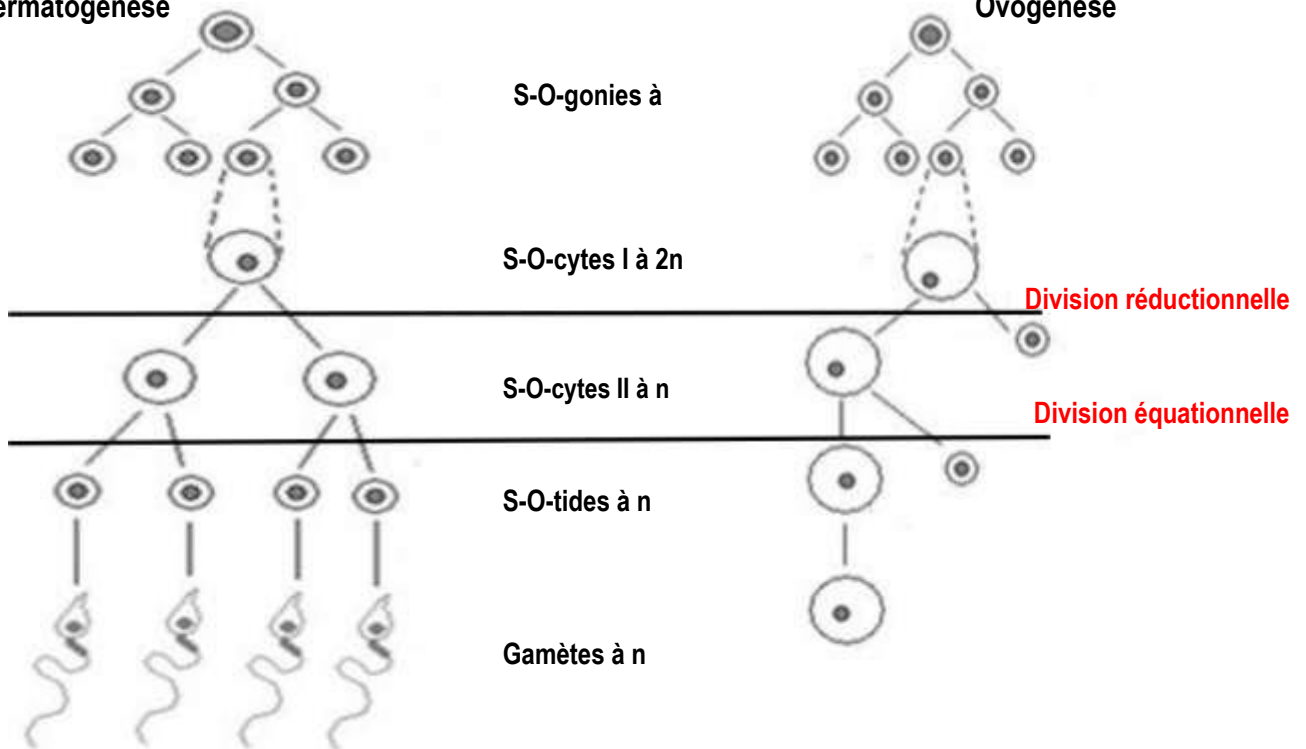
Ovocyte II bloqué en Métaphase II



3. Comparaison de la spermatogenèse et de l'ovogenèse

Spermatogenèse

Ovogenèse



4. Comparaison d'un gamète mâle et d'un gamète femelle

Caractéristiques	Spermatozoïde	Ovule
Forme	Allongée	arrondie
Taille	Petite	Volumineuse
Nombre	Elevé	Réduit
Activité	Mobile (actif)	Immobile (passive)

C-CYCLES SEXUELS CHEZ LA FEMME

L'appareil génital de la femme est caractérisé par un fonctionnement cyclique. Les cycles menstruels (qui débutent par la menstruation) se répètent de façon continue de la puberté

la ménopause. Le premier jour de la règle correspond au premier jour du cycle. Le premier jour de la règle suivante correspond au dernier jour du cycle et le début du cycle suivant. Le cycle sexuel est divisé en deux parties par l'ovulation :

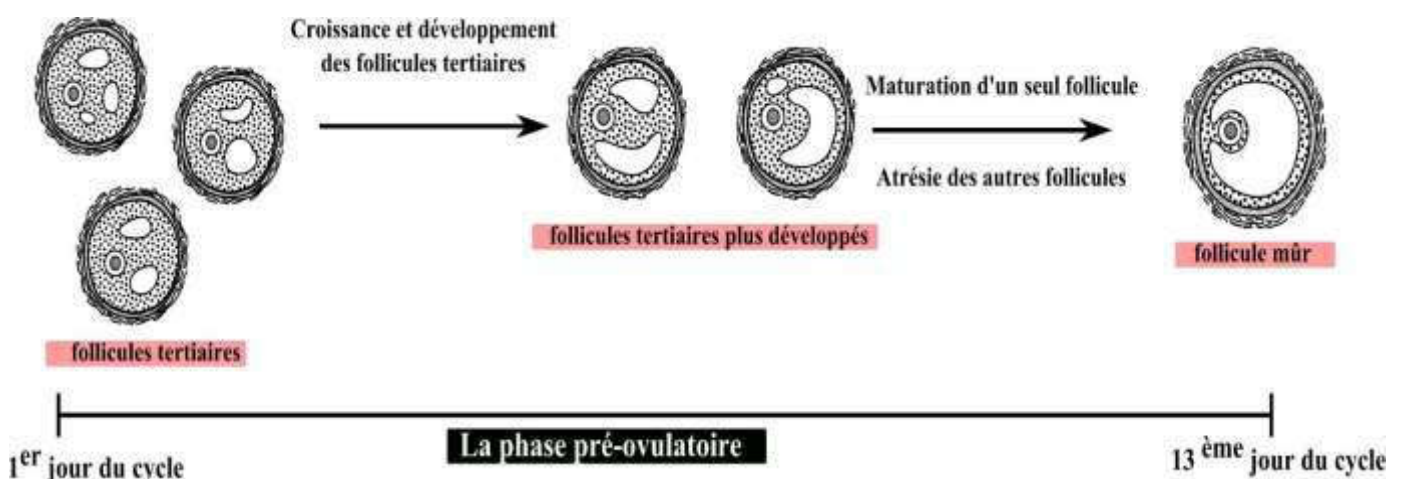
Phase folliculaire : c'est la première partie du cycle. Sa durée varie de 12 à 18 jours.

Phase lutéinique : c'est la deuxième partie du cycle. Sa durée est fixe de 14 jours. **Cycle ovarien**

Le cycle ovarien est l'ensemble de transformations structurale et fonctionnelle qui affectent l'ovaire de manière cyclique. Le cycle ovarien comprend trois phases: Une phase folliculaire ou pré-ovulatoire, une phase ovulatoire et une phase lutéale ou post-ovulatoire.

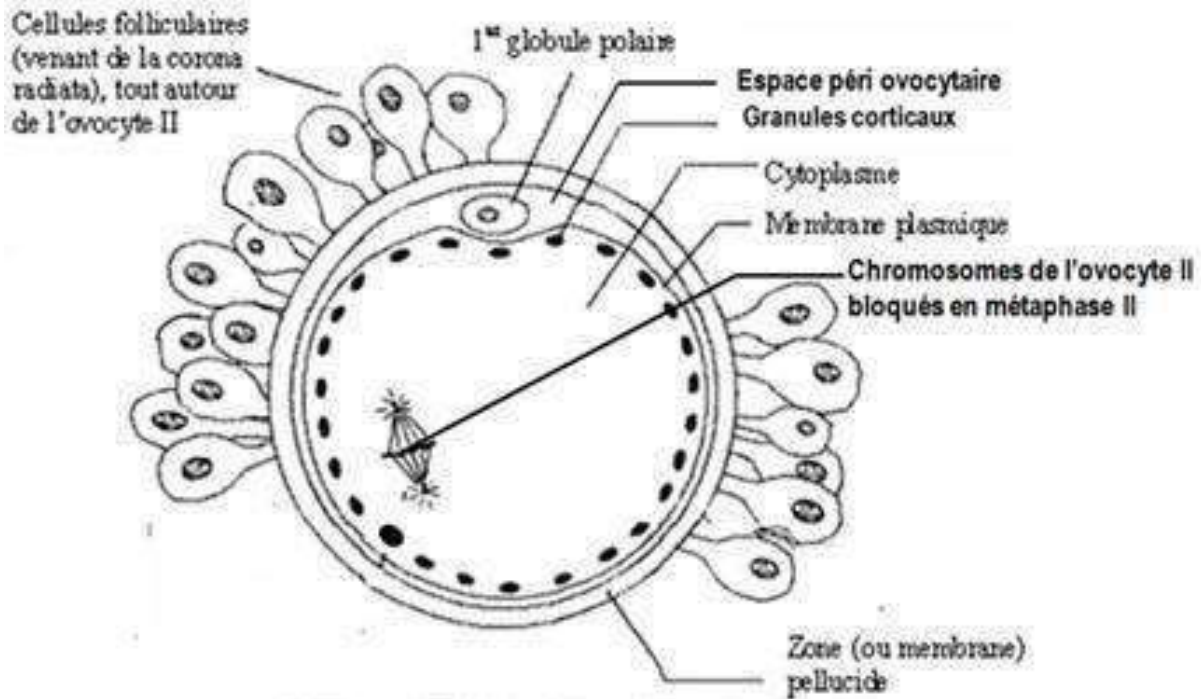
Phase folliculaire ou phase pré-ovulatoire

La phase folliculaire est caractérisée par le développement et maturation des follicules. Un follicule primordial se transforme ainsi en follicule primaire. Ce dernier se développe en follicule secondaire puis tertiaire puis cavitaire et en 14 jours aboutit à un follicule mûr qui explose en libérant l'ovocyte au moment de **l'ovulation** (Voir schéma d'interprétation des follicules).



Ovulation

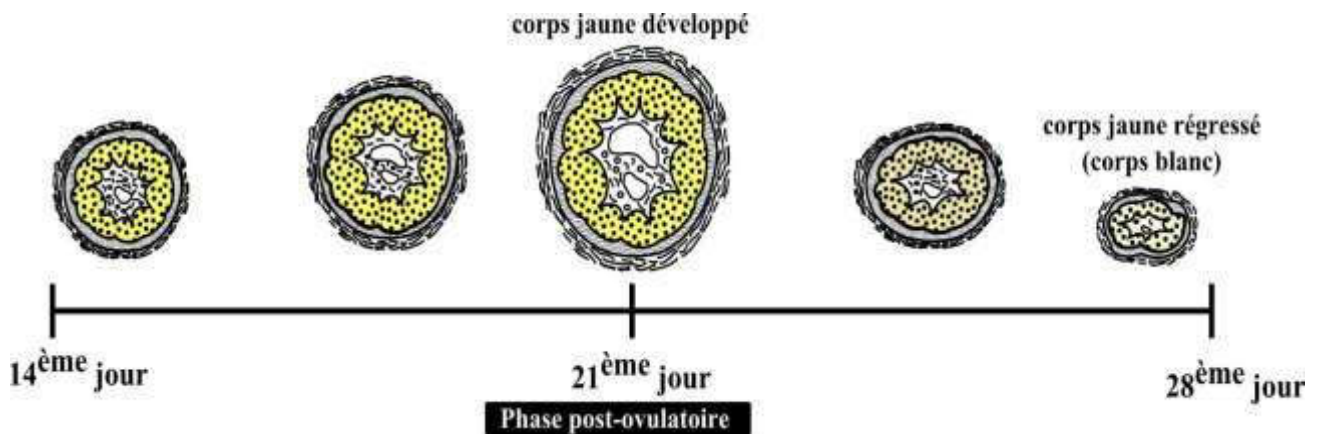
Le follicule mûr est rompu, l'ovocyte II bloqué en métaphase II est expulsé hors de l'ovaire. C'est l'ovulation (expulsion hors de l'ovaire de l'ovocyte II bloqué en métaphase II).



Ovocyte II bloqué en Métaphase II

Phase lutéinique

Le reste de follicule se charge de pigment jaune. L'ensemble s'appelle "corps jaune". La phase lutéinique est caractérisée par le développement et la régression du corps jaune qui devient un corps blanc qui disparaît.



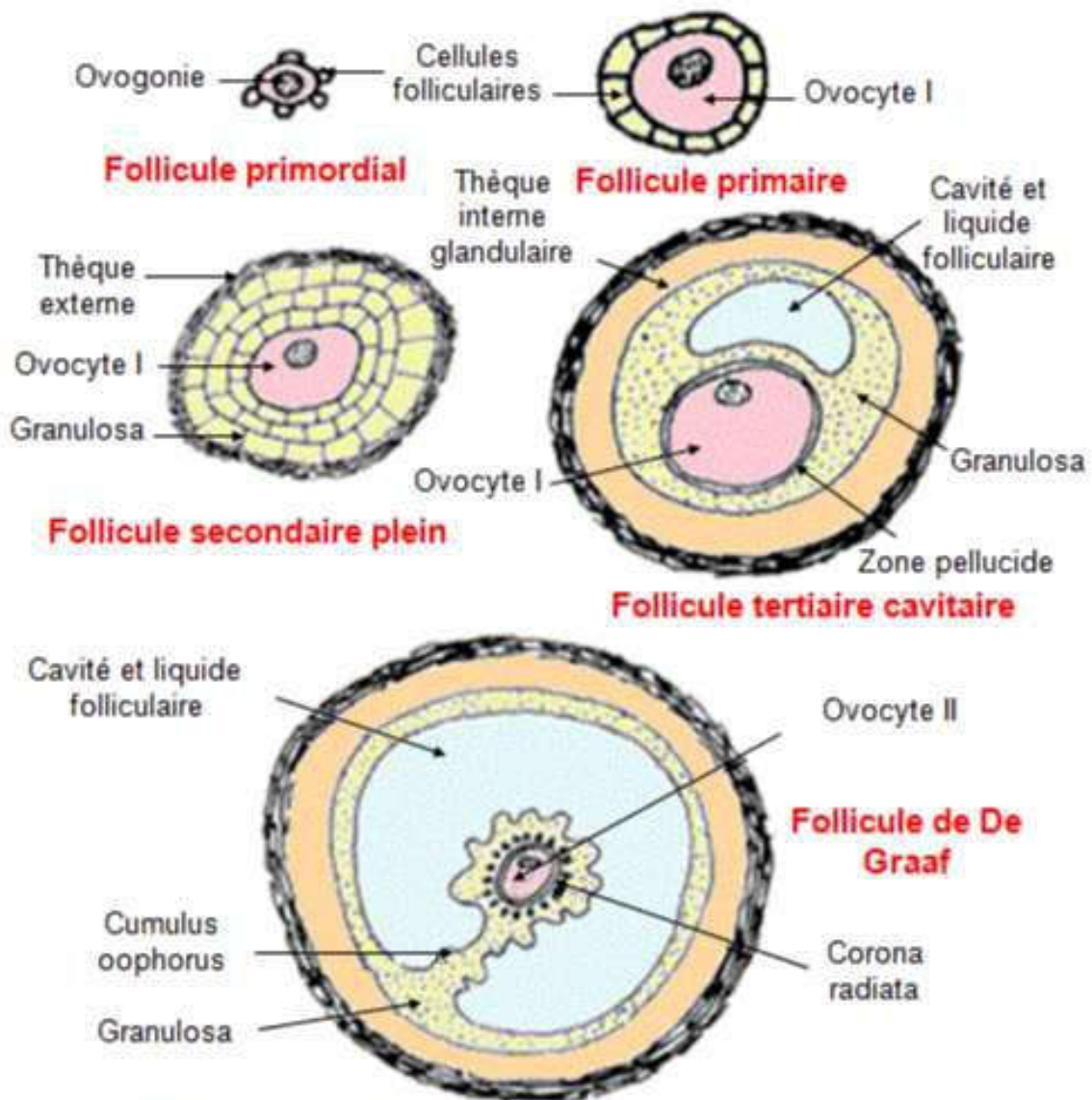


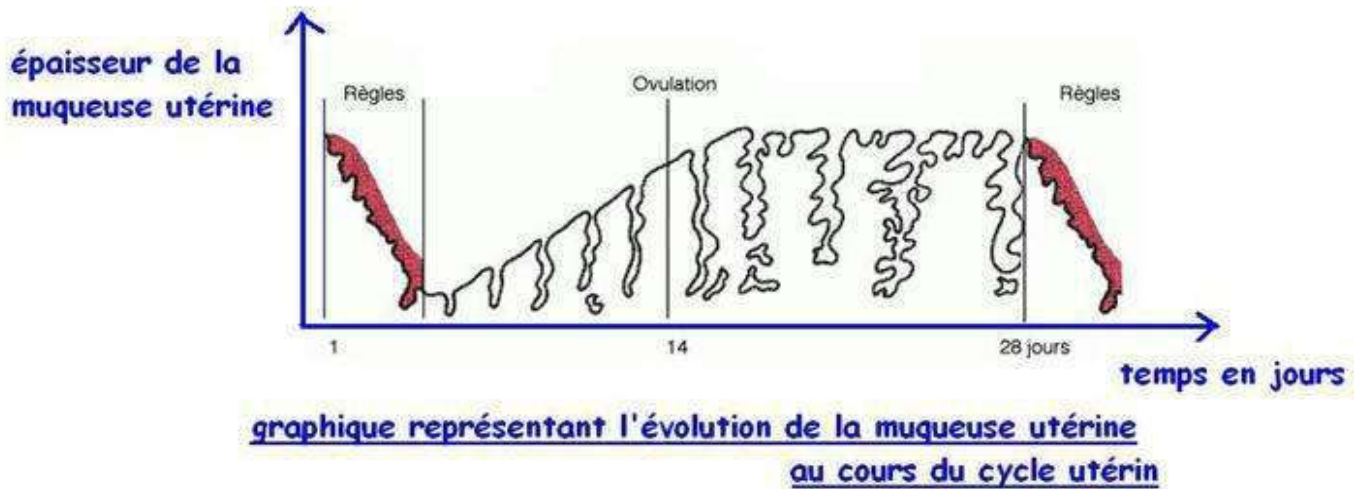
Schéma d'interprétation des follicules

Remarque : Si la femme est enceinte, le corps jaune ne régresse plus, c'est **un corps jaune persistant** ou **corps jaune de gestation**.

2. Cycle utérin

Le cycle utérin est l'ensemble des transformations structurales et fonctionnelles qui affectent l'endomètre et la glaire cervicale de manière cyclique.

2.1. Cycle de l'endomètre



Phase folliculaire

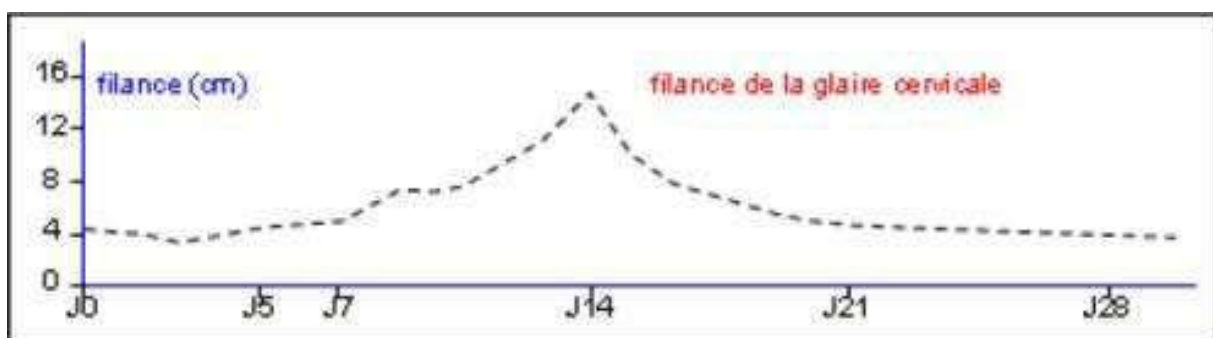
Elle est caractérisée par l'épaississement de la muqueuse utérine (endomètre) **Phase**

lutéinique

Arrivée à une certaine épaisseur, les vaisseaux sanguins de l'endomètre se prolifèrent et donne une structure appelée "dentelle utérine".

2.2. Cycle de la glaire cervicale

La glaire cervicale est un liquide transparent sécrété par le col utérin. Sa quantité, sa densité et son pH sont rythmés par le cycle sexuel.



Filance de la glaire cervicale au cours du cycle sexuel

La sécrétion de la glaire cervicale est abondante pendant la période ovulatoire. La maille de la fibre protéique habituellement serrée devient lâche pour faciliter la pénétration des spermatozoïdes dans la cavité utérine tandis que son pH basique favorise sa survie dans la voie génitale femelle.

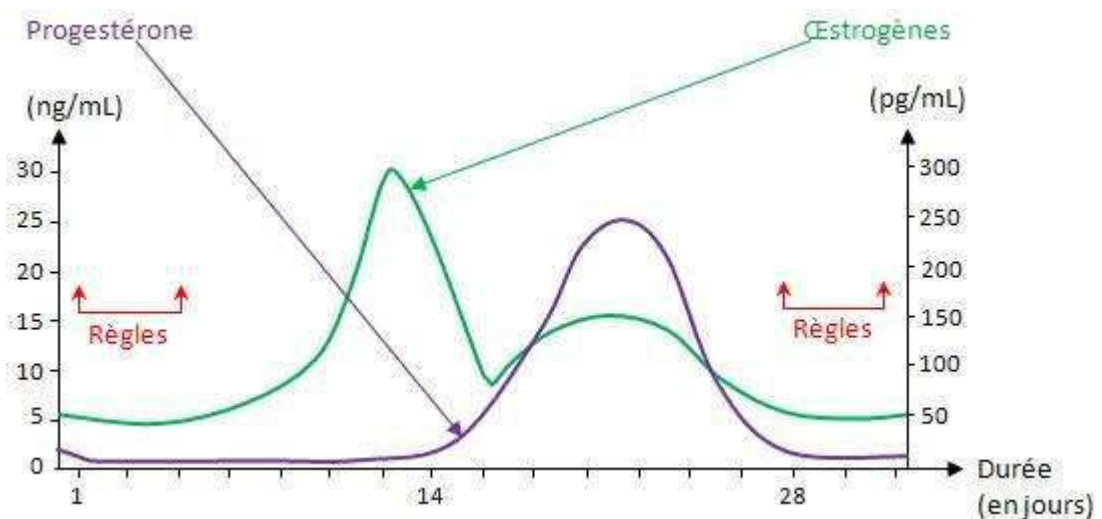
3. Cycle hormonal

Par définition, une hormone est une substance élaborée et sécrétée par un organe appelé glande endocrine, et qui agit à distance par voie sanguine sur un ou d'autres organes appelés organes cibles, entraînant une réaction spécifique.

3.1. Cycle des hormones ovariennes

L'ovaire assure une **double fonction** : la fabrication d'ovule (ovogenèse) et la sécrétion d'hormones ovariennes appelées **œstrogène** et **progestérone**.

La courbe suivante représente les variations de la quantité d'œstrogène et de progestérone en fonction de temps.



Evolution de la quantité des hormones ovariennes au cours du cycle

Phase folliculaire

La **thèque interne** et le **granulosa** des follicules sécrètent l'**œstrogène**. La sécrétion est maximale vers 24 à 36h avant l'ovulation.

Phase lutéinique

Après la formation du **corps jaune**, les **cellules lutéales** sécrètent la **progestérone** et le taux de ces 2 hormones chute à la fin du cycle.

3.2. Rôle de l'œstrogène et de progestérone

Période	Œstrogène	Progestérone
Avant la puberté	- Développement des seins - Acquisition de la morphologie féminine	
Après la puberté	- Stimule la sécrétion de la glaire cervicale - Digestion des lipides et protides - Stimule l'épaississement de l'endomètre	- Stimule la sécrétion de la glaire cervicale - Stimule la formation de la dentelle utérine - Développement de l'acinus ou des acini (glandes mammaires) - Maintient le silence utérin - Augmentation de la température du corps

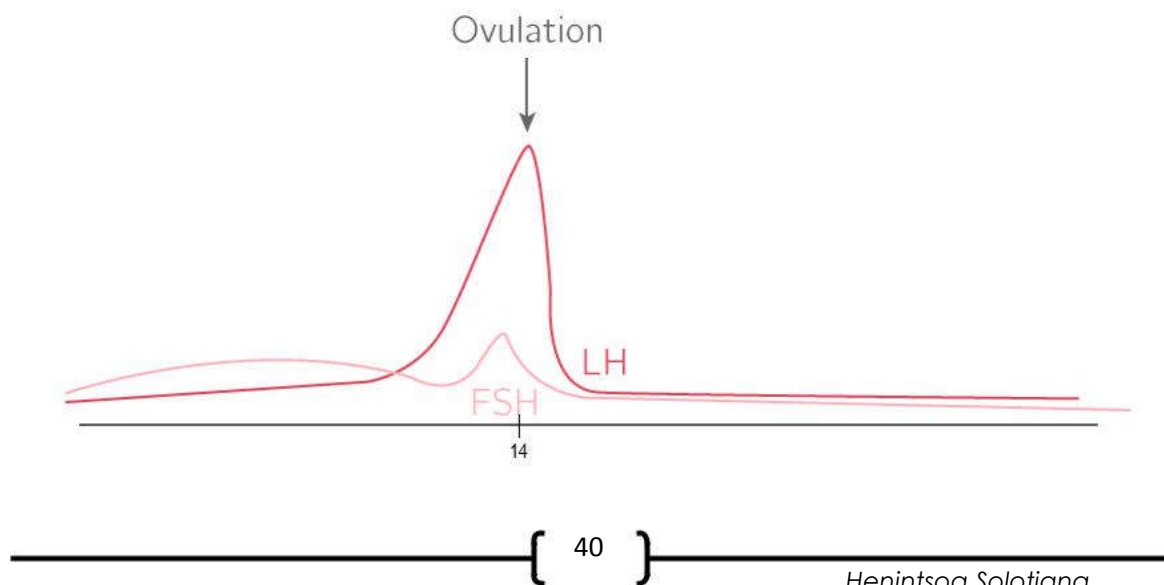
3.3. Hormones hypophysaires

L'**hypophyse** est une petite glande accrochée à la base du cerveau au niveau d'une zone appelée **hypothalamus** (HTH). Elle est constituée de deux parties, un lobe antérieur (LA) et un lobe postérieur (LP). Seul le lobe antérieur ou antéhypophyse a une activité dans le contrôle des cycles sexuels (L'**antéhypophyse** sécrète des hormones appelées "**gonadostimulines**" ou "**gonadotrophines**" qui stimulent les gonades). L'hypophyse produit deux hormones sexuelles :

FSH ou folliculo stimulating hormon (Hormone Folliculo-Stimulante) qui stimule le développement et la maturation des follicules ;

LH ou Luteinizing hormon (Hormone lutéinisante) qui déclenche l'ovulation et stimule la formation du corps jaune.

La courbe suivante représente la variation de la quantité de gonadotrophine en fonction de temps.



3.3.1. Commande hypothalamo-hypophysaire

Les différents organes qui interviennent dans la régulation des cycles sexuels communiquent entre eux par voie hormonale et qu'il y a plusieurs niveaux de contrôles : d'abord l'**hypothalamus** qui contrôle l'**hypophyse**, puis l'hypophyse qui contrôle les **ovaires** et enfin les ovaires qui contrôlent l'**utérus**.

La FSH intervient dans la maturation des follicules et stimule donc la sécrétion des œstrogènes ;

La LH déclenche l'ovulation grâce à un pic de sécrétion (ou **décharge ovulante**) en fin de phase folliculaire puis provoque la transformation du follicule rompu en corps jaune. Elle sécrète par la suite de la progestérone.

Ces sécrétions hypophysaires sont **pulsatiles**, mais la fréquence et l'amplitude des pulses varient au cours du cycle : à l'approche de la période ovulatoire, les pulses deviennent de plus en plus intenses et rapprochés : les taux sanguins de FSH et LH augmentent alors et on enregistre un pic de sécrétion (le pic de LH est nommé **décharge ovulante** car il déclenche l'ovulation).

3.3.1.1. Contrôle du cycle de l'utérus par l'ovaire

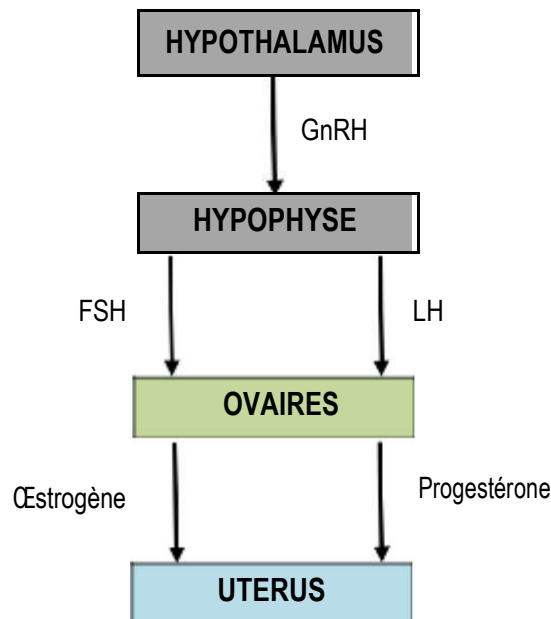
En **phase folliculaire**, juste après la menstruation, les œstrogènes ovariens stimulent la croissance de la muqueuse utérine. Les glandes se développent mais restent droites.

En **phase lutéinique**, la progestérone associée aux œstrogènes stimule la vascularisation de la muqueuse utérine et la spiralisation des glandes. La chute des sécrétions d'œstrogènes et de progestérone qui accompagne la régression du corps jaune en fin de cycle entraîne la menstruation au début du cycle suivant.

3.3.1.2. Contrôle hypothalamo-hypophysaire du cycle ovarien

L'hypothalamus sécrète la gonadolibérine (GnRH ou Gonadotropin-releasing hormone) qui stimule la sécrétion des gonadostimulines hypophysaires (FSH et LH). Ces hormones hypophysaires stimulent à leur tour la croissance des follicules et du corps jaune. C'est le pic de sécrétion de LH vers le milieu du cycle qui déclenche l'ovulation. En fin de phase lutéinique, la concentration des gonadostimulines hypophysaires est insuffisante pour maintenir le corps

jaune. La régression du corps jaune entraîne une baisse de sécrétion des hormones sexuelles. C'est ce qui déclenche la menstruation au début du cycle suivant.



3.3.2. Rétrocontrôle du fonctionnement de l'hypophyse par l'ovaire

L'hypophyse contrôle les ovaires, mais en retour les ovaires contrôlent aussi l'hypophyse : ce mécanisme est appelé **rétrocontrôle ou feed-back** en anglais. Le rétrocontrôle est **négatif** lorsqu'il a un **effet inhibiteur** alors qu'il est **positif** si son **effet est stimulateur**.

Principe des rétrocontrôles ovariens :

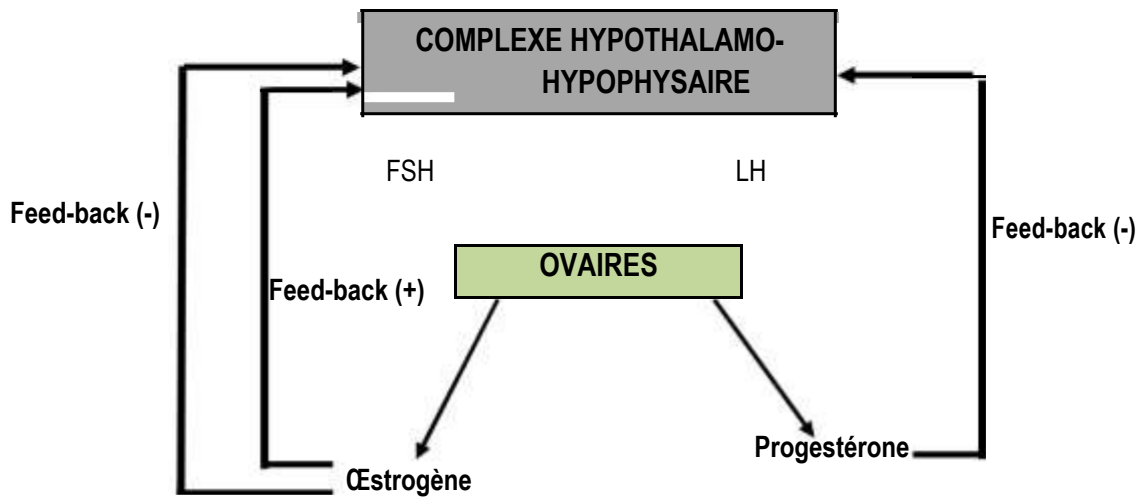
Au cours de la première phase du cycle, l'hypophyse, avec la FSH provoque la croissance du follicule ovarien. Ce follicule, en grossissant, secrète de plus en plus d'œstrogènes qui vont alors agir en retour sur l'hypophyse et ainsi freiner la synthèse de FSH et de LH : c'est le **rétrocontrôle négatif des œstrogènes** sur le complexe hypothalamo-hypophysaire.

Vers le 13ème jour du cycle, le follicule est mûr et libère donc une grande quantité d'œstrogènes. Or, à forte concentration, les œstrogènes inversent leur effet sur l'hypophyse et la stimulent : c'est le **rétrocontrôle positif des œstrogènes** qui provoque alors le **pic de LH** du 14ème jour qui lui-même est responsable de l'**ovulation**.

Après l'ovulation, le follicule n'existe plus et donc la production d'œstrogènes diminue. Mais le corps jaune est alors stimulé par la LH et se met à produire de la progestérone.

Cette seconde hormone ovarienne agit elle aussi en rétrocontrôle négatif sur

l'hypophyse et permet de maintenir les taux de FSH et de LH assez bas au cours de la deuxième phase du cycle : c'est le **rétrocontrôle négatif par la progestérone**.



Remarque :

Ablation : action d'enlever un organe ;

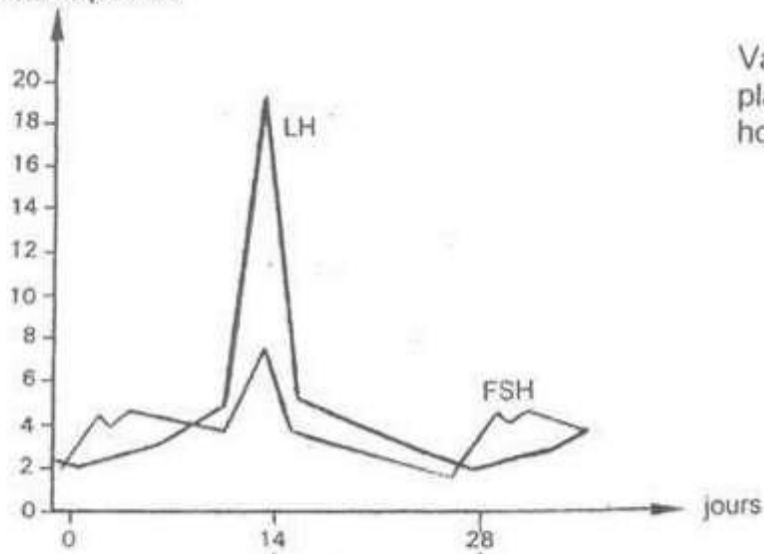
-éctomie : action d'enlever un organe (exemple : ovariectomie = action d'enlever un ovaire) ;

Castration : action d'enlever des gonades ;

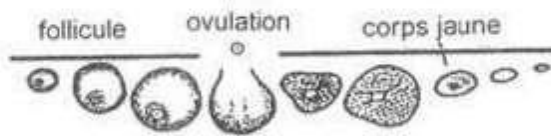
Hypertrophie : augmentation de volume d'un organe qui travaille beaucoup ;

Atrophie : diminution de volume d'un organe qui ne travaille pas.

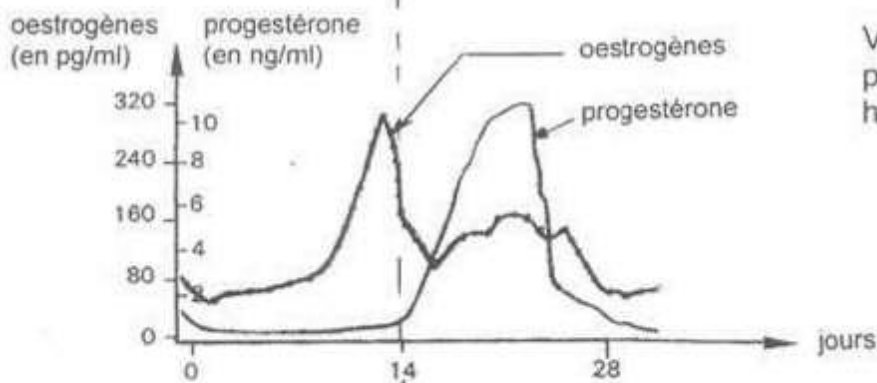
milliunités internationales
par millilitre de plasma



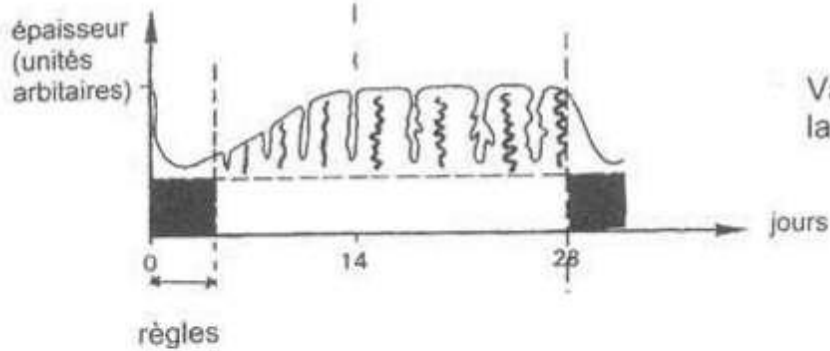
Variations des taux
plasmatiques en
hormones hypophysaires



Évolution du follicule
ovarien



Variations des taux
plasmatiques en
hormones ovariennes



Variations au niveau de
la muqueuse utérine

D- FERTILITÉ MASCULINE

1. Fonction endocrine du testicule

Outre la production des spermatozoïdes, le testicule sécrète une hormone sexuelle ayant un rôle important sur les caractères sexuels secondaires (exemple : voix grave, forte pilosité, virilité...). Cette hormone est la testostérone libérée dans le sang et agissant sur les cellules possédant des récepteurs qui lui sont spécifiques :

Effet sur les caractères secondaires,
Hormone indispensable à la production des spermatozoïdes (spermatogenèse)
; Hormone indispensable à la reproduction.

Le support histologique de la testostérone est **cellules de leydig** ou **cellules interstitielles**.

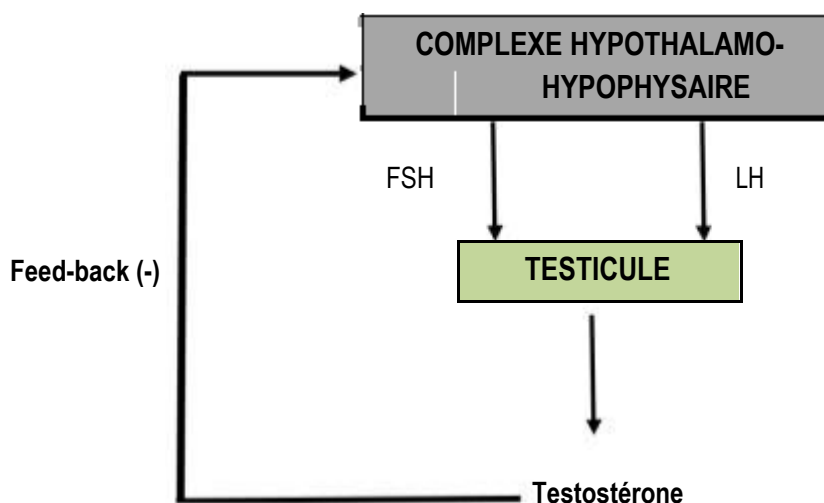
2. Contrôle du fonctionnement de testicule par l'hypophyse

L'hypophyse chez l'homme sécrète aussi des gonadotrophines qui stimulent les testicules :

FHS : stimule la production des spermatozoïdes (spermatogenèse) ;
LH : stimule la sécrétion de l'hormone masculine appelée testostérone.

Rétrocontrôle du fonctionnement de l'hypophyse par le testicule

Lorsque le taux de testostérone dans le sang dépasse la valeur normale, il envoie un effet inhibiteur vers l'hypophyse qui freine la sécrétion de LH. C'est le feedback négatif



E- FÉCONDATION

La fécondation proprement dite est l'ensemble des phénomènes qui résultent de la rencontre du gamète mâle (spermatozoïde) avec le gamète femelle (ovocyte). Cette rencontre est précédée de transformations cellulaires des cellules de la lignée germinale (Gamétogenèse) et d'un long cheminement des gamètes dans les voies génitales. Ces événements, qui conditionnent la fécondation, sont décrits avant ceux de la fusion cellulaire à l'origine de la formation de l'œuf ou zygote.

1. Phénomène précédant la fécondation

Avant la rencontre des gamètes, indispensable à la survenue de la fécondation, les spermatozoïdes ont un **long trajet** à parcourir depuis la lumière des tubes séminifères. Pendant ce transit des mécanismes essentiels interviennent qui conditionnent la fécondation.

Chez l'homme, la production des spermatozoïdes est continue pendant toute la période d'activité génitale. A partir du **testicule**, les spermatozoïdes transitent dans les voies génitales (**épididyme, canal déférent canal éjaculateur et urètre**). Au cours de ce trajet, ils se mélangent aux sécrétions des glandes annexes (**vésicules séminales et prostate**) l'ensemble constituant le sperme. Pendant ce trajet les spermatozoïdes acquièrent leur mobilité, mais ils sont rendus inaptes à la fécondation au cours de leur transit épididymaire. Au décours du rapport sexuel, au moment de l'éjaculation, 2 à 5 cm³ de sperme sont déposés dans les voies génitales de la femme soit 100 à 200 millions de spermatozoïdes, dont une partie à proximité de l'orifice externe du col de l'utérus.

Chez la femme, **au niveau du col** : quelques jours avant l'ovulation, les glandes cervicales sécrètent une glaire cervicale muqueuse. Cette glaire protège les spermatozoïdes situés à l'orifice externe du col de l'acidité vaginale et facilite la migration des spermatozoïdes qui se déplacent du fait de leur mobilité propre (flagelle). La migration sera d'autant facilitée que la glaire aura une viscosité faible (richesse en eau) et un pH alcalin. **Dans la cavité utérine**, les spermatozoïdes qui ont franchi le canal cervical se déplacent à la surface de l'endomètre dans le mucus sécrété par les glandes endométriales. C'est pendant ce transit utérin que les spermatozoïdes acquièrent leur propriété fécondante.

2. Rencontre des gamètes

Les spermatozoïdes sont déposés au fond du vagin pendant le rapport sexuel. Les gamètes seulement peuvent pénétrer dans la cavité utérine. Les _ sont retenus par la glaire cervicale (ceux qui présentent des anomalies et immobiles). Les spermatozoïdes montent dans la cavité utérine par :

Le battement des flagelles ;

La contraction de la voie génitale femelle pendant l'orgasme ;

La rencontre des gamètes se fait dans les tiers supérieur de la trompe.

La fécondation n'a pas lieu que sous les conditions suivantes :

Pour le gamète mâle : le spermatozoïde doit être capable. La capacitation est un changement de la structure de la membrane plasmique du spermatozoïde pour qu'elle puisse libérer l'enzyme hydrolase contenue dans l'acrosome. La capacitation est effectuée par la sécrétion de la voie génitale femelle.

Pour le gamète femelle : son noyau doit être bloqué en métaphase II. Il n'est pas fécondable que 12 à 24h après l'ovulation.

Pénétration d'un spermatozoïde

Un spermatozoïde seulement peut pénétrer dans l'ovocyte. La pénétration du spermatozoïde provoque le réveil physiologique de l'ovule :

Augmentation de l'intensité respiratoire ;

Achèvement de la division équationnelle et on obtient un ovotide et un 2^{ème} globule polaire ;

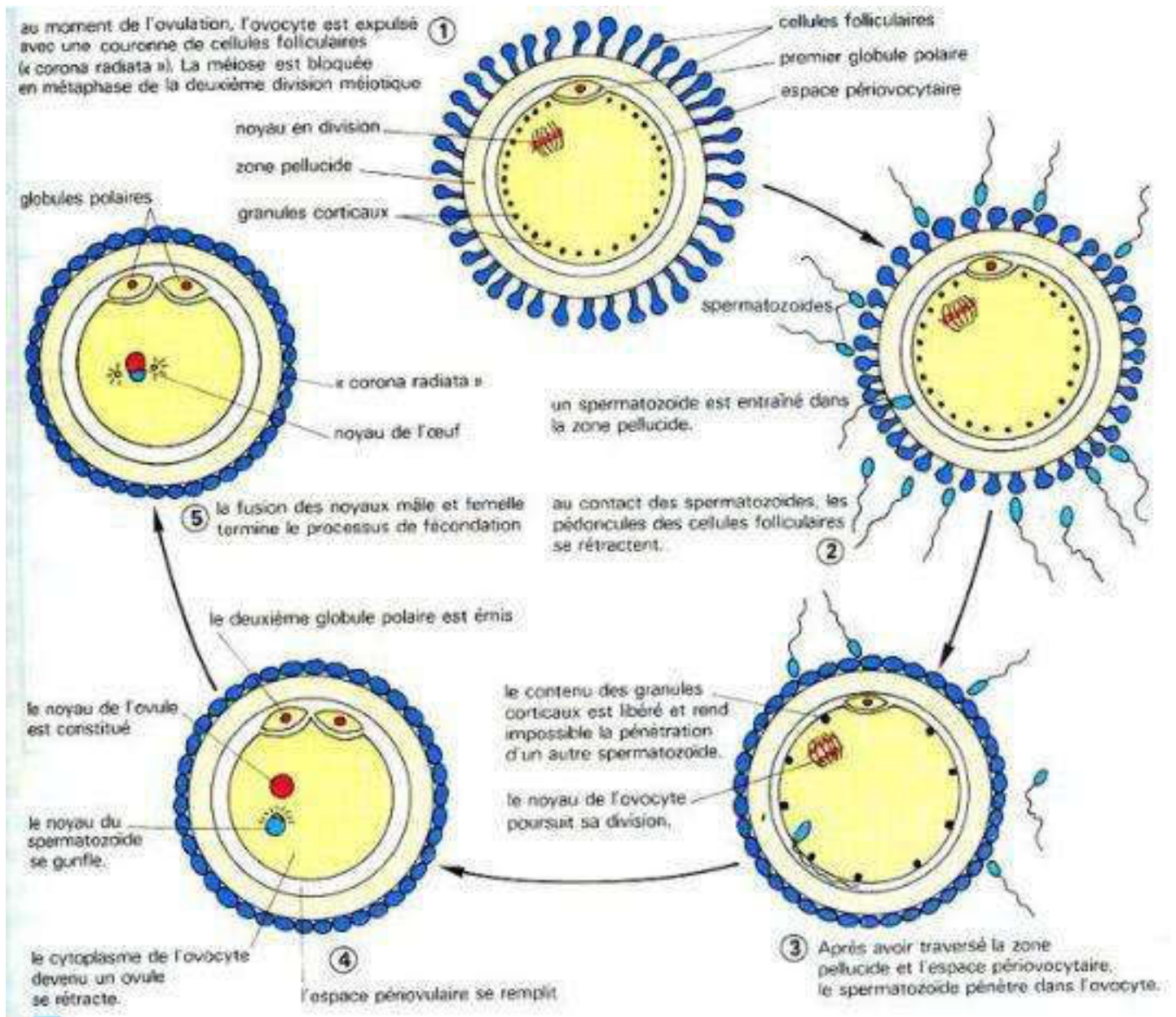
Formation d'une membrane épaisse : la membrane de fécondation qui empêche la polyspermie.

Formation des pro-noyaux

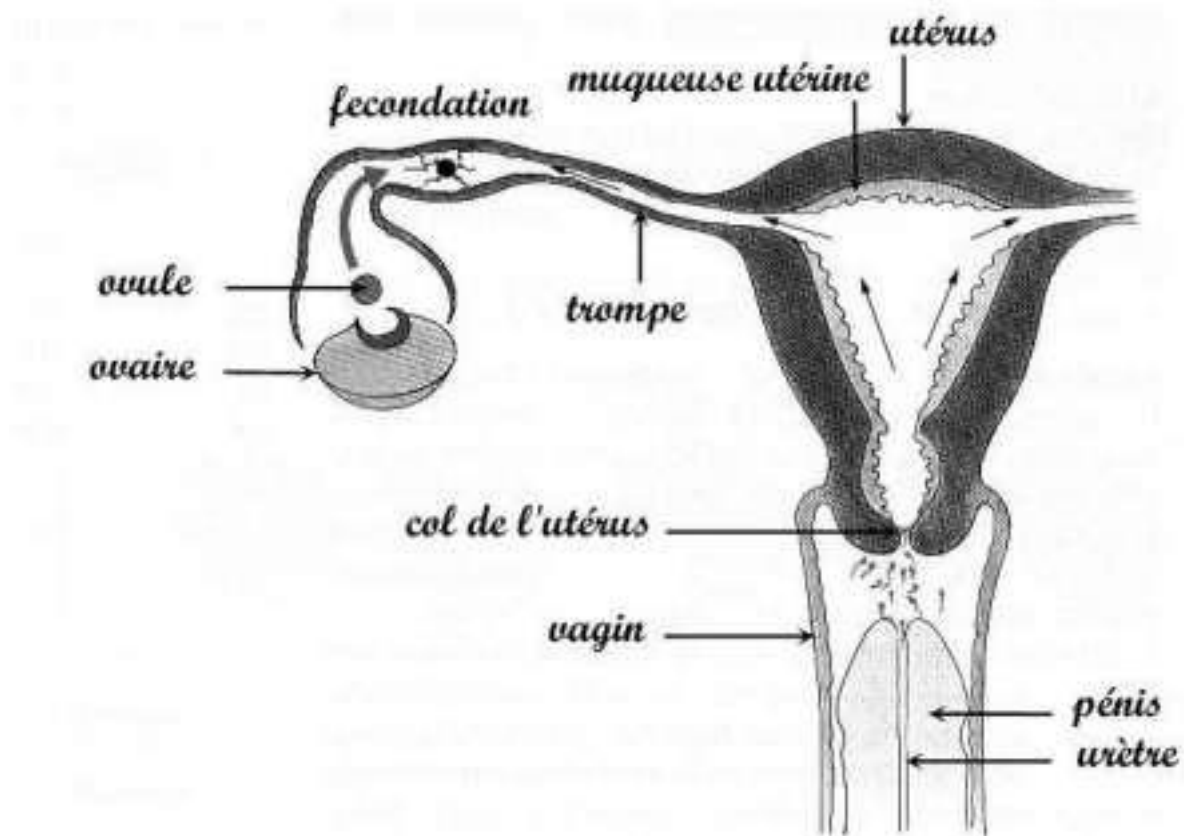
La membrane plasmique du spermatozoïde disparaît, son noyau se gonfle, les deux centrioles s'entourent des fibres rayonnantes (aster). L'ensemble du noyau et des asters est appelé **pro noyau mâle**. Le noyau de l'ovoïde se gonfle aussi et forme le pro noyau femelle.

5. Caryogamie

Les deux pro-noyaux mâle et femelle se rapprochent petit à petit et finissent par fusionner. La fusion des deux pro-noyaux est appelée caryogamie ou amphimixie. On obtient à la fin une cellule à $2n$ chromosome (n provient du pro-noyau mâle et n provient du pro-noyau femelle) appelée œuf ou zygote. Tout de suite après sa formation, la cellule œuf subit des mitoses successives pour donner un embryon.



Étapes de la fécondation



Parcours des spermatozoïdes

Remarque :

Chez la femme : la fécondation s'effectue dans le tiers supérieur de la trompe. Elle est interne.

Vrais jumeaux : obtenus à partir du développement d'un seul œuf.

Faux jumeaux : acquisition du pouvoir fécondant des spermatozoïdes (au niveau des voies génitales femelle)

Zygote à $2n = n$ chromosomes d'origine paternelle + n chromosomes d'origine maternelle.

F- GESTATION

La **gestation** est marquée par l'arrêt de la règle et blocage du cycle ovarien.

Migration de l'œuf

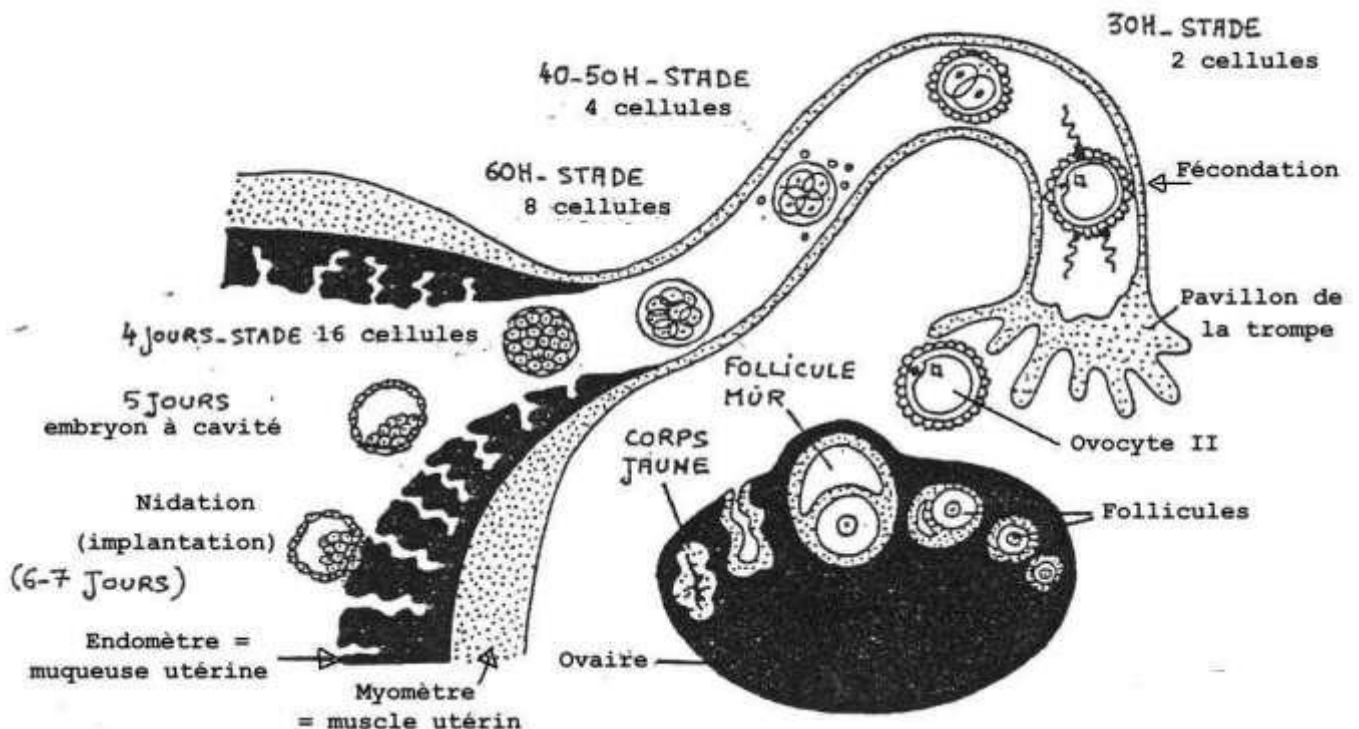
Après la fécondation, l'œuf subit des mitoses successives tout en migrant vers la cavité utérine. L'ensemble des divisions sans augmentation de volume s'appelle **segmentation** et les cellules obtenues sont des **blastomères**. Arrivé au stade de 64 cellules, l'œuf prend l'aspect d'une mûre. C'est le stade **morula**. Cette dernière subit une différenciation :

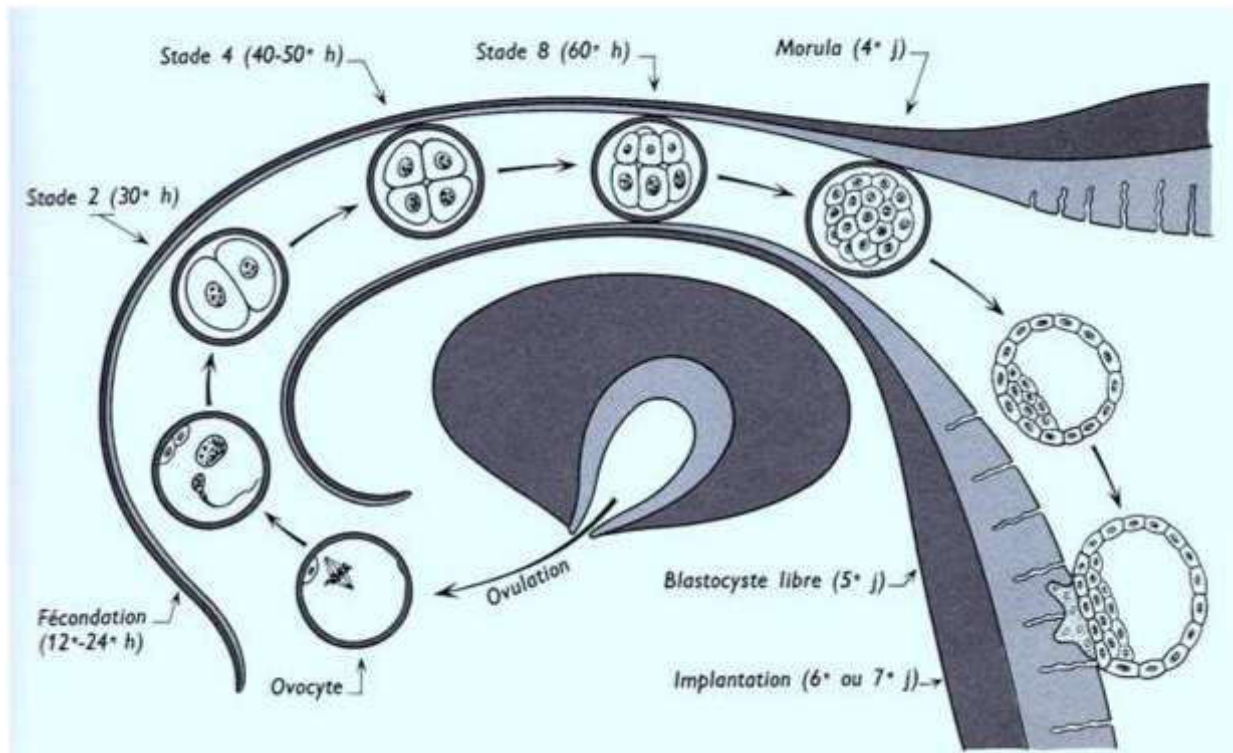
les cellules externes se différencient en **trophoblaste** ;

les cellules internes se rassemblent à un endroit pour former le **disque embryonnaire** ou **bouton embryonnaire** ;

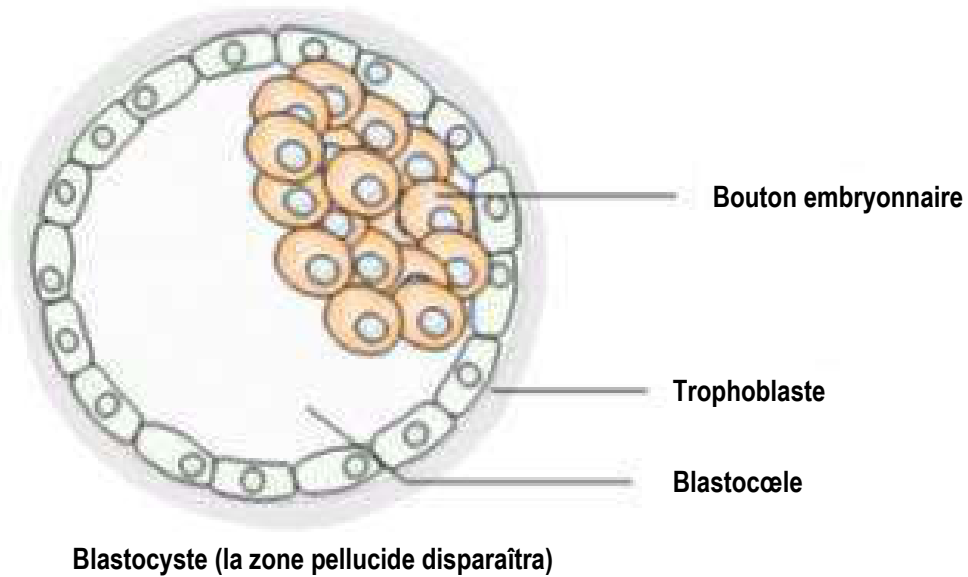
la cavité restante s'appelle **blastocœle**.

L'ensemble de cette structure forme le **blastocyste** qui sera libre dans un premier temps et qui se fixe sur une dentelle utérine au 7^{ème} jour après l'ovulation, c'est la **nidation**.





Migration de l'œuf : de l'ovulation à la nidation



La nidation est implantation de l'embryon dans l'endomètre. Elle est le point de départ de la gestation.

2. Mécanisme de la gestation

La gestation est l'ensemble du développement de l'**œuf** et le développement du **placenta** et des annexes.

2.1. Développement du placenta

Le placenta est un organe qui relie l'organisme maternel et le bébé par l'intermédiaire du cordon ombilical. Il se forme à partir du trophoblaste qui s'enracine au niveau de l'endomètre.

Le placenta en tant qu'organe de relation, Il joue le rôle :

d'un **organe d'échange** : il échange des nutriments et des déchets, l'O₂ et le CO₂.

d'un **organe de barrière** : il empêche le passage de certains nutriments et des microbes. Il laisse passer les virus, la nicotine et l'alcool).

endocrine : Il secrète une hormone spéciale **HCG** (Hormone Chorionique Gonadotrophine). Durant les 3 premiers mois de gestation. L'HCG est équivalent de LH hypophysaire qui stimule la formation du corps jaune dans l'ovaire. Lorsque le placenta est bien formé (pendant les 6 derniers mois) c'est lui-même qui secrète la progestérone pour maintenir le silence utérin.

2.2. Développement de l'œuf

Le développement de l'œuf se divise en deux périodes : **période embryonnaire** (1 à 3 mois) et **période fœtale** (3 à 9 mois).

2.2.1. Période embryonnaire

C'est la période la plus importante pendant laquelle se forment tous les ébauches d'organes. Pendant le **premier mois**, le bouton embryonnaire se différencie en 3 feuillets :

les cellules internes donnent l'**endoblaste** (premier feuillet) qui sera à l'origine de tous les organes internes.

les cellules externes forment l'**ectoblaste** (deuxième feuillet) qui sera à l'origine de la peau et le système nerveux. A partir de l'ectoblaste se forme le troisième feuillet appelé **mésoblaste** qui sera à l'origine du squelette.

Durant le **deuxième mois**, l'**ébauche de la tête** se forme dans la région antérieure et dans la région postérieure l'**appendice caudal**. Le cœur se forme sur la face ventrale et il commence à battre. L'appareil génital externe se forme aussi et on connaît le sexe de l'embryon.

Pendant le **troisième mois**, l'appendice caudal disparaît et se forme à la place des ébauches des membres inférieur et supérieur. Toutes les ébauches d'organes apparaissent pendant cette période.

2.2.2. Période fœtale

La période fœtale est caractérisée par le développement et la maturation de tous les organes. C'est pendant cette période que s'effectue l'augmentation du poids et de la taille. Concernant le poids, un fœtus qui pèse 10 à 20g à 3mois passe de 3,5 kg à 9mois. En ce qui concerne la taille, un fœtus de 5mm à 3mois devient 50cm à 9mois. Un fœtus de 7mois est viable mais le développement et la maturation du système nerveux ne se fait qu'à la fin du huitième mois.

2.3. Développement des autres annexes embryonnaires

Le chorion : c'est l'autre partie du trophoblaste qui va s'accoler sur la muqueuse utérine de l'autre côté.

L'amnios : c'est une membrane mince qui prend naissance à partir du mésoblaste et qui va envelopper l'embryon et former la cavité amniotique. Cette cavité va se remplir d'un liquide appelé **liquide amniotique** qui va protéger le fœtus de différentes agressions.

G-PARTURITION

La **parturition** est l'ensemble de l'expulsion du fœtus et du placenta à la fin de la gestation (38 à 39^{ème} semaine).

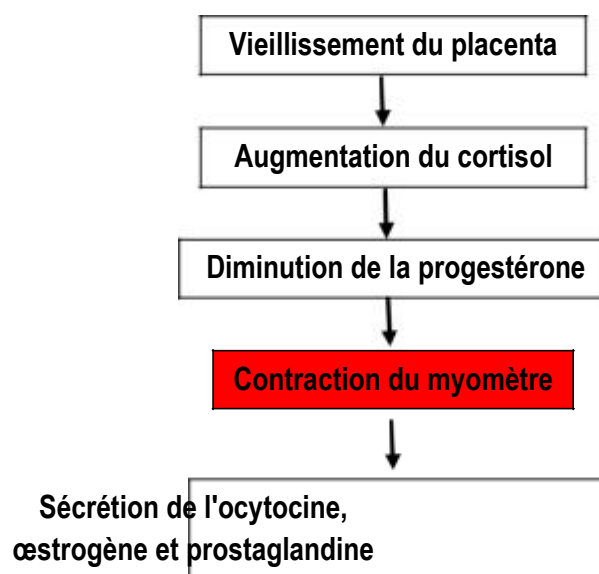
1. Contraction du myomètre et dilatation du col

Au début de la parturition, la femme ressent une douleur très espacée et moins intense. Cette douleur devient de plus en plus rapprochée et de plus en plus intense. La douleur est le résultat de la contraction du muscle de l'utérus suivi de la dilatation du col qui se passe de 2cm à 10cm. Cette période s'appelle le **travail**.

A la fin de la dilatation du col, la tête de l'enfant sort de l'utérus et descend dans le vagin après le reste du corps (position normale). Quelques minutes après l'expulsion du fœtus, la femme ressent une petite contraction du myomètre et des annexes embryonnaires. C'est la **délivrance**.

2. Problème hormonal de la parturition

A la fin de la gestation, le vieillissement du placenta entraîne la sécrétion du cortisol provenant de la glande surrénale du fœtus. L'augmentation du taux de cortisol provoque la diminution du taux de progestérone dans le sang. Cela entraîne la contraction du myomètre qui sera amplifiée par les hormones suivantes : **ocytocine** (provenant de l'hypophyse) ; l'**œstrogène** et **prostaglandine** (provenant de l'endomètre maternel et ses annexes embryonnaires).



Adaptation du fœtus à la vie extra-utérine

Le fœtus sort d'un milieu chaud (37°C) où l'apport nutritionnel et gazeux provient du sang maternel vers un milieu froid, sans apport nutritionnel direct mais gazeux.

La respiration : la première expiration du bébé expulse le liquide qui se trouve dans son tube respiratoire et sa première inspiration fait entrer de l'oxygène qui va gonfler les alvéoles pulmonaires. Le poumon commence à fonctionner.

La circulation sanguine : lorsque le poumon fonctionne, la petite circulation est active. Le trou buccal se ferme pendant la parturition car le sang veineux doit passer dans le poumon pour se débarrasser du sang carbonique. **La nutrition** : c'est l'allaitement.

H- LACTATION

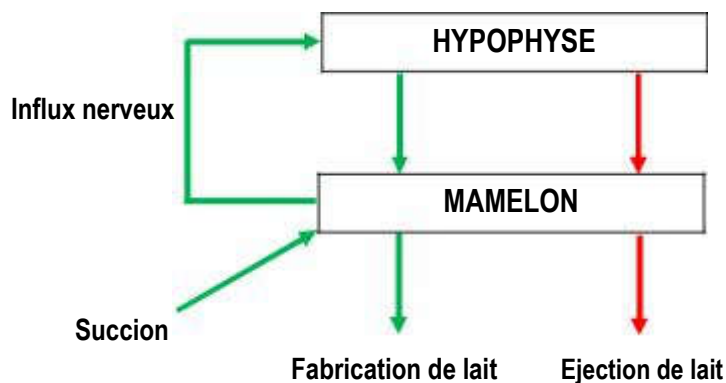
Sous - chapitre pour Tle D et C seulement

1. Préparation à la lactation

Pendant la gestation, la progestérone sécrétée par l'ovaire et le placenta stimulent la formation des glandes mammaires (acini). Au moment de la parturition, les acini sont prêts pour la lactation. La lactation est le mode de nutrition du nouveau-né. Elle est sous contrôle de doubles mécanismes : **mécanisme hormonal et mécanisme nerveux**.

2. Mécanisme hormonal de la lactation

La succion du bébé sur le mamelon provoque la naissance d'un influx nerveux qui stimule l'hypophyse à sécréter deux hormones : la **prolactine** qui stimule la fabrication de lait ou la montée laiteuse et l'**ocytocine** qui stimule le muscle du mamelon à éjecter du lait



I- MAÎTRISE DE LA REPRODUCTION

1. Stérilité

1.2. Causes de la stérilité de la femme

Les causes de la stérilité sont classées en deux grands groupes : **stérilité hormonale** et **stérilité mécanique**.

1.2.1. Stérilité hormonale

Elle se manifeste extérieurement par des troubles de règle. Le problème hormonal se présente sous deux formes :

absence de l'ovulation : elle est expliquée par l'absence de développement et maturation de follicules qui peut être traitée par injection de FSH. Elle est expliquée aussi par le blocage de l'ovulation parce que le follicule mûr n'est pas rompu. Ce dernier cas est traité par injection de LH.

insuffisance lutéale : c'est l'absence de dentelle utérine ne permettant pas la fixation de l'embryon. Elle peut être traitée par des médicaments à base de progestérone.

1.2.2. Stérilité mécanique

Endométriose : l'endomètre est atteint par une inflammation, ne permettant pas la fixation de l'embryon dans l'utérus. L'endométriose est traitée par l'**antibiotique**.

Obstruction de la trompe ou oviducte : l'oviducte est bouché et ne permettant pas la rencontre des gamètes. L'obstruction de la trompe est souvent le résultat de l'infection sexuellement transmissible maltraitée. Cette anomalie est traitée par la **chirurgie**.

Malformation de la cavité utérine : soit la cavité utérine est absente soit sa position est anormale

Formation d'une masse cellulaire dans la cavité utérine : ces masses cellulaires sont appelées fibrome ou myome. Elle empêche la nidation. Le traitement est **chirurgical**.

1.3. Causes de la stérilité chez l'homme

Il existe deux causes de la stérilité chez l'homme : **défaillance des spermatozoïdes** et **stérilité mécanique**.

1.3.1. Défaillance des spermatozoïdes

Azoospermie : il n'y a pas de spermatozoïdes dans le sperme. Dans certains cas, cette anomalie peut être traitée par l'injection de FSH.

Oligospermie : le nombre de spermatozoïdes dans le sperme est insuffisant.

Asthénospermie : la plupart des spermatozoïdes sont inactifs et n'arrive pas à monter jusqu'à la trompe.

Tératospermie : la plupart des spermatozoïdes présente des anomalies physiques et ayant un impact sur le caractère fonctionnel du gamète

1.3.2. Stérilité mécanique

Cryptorchide : faute de descente des testicules dans le scrotum. Les testicules restent dans la cavité abdominale et la spermatogénèse n'a pas lieu.

Obstruction de l'épididyme ou du canal déférent : lorsque ces deux voies sont bouchées, les spermatozoïdes n'arrivent pas à sortir avec le sperme. Le traitement est chirurgical.

Contraception

2.1. Définition

La contraception est un moyen employé pour éviter que des rapports sexuels n'aboutissent à une grossesse.

2.2. Méthodes contraceptives

Il y a deux modes de classification de la contraception : **méthode locale** et **méthode hormonale**.

2.2.1. Méthode locale

Cette méthode vise à empêcher ou éviter la rencontre des gamètes et à empêcher la nidation. Il existe plusieurs méthodes locales et elles sont groupées en deux.

2.2.1.1. Méthodes Naturelles

Méthode de calendrier : elle consiste à repérer la date de l'ovulation et pratiquer l'abstinence autour de cette période ovulatoire.

Méthode de température : elle consiste à prendre tous les jours la température corporelle de la femme afin de repérer la date de l'ovulation. Donc, il faut pratiquer l'abstinence autour de la période ovulatoire.

Retrait de pénis : il consiste à retirer le pénis hors du vagin avant l'éjaculation

Méthode de glaire cervicale : elle consiste au repérage de la date de l'ovulation par le taux de glaire cervicale (pratique de l'abstinence autour de la période ovulatoire).

2.2.1.2. Méthodes artificielles

Utilisation de préservatif : préservatif masculin (condom, capote) et préservatif féminin (diaphragme).

Spermicide : c'est une substance chimique introduite dans le vagin sous forme de pilule ou de crème avant le rapport sexuel pour tuer les spermatozoïdes.

Stérilet : c'est un dispositif métallique placé dans la cavité utérine pendant 5ans pour éviter la nidation

2.2.2. Méthode hormonale

Cette méthode consiste à introduire dans l'organisme des substances à base d'hormones ovariennes sous forme d'injection, orale ou implant sous cutanée. Le principe des pilules est de créer le feed-back négatif au niveau de l'hypophyse et donc de bloquer le développement des follicules et l'ovulation. Les organes cibles de la pilule sont :

L'**ovaire** en bloquant la maturation des follicules et l'ovulation.

L'**utérus** en modifiant la structure de l'endomètre qui devient défavorable à la nidation, modification de la sécrétion de glaire cervicale qui devient imperméable aux spermatozoïdes.

On distingue 3 types de pilules :

pilules combinées : qui renferment de l'œstrogène et de progestérone ;

pilules progestatives : qui ne renferment que de progestérone

; **pilules anti-progestérone** ou **pilule abortive**.

3. Stérilisation

C'est une méthode qui rend le couple stérile (+40ans, ayant au moins 4 enfants).
Il existe deux méthodes :

chez la femme : ligature des deux trompes pour empêcher la rencontre des gamètes ;

chez l'homme : vasectomie qui consiste à sectionner le canal déférent pour empêcher la sortie des spermatozoïdes.

IVG (interruption volontaire de grossesse)

L'**IVG** est puni par la loi. Seul le médecin peut juger l'utilité de l'IVG lorsque la gestation présente un danger pour la santé de la mère ou de l'enfant. Il existe deux méthodes :

méthode chimique : absorption de pilule anti-progestérone pour annuler le silence utérin.

méthode chirurgicale : enlèvement de l'embryon et ses annexes avec des matériaux chirurgicaux appropriés : c'est le curetage.

FIVETE (Fécondation in-vitro et transplantation embryonnaire)

C'est une méthode qui offre au couple stérile la possibilité de procréer. On prélève ainsi de l'ovocyte dans l'ovaire de la femme. Puis, on l'emmène au laboratoire pour effectuer la fécondation en le mélangeant avec les spermatozoïdes du mari. La cellule œuf obtenue est laissée se développer pendant quelques temps puis transplantée sur l'endomètre de la femme préalablement préparé par l'œstrogène et de progestérone.

Chapitre III : HEREDITE ET GÉNÉTIQUE

Hérédité : c'est ensemble des propriétés (caractères ou information génétique) que les êtres vivants transmettent à leurs descendants par la reproduction.

Génétique : c'est l'étude expérimentale des mystères de l'hérédité et les variations.

Notion d'espèce

Pour définir une espèce, on se base sur les 3 critères variables mais complémentaire suivantes :

Critère de ressemblance morphologique et physiologique ;

Critère d'interfécondité ou critère de sexualité ;

Critère écologique

L'espèce est donc l'ensemble des individus présentant une ressemblance morphologie et physiologique, interféconds entre- eux et ont un même mode vie.

Exception :

Cheval x Anesse ;

Chameau x Dromadaire ;

Canard x Dokotra.

Karl Von Linné a donné 2 noms à l'espèce : le premier est celui du **genre** et le deuxième celui de l'**espèce** (Nomenclature binomiale de Linné).

Exemples :

Homme : *Homo sapiens*

Maki : *Lémur cata*

Criquet : *Locusta migratoria*

Plante carnivore : *Népenthes madagascariensis*

2. Notion de population

La **population** est l'ensemble des individus de même espèce dans un endroit bien déterminé pendant un temps bien déterminé (Exemples : élèves d'une classe, Eucalyptus d'une forêt).

2.1. Lignée pure ou race pure ou population homogène

L'ensemble des individus dans une population présentant le même caractère (propriété génétique) qui reste inchangée de génération en génération s'appelle **lignée pure** ou **race pure** ou **population homogène** (Race pure ≠ hybride).

2.2. Lignée germinale

La **lignée germinale** est l'ensemble des cellules reproductrices d'un organisme.

2.3. Patrimoine héréditaire

Le **patrimoine héréditaire** est l'ensemble des caractères héréditaires dans l'organisme d'un individu.

Notion inhérente

Génome : c'est l'ensemble des gènes dans les chromosomes d'une cellule.

Génotype : c'est l'ensemble des gènes d'un individu. Les cellules sexuelles qui transmettent le génotype vers les descendants s'appellent **germen** ou **cellules germinales**. Le changement du génotype est appelé **mutation** et elle est héréditaire.

Phénotype : c'est l'aspect extérieur de l'individu ou expression extérieure du génotype. Le changement du phénotype s'appelle **somation** et elle n'est pas héréditaire.

Hétérozygotes : Un organisme qui a deux allèles identiques d'un gène (**PP** ou **pp**).

Homozygotes : Un organisme qui a deux allèles différents d'un gène (**Pp**).

Caractère : un aspect ou une propriété biologique dont on peut étudier le déterminisme génétique à travers les modalités de sa transmission héréditaire

Dominance : La forme d'un caractère qui apparaît toujours quand un individu a un allèle dominant de ce caractère.

Récessivité : La forme d'un caractère qui apparaît uniquement quand un individu a deux allèles récessifs de ce caractère. **Allèles** : Deux formes possibles d'un même gène.

Allèle dominant : Allèle qui s'exprime pleinement dans l'apparence d'un organisme lorsque les deux allèles diffèrent.

Allèle récessif : Allèle qui n'a pas d'effet notable sur l'apparence d'un organisme lorsque les deux allèles diffèrent.

Locus : Emplacement exact d'un gène sur un chromosome.

A- GENETIQUE MENDELIENNE

La première étude de la génétique a été due à **Mendel** qui expérimentait sur le pois. L'étude de Mendel a été confirmée par **Morgan** et des équipes par la théorie chromosomique de l'hérédité. Ces derniers baptisaient les différentes lois de la génétique au nom de Mendel. Le protocole expérimental de **Mendel** est le suivant :

Recherche de lignée pure par l'**autopollinisation** ;

Croisement de 2 lignées pures différentes par un seul caractère ou 2 caractères ou 3 caractères. On parle ainsi **monohybridisme**, **dihybridisme** ou **polyhybridisme** ;

Croisement entre hybrides ;

Croisement entre hybride et race pure.

Morgan a démontré que chaque caractère est déterminé par une portion d'ADN appelée **gène**. Le gène se localise sur le chromosome. L'endroit où se trouve le gène s'appelle **locus**. L'ensemble des 2 variétés dans un caractère s'appelle **couple d'allèles**.

Convention d'écriture :

Avec **A** et **a** deux allèles d'un même gène. Ou $\overset{+}{a} \ a$ ($a+//a$) ou $+a$ ($+a$) ou Aa ($A//a$). La majuscule (ou le +) indique l'allèle dominant. La minuscule indique l'allèle récessif. Le phénotype noté [**A**] peut être : AA ($A//A$) ou Aa ($A//a$) on le note **A** ($A//$). Alors que le [**a**] ne peut être que de génotype aa ($a//a$).

1. Hybridation

On appelle caractère des particularités physiques stables, propres à une race définie, qui se transmettent aux descendants.

Dans les croisements, on met en présence un caractère avec un caractère correspondant (couleur rouge ou blanche des fleurs, couleur grise ou blanche du pelage, yeux rouges ou yeux blancs, ailes longues ou ailes vestigiales). Les caractères vont par couples et, dans les expériences d'hybridation, l'un ou l'autre caractère passe chez les descendants : on les appelle caractères allélomorphes (ce qui veut dire l'un ou l'autre).

Pour réaliser des expériences d'hybridation, il faut sélectionner des lignées pures. Si l'on croise des animaux qui se ressemblent, toute la descendance ressemble aux parents, mais cela ne veut pas dire que les parents soient de race pure. En effet, si l'on croise les descendants entre eux et si l'un des parents était bâtard, on pourra voir apparaître à une génération lointaine, un individu différent des autres : phénomène connu sous le nom d'atavisme.

Si les parents se ressemblent et sont de pure race, tous les descendants, à de multiples générations, présentent les caractères des parents. Toute la sélection artificielle est fondée sur cette notion.

Les caractères des parents peuvent être équivalents, l'un peut être *dominant* par rapport l'autre qui est *récessif*. Dans le premier cas, les individus de la première génération (F1) sont tous semblables et ont des caractères intermédiaires à ceux des parents. Dans le deuxième cas, le caractère dominant apparaît en F1, effaçant le caractère récessif, mais à la deuxième génération (F2), les caractères se disjoignent et apparaissent chez les uns ou les autres descendants ; il se fait une ségrégation des caractères qui aboutit à la reconstitution des deux races pures des parents et à la formation d'hybrides.

2. Monohybridisme

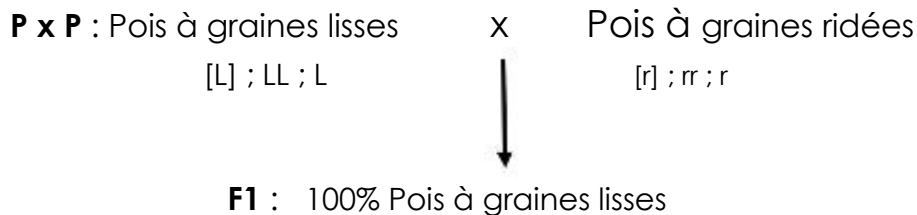
Le monohybridisme consiste à croiser deux races qui ne diffèrent que par un seul caractère. Dans cette expérience, la première génération (F1) est constituée d'hybrides tous semblables. Si l'on croise les hybrides F1 entre eux, il y a disjonction des caractères et à la deuxième génération (F2), on obtient :

- ¼ d'individus de race paternelle pure,
- ¼ d'individus de race maternelle pure,
- ½ d'individus hybrides semblables à ceux de F1.

Ces hybrides croisés entre eux dissocient indéfiniment leurs caractères chez les descendants suivant les mêmes proportions.

2.1. Croisement entre races pures avec dominance de caractère

Mendel a croisé 2 graines de pois toutes lignées pures. L'une à graines lisses et l'autre à graines ridées. Ce sont les parents P et on obtient une génération F1 composée par des pois à graines lisses.



Interprétation :

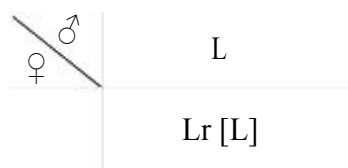
Dominance de caractère : le caractère lisse domine (L) sur le caractère ridé (r).

Phénotype des parents : [L] et [r]

Génotype des parents : LL et rr

Gamètes des parents : L et r

Échiquier de croisement

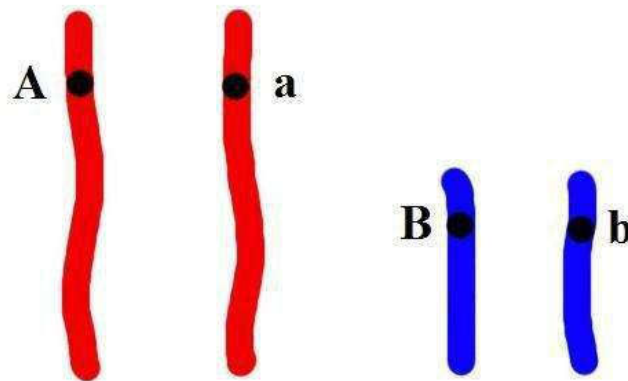


Résultat statistique ou proportion phénotypique : [L] = 100%

3. Dihybridisme

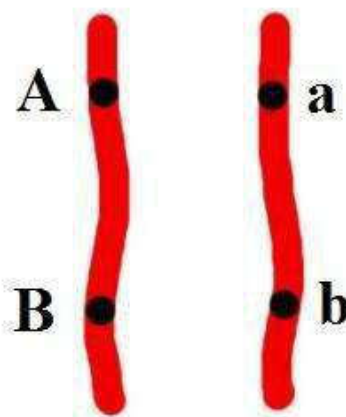
Le **dihybridisme** est l'étude de la transmission de deux caractères. On distingue deux cas :

Premier cas : les deux gènes responsables de 2 caractères sont portés par deux chromosomes différents, on dit que les gènes sont indépendants.



Les gènes sont localisés sur deux paires de chromosomes

Deuxième cas : lorsque les 2 gènes responsables des deux caractères sont portés par un seul chromosome. On dit que les gènes sont liés.



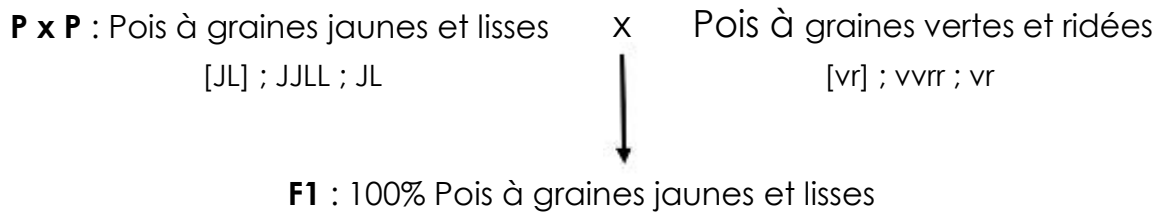
Les gènes sont localisés sur la même paire de chromosomes

Si l'on croise deux individus de la même espèce, différant l'un de l'autre, par deux caractères, on met en évidence la ségrégation indépendante des caractères (MENDEL).

3.1. Dihybridisme avec gènes indépendants

3.1.1. Croisement entre races pures

Expérience : Mendel a croisé 2 variétés pures de pois : l'une à graines jaunes et lisse et l'autre à graines vertes et ridées. La première génération est composée uniquement par des graines jaunes et lisses.



Interprétation

La 1^{ère} loi de Mendel est vérifiée car **F1 est uniforme**
 Dominance de caractère :

La couleur jaune (J) domine sur la couleur verte (v)

L'aspect lisse (L) domine sur l'aspect ridé (r)

Phénotype des parents : [JL] et [vr]

Génotypes des parents : JJLL et vvrr

Gamètes des parents : JL et vr

Échiquier de croisement

♂		
		JL
♀		
		JvLr [JL]
		vr

Résultat statistique : [JL]=100%

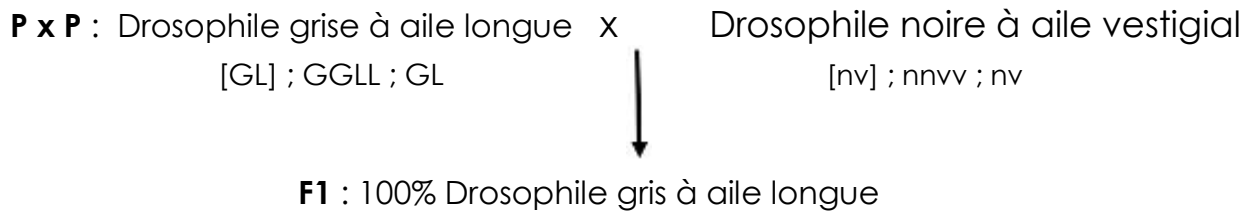
3.1.2. Croisement entre hybrides

Mendel a croisé 2 graines jaunes et lisses issues de la 1^{ère} génération entre-elles. Il a obtenu une 2^{ème} génération F2 composée par $\frac{9}{16}$ de graines jaunes et lisses, $\frac{3}{16}$ de graines jaunes et ridées, $\frac{3}{16}$ de graines vertes et lisses et $\frac{1}{16}$ de graines vertes et ridées.

3.2. Dihybridisme avec gènes liés

3.2.1. Croisement entre races pures

On croise deux drosophiles de races pures, l'une grise à aile longue et l'autre noire à aile vestigial. La première génération F1 est uniquement grise à aile longue.



Interprétation

La 1^{ère} loi de Mendel est vérifiée : **uniformité des hybrides en F1**

Dominance de caractère :

Grise (G) domine sur noire (n)

Longue (L) domine sur vestigial (v)

Phénotype des parents : [GL] et [nv]

Génotypes des parents : GGLL et nnvv

Gamètes des parents : GL et nv

Échiquier de croisement

♂	GL
♀	GnLv [GL]
nv	

Résultat statistique : [GL] : 100%

3.2.2. Croisement entre hybrides

Issus de la 1^{ère} génération, on croise la 1^{ère} génération F1 entre-elles, la 2^{ème} génération F2 est composée par $\frac{3}{4}$ de drosophile grise à aile longue et $\frac{1}{4}$ de drosophile noire à aile vestigiale.

Interprétation

Phénotype de l'hybride mâle : [GL]

Génotype de l'hybride mâle : GnLv

Gamètes mâles : GL et nv

Phénotype de la race pure récessive : [

Génotype de la race pure récessive : nnvv

Gamète de la race pure récessive : nv

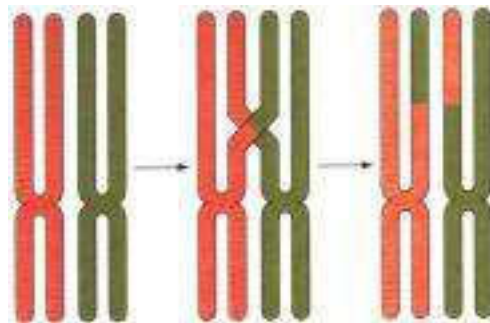
Échiquier de croisement

♂	GL	nv
♀		
nv	GnLv [GL]	nnvv [nv]

Résultats statistiques : [GL] : 50%, [nv] : 50%

3.2.3.2. Back-cross d'un linkage avec crossing-over

Le **crossing-over** est l'enjambement des chromatides des 2 chromosomes homologues pendant la **prophase I** de la méiose.



Enjambement des chromatides (crossing-over)

Lorsque les chromosomes homologues se séparent pendant l'anaphase I, il y a échange de chromatides entre eux. Le **taux de recombinaison des gamètes « p »** est égale à la distance **d** » des 2 gènes liés sur le chromosome parce que le crossing-over devrait se faire entre ces deux gènes (**p = d**).

Expérience : On croise une drosophile hybride femelle avec une drosophile race pure récessive mâle. On obtient ainsi 4 phénotypes différents dont **2 sont en grandes proportions et 2 en petites proportions.**

Interprétation

- Phénotype de la femelle : [GL]
- Génotype de la femelle : GnLv
- Gamètes femelles :



Phénotype : [nv]

Génotype de la race pure récessive : nnvv

Gamète de la race pure récessive : nv

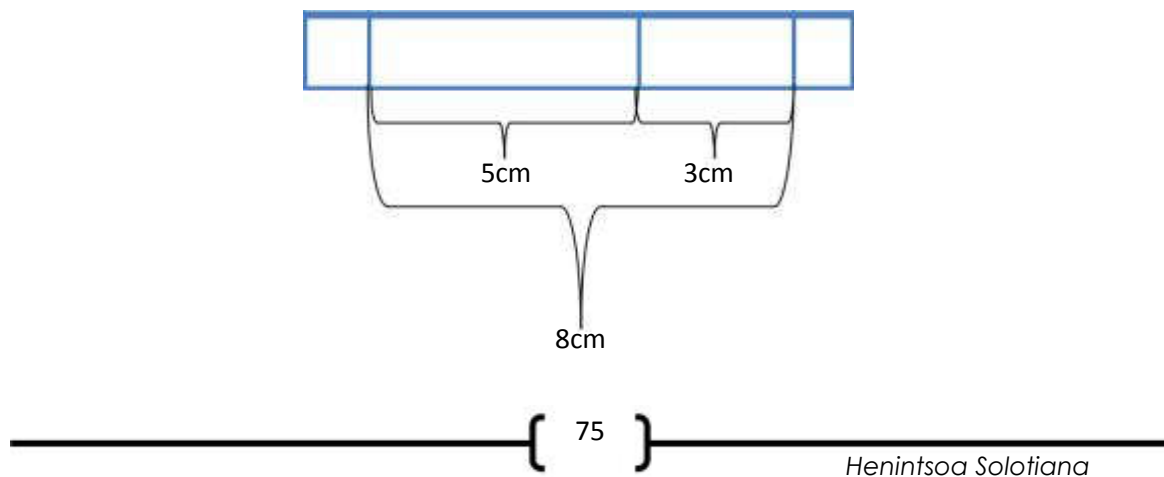
Échiquier de croisement

♂ GL ($\frac{100-p}{2}$)	$\frac{100-p}{2}$	$\frac{100-p}{2}$	Gv ($\frac{p}{2}$)	nL ($\frac{p}{2}$)
♀ nv	GnLv [GL]	nnvv [nv]	Gnvv [Gv]	nnLv [nL]

- Résultats statistiques : [GL] : $\frac{100-p}{2}$ % ; [nv] : $\frac{100-p}{2}$ % ; [Gv] : $\frac{p}{2}$ % et [nL] : $\frac{p}{2}$ %

3.2.4. Carte factorielle

La **carte factorielle** est la représentation schématique de chromosome avec tous les gènes qu'il porte.



B- HÉRÉDITÉ LIÉ AU SEXE

La plupart des gènes sont portés par les autosomes mais on enregistre quelques caractères portés par les gonosomes.

Les 2 gonosomes de l'homme sont **XY**, on dit qu'il est hétérochromosome.

Les 2 gonosomes de la femme sont **XX**, on dit qu'elle est homochromosome.

Remarque : Cette loi de l'hétérochromosomique n'est pas universelle parce que chez les oiseaux et les papillons, ce sont les femelles qui sont hétérochromosomes.

1. Croisement

1.1. Premier croisement

On croise 2 races pures de drosophiles : l'un mâle aux yeux blancs et l'autre femelle aux yeux rouges. La première génération est toute aux yeux rouges.

P x P : Drosophile mâle aux yeux blancs x Drosophile femelle aux yeux rouges



100% Drosophiles aux yeux rouges

Interprétation

La première loi de Mendel est vérifiée : **uniformité des hybrides**

Dominance de caractère : la couleur rouge (R) domine sur la couleur blanche (b)

Phénotype des parents : [b] et [R]

Génotype des parents

Autosomique : bb et RR

Gonosomique : X_bY et X_RX_R

Phénotype de : [R]

Génotype de F1

Autosomique : Rb

Gonosomique : X_RX_b (femelle) ou X_RY (mâle)

Echiquier de croisement

♂ ♀	X_b	Y
X_R	$X_R X_b$ [R]	$X_R Y$ [R]

Résultats statistique : [R] : 100% (mâle [R] : 50% et femelle [R] : 50%)

Deuxième croisement

On croise 2 races pures de drosophiles : l'un mâle aux yeux rouges et l'autre femelle aux yeux blancs. La première génération est composée par des femelles aux yeux rouges et mâles aux yeux blancs

P x P : Drosophile mâle aux yeux rouges x Drosophile femelle aux yeux blancs



- Drosophiles femelles aux yeux rouges -
Drosophiles mâles aux yeux blancs

Interprétation

F1 n'est pas uniforme, il y a exception de la 1^{ère} loi de Mendel : **les gènes sont liés aux sexes**

Génotypes des parents

Mâle : $X_R Y$ gamètes : $X_R Y$

Femelle : $X_b X_b$ gamète : X_b

Échiquier de croisement

♂ ♀	X_R	Y
X_b	$X_R X_b$ [R]	$X_b Y$ [b]

Résultats statistiques : Mâle [R] : 50% et Femelle [b] : 50%

C- HÉRÉDITÉ HUMAINE

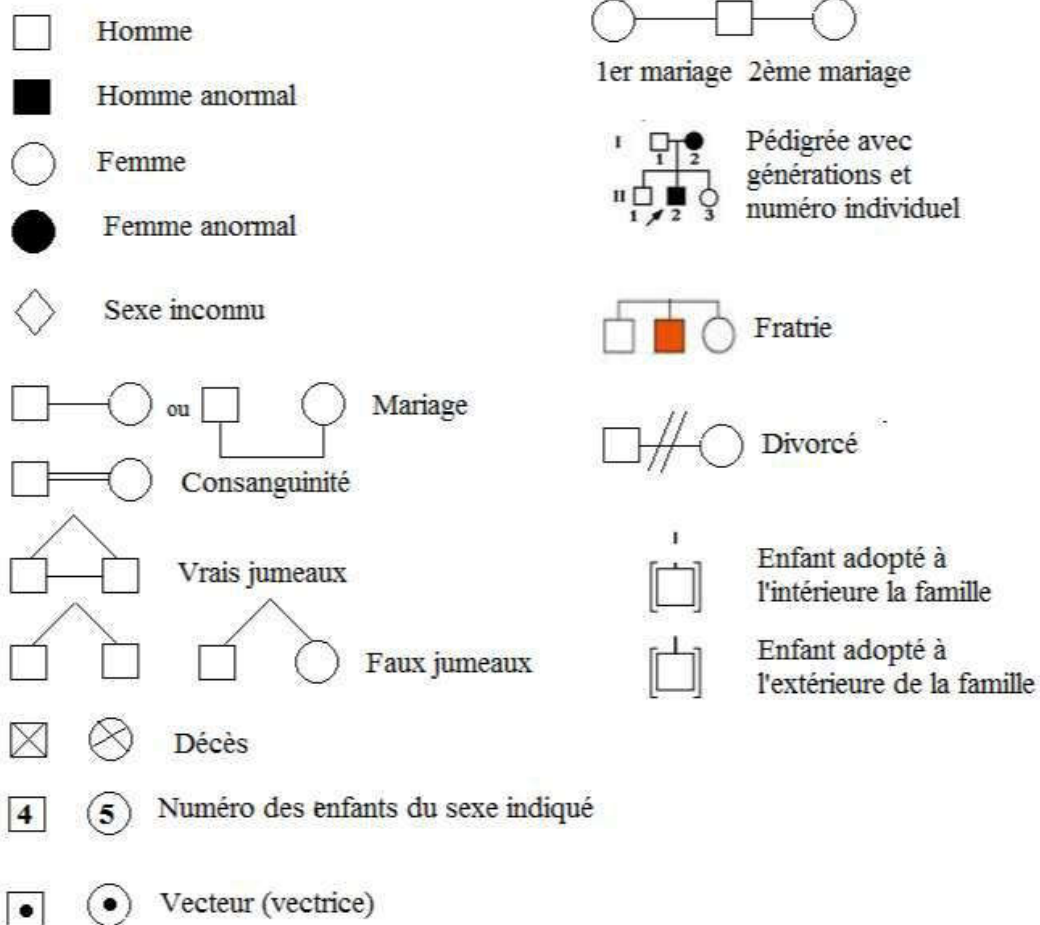
L'étude de la génétique chez l'être humain s'avère très compliquée parce que :

- On ne peut pas imposer le mariage ;
- La durée d'une génération à l'autre est très longue ;
- Le nombre d'une fratrie (ou génération) est très réduit et on ne peut pas faire une étude statistique.

Alors, les généticiens se contentant d'établir l'arbre **généalogique d'une famille** ou **pédigrée** afin de suivre l'évolution d'une **maladie** ou **anomalie**.

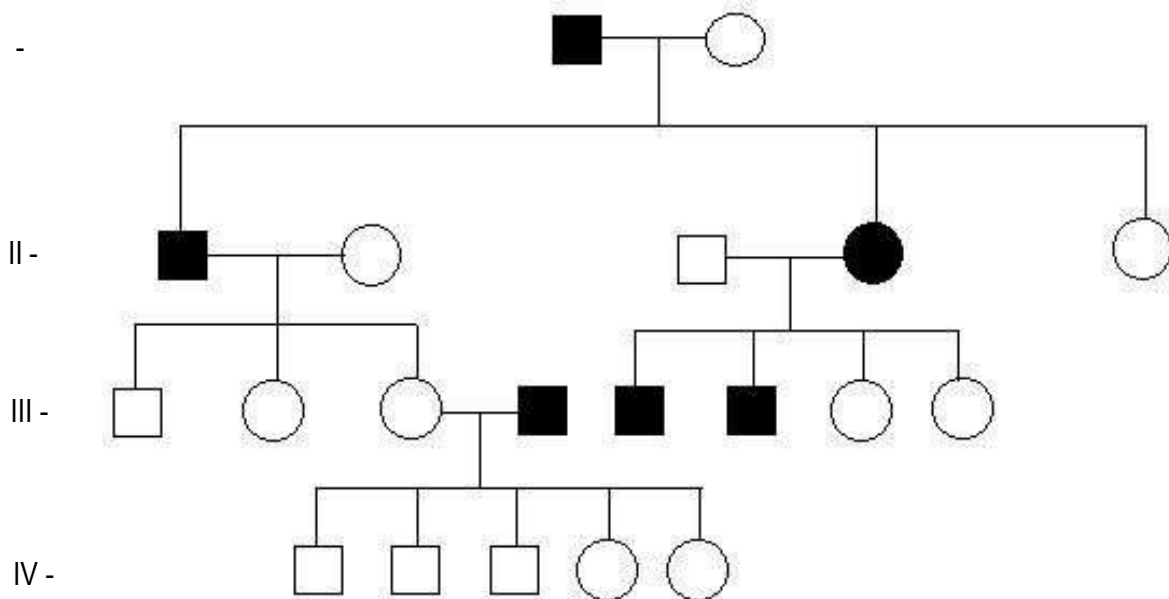
Etablissement d'un arbre généalogique

Pour établir un pédigrée, on admet les conventions suivantes :



Exemple : un homme daltonien épouse une femme à vision normale. Le couple a 3 enfants : Pierre daltonien, Linna daltonienne et Sylvie à vision normale. Linna a 4 enfants : 2 garçons daltoniens et 2 filles à vision normale. Pierre qui épouse une femme à vision normale a 3 enfants : 1 garçon et 2 filles tous à vision normale. L'une de ces filles épouse un garçon daltonien, elle donne naissance à 5 enfants : 3 garçons et 2 filles dont aucun n'est daltonien.

Établir l'arbre généalogique de cette famille.



2. Dominance de caractère

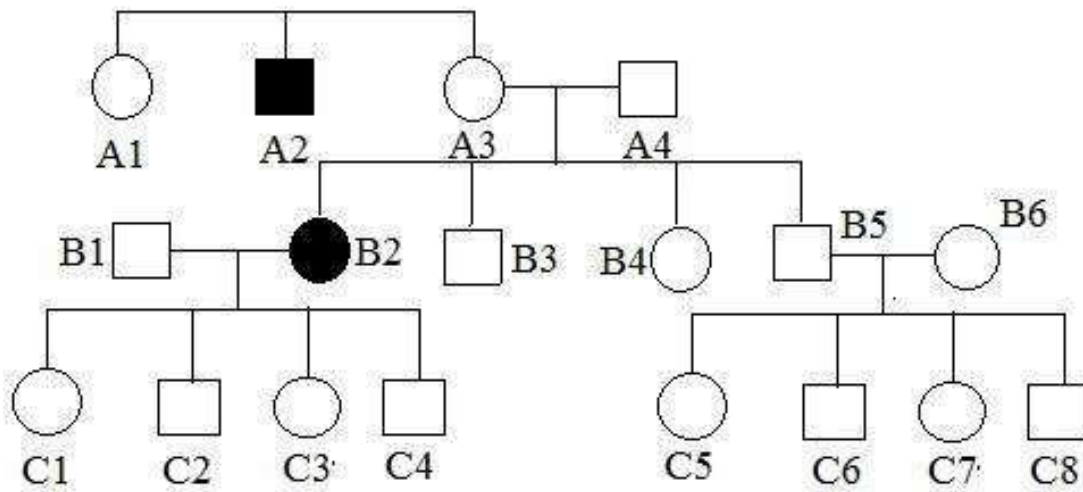
Le gène responsable de caractère est récessif si les parents sont sains alors que les enfants sont malades ou un des parents est malade alors que tous les enfants sont sains.

Le gène responsable du caractère est dominant si tous les enfants malades ont au moins un parent malade.

3. Mode de transmission des caractères (autosomal ou lié au sexe)

La plupart des maladies héréditaires (90%) a une probabilité égale de se manifester dans les deux sexes. Seules 10% des maladies sont plus fréquentes chez les garçons que chez les filles, en affectant uniquement les garçons. Dans les cas de caractère à déterminisme simple c'est-à-dire liés à un seul gène ou à un petit nombre de gènes, l'analyse généalogique permet de déterminer si l'allèle est de type dominant ou récessif. Le mode de transmission de gène est différent, en effet, pour chacun de ces cas.

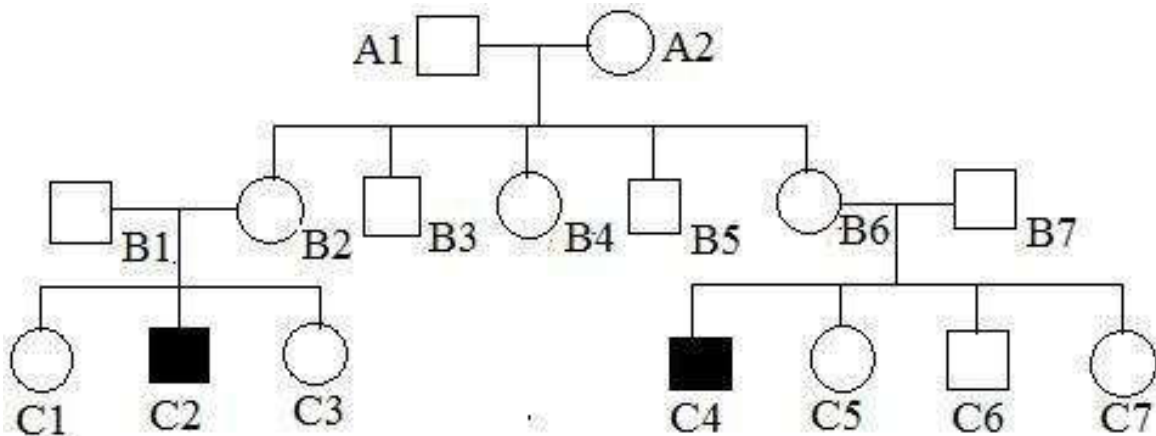
3.1. Déterminisme autosomal récessif



Dominance : le gène est récessif parce que B2 est malade alors que tous ses enfants sont sains.

Mode de transmission : si le gène est lié au sexe, les fils d'une femme malade devraient être tous malades. Puisque C2 et C4 sont sains donc le gène est autosomal.

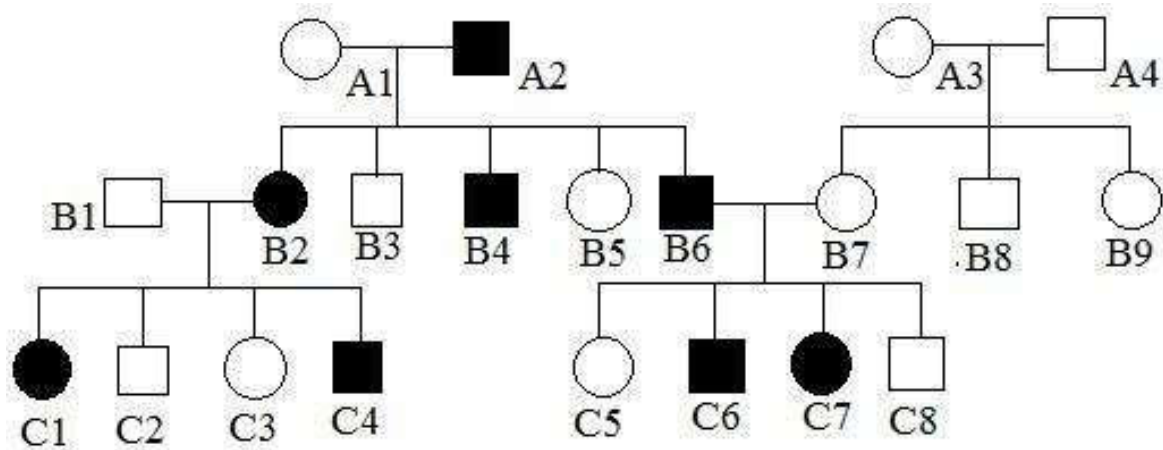
3.2. Déterminisme récessif liés au sexe



Dominance : le gène est récessif parce que B1 et B2 sont sains alors que C2 son fils est malade.

Mode de transmission : le gène est lié au sexe parce que toutes les filles d'un homme normal sont toutes normales.

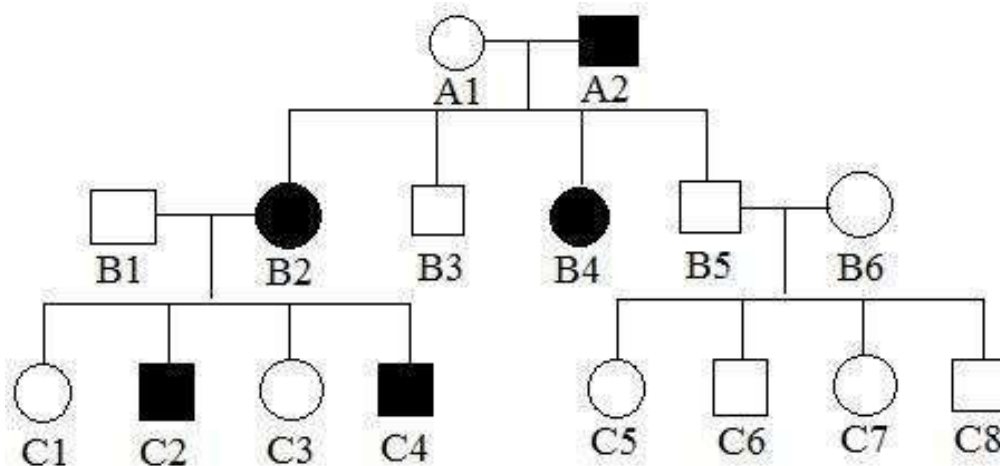
3.3. Déterminisme autosomal dominant



Dominance : tous les individus malades ont au moins un parent malade donc le gène est dominant.

Mode de transmission : si le gène est lié au sexe, toutes les filles d'un homme malade devraient être malades or B5 est normal donc le gène est autosomique.

3.4. Déterminisme dominant lié au sexe



Dominance : le gène est dominant car tous les individus malades ont au moins un parent malade.

Mode de transmission : le gène est lié au sexe car toutes les filles d'un homme malade sont malades et les garçons d'une femme normale sont normaux.

Exemple des maladies et anomalies héréditaires chez l'homme et leur déterminisme.

Caractères	Phénotypes	Déterminisme
Daltonisme	Non distinction du vert et du rouge	Récessif lié au sexe
Héméralopie	Cécité nocturne stationnaire	Dominant autosomal
Albinisme	Peu ou pas de pigments bruns ou noirs (appelée mélanine) dans la peau, les yeux, les cheveux	Récessif autosomal
Phénylcétomurie	Acide phénylpyruvique dans l'urine : retard mental	Récessif autosomal
Hémophilie	Défaut de coagulation du sang	Récessif lié au sexe
Achondroplasie	Nanisme à membres courts	Dominant autosomal
Polydactylie	Doigts et ou orteils	Dominant autosomal
Maladie de Parkinson	Perte de l'initiative matrice	Dominant autosomal

4. Groupes sanguins

Il existe 4 types de groupes sanguins : A, B, AB, O. Les gènes responsables de ce groupe sont autosomaux.

Dominance de caractère

A domine sur o

B domine sur o

A et B sont isodominants

Phénotype	Génotype	Anticorps
[A]	AA ou Ao	Anti B
[B]	BB ou Bo	Anti A
[AB]	AB	Receveur universel
[o]	oo	Anti A et Anti B ; Donneur universel

Facteur rhésus : le signe positif (+) ou négatif (-) qui affecte le groupe sanguin s'appelle **facteur rhésus**. Il est autosomal et le signe plus (+) domine sur moins (-) donc un individu de phénotype $[Rh^+]$ est homozygote $Rh^+ Rh^+$ ou hétérozygote $Rh^+ Rh^-$ alors que l'individu de phénotype $[Rh^-]$ est obligatoirement homozygote c'est-à-dire $Rh^- Rh^-$.

Remarque :

Une femme rhésus négatif qui épouse un homme rhésus positif aura un enfant rhésus +. Son organisme produit des anticorps anti + qui détruira tout l'embryon +. Le mariage consanguin augmente la probabilité d'une maladie.

Chapitre IV : PHYSIOLOGIE HUMAINE

A- PHYSIOLOGIE NERVEUSE

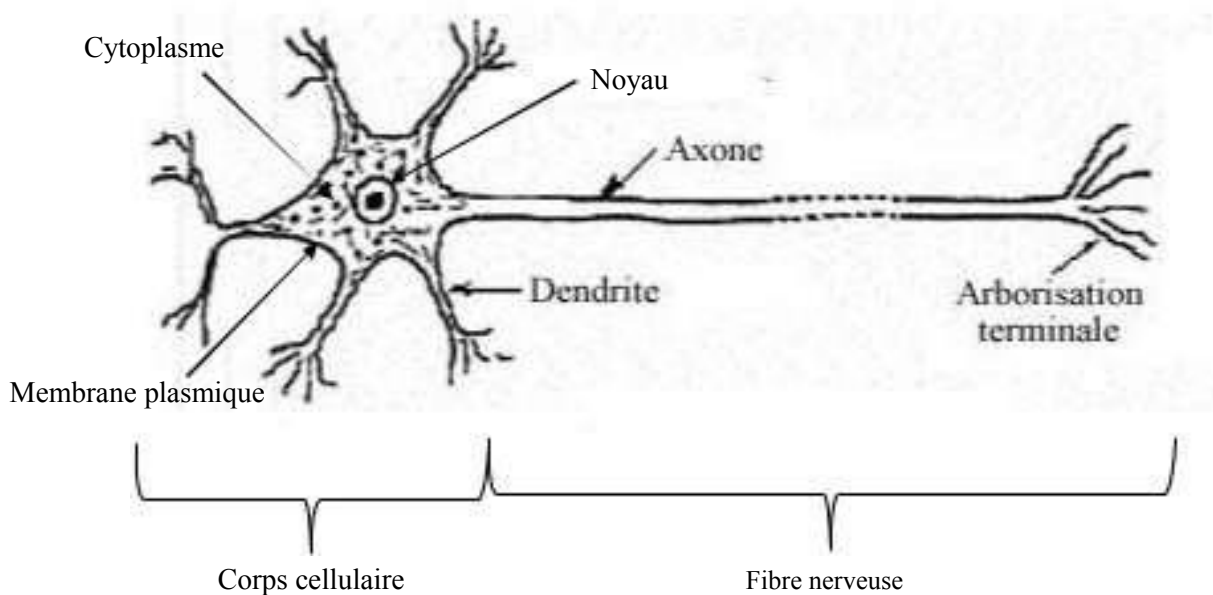
La **physiologie nerveuse** est l'étude du fonctionnement du système nerveux.

Le **système nerveux** est l'ensemble du système nerveux central ou centre nerveux et le nerf.

Le **centre nerveux** est formé par l'encéphale qui est logé dans la boîte crânienne, la moelle épinière qui se trouve dans la colonne vertébrale.

L'**encéphale** est l'ensemble des centres du système nerveux central qui sont contenus dans la cavité crânienne. Il est formé par le cerveau, le cervelet et le bulbe.

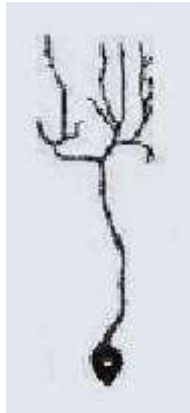
Le **système nerveux** que ce soit le centre nerveux ou que ce soit le nerf est entièrement formé par des cellules spécialisées appelées **cellules nerveuses ou neurones**.



Neurone ou Cellule nerveuse

Différents types de neurones

On distingue 4 types de neurones :



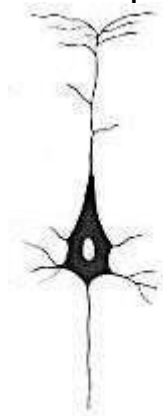
Neurone simple ou unipolaire



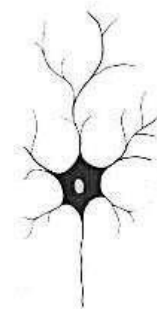
Neurone bipolaire



Neurone en T

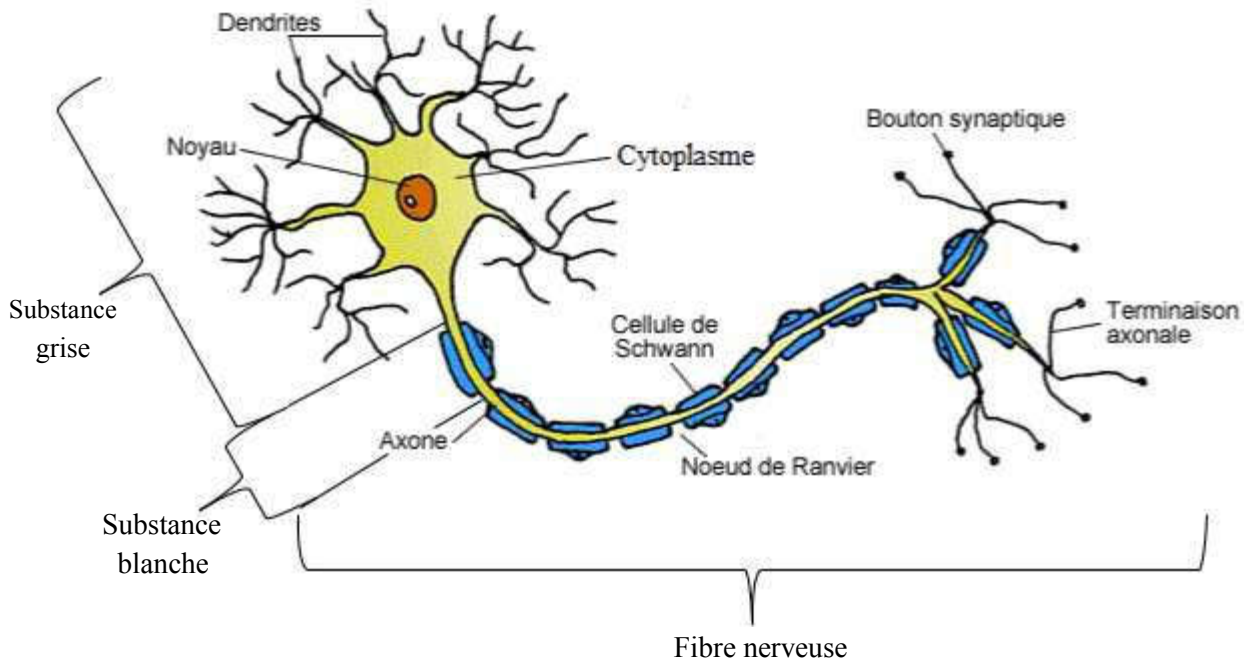


Neurone pyramidale



Neurone multipolaire

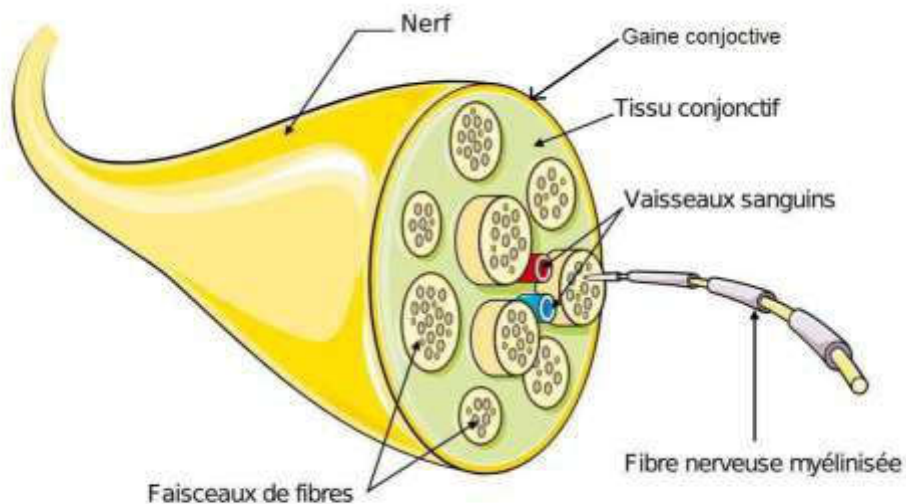
2. Structure détaillée de la fibre nerveuse



Au niveau du cerveau, c'est la substance grise qui se trouve à la surface et la substance blanche se localise à l'intérieur. La couleur du cerveau est apparemment grise. Par contre, au niveau de la moelle épinière c'est la substance blanche qui se localise à l'extérieur et la substance grise à l'intérieur.

3. Coupe transversale d'un nerf

Le nerf est formé par des faisceaux de fibres nerveuses enveloppées par une **gaine conjonctive**. Cette gaine conjonctive renferme quelques vaisseaux sanguins



Propriété d'un nerf

Les 2 propriétés d'un nerf sont : excitabilité et conductibilité

4.1. Excitabilité

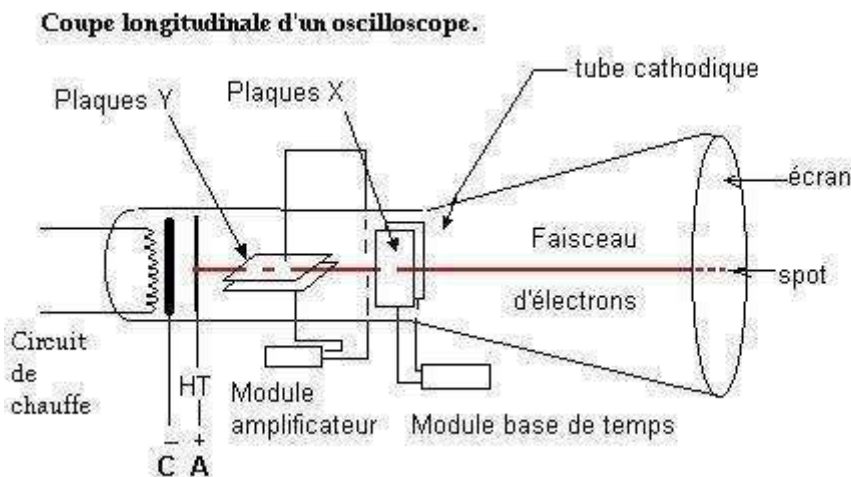
4.1.1. Potentiel de repos

On appelle **potentiel de repos** la différence de potentiel entre la surface externe et la surface interne d'une fibre nerveuse. En effet, la substance externe de la fibre nerveuse est chargée **positivement** tandis que la surface interne est chargée **négativement**. Cette différence

de potentiel est due à la répartition des ions Na^+ , Cl^- , K^+ , Pr^- (ion procréateur).

Si on place un Galvanomètre sur une fibre nerveuse, la 1^{ère} électrode est posée à la surface tandis que le 2^{ème} est introduit à l'intérieur. L'aiguille du Galvanomètre dévie vers la droite. La différence de potentiel entre la surface externe et la surface interne de la fibre vaut -70mV.

4.1.2. Potentiel d'action



Lorsqu'une fibre nerveuse est stimulée, on assiste à un changement de la polarisation membranaire : la surface externe est chargée négativement tandis que la surface interne est chargée positivement. Ce changement de polarisation membranaire d'une fibre nerveuse excitée s'appelle **potentiel d'action**.

Cette onde de négativité se propage le long de la fibre nerveuse, elle est appelée **influx nerveux**.

Il existe 2 formes de potentiel d'action selon l'aspect de la courbe inscrite sur l'écran de l'oscillographe :

Courbe monophasique

Courbe diphasique

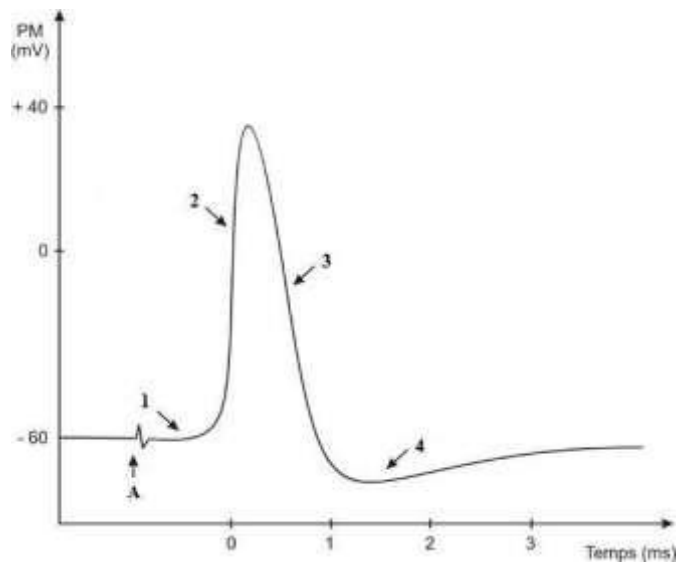
4.1.2.1. Courbe monophasique

On obtient une courbe monophasique dans le cas où :

l'une seule électrode réceptrice est placée à la surface de la membrane

l'une des électrodes électriques est placée sur la membrane et l'autre est introduite à l'intérieur

la deuxième électrode électrique est placée sur une partie lésée du nerf



Interprétation

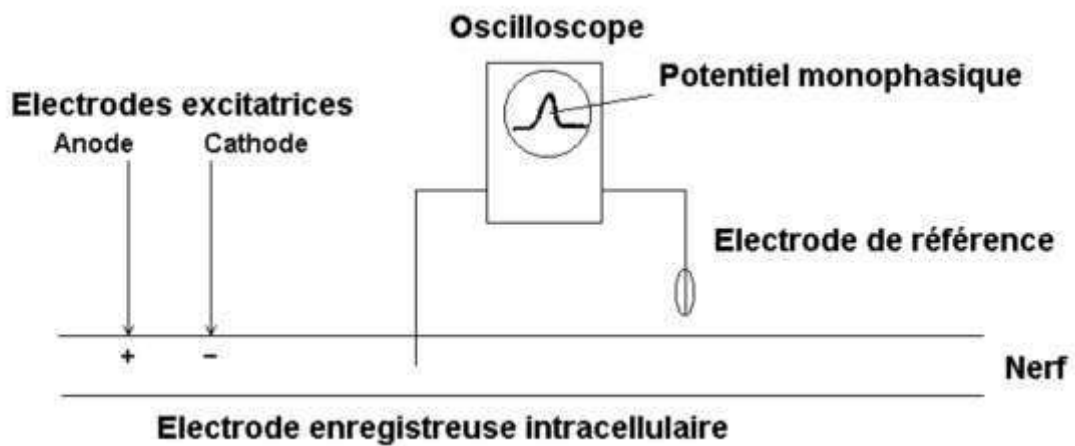
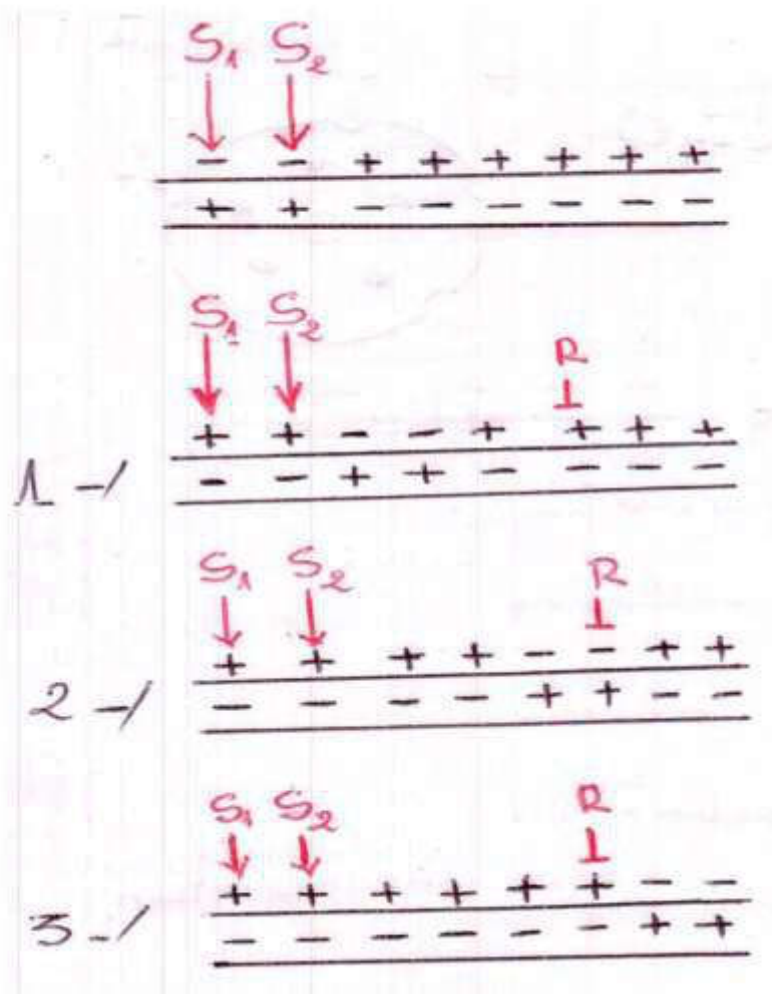
A : Artéfact qui correspond à l'accident de stimulation ;

1 : Temps de latence qui correspond au temps mis par l'influx nerveux de passer S2 vers l'électrode réceptrice ;

2 : Dépolarisation : qui correspond à l'inversion de la polarisation membranaire lorsque l'onde de négativité passe sous l'électrode réceptrice

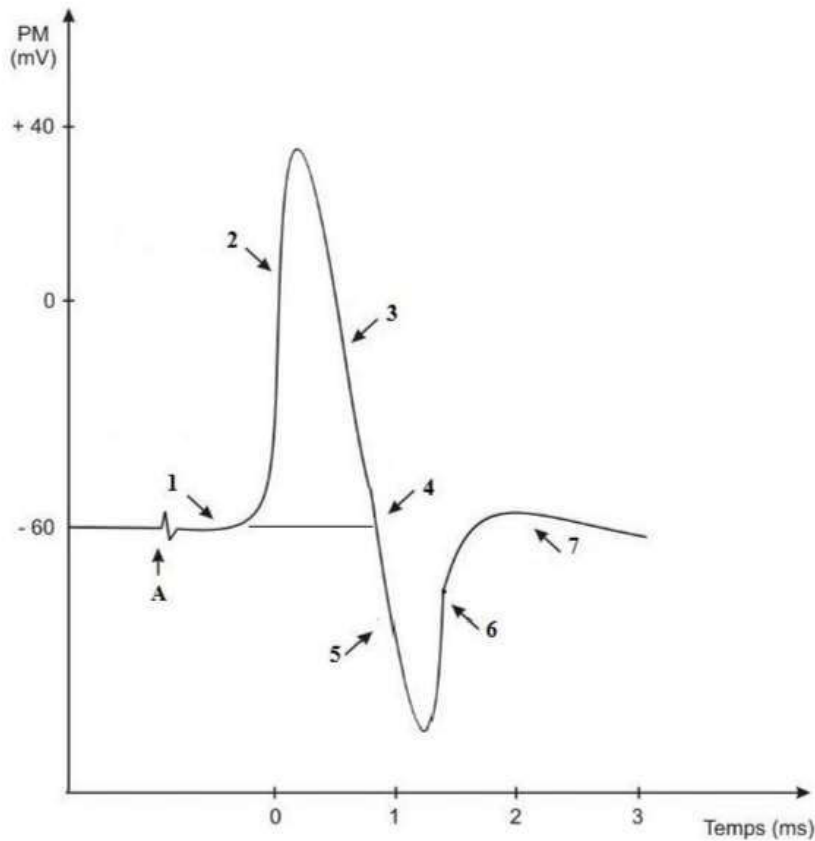
3 : Repolarisation qui correspond au retour à l'état normal de la polarisation membranaire sous l'électrode.

4 : Hyperpolarisation qui correspond au temps où la fibre nerveuse est réfractaire à toute stimulation



4.1.2.2. Courbe diphasique

On obtient une courbe diphasique dans le cas où l'on place les deux électrodes réceptrices à la surface de la fibre nerveuse.



Interprétation

A : Artéfact qui correspond à l'accident de stimulation ;

1 : Temps de latence qui correspond au temps mis par l'influx nerveux pour aller de S1 à S2 ;

2 : 1^{ère} dépolarisation qui correspond à l'inversion de la polarisation membranaire lorsque l'onde de négativité passe sur R1 ;

3 : 1^{ère} repolarisation qui correspond au retour à l'état normal de la polarisation membranaire sous R1 ;

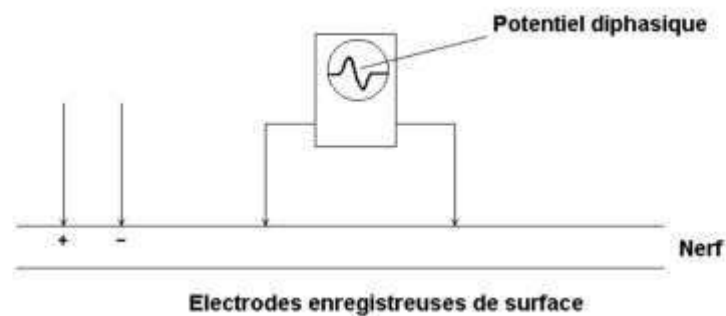
4 : Equipotentiel qui correspond au temps mis par l'influx nerveux de R1 vers R2 ;

5 : 2^{ème} dépolarisation qui correspond à l'inversion de la polarisation membranaire sous R2 ;

6 : 2^{ème} repolarisation qui correspond au retour à l'état normal de la polarisation membranaire sous R2 ;

7 : Hyperpolarisation qui correspond au temps où la fibre nerveuse est réfractaire à toute stimulation ;

	S_1	S_2					R_1	R_2				
	↓	↓		+	+	+	↓	↓		+	+	+
	+	+		-	-	-	+	+		-	-	-
1 - /	↓	↓		+	+	-	↓	↓		+	+	+
	+	+		-	-	+	+	+		-	-	-
2 - /	↓	↓		+	+	+	↓	↓		+	+	+
	+	+		-	-	-	+	+		-	-	-
3 - /	↓	↓		+	+	+	↓	↓		+	+	+
	+	+		-	-	-	+	+		-	-	-
4 - /	↓	↓		+	+	+	↓	↓		+	+	+
	+	+		-	-	-	+	+		-	-	-
5 - /	↓	↓		+	+	+	↓	↓		+	+	+
	+	+		-	-	-	+	+		-	-	-



4.1.2.3. Explication chimique du potentiel

Le passage de l'influx nerveux à travers une fibre nerveuse provoque un changement de perméabilité membranaire. En effet, la membrane plasmique de la fibre nerveuse devient plus perméable aux ions Na^+ ce qui entraîne l'entrée massive des ions sodiums à l'intérieur de la fibre nerveuse. D'où la dépolarisation.

La repolarisation est expliquée par la sortie des ions Na^+ par diffusion active car le milieu extérieur exerce une force pour faire sortir les ions Na^+ . C'est la pompe à sodium.

4.1.2.4. Conditions d'excitabilité des nerfs a) Intensité suffisante

La fibre nerveuse n'est pas excitée que si l'intensité d'excitation atteint une valeur seuil. Cette intensité seuil est appelée **rhéobase**.

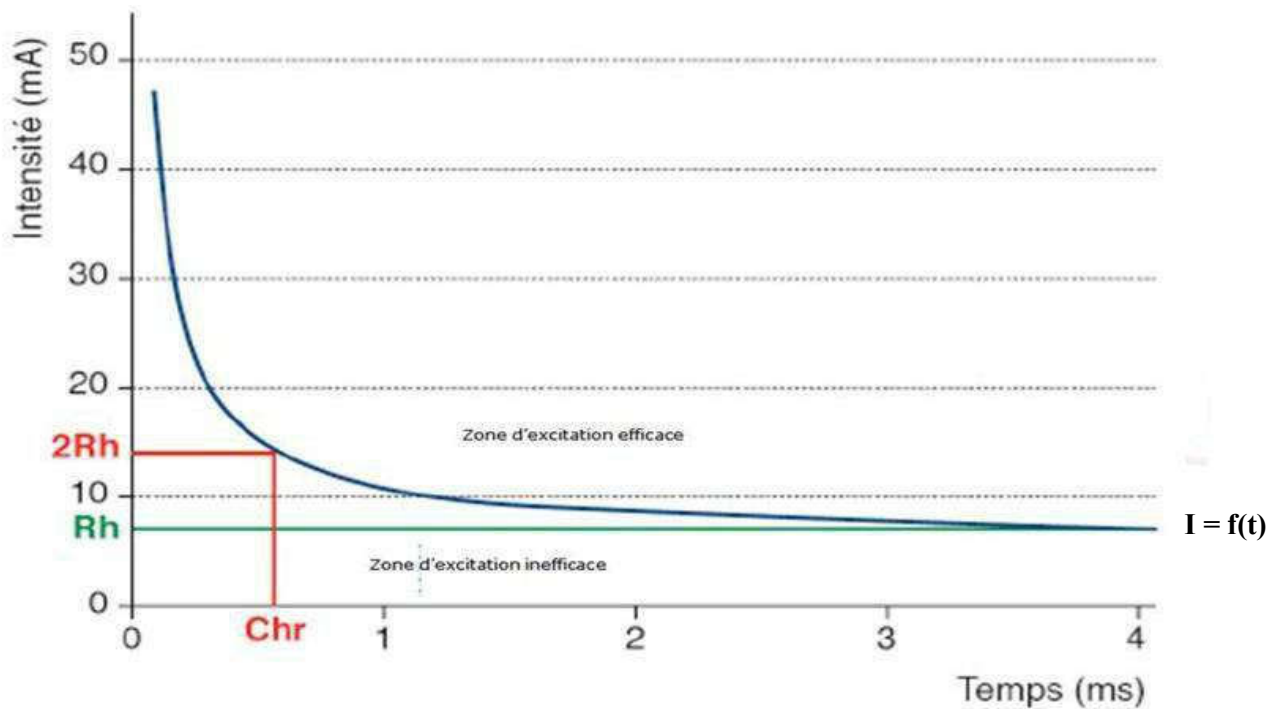
b) Temps utile

La fibre nerveuse n'est pas excitée que si la durée de l'application de l'excitation atteint une valeur seuil. C'est le **temps utile**. Le temps correspond à l'intensité double de la rhéobase est appelé **chronaxie**.

c) L'excitation doit être brutale

La fibre nerveuse n'est pas excitée que si l'application de l'excitation se fait de manière brutale. En effet, la réponse de la fibre nerveuse est obtenue au moment où l'on ferme l'interrupteur de l'appareil.

Courbe montrant la variation de l'intensité de l'excitation en fonction du temps



La fibre nerveuse doit être placée dans un liquide physiologique approprié

Puisque le potentiel d'action est le résultat de l'entrée massive des ions Na^+ à l'intérieur de la fibre nerveuse qui doit être placée dans une cuve contenant une solution de Na^+ et Cl^- .

Exemple de liquide utilisé lors de l'expérience de mise en évidence du potentiel d'action est l'eau de mer.

4.2. Conductibilité

Le potentiel d'action né à un endroit d'une fibre nerveuse et se propage le long de cette fibre. La fibre nerveuse est donc conductible.

4.2.1. Vitesse de conductibilité

On peut calculer la vitesse de conductibilité d'un nerf en évaluant la distance séparant la 2^{ème} électrode stimulatrice et la 1^{ère} électrode réceptrice. Cette distance est appelée "**d**". On peut évaluer aussi la valeur du temps de latence :

$$V = \frac{d}{t} \text{ (m/s)}$$

Cette vitesse de conductibilité varie suivant :

Le diamètre de la fibre : plus le diamètre de la fibre est plus grand, plus la conductibilité est rapide.

La température ambiante : la vitesse de conductibilité et la température externe est inversement proportionnelle.

La nature de la fibre nerveuse : La fibre à myéline conduit plus rapidement l'influx nerveux. L'influx nerveux qui passe d'un étranglement de Ranvier à un autre est dit **conductibilité saltatrice**.

4.2.2. Conditions de conductibilité

Il existe 3 types de conductibilité :

Conductibilité de la fibre nerveuse : une fibre nerveuse lésée ne conduit pas l'influx nerveux ;

Conductibilité à sens unique : le sens de conductibilité se fait toujours du corps cellulaire vers l'arborisation terminale ;

Existence d'un liquide extracellulaire approprié : pour que la fibre nerveuse conduise l'influx nerveux, il faut qu'elle soit baignée dans un liquide physiologique contenant des ions sodiums.

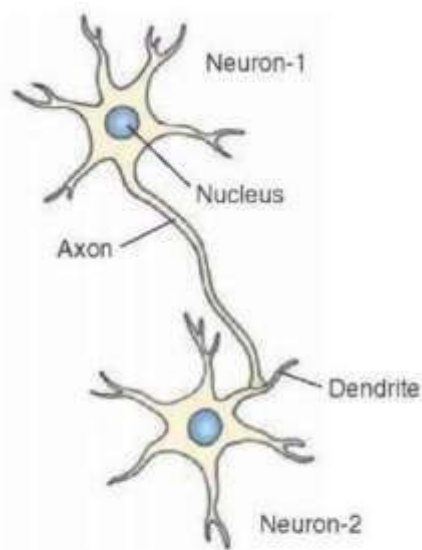
5. Synapse

5.1. Définition

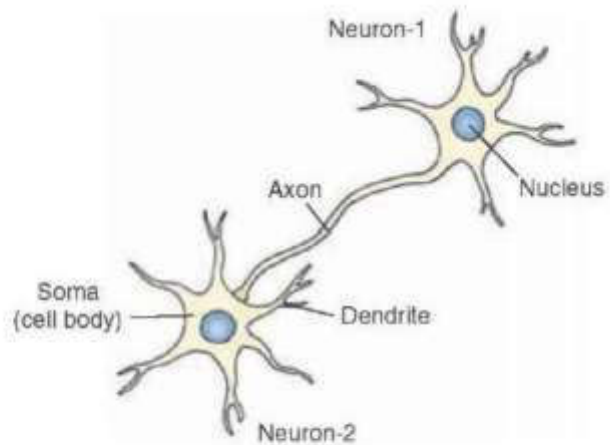
La **synapse** est le point de jonction des deux neurones. Le neurone situé avant la synapse est appelé **neurone pré synaptique** tandis que celui qui se trouve après est appelé **neurone post synaptique**.

5.2. Différents types de synapses

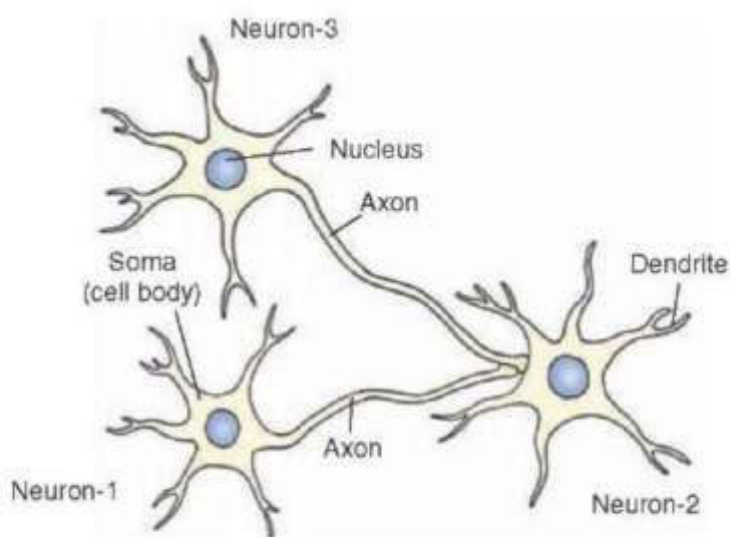
Il existe 3 types de synapses :



Synapse Axodendritique (Axone - dendrite)



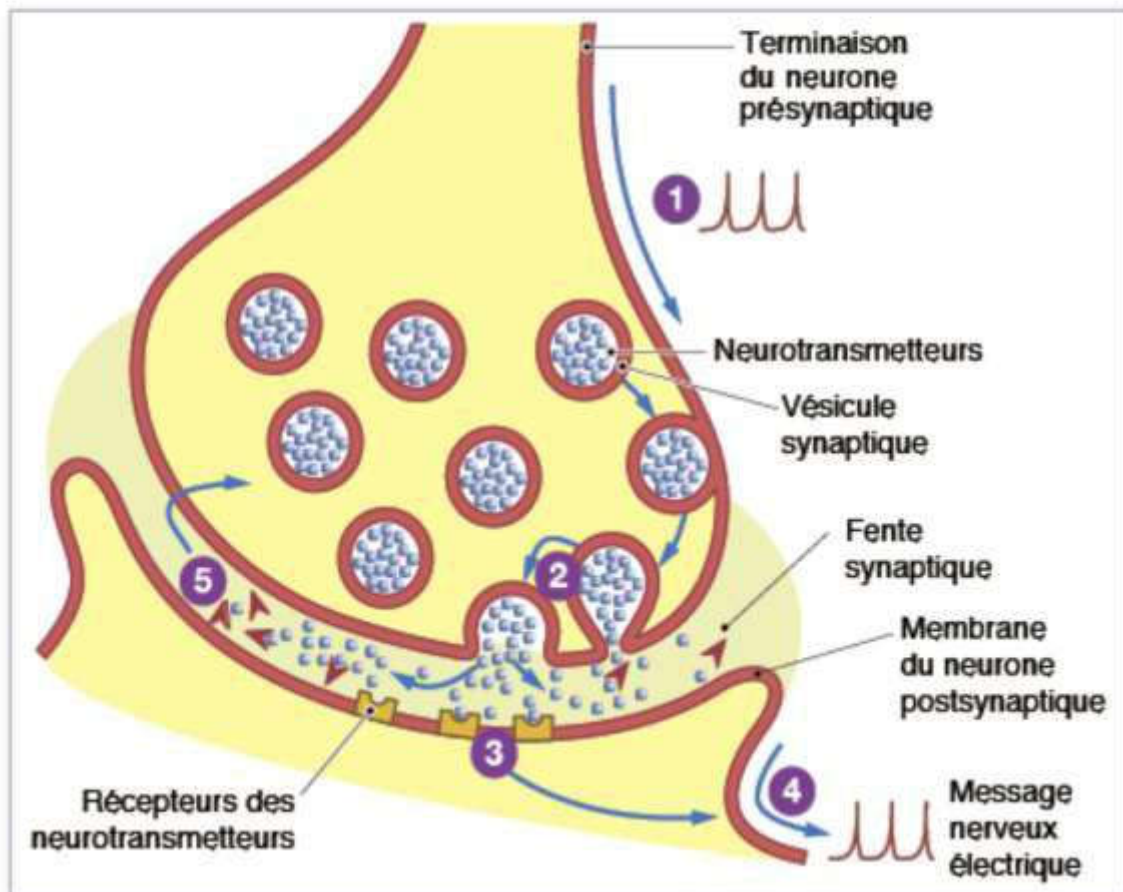
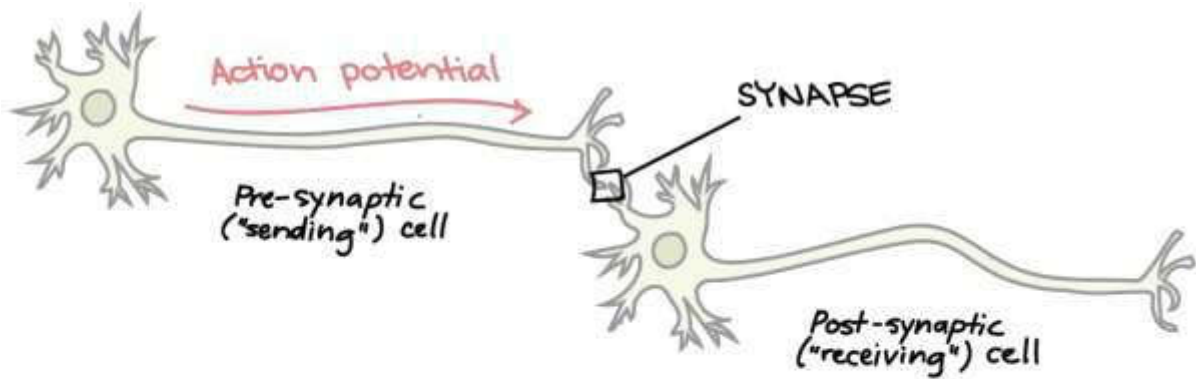
Synapse Axosomatique (Axone - Corps cellulaire)



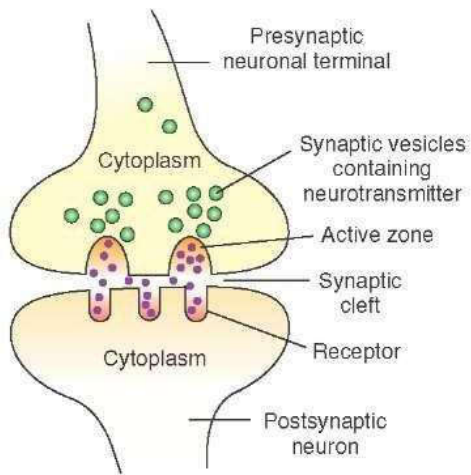
Synapse Axoaxonique (Axone - Axone)

5.3. Passage de l'influx nerveux au niveau de synapses

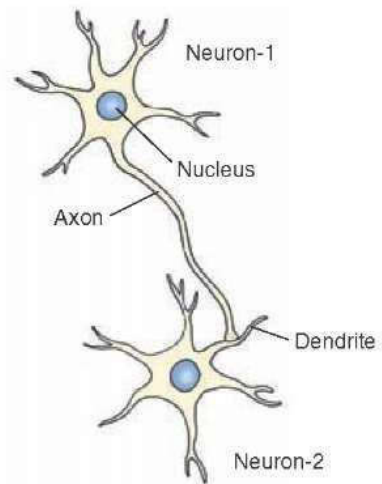
Lorsque l'influx nerveux arrive au niveau du bouton synaptique qui renferme plusieurs vésicules à acétylcholine. Les vésicules s'accrochent à la membrane pré-synaptique et déversent dans le milieu extérieur de l'acétylcholine. Ces derniers sont reçus par les récepteurs postsynaptiques et qui entraînent la naissance d'un influx nerveux.



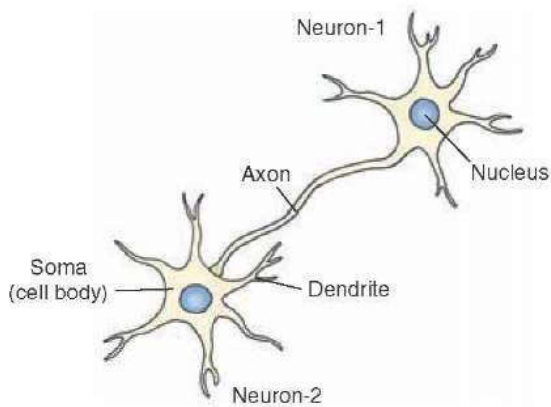
Résumé schématique



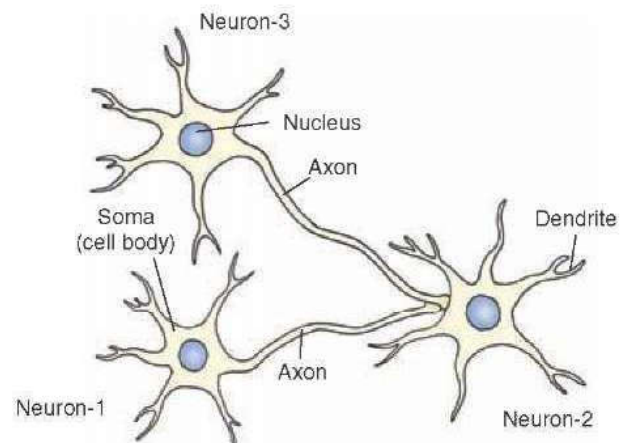
A Chemical synapse



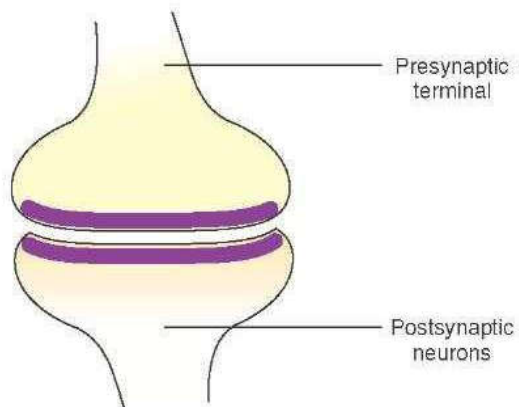
B Axodendritic synapse



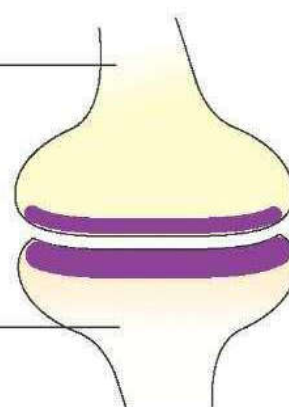
C Axosomatic synapse



D Axoaxonic synapse



E Symmetric synapse



F Asymmetric synapse

B- IMMUNOLOGIE

Définitions :

Immunité : c'est l'ensemble des réactions de défense de l'organisme contre l'infection microbienne.

Le soi : c'est l'ensemble des cellules et des molécules qui appartiennent à l'organisme. Il est le résultat de l'expression de son génome.

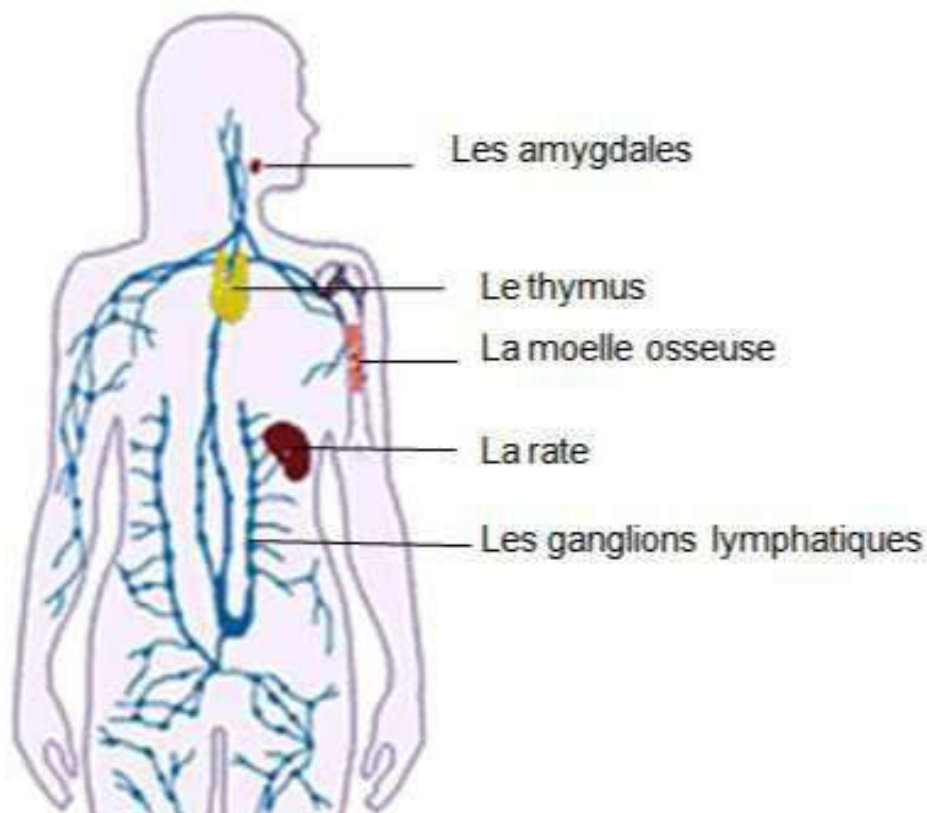
Le non soi : c'est l'ensemble des substances étrangères à l'organisme.

Antigènes : ce sont les molécules du non soi qui provoquent la sécrétion de l'anticorps.

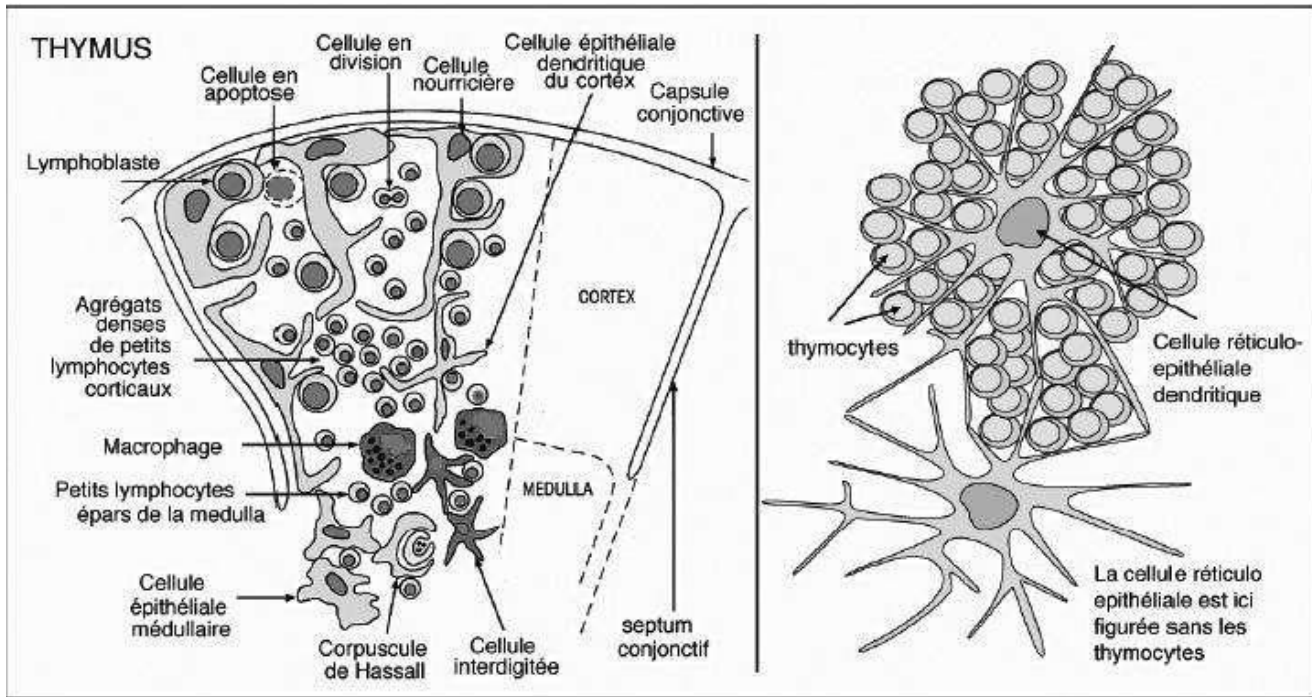
Marqueur de soi : c'est une substance de nature glycoprotéique localisée sur la membrane du soi, c'est le **CMH** (Complexe Majeur d'Histocompatibilité) et **HLA** (Human Leucocyte Antigen).

Déterminant antigénique : c'est la partie de l'antigène qui est reconnue par le système immunitaire

Organes lymphoïdes

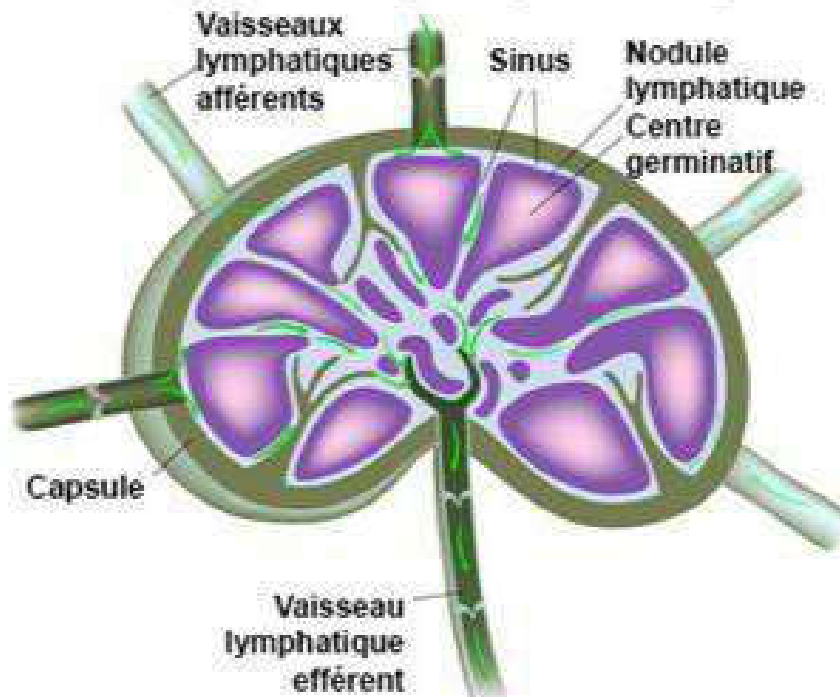


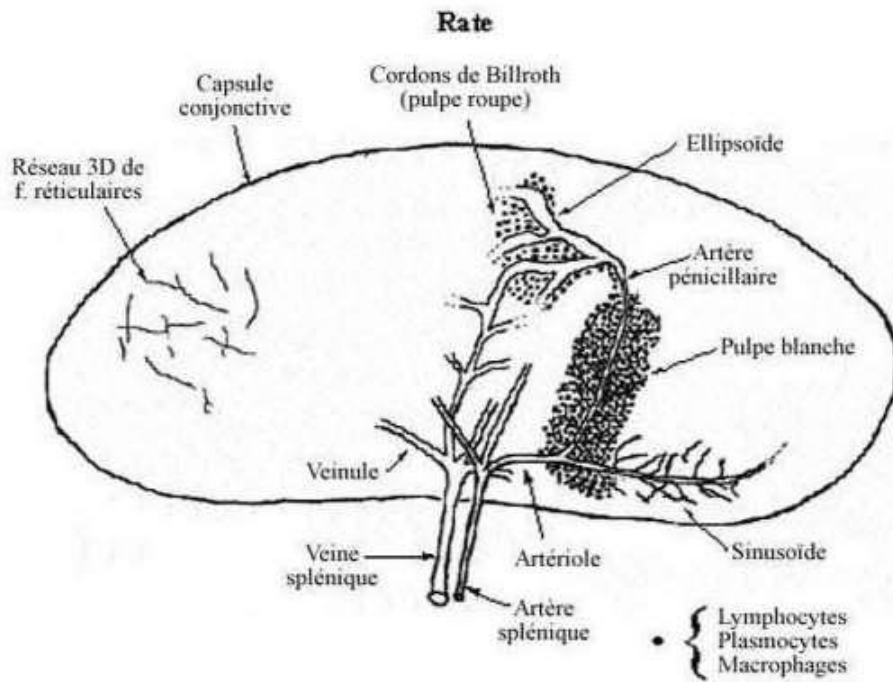
2.1. Organes lymphoïdes primaires : thymus, moelle osseuse



2.2. Organes lymphoïdes secondaires : Ganglion lymphatique, rate

Ganglion lymphatique



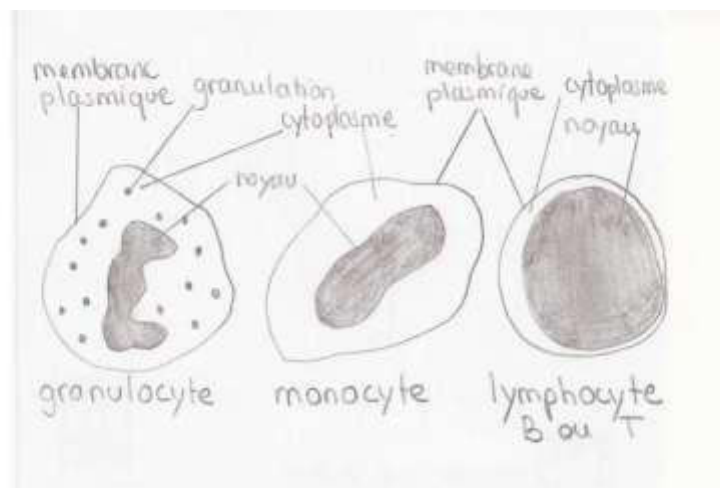


3. Cellules immunitaires

Lorsque les microbes arrivent à franchir les barrières naturelles contre l'infection microbienne (la peau, la glande sudoripare, la muqueuse, etc...), l'organisme dispose des cellules qui assurent leurs défenses appelées **cellules immunitaires**. Ce sont les **leucocytes** (globule blanc).

Les cellules immunitaires sont toutes formées dans la moelle osseuse et sont véhiculées par le sang, par la lymphe, vers les organes lymphoïdes secondaires : les **ganglions** et la **rate** après avoir passé dans les organes lymphoïdes primaires tel que le **thymus**.

Il existe 4 types de **cellules immunitaires** :

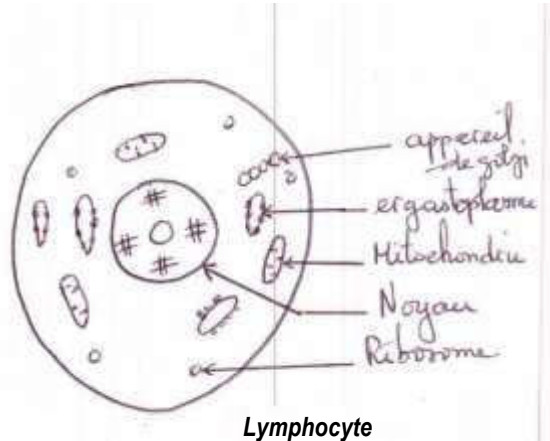


: Ce sont des cellules à noyaux plurilobés
d'où le nom de polynucléaires.

Macrophage : Ce sont des cellules de grande taille mais **plurilobées**. Elles

proviennent de la différenciation d'une cellule initiale appelée **monocyte**. **Lymphocytes** :
Ce sont des cellules mobiles possédant un noyau sphérique, entourées d'une mince couche
de cytoplasme. Le cytoplasme renferme plusieurs mitochondries, de grains de ribosome,
de l'appareil de Golgi, des ergastoplasmes.

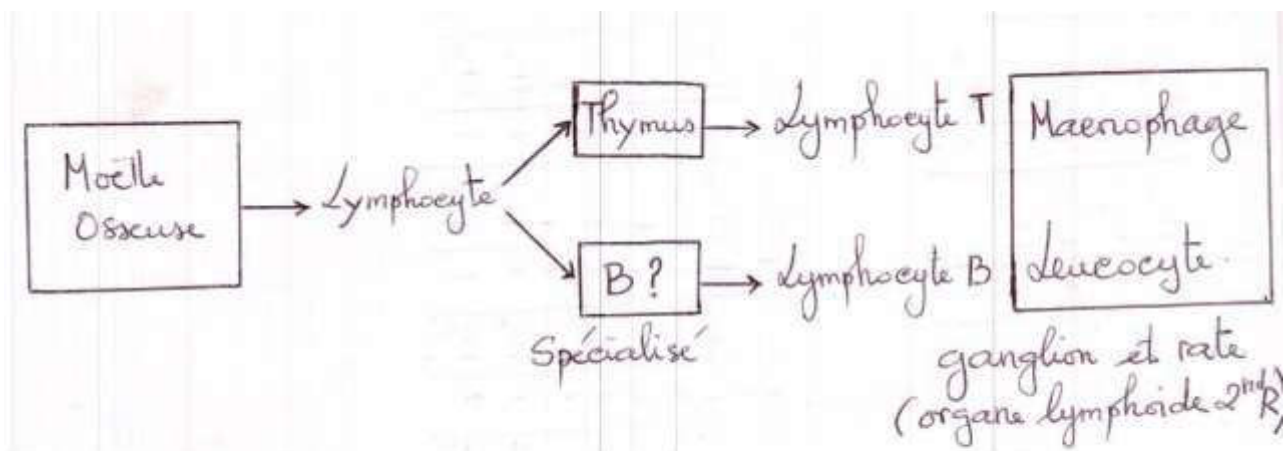
Polynucléaires ou granulocytes



On distingue deux types de lymphocytes : lymphocyte T et lymphocyte B

Lymphocytes T : Ce sont des lymphocytes qui se sont formés dans la **moelle osseuse** et se sont spécialisés dans l'organe lymphoïde primaire appelé **thymus** avant de passer dans les **ganglions** et la **rate**.

Lymphocytes B : Ce sont des cellules qui se sont formées dans la **moelle osseuse** et se sont spécialisées dans un organe inconnu appelé **organe B** avant d'arriver dans les organes lymphoïdes secondaires : les **ganglions** et la **rate**.



Plasmocytes : Ce sont des cellules obtenues à partir de la différenciation du lymphocyte B.

Différents types de réactions immunitaires

On distingue deux types de réactions immunitaires :

Immunité innée : existe à la naissance

Immunité acquise : s'acquiert au cours du temps

4.1. Immunité innée

4.1.1. Immunité à médiation cellulaire

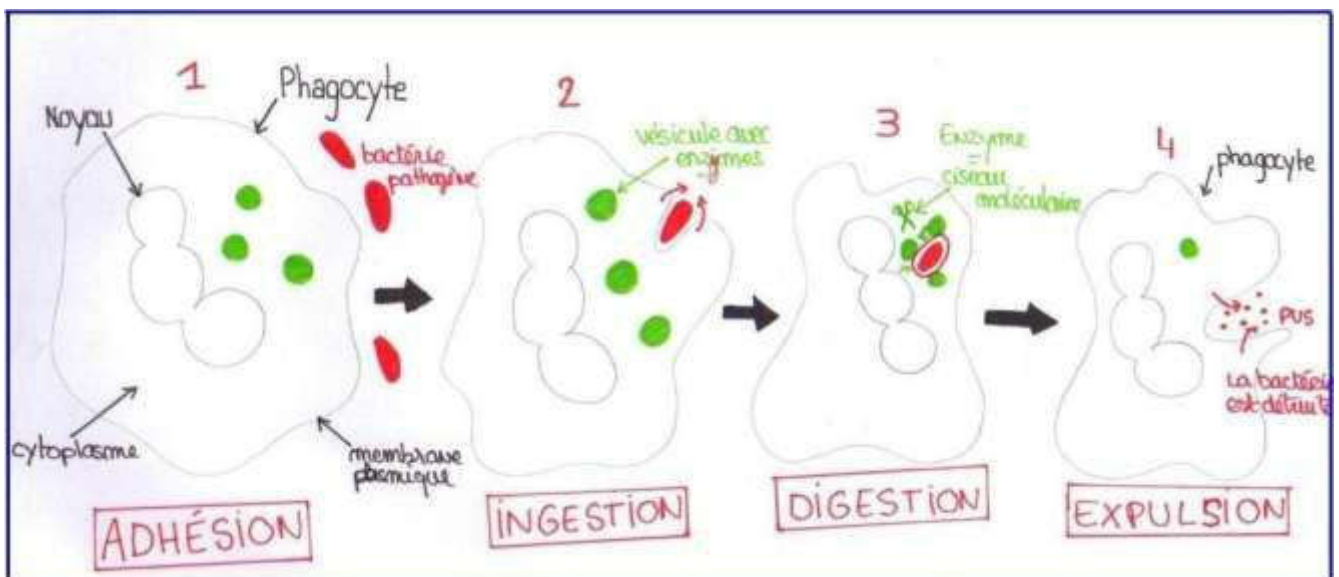
Lorsque les microbes arrivent dans le tissu, ils provoquent une inflammation locale caractérisée par : **rougeur, tumeur, douleur, chaleur**.

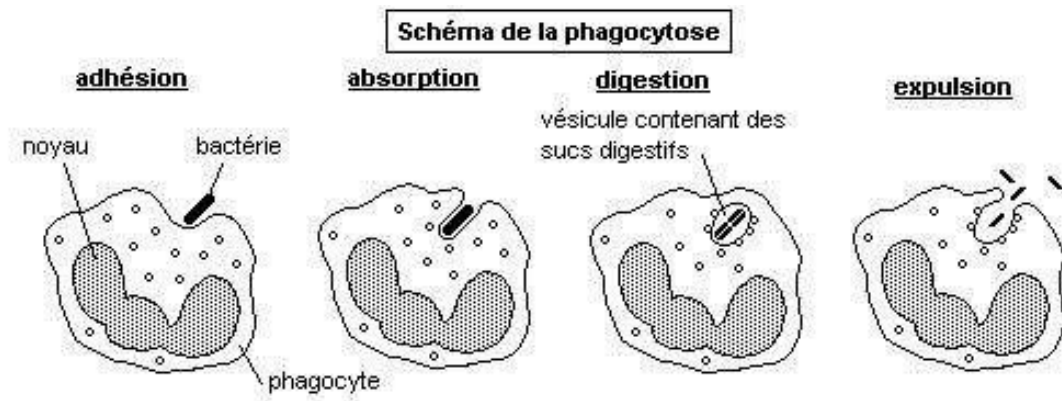
La tumeur : s'explique par l'entrée massive de polynucléaire dans le tissu pour faire la phagocytose qui se déroule en trois phases :

Phase d'adhésion : le microbe s'accroche sur la surface membranaire du granulocyte.

Phase d'ingestion : la membrane plasmique du granulocyte s'invagine pour former le pseudopode qui englobe le microbe.

Phase de digestion : le microbe ingéré est digéré par la vacuole digestive.





Lorsque l'intervention des polynucléaires sont inefficaces car les microbes sont très virulents, les macrophages prennent le relai. Si la phagocytose des polynucléaires sont complète (ils digèrent complètement le microbe), celle des macrophages sont partielles car ils laissent à la surface membranaire une partie des microbes appelés **sites antigéniques**. Les macrophages et les polynucléaires sont appelés des **phagocytes**.

Remarque : Puisque la phagocytose est valable sur toute forme de microbes, on dit que l'immunité à médiation cellulaire est **non spécifique**.

4.1.2. Immunité à médiation humorale

Pendant l'inflammation locale, l'irritation des nerfs provoque un influx nerveux jusqu'à l'hypothalamus et se traduit par une élévation de température du corps : la **fièvre** qui a pour leur multiplication. La réaction hypothalamique comporte également la sécrétion d'une hormone **realising facton** qui stimule l'hypophyse à sécréter de l'**ACTH**. Cette hormone stimule les capsules surrénales à sécréter une substance appelée corticoïde qui joue un rôle d'anti-inflammatoire (tuer les microbes et empêcher leur multiplication).

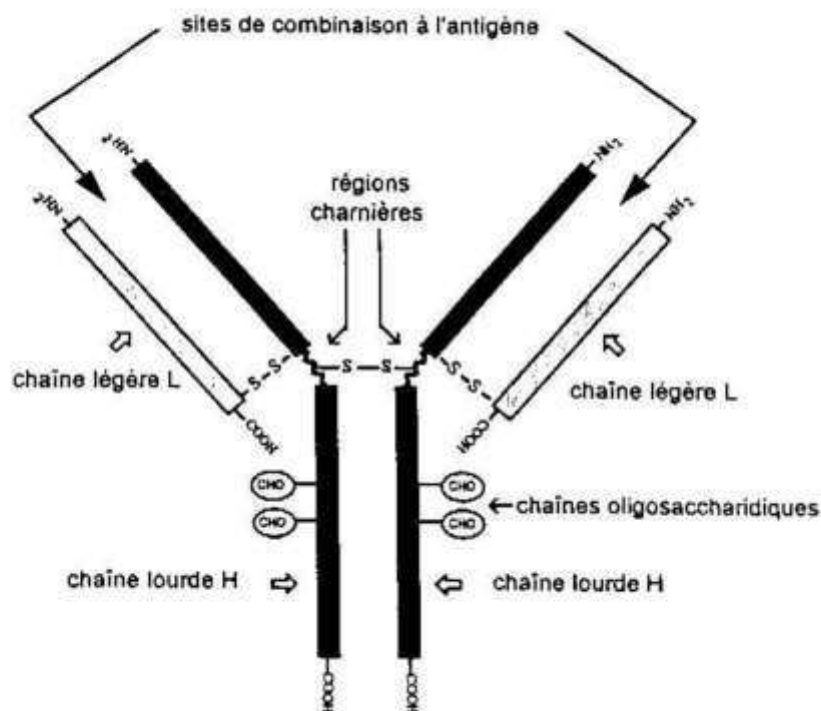
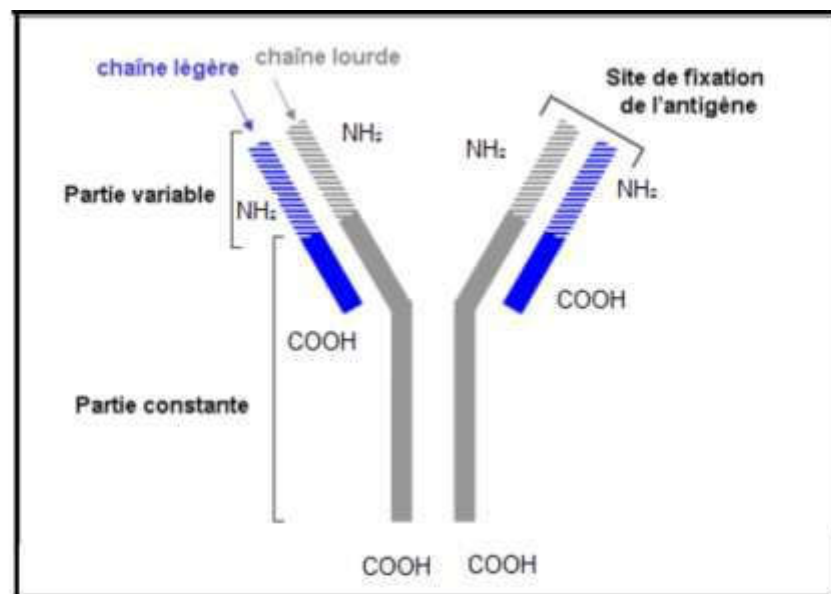
Dans le cas de maladie visuelle, l'organisme produit un **interféron** de nature glycoprotéique qui arrête la multiplication de virus.

4.2. Immunité acquise

Elle est acquise au cours d'une maladie infectieuse comme **rougeole** (kitotro), la **variole**, la **rubéole**, la **varicelle**. Au cours de la maladie, l'individu contracte une **immunité spécifique** qui le protégera contre une infection de même type. Alors que l'immunité innée s'applique à tous les microbes, l'immunité acquise est **valable seulement pour une espèce**, on dit qu'elle est **spécifique**.

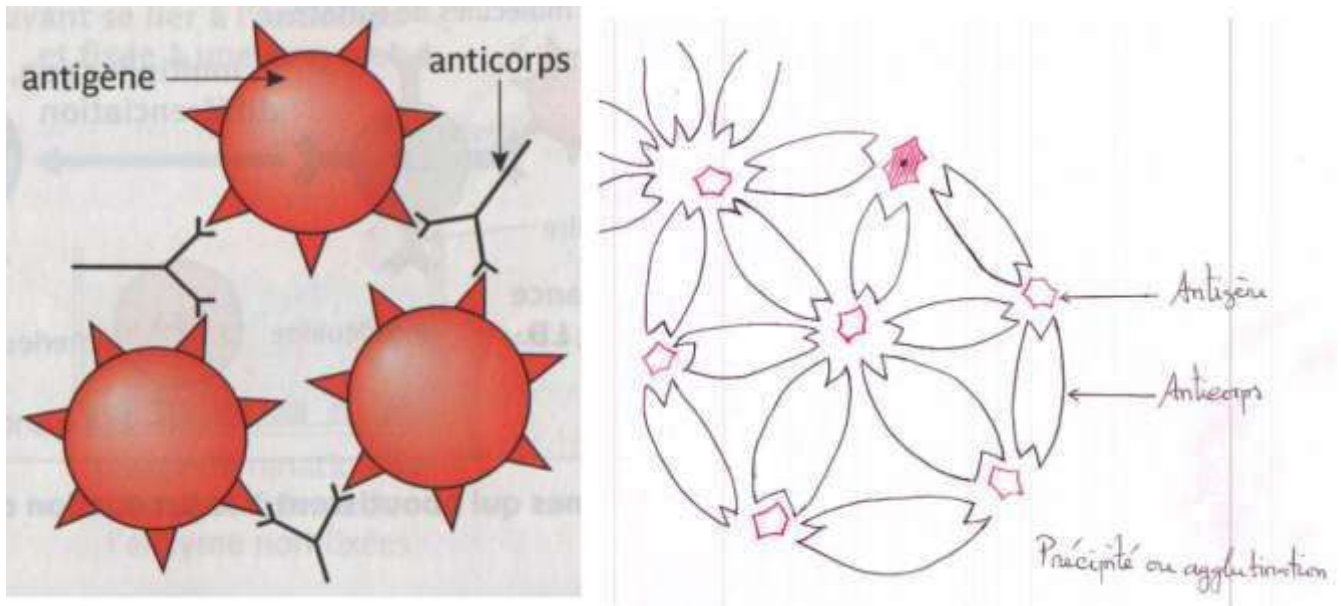
4.2.1. Lymphocyte B et immunité à médiation humorale

Au cours de la phagocytose, les macrophages conservent à sa surface membranaire les sites antigéniques. C'est alors que 4 à 5 lymphocytes B se fixent autour du macrophage en formant **un îlot lymphocytaire**. Le contact étroit s'établit entre les deux types de cellules permettant le passage de l'information antigénique (ARNm) du macrophage vers le lymphocyte B, ce dernier subit une métamorphose, son cytoplasme devient riche en réticulum endoplasmique et dictyosome. C'est un **plasmocyte** qui produit une substance protéinique appelée **gammaglobulines** ou **immunoglobulines** ou **anticorps** circulant.



Les deux parties spécifiques ou sites actifs de l'anticorps s'unissent au site complémentaire de l'antigène en formant un réseau appelé **complexe immun** ou **complexe antigène-anticorps** ou **agglutinant** ou **agglutination**. L'agglutine serait ensuite englobé par le phagocyte.

NB : l'union du complexe immun et la phagocytose sont facilité par des protéines plasmatiques appelées **properdine**, **apsonine**, complément du cycle ovarien de la femme.



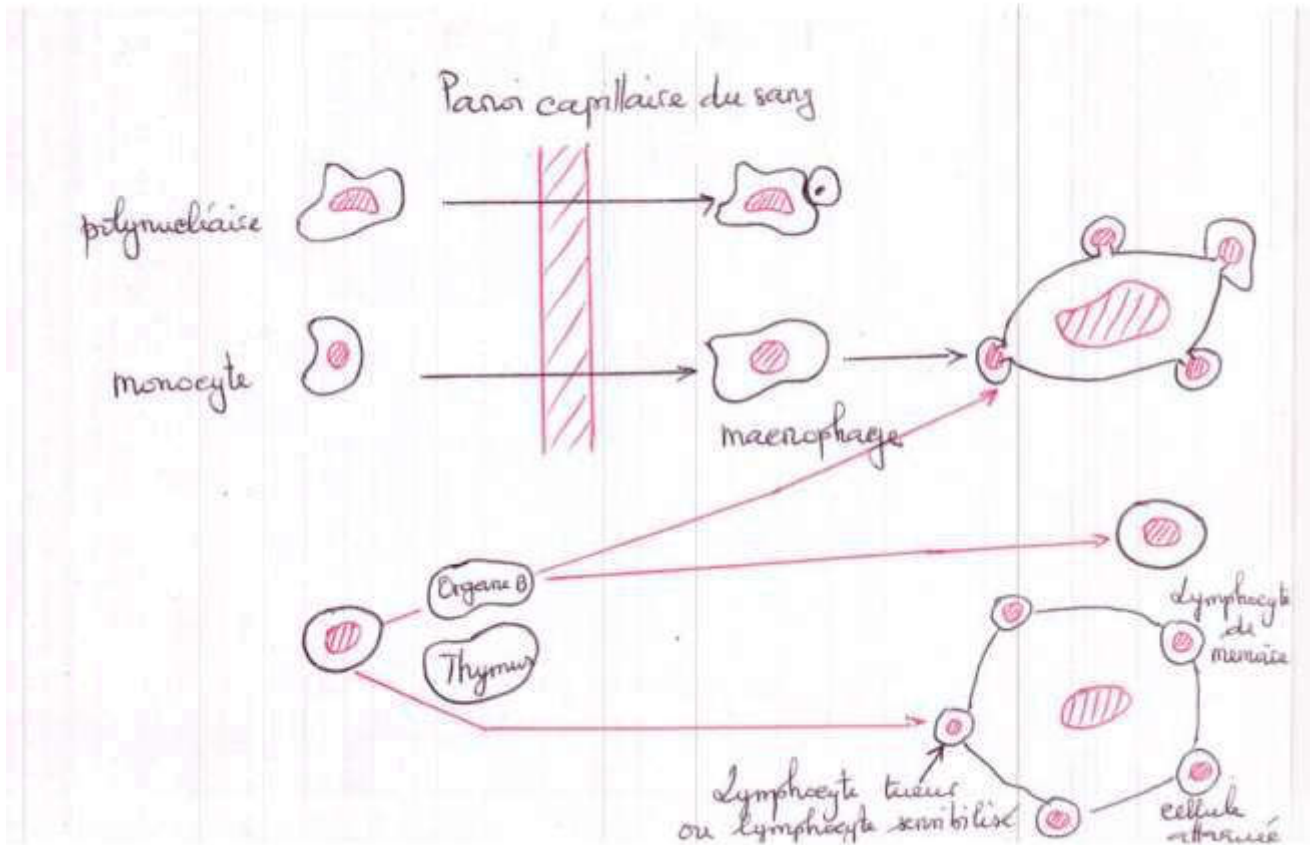
Complexe antigène - anticorps ou agglutination

4.2.2. Lymphocyte T et immunité à médiation humorale

Les lymphocytes T répondent à l'antigène en produisant une protéine spécifique (immunoglobulines distinctes de l'anticorps) qui reste à l'intérieur de la cellule. Les lymphocytes T sont alors sensibilisés, ils luttent contre l'antigène en **imprégnant de toxines qui le tue et d'enzymes qui le digère**.

La réaction à médiation cellulaire est efficace contre les maladies à évolution lente telle que la **tuberculose** et le **cancer**. L'immunité à médiation cellulaire apparaît plus lentement que l'immunité humorale par l'anticorps circulant mais dure plus longtemps (de nombreuses années et même toute la vie).

Certains lymphocytes T et lymphocytes B dans le sang, ils ne participent pas à la réaction à médiation cellulaire, on les appelle **lymphocytes de mémoires** qui interviennent tout de suite en cas de réinfection.



Remarque :

Immunité acquise par vaccination : la **vaccination** est une inoculation d'une **culture microbienne atténuée** qui provoque une sécrétion d'anticorps par les plasmocytes. Ces anticorps restent dans le sang et immunise l'organisme contre l'infection microbienne.

C- DISFONCTIONNEMENT DU SYSTÈME IMMUNITAIRE

1. Allergie

L'allergie est utilisée pour désigner la réaction immunologique différente vis à vis d'un corps étranger. Il s'agit d'une hypersensibilité de l'organisme vis à vis d'un **antigène** ou **allergène**.

Exemple : Grain de pollen

Réactions allergiques fréquentes

Asthme : difficulté respiratoire causée par la contraction des muscles de branchies

Rhinite : écoulement nasale, larmoyant, éternuement, conjonctive

Eczéma : affection cutanée en plaque rouge

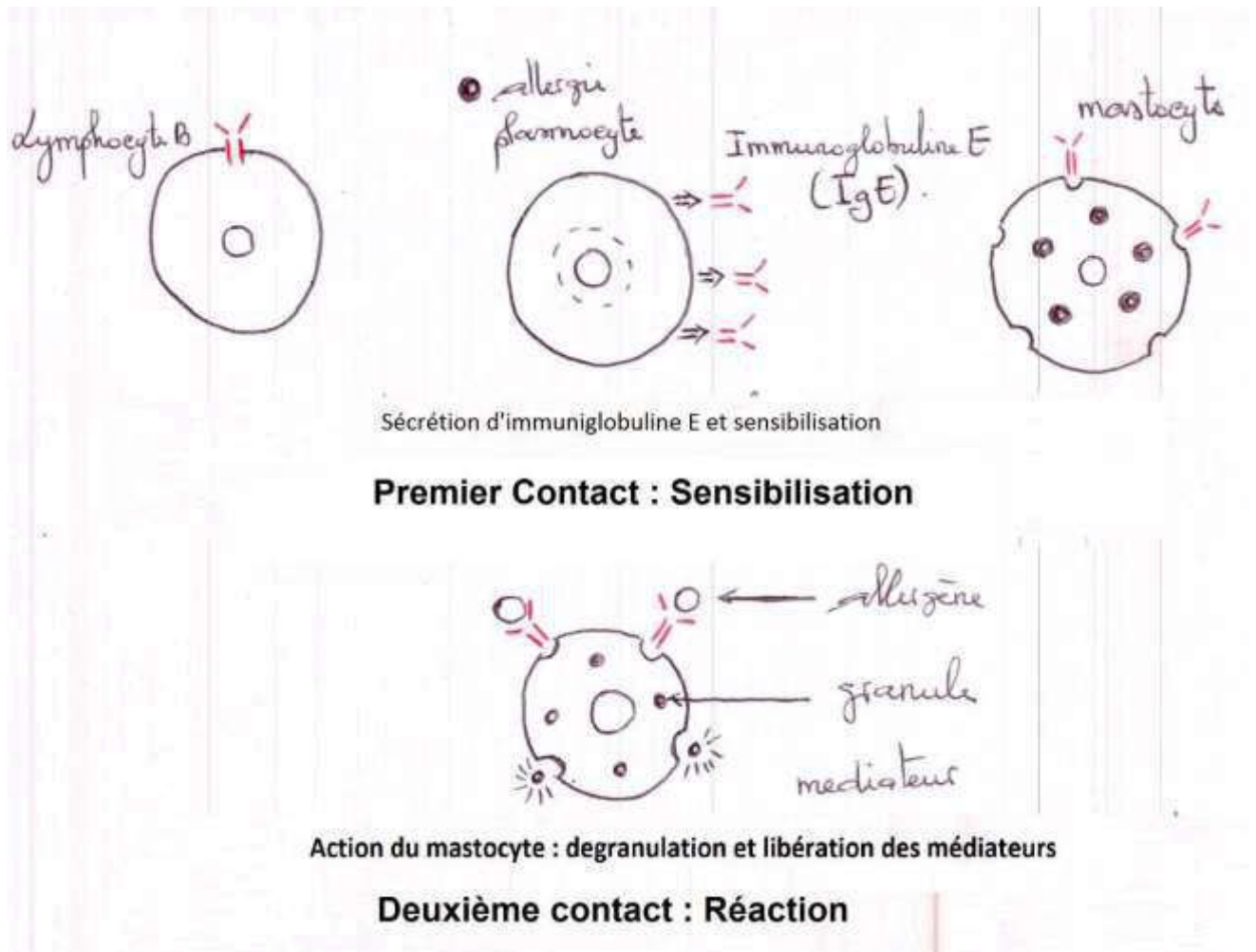
Orticame : éruption cutanée plus ou moins suintante et plus origine use.

Réaction d'hypersensibilité

La réaction allergique s'effectue en 2 phases :

Phase de sensibilisation

Phase de réaction



3.1. Phase de sensibilisation

Au premier contact de l'allergène, le lymphocyte B se transforme en plasmocyte, sécrétant par la suite un anticorps spécial appelé **immunoglobuline E**. Les derniers vont se fixer sur la membrane d'une cellule appelée **mastocyte** localisée dans le tissu. On dit que les mastocytes sont **sensibilisés** mais l'organisme ne présente aucune réaction allergique.

3.2. Phase de réaction

En cas du deuxième contact avec un allergène, les granules de mastocyte sensibilisés se déversent vers l'extérieur en y sécrétant une substance appelée **histamine** qui provoquera une vasodilatation d'où la réaction allergique.

4. Déficits du système immunitaire

Le système immunitaire d'un individu peut être défaillant, le phénomène peut exister dès la naissance ou acquis au cours de la vie.

PARTIE II : GÉOLOGIE

Chapitre I : CARTOGRAPHIE

A- CARTE TOPOGRAPHIQUE

Généralités

1.1. Définition

La carte topographique est la représentation plane d'une partie plus ou moins grande de la surface de la terre permettant de percevoir le relief, déterminer des altitudes et mesurer des pentes.

1.2. Echelle topographique

Pour pouvoir représenter une région entière sur papier, il faut une réduction, d'où la nécessité d'une échelle.

L'échelle notée E c'est le rapport de grandeur entre la mesure sur la carte et la mesure réelle correspondante sur le terrain ; ces deux mesures ont même unité.

$$E = \frac{\text{Mesure sur carte}}{\text{Mesure correspondante sur le terrain}} = \frac{l}{L}$$

Il existe 2 formes d'échelle topographique :

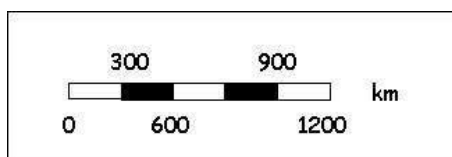
Echelle numérique : elle se présente sous forme de fraction ;

Exemple : _____

= 100000 : 1cm sur la carte représente 100m (ou 10000cm) sur le terrain.

Echelle graphique : elle se présente sous forme de segment gradué

Exemple :



= 1 cm sur la carte représente 300km sur le terrain

On distingue deux types d'échelle :

Échelle de longueur (eL) qu'on utilise pour calculer des distances et des largeurs de fleuve

Échelle de hauteur (eH) : on utilise pour évaluer l'altitude d'un point ou la hauteur d'une falaise

Remarque : Si la carte ne porte qu'une échelle, on peut l'utiliser à la fois comme échelle de longueur et échelle de hauteur.

1.3. Représentation du relief sur une carte

L'orographie est la représentation du relief terrestre. Plusieurs éléments décrivent les formes du terrain : les courbes de niveau et les points cotés.

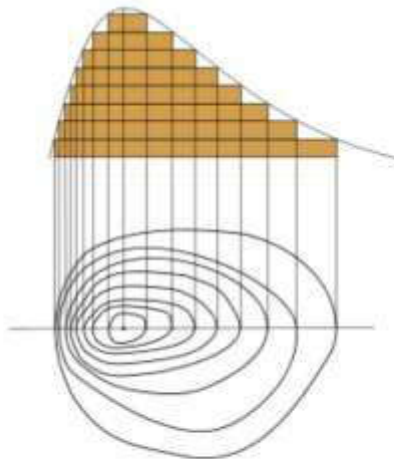
1.3.1. Courbes de niveau

1.3.1.1. Définition

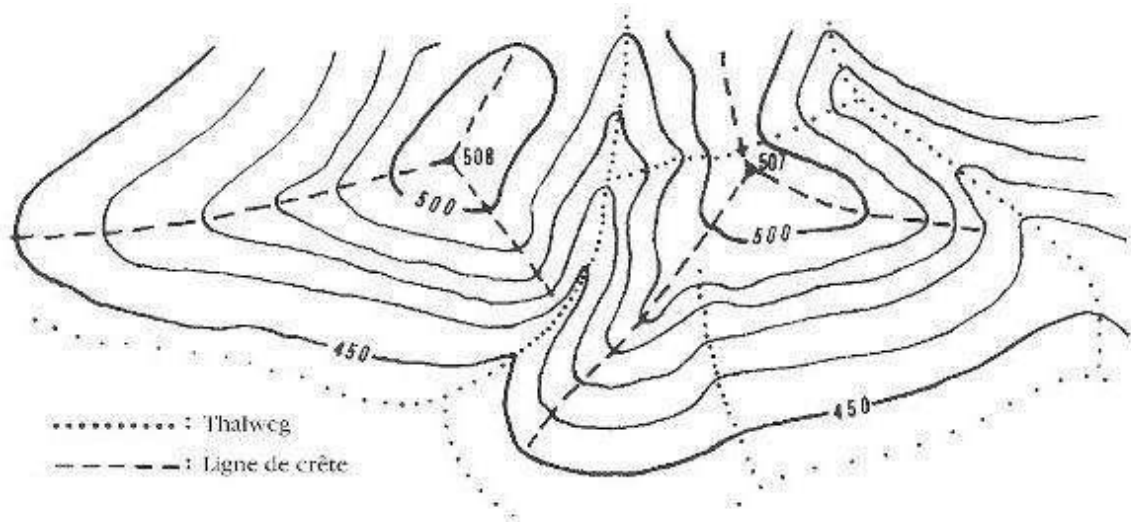
Le relief du terrain est dessiné sur la carte par des courbes de niveau. Les **courbes de niveau** ou **isoplètes** sont des lignes imaginaires placées sur une carte de géographie, qui joignent tous les points situés à la même **altitude**. C'est aussi la ligne d'intersection d'un plan horizontal avec le relief du terrain.

1.3.1.2. Principe de construction des courbes de niveau

Pour comprendre la représentation du relief par les courbes de niveau, il suffit d'imaginer une montagne découpée en gradins et de la survoler par la pensée.



1.3.1.3. Types de courbe de niveau



On distingue 3 types de courbes de niveau :

Les courbes maîtresses ou directrices, appelées aussi courbes principales. Elles se présentent sous forme d'un trait continu et épais. Une courbe maîtresse sera généralement associée à une altitude indiquée par des chiffres orientés en fonction de la pente repérée : cela permet de compter rapidement la dénivelée.

Les courbes normales ou simples ou traditionnelles : elles se présentent sous forme de trait continu et fin. Quelques courbes de niveau normales sont encadrées entre 2 courbes de niveau maîtresses.

Les courbes intercalaires ou intermédiaires : elles se présentent sous forme de trait discontinu. On trace une courbe intercalaire entre deux courbes de niveau très espacées (se situe à la demi-équidistance). On les représente sur la carte uniquement lorsque la pente n'est pas régulière entre deux courbes de niveau traditionnelles ou entre une courbe directrice et une courbe traditionnelle.

1.3.2. Équidistance

On appelle **équidistance** la différence d'altitude entre 2 courbes de niveau successives. L'équidistance est un nombre toujours multiples de 5.

L'équidistance est la **distance verticale séparant deux courbes de niveau** : C'est la différence d'altitude ou dénivellation entre deux courbes de niveau simples.

Elle est toujours multiple entier de 5 et ne varie jamais dans une carte, ainsi les altitudes des toutes les courbes de niveau dans cette carte sont multiples entiers de l'équidistance.

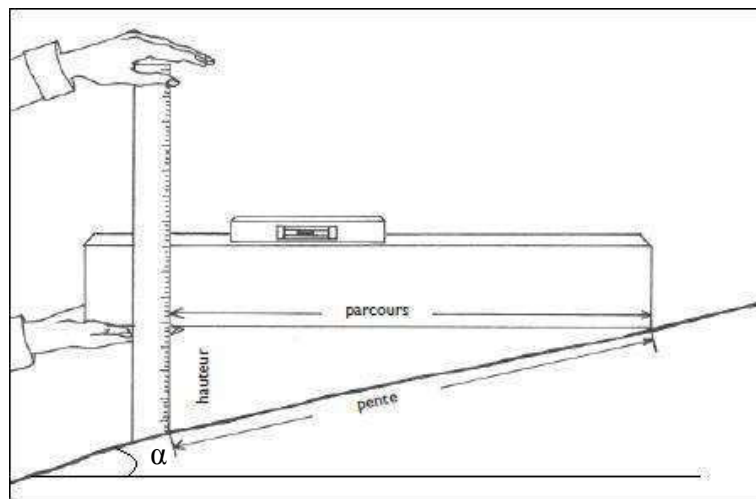
On calcule l'équidistance (notée Eq) par le rapport entre la différence de l'altitude entre les points cotés de la carte et le nombre de l'équidistance entre ces deux points cotés.

$$Eq = 27m \Rightarrow 30m \text{ ou } 25m$$

$$Eq = 25m$$

1.3.3. Pente d'un terrain

La pente d'un terrain est l'angle que fait le relief par rapport à un plan horizontal.



Principe de calcul de la pente : _____

$$\text{Pente} = 16,2\%$$

Remarque :

L'altitude est précisée à certains endroits sur les courbes de niveau : le haut des chiffres indique la partie haute de la pente, et le bas des chiffres la partie basse de la pente.

Pente : Plus les courbes de niveau sont rapprochées, plus la pente est raide ; plus elles sont espacées, plus la pente est douce.

1.3.4. Points cotés

Les points cotés occupent une grande place dans le figuré du terrain. Ils doivent répondre trois impératifs :

Aider à la lecture des courbes de niveau ;

Définir les parties non représentées par les courbes en raison de l'équidistance (sommet, cuvette, changement de pente) ;

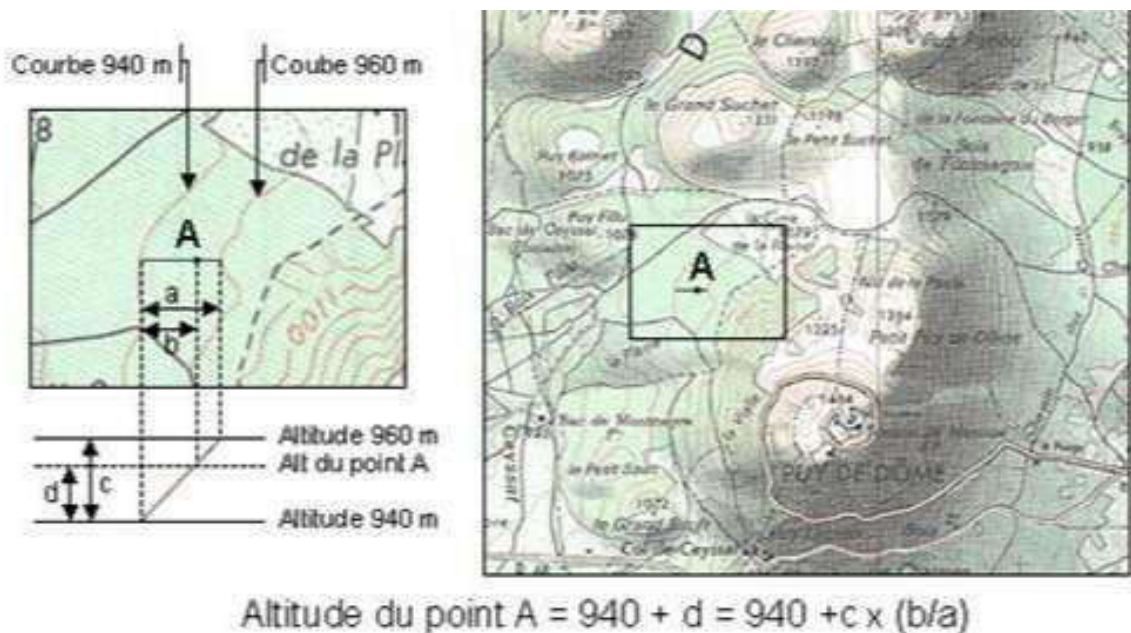
Servir de point de départ à des opérations altimétriques sur le terrain (exemple : réglage d'un altimètre).

1.3.4.1. Interpolation d'une altitude entre les courbes

Les courbes de niveau et les points cotés permettent de déterminer l'altitude d'un point par approximation, la pente étant localement supposée uniforme.

1.3.4.2. Détermination d'altitude d'un point A

Il convient d'abord de déterminer l'altitude des courbes qui encadrent le point A. La différence d'altitude entre le point A et les courbes de niveau qui l'encadrent est proportionnelle à la distance qui le sépare de ces mêmes courbes

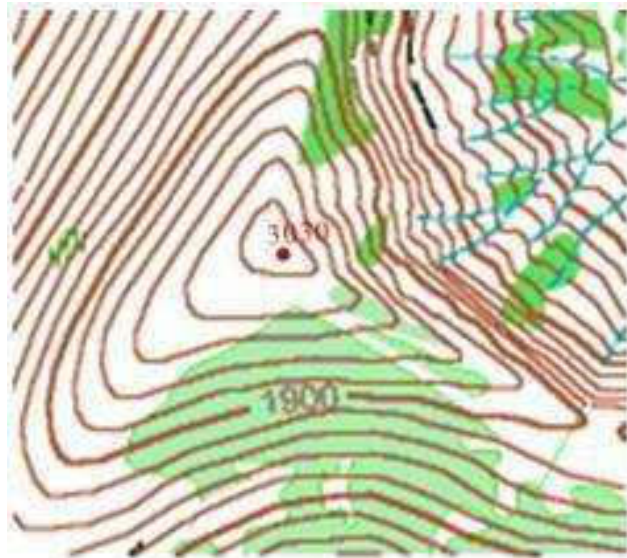


1.3.5. Différents reliefs d'une surface topographique

L'aspect des courbes de niveau sur la carte topographique nous donne des renseignements sur le relief du terrain.

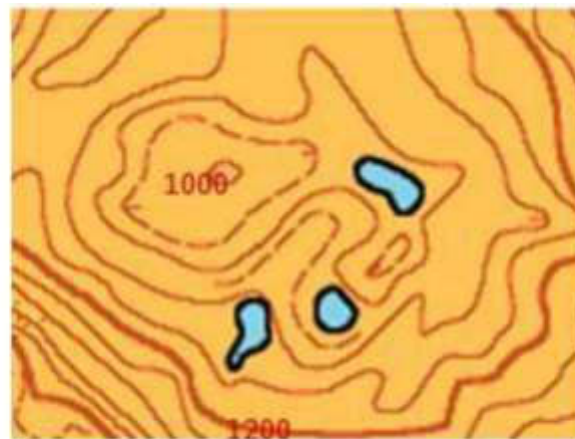
1.3.5.1. Sommet

Un **Sommet** d'une colline ou d'une montagne est représenté par des courbes de niveau concentriques dont l'altitude centrale est plus élevée par rapport à l'altitude périphérique.



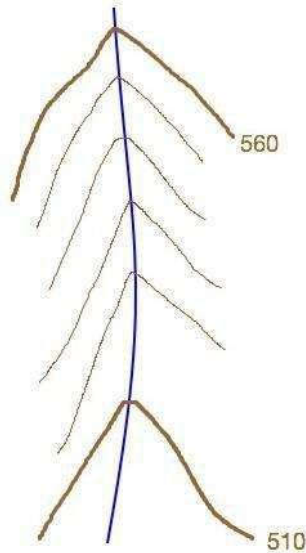
1.3.5.2. Cuvette

Une **Cuvette** est représentée par des courbes concentriques dont l'altitude centrale est plus basse par rapport à l'altitude périphérique.



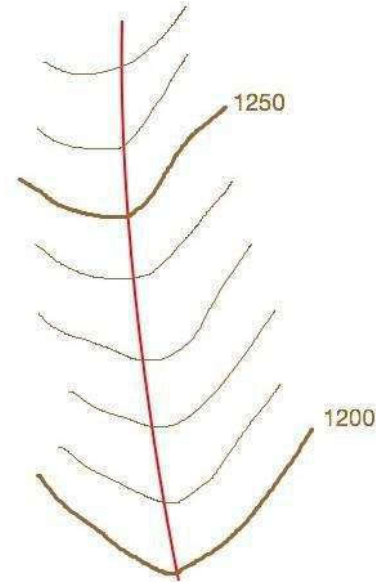
1.3.5.3. Vallée ou talweg

La Vallée ou talweg est reconnue dans une carte par des courbes de niveau formant des chevrons dont les pointes de V tournent vers l'altitude supérieure.



La pointe du V des lignes de niveau est orientée vers l'amont.

Talweg



La pointe du V est orientée vers l'aval.

Crête

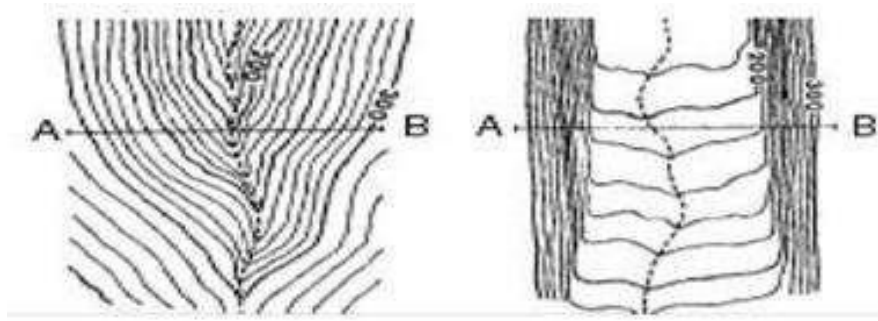
Différencier un talweg d'une crête

Il existe deux types de vallée :

Vallée en V : Les courbes de niveau présentent un rebroussement anguleux à la traversée du talweg.

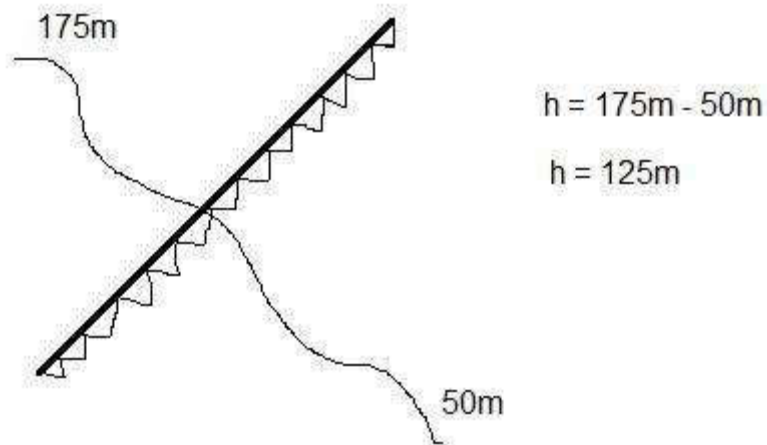
Vallée à fond plat ou en U : Le dessin des courbes de niveau rappelle la forme de la vallée, serrées sur les versants, elles sont écartées dans la partie plate.

On appelle ligne de talweg la ligne joignant les points les plus bas d'une vallée : celle-ci est caractérisée par une forme en V des courbes de niveau, la pointe du V plus ou moins aiguë indique l'amont de la vallée, la courbe enveloppante est élevée que la courbe enveloppée.



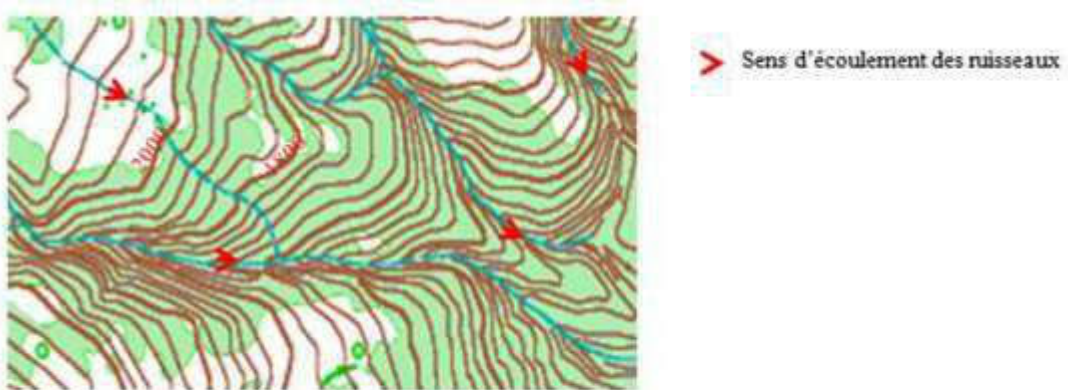
1.3.5.4. Falaise

On reconnaît la falaise par une droite munie de fléchette ou de petits triangles. Le sens de la flèche indique le contre-bas de la falaise. On calcule la hauteur de la falaise par la différence d'altitude des 2 courbes de niveau qui se joignent au niveau de la falaise.



1.3.5.5. Cours d'eau

Parfois le cours d'eau est présent sur la carte topographique. S'il est absent, on peut la placer dans la vallée.



Profil topographique

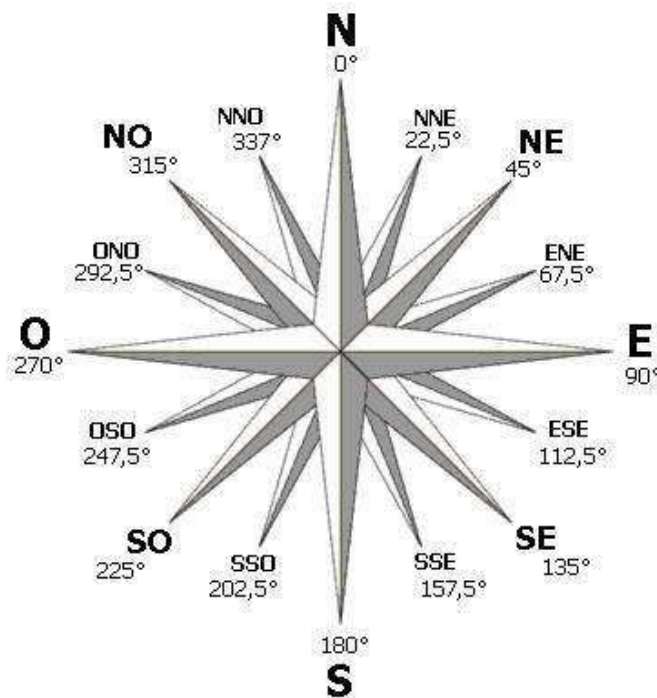
2.1. Définition

On appelle profil topographique la graphique de la coupe verticale de la surface topographique.

2.2. Réalisation d'un profil topographique

Les cartes topographiques peuvent donner lieu à des coupes de terrain, dans lesquelles on exagère généralement l'échelle des altitudes. Les notions rappelées ci-dessous aideront le lecteur de la carte à analyser les différentes formes de terrain ou savoir si deux lieux sont visibles entre eux. Comment tracer un profil ?

Encadrer le profil par un trait horizontal correspondant à distance AB et 2 traits verticaux correspondant aux altitudes des points. Orienter le profil suivant la rose de vent.



Placer l'échelle de hauteur sur les axes des ordonnées

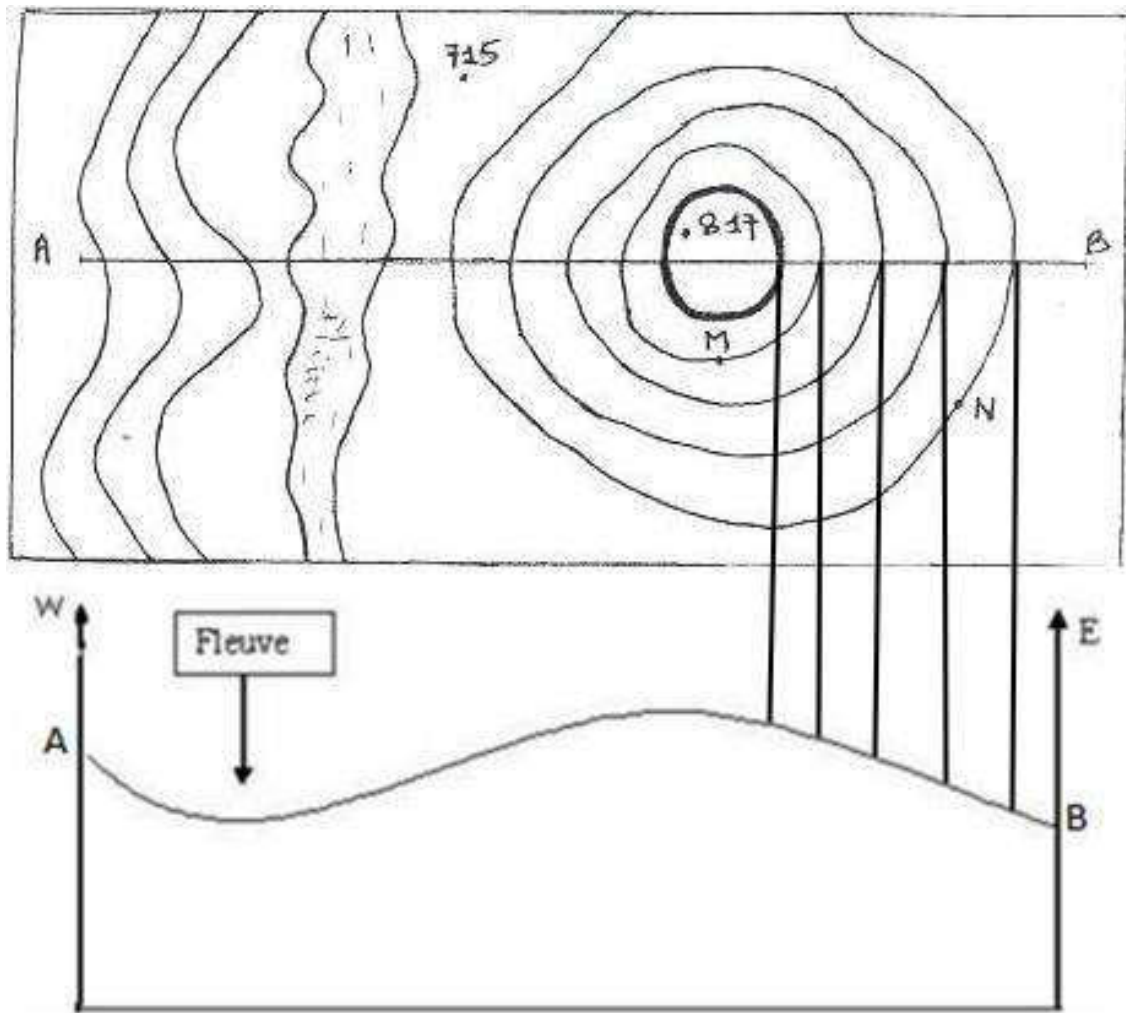
Évaluer l'altitude de chaque courbe de niveau sur lesquels passe le trait de coupe.

Placer le bord supérieur de la feuille sur la ligne de coupe choisie.

Reporter les points d'intersections des courbes de niveaux et le trait de coupe dans le repère.

Joignez les différents points projetés et on obtient le profil topographique

Écrire sur le profil l'échelle de la carte



B- CARTE GÉOLOGIQUE

1. Définition

La carte géologique est la représentation sur un fond topographique les différentes couches géologiques (natures des terrains) qui affleurent à la surface sans couverture végétale.

Différentes lois de la stratigraphie

Loi de la superposition des couches : Les différentes couches géologiques se superposent par ordre chronologique. La couche la plus inférieure est la plus ancienne tandis que la couche la plus supérieure est la plus récente.

Loi de la continuité : Deux couches différentes ayant le même faciès ont le même âge à l'intérieur d'une couche géologique. Tous les points ont le même âge.

Loi d'identité paléontologique : Deux couches ayant le même fossile ayant le même âge.

Tableau de datation

ÈRES	PÉRIODES	ÉPOQUES	Extinctions biologiques majeures
CÉNOZOÏQUE	QUATERNAIRE	Holocène (récent) Pléistocène	
	TERTIAIRE	Pliocène Miocène Oligocène Éocène Paléocène	
MÉSOZOÏQUE (Secondaire)	CRÉTACÉ		←
	JURASSIQUE		←
	TRIAS		←
PALÉOZOÏQUE (Primaire)	PERMIEN		←
	CARBONIFÈRE		
	DÉVONIEN		←
	SILURIEN		
	ORDOVICIEN		
	CAMBRIEN		←
PRÉCAMBRIEN	PROTÉROZOÏQUE		
	ARCHÉEN		

4. Légende stratigraphique

La légende stratigraphique se présente sous forme de petit rectangle en dessous de la carte géologique. Elle permet d'établir l'ordre chronologique des couches. Ces petits rectangles sont souvent accompagnés de lettre qui correspond à la datation de la couche.

T : Trias

J : Jurassique

C : Crétacé

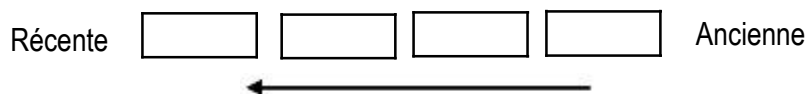
Parfois, les lettres sont accompagnées de chiffres :

Chiffres arabes : Le chiffre le plus petit correspond à la couche la plus ancienne tandis que le chiffre le plus grand correspond à la couche la plus récente. Exemple : C^4, C^3, C^2, C^1

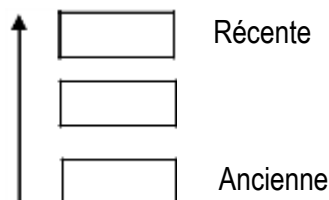
Chiffre romain : Le chiffre le plus petit correspond à la couche la plus récente tandis que le chiffre le plus grand correspond à la plus ancienne. Exemple : $C_I, C_{II}, C_{III}, C_{IV}$

Lorsque la légende stratigraphique n'est pas accompagnée de datation, on admet les conventions suivantes :

Lorsque les rectangles sont disposés de manière horizontale, la couche la plus à gauche est la plus récente tandis que la couche la plus à droite est la plus ancienne.



- Si les petites rectangles sont disposés de manière verticale, alors la couche la plus haute est la plus récente tandis que la couche la plus basse est la plus ancienne.



Pendage

5.1. Définition

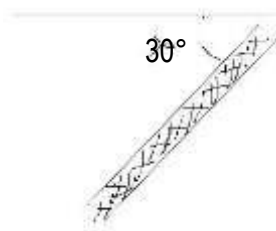
On appelle pendage l'angle que fait une couche par rapport au plan horizontal.



5.2. Représentation

Sur une carte géologique, le signe de pendage se présente sous forme de flèche accompagnée de chiffre. Le sens de la flèche indique l'inclinaison de la couche tandis que le chiffre représente l'angle de l'inclinaison.

Exemple :  la couche s'incline vers la gauche avec un angle de 30°



Lorsque les flèches sont dépourvues de chiffre, on admet les conventions suivantes :

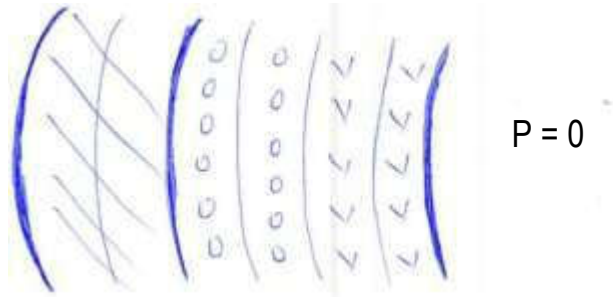
	: Pendage fort ($60^\circ - 80^\circ$)
	: Pendage moyen ($40^\circ - 60^\circ$)
	: Pendage faible ($30^\circ - 40^\circ$)
	: Pendage verticale 90°
	: Pendage nul 0°

Remarque : Lorsqu'on demande de calculer l'épaisseur de la couche, on la mesure au niveau de signe de pendage vertical

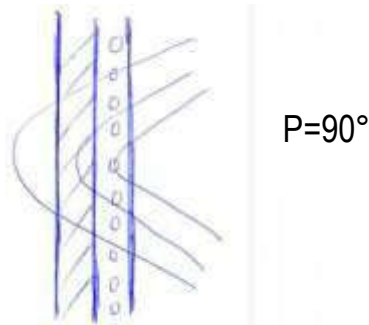
Structure

On distingue 4 types de structures :

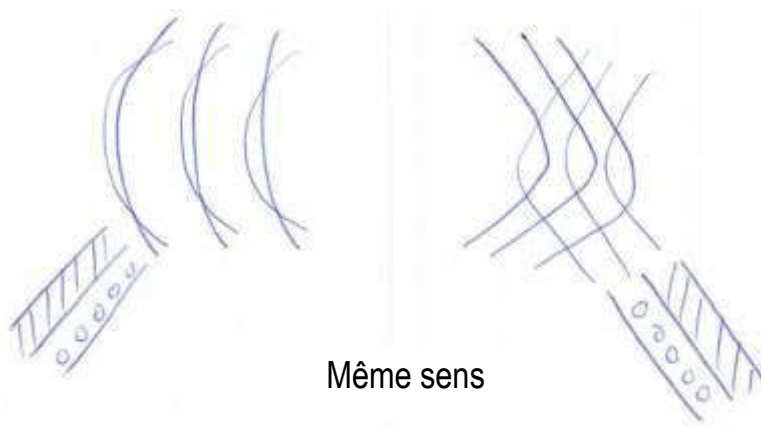
Structure horizontale : On reconnaît une structure horizontale par des pendages nuls ou à défaut par des courbes de niveau et des limites des couches parallèles.



Structure verticale : On reconnaît une structure verticale au niveau d'un signe de pendage 90° ou des limites de couches qui traversent verticalement la vallée.



Structure monoclinale : On reconnaît une structure monoclinale par des signes de pendage de même sens ou par des limites de couche qui coupe en V la vallée. Le sens de l'inclinaison des couches est indiqué par la pointe de V de limites des couches.



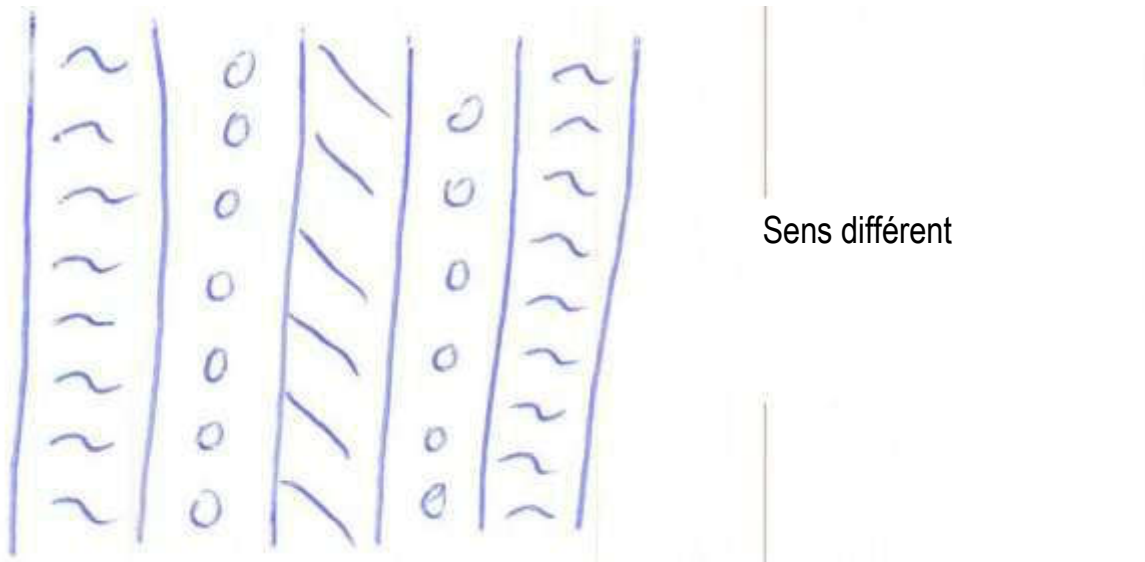
Structure plissée : On reconnaît une structure plissée par :

des signes de pendage de sens contraire ;

de répétition des couches ;

de terminaison périclinale : elle se présente sous forme de succession

d'**anticlinale** ou **synclinale** ;



lorsque la couche la plus interne est la plus ancienne : **anticlinale** ;

lorsque la couche la plus interne est la plus récente : **synclinale**.

Réalisation d'une coupe géologique

Après avoir réalisé le profil topographique, en respectant les échelles des longueurs et des hauteurs :

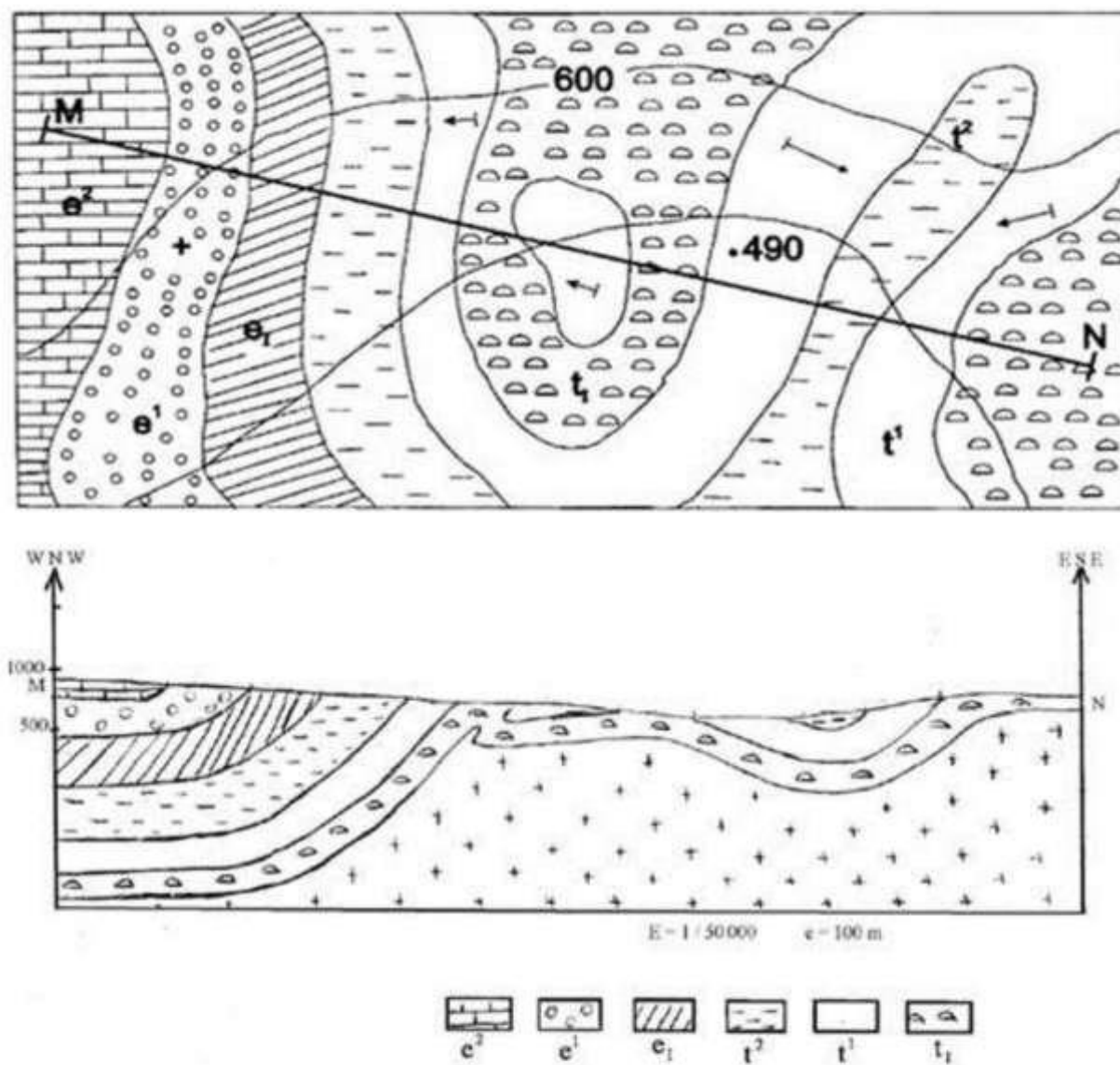
Sur le bord supérieur du papier millimétré, entre les deux extrémités de la coupe orientée, relever les limites des contours géologiques et l'âge de chaque **strate** ou **couche** ;

Les projeter sur la surface topographique ;

Mettre en place les strates selon les principes de superposition (structure de la carte) tout en considérant les pendages des couches ;

Tracer les figures de chaque couche ;

Mettre la légende et l'échelle sur la coupe géologique.



Chapitre II : GÉOLOGIE DE MADAGASCAR

Le socle de la grande île de Madagascar est formé par des formations cristallines (roche magmatique et roche métamorphique) précambrienne qui affleure sur les ²/₃ orientaux de la surface. Au-dessus de ce socle précambrien repose une discordance des formations sédimentaires épaisses, non plissées, plongeant avec un très faible pendage vers le canal de Mozambique.

Ces formations sédimentaires affleurent sur une bande étroite le long de la côté Est du Cap d'ambre au Cap Sainte Marie. On les trouve dans les 3 grands bassins : **bassin de Toliary**, **bassin de Morondava** et **bassin de Mahajanga**. Leur âge varie de **Carbonifère supérieur** au **quaternaire**.

1. Socle ou Précambrien malgache

Le **socle** essentiellement cristallin, date du Précambrien et constitue le substratum. Il est formé par des roches métamorphiques et éruptives. Ayant subi successivement des métamorphismes accompagnés d'orogénèses différentes, il est très plissé et très complexe.

—

Ce vieux socle couvre toute la partie centrale et presque toute la partie orientale et affleure sur une surface de 400 000 km² (environ ²/₃ de l'île). Ces formations cristallines ne renferment pas de fossiles à part les **stromatolites** (formes minérales créées par l'activité biologique des algues) que l'on rencontre dans les cipolins de la région d'Ambatofinandrahana.

Leur datation par les méthodes de géochronologie radioactive a montré que le socle par quelques systèmes et séries :

Système antogilien ou noyau de Madagascar de direction tectonique Nord-Est ;

Système Andriamena - Manampotsy de direction tectonique N-20 E ;

Système Androyen de direction tectonique Nord-Est ;

Série d'Amborompotsy de direction tectonique NS.

1.1. Système antogilien ou noyau de Madagascar

C'est un complexe basal constitué de **granite** et de **migmatite** à intercalation de **quartzite**, **micaschiste** et **gneiss**. On le trouve sur la baie d'antogile et à Mananara Nord.

1.2. Système Andriamena - Manampotsy

Il s'est déposé après une **orogénèse trans-wallienne** vers -3000 millions d'années. C'est un ensemble d'ectinite, localisé dans les **sillons synclinoriaux** du système antogilien. Il présente de nombreuses intrusions métamorphiques tels que : **Gabro, Pyroxène et peridotite**. On le trouve à Manampotsy et Ambatolampy.

1.3. Système Androyen

Il est déposé après l'**orogénèse majeure Schamwaienne** en -2600 millions d'années caractérisés par un plissement et métamorphisme des séries de Beforona et Maevatanàna. C'est un ensemble ultra métamorphisme **leptymite granulite**.

Exemple : Groupe de Fort Dauphin, Tranomaro, Ampandrandava

1.4. Série d'Amborompotsy

Il s'est formé après l'épisode thermique éburnéen. C'est un ensemble de **Schiste, Quartzite et Cipolin** d'où le nom de SQC.

Exemple : Ambohipotsy, Ikalamavony, Ihosy, Ihorombe

Après le dépôt de SQC, les autres dépôts restent inconnus entre l'**orogénèse Kibarienne** et l'**orogénèse Mozambique**.

2. Couverture sédimentaire

Les fossiles qu'elle renferme indiquent son âge, allant du Carbonifère au Quaternaire. Ces formations sédimentaires longent la côte Ouest sur une bande large de 250km, soit $\frac{1}{3}$ de l'île. Elle est formée par des strates en discordance angulaire sur le socle faisant un angle de 20° à 30° vers l'ouest. Les couches sont épaisses non plissées, localisées dans 3 grands bassins :

Bassin de Morondava ;

Bassin de Mahajanga ;

Bassin de Diego.

Cette couverture sédimentaire se rencontre aussi, sous forme d'une petite frange très étroite, le long de la côte Est. Dans ces formations sédimentaires, on distingue :

Les formations Gondwaniennes : le système KAROO

Les formations récentes : le système POST KAROO

2.1. Système KAROO

Le **Karoo** a débuté au Carbonifère supérieur et s'est terminé en Jurassique moyen.
Il est le nom du système géologique qui comprend :

Le groupe de la Sakoa correspondant au Carbonifère supérieur et Permien inférieur ;

Le groupe de Sakamena correspondant au passage du Permien au secondaire.

2.1.1. Groupe de la Sakoa

Stratigraphie : Il est formé de 4 couches qui seront détaillées dans l'ordre du dépôt.

Schistes noirs à tillites d'épaisseur de 45cm : Ils sont plus ou moins argileux. Ils contiennent d'anciennes moraines glaciaires et ne renferment pas de fossiles.

Grès et couches à charbon : Les grès sont durs et forment un relief ; e= 50 m à 200m. Au milieu de ces grès se trouvent 5 couches à charbon dont l'épaisseur est de 0,3 à 3m. La flore de ces charbons est une flore de climat froid. On a trouvé quelques échantillons de plantes fossiles typiques du continent du Gondwana : **Gangamopteris, Glossopteris**.

La Série rouge inférieure : e = **plusieurs centaines de mètres** : C'est un complexe très argileux, transgressif sur le précédent. Les grès sont formés de feldspath rose. Le climat est encore froid. Les fossiles rencontrés sont : **Glossoptéris, Bois silicifiés**.

Les calcaires de Vohitolia : Ils traduisent la 1^{ère} avancée marine. Leurs caractères parfois gréseux, parfois construits, montrent leur origine néritique c'est à dire formation en bord de mer. Fossiles rencontrés : Mollusques Brachiopodes comme Spirifer, Productus. Ils sont typiquement marins, ils traduisent une avancée d'un bras de mer dans le canal de Mozambique.

Climat : Le glacier donnant des dépôts de tillites correspondent à un climat nettement froid. Les calcaires construits par des coraux, qui vivent dans les mers chaudes, traduisent un surchauffement de climat.

Tectonique : les couches ont été fortement taillées après leur dépôt.

2.1.2. Groupe de la sakamena

Stratigraphie : La sakamena affleure beaucoup mieux que la Sakoa, du sud au nord de Madagascar. Dans la région Sud où la série est complète, l'ordre de dépôt est le suivant ;

Les couches de la Sakamena inférieure e=60 à 2000m

Les calcaires et conglomérats de base e=100m : Les conglomérats sont formés de blocs et calcaires provenant de l'érosion de la Sakoa. Juste au-dessus apparaissent des formations calcaires contenant des fossiles marins : **Productus, Spirifer.**

Les grès et schistes inférieurs e=1500m : Ce sont des grès durs contenant quelques débris végétaux.

Une série calcaire : les calcaires de Vohiparara marins plus épais. Les schistes supérieurs épais contenant des grès-micas appelés psammites. On rencontre des fossiles d'animaux terrestres : amphibiens, reptiles.

Des fossiles végétaux : *Glossopteris, Schizoneura, Phyllotea* .

Les argiles à nodule de la Sakamena moyenne e=100 à 400m

Le **faciès** est très variable du Sud au Nord :

dans le sud : **faciès** néritique

dans le centre : **faciès** benthique

dans l'extrême Nord : le **faciès** est parfois typiquement marin, avec des fossiles d'animaux : poisson, Ammonites.

Il est parfois continental avec des fossiles d'animaux et des fossiles végétaux : *Protobatrachus, Massinoti* qui est l'ancêtre de la grenouille.

La série rouge supérieure de la Sakamena supérieure e= 250 à 600m : Elle est formée de grès, de schistes et d'argiles rouges.

Le climat : Les dépôts lessivés de la Sakamena inférieure traduisent un climat chaud.

La tectonique : Tectonique de la faille.

2.1.3. Groupe de l'Isalo.

L'Isalo désigne des formations continentales essentiellement gréseuses.

Stratigraphie

L'Isalo I : e= quelques centaines à 1000 : Il est formé de grès grossiers qui sont transgressifs et discordants sur la Sakamena, avec des conglomérats de **base**. **Fossile** : bois silicifiés.

L'Isalo II : Il est formé de grès moins grossiers et d'argiles rouges. L'Isalo II dans les bassins de :

Morondava, avec deux types de **faciès** :

Faciès continentaux avec des fossiles d'animaux marins :

Ammonites de Mandevy ;

Faciès continentaux avec des fossiles végétaux : bois silicifiés de Folakara.

Majunga :

Au sud, vers Kandreho : **faciès** marin avec des argiles et calcaires marins, fossiles : ammonites (*Bouleiceras*)

Au centre, au niveau de la Betsiboka : **faciès** continental.

Vers le Nord : **faciès** marin caractérisé par les calcaires dolomitiques marins avec des fossiles marins (*Spiriferina rostrata*)

L'Isalo III : C'est la fin du comblement des bassins de Majunga et de Morondava. Les grès et argiles sont fins. La transgression marine amorcée à L'Isalo I se généralise.

Coupe dans l'Isalo III : région de Sakaraha

Les **faciès** de l'Isalo III passent vers l'Ouest à des formations mixtes lagunaires puis à des formations marines. Il y a variation latérale de **faciès**.

Au nord de la Tsiribihina, **faciès** marin constituant le plateau calcaire de Bemaraha.

Dans le bassin de Majunga, au nord de Maevatanàna, les formations continentales de l'Isalo II passent vers le Sud à des **faciès** mixtes lagunaires à des formations marines du Jurassique moyen de l'Ankara.

Dans le bassin de Diège, **faciès** essentiellement marins dans cet ensemble du Jurassique moyen de **faciès** continentaux : grès entrecroisés avec argiles rouges contenant des Dinosaures.

Des **faciès** marins calcaires à ammonites, Rhynchonelles et oursins avec présence de reptiles (Plésiosaures = Dinosaures dans l'eau)

Le Jurassique supérieur : formations marines marneuses ou glauconieuses très riches en Ammonites, Belemnites et Oursins.

		CONTINENTAL	LAGUNAIRE	MARIN	
JURASSIQUE MOYEN	ISALO III	Bothriospondyles Grès entre croisés et argile rouge	Grès entre croisés Argiles rouges Lumerchelles à carbules	Marnes, Echinides, Ammonites, Calcaires, Lamellibranche, Polypiers rare	Bassin de Mahajanga
JURASSIQUE INFÉRIEUR TRIAS SUPÉRIEUR	ISALO II	Grès entre croisé Argiles rouges Phytosauridés Crocodiliens Bois siksifiés	Grès, Marne, Gypse	Calcaire, Marne, Bouleiceras, Spiniferina	Bassin de Moron d'Ava et bassin de Mahajanga
TRIAS	ISALO I	Grès blanc grossiers entre croisés avec niveau conglomératique			Bassin de Morondava et de Diego
PERMIEN	SAKAMENA	Grès entre croisés Argile rouge (série rouge supérieure)		Schiste à Flemingite	
			Argile à module Estherias	Couche à poissons et Ammonites	
		Schiste et grès Glossoptéris		Calcaire à cyclolobus Grès à production calcaire à Productifs vohitolia	
CARBONIFÈRE SUPÉRIEUR	SAKOA	Série calcaire et Vohitolia			
		Grès verts et argiles rouges (série rouge inférieure)			
		Série houille, grès, charbon, hossapleine	Série glaciaire, schiste, tilletu		

2.2. Système POST KAROO

2.2.1. Jurassique supérieur

C'est une formation mixte et marine avec alternance de marne et de calcaire à ammonite :

Dans le bassin de Morondava : elle se trouve au-dessus de l'Isalo II, le calcaire est très riche en ammonite ;

Dans le bassin de Mahajanga : elle se trouve au-dessus de l'Isalo III, le calcaire est oolitique ;

Dans le bassin de Diego : elle est entièrement marine et affleure sur le plateau d'Ankarana, Analamena, Ambilobe.

2.2.2. Crétacé

Il se présente 2 faciès :

Marin avec alternance de marne et de calcaire ;

Continental avec grès à Dinosaur.

Le crétacé présente quelque formation avec émission de **basalte** et **sakalanite** :

Dans le bassin de Morondava : le crétacé est entièrement continental ;

Dans le bassin de Mahajanga : On assiste au passage du faciès marin au faciès continental à Ankarafantsika ;

Bassin de Diego : le crétacé présente quelque formation volcanique autour du massif de Tasaratanàna.

2.2.3. Tertiaire marin

En néocène, le tertiaire à Madagascar est marin avec calcaire à foraminifère :

Dans le bassin de Morondava, il affleure sur le plateau de Mahafaly ;

Dans le bassin de Mahajanga : il y a alternance de calcaire à oursin, calcaire à alvéoline et une série continentale épaisse ;

Dans le bassin de Diego : il y a intercalation de calcaire et formation volcanique.

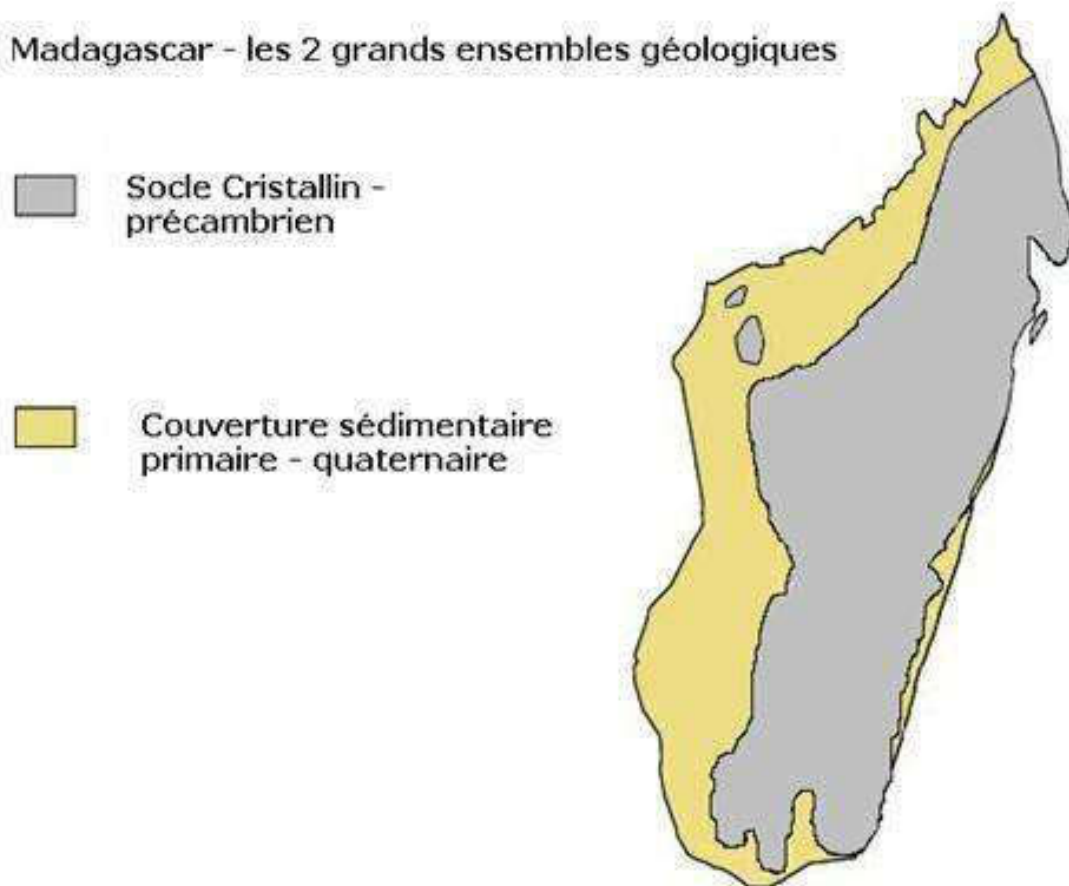
2.2.4. Quaternaire

Le quaternaire malagasy est continental avec alternance de grès, sable et argile :

Dans le bassin de Morondava : on trouve essentiellement de Kaolin à Ampanihy et Onilahy avec du vertébré subfossile, lémurien, hyppopotame et æpyornis ;

Dans le bassin de Mahajanga : on le trouve dans les estuaires du Betsiboka, il est formé par des baïboho ;

Dans le bassin de Diego : il se trouve sur la côte ouest avec des dunes de sable sur le delta de Mahavavy et Sambirano.



3. Volcanisme à Madagascar

On observe quelques éruptions volcaniques aussi bien sur la température du socle cristallin que sur la formation sédimentaire.

3.1. Volcanisme de crétacé

Dans les bassins sédimentaires, il y a des coulées inter stratifiées du Turonien et du Campanien. Nous allons voir les coulées du socle cristallin.

3.1.1. Volcanisme de la côte orientale.

Datant du Turonien entre Vohémar et la pointe sud de la presqu'île Masoala, il est surtout constitué de basaltes, sakalavites (basalte à silice), tholéites (basalte à quartz sursaturé). Mais au Sud de Vohémar, il existe quelques basaltes néphéliniques. Les coulées sont parfois recouvertes de coulées rhyolitiques.

3.1.2. Massif de l'Androy

C'est le massif du Nummulitique allongé sur 80 km dans la partie sud, recouvert par les sables des grandes dunes Tatsimiennes d'Ambovombe. Il résulte de l'emplacement de bas en haut de :

Basaltes inférieurs, rhyolites inférieurs et basaltes supérieurs

Rhyolites supérieures

L'épaisseur total des coulées atteint près de 2000m recoupée de petits massifs de microdiorites et de microgranites (ankaratrite = basalte alcalin).

Remarque : Autre volcanisme de crétacé

Le cap d'ambre : avec de coulée de basalte dans le bassin de Morondava et bassin de Tuléar ;

Bassin d'Androy : avec émission de basalte et rhyolite ;

Volcan d'Ambatovy : avec émission de basalte, il est riche en Nickel et cobalt.

3.2. Volcanisme du tertiaire et quaternaire

A partir du sommet d'Ambre, les volcans du tertiaire et quaternaire sont représentés dans les îles de Nosy-Be et de Nosy Mitsio, le massif de l'Ankaizina, de Tsaratanàna, de l'Itasy et de l'Ankaratra.

3.2.1. Volcan des îles

A Nosy-be, il y a deux types d'émissions ; ce sont les plus anciennes :

La première est de type hawaïen avec de longs épanchements très fluides.

La deuxième donnant de nombreux cônes stromboliens ; les laves sont surtout des ankaratrites. Les projections sont certainement abondantes, les cratères-lacs sont tellement nombreux.

A Nosy Mitsio, on a les coulées de basaltes, de basanites et d'andésites sans appareils conservés

3.2.2. Volcan d'Ankaizina-Tsaratanàna.

L'Ankaizina constitue un puissant ensemble volcanique où l'on peut séparer le massif de Tsaratanàna et le massif d'Ambondro. A l'ouest de ce dernier le massif de Manongarivo. Cet ensemble résulte d'importantes manifestations de l'Eocène comme celle de Manongarivo, de la presqu'île de Manangaka.

Les manifestations volcaniques sont suivies de nombreuses émissions de laves. Le Tertiaire très récent qui en partant de la **base** représente :

- des rhyolites, trachytes, ignimbrites ;
- des basaltes, basanitoïdes ;
- des trachy-phonolites, phonolites ;
- des basaltes, basanites de plateau.
- des basaltes, basanites récents.

La région de Bealanana représente une belle série de cône strombolien avec des coulées dans les vallées.

Remarque : Le volcanisme du tertiaire et quaternaire est caractérisé par des émissions de **basalte**, **trachyte**, **phonolite** et **Ankaratrite** dans la montagne d'ambre à Ankaratra, dans le lac Itasy, Alaotra et Tsaratanàna.

HISTOIRE GEOLOGIQUE DE MADAGASCAR

(Autre version)

INTRODUCTION A L'HISTOIRE GEOLOGIQUE DE MADAGASCAR

En analysant la carte, on s'aperçoit que l'île de Madagascar est constituée de deux grands ensembles :

le **socle cristallin**

la **couverture sédimentaire**

Pour compléter cette première analyse, on distingue différents systèmes. On trouve au niveau du **socle cristallin** :

Le système Androyen – Antongilien

Le système du Graphite

Le système du Vohibory

Le système KARROO de l'ère primaire à l'ère secondaire

Le système POST-KARROO du Jurassique Supérieur au quaternaire

SOCLE CRISTALLIN DE MADAGASCAR

Le **socle** essentiellement cristallin, date du Précambrien et constitue le substratum. Il est formé par des roches métamorphiques et éruptives. Ayant subi successivement des métamorphismes accompagnés d'orogénèses différentes, il est très plissé et très complexe.

Ce vieux socle couvre toute la partie centrale et presque toute la partie orientale et affleure sur une surface de $400\,000\text{ km}^2$ (environ 2/3 de l'île). Ces formations cristallines ne renferment pas de fossiles à part les stromatolites (algues) que l'on rencontre dans les cipolins de la région d'Ambatofinandrahana.

Ces formations du socle cristallin se répartissent suivant la ligne de dislocation Bongolava-Ranotsara, orientée NW-SE.

2.1. Au Nord de la ligne Bongolava - Ranotsara

A la base, le **système Antongilien** essentiellement granitique et magmatique d'âge Archéen et Katarchéen (entre 3000 et 2600 MA). Ils sont plissés et métamorphisés lors de l'orogénèse Schamwaïenne de 2600 MA formé de deux groupes :

groupe Antongilien

groupe Masora

Au-dessus, le **système Andriamena-Manampotsy**, comprenant :

le groupe Manampotsy à la base une série Silico-alumineuse souvent graphiteuse, qui présente un grand développement de migmatites et de granites stratoïdes dans la zone centrale d'Ambatolampy-Andriba.

la série d'Andriamena, Alaotra, Beforona et Maevatanàna des faciès à dominance calcitique avec des roches basiques et ultra-basiques. la

série d'Androna migmatitique avec de gneiss à graphite.

Au sommet, correspondant au **système Vohibory** :

les complexes de Vohémar-Ambohipato et de Daraina-Milanoa sont d'âge protérozoïque moyen et ont été affectés par un métamorphisme de 1300

MA, donc par l'orogénèse Kibarienne ; de faciès migmatites, gneiss et micaschiste.

les migmatites de Brickaville et granites de Tampoketsa

2.2. Au niveau de la ligne Bongolava-RanoTsara :

La série Schisto-Quartzo-Calcaire (**SQC**) à stromatolites, de caractère littoral, est discordante sur les terrains archéens.

La série Amborompotsy-Ikalamavony, équivalents latéraux de la SQC à caractère épicontinental et géosynclinal,

L'ensemble SQC- Amborompotsy – Ikalamavony peuvent correspondre à des formations du protérozoïque moyen rajeuni par l'orogénèse Kibarienne de 1200 MA. Ses noyaux plus anciens du Protérozoïque inférieur sont affectés, par l'orogénèse Eburnéenne entre 2600 et 2000 MA.

Le système Androyen à dominance ultra-métamorphique (leptynite-charnockite)

Le système de graphite est recouvert par la série de gneiss, de leptynites à graphite d'Ampanihy.

Le système de Vohibory formé par : **2.3. Au Suddelaligne Bongolava-RanoTsara :**

la série amphibolique de Vohibory à caractère volcan-sédimentaire ;

la série de Vohimena avec greiss et migmatites à amphibole ; des granites (Anosyens).

AGE en MA*	ERE	AGE	SYSTÈME	AU NORD de la ligne BR*	SUR la ligne BR	AU SUD de la ligne BR	
500	PRECAMBRIEN	PROTEROZOIQUE	VOHIBORY	Migmatites de Brickaville Granites de Tampoketsa Andringitra		Granites anosyens	
1300				Complexe Vohémar Ambohipato (migmatites, gneiss, micaschistes d'E en W)	SQC : série schisto- quartzo-calcaire : Cipolins à stromatolithes		
				Complexe Daraina-Milanoa (migmatites, gneiss, micashistes d'W en E)		Série de Vohimena (gneiss et migmatites à amphibole)	
1700						Amborompotsy- Ikalamavony (gneiss, migmatites à amphibole, amphibolites)	Série amphibolique du Vohibory (roches amphiboliques)
		ARCHEOZOIQUE	GRAPHITEAndriamena Manampotsy	Série d'Androna (migmatites, gneiss à graphite)		Série Ampanihy (gneiss, leptynites à graphite)	
				série Andriamena- Alaotra Beforona -Andriba - Maevatanana (migmatites, gneiss, amphibolites, charnockites + Chromite)			
				Groupe Manampotsy (migmatites et granites stratoïdes à graphite à Ambatolampy -Andriba)			
2600			ANDROYEN			Leptynites, charnockites (faciès granulite) Pyroxénites à phlogopite à Ampandrandava	
3900			KATARCHEZOIQUE	ANTONGILIEN	Groupe Masora (N.Mananjary) Ambodiriana (Tamatave) (gneiss, micashistes à épidote)		
					Groupe Antongilien (granites et migmatites)		
4600	Formation de la terre						

COUVERTURE SEDIMENTAIRE DE

MADAGASCAR 3.1. Formations du Karroo

Le Karroo est le nom du système géologique qui comprend :

Le groupe de la Sakoa correspondant au Carbonifère supérieur et Permien inférieur,

Le groupe de Sakamena correspondant au passage du Permien au secondaire.

3.1.1. Groupe de la Sakoa.

Stratigraphie : il est formé de 4 couches qui seront détaillées dans l'ordre du dépôt.

Schistes noirs à tillites d'épaisseur de 45cm

Ils sont plus ou moins argileux. Ils contiennent d'anciennes moraines glaciaires et ne renferment pas de fossiles.

Grès et couches à charbon

Les grès sont durs et forment un relief ; e= 50 m à 200m. Au milieu de ces grès se trouvent 5 couches à charbon dont l'épaisseur est de 0.3 à 3m. La flore de ces charbons est une flore de climat froid. On a trouvé quelques échantillons de plantes fossiles typiques du continent du Gondwana : Gangamopteris, Glossopteris.

Série rouge inférieure : e = plusieurs centaines de mètres

C'est un complexe très argileux, transgressif sur le précédent. Les grès sont formés de feldspath rose. Le climat est encore froid. Les fossiles rencontrés sont : Glossoptéris, Bois silicifiés.

Calcaires de Vohitolia

Ils traduisent la 1^{ère} avancée marine. Leurs caractères parfois gréseux, parfois construits, montrent leur origine néritique c'est à dire formation en bord de mer. Fossiles rencontrés : Mollusques Brachiopodes comme Spirifer, Productus. Ils sont typiquement marins, ils traduisent une avancée d'un bras de mer dans le canal de Mozambique.

Climat : le glacier donnant des dépôts de tillites correspondent à un climat nettement froid. Les calcaires construits par des coraux, qui vivent dans les mers chaudes, traduisent un surchauffement de climat. **Tectonique** : les couches ont été fortement taillées après leur dépôt.

3.1.2. Groupe de la sakamena

Stratigraphie : La sakamena affleure beaucoup mieux que la Sakoa, du sud au nord de Madagascar .Dans la région Sud où la série est complète, l'ordre de dépôt est le suivant ;

Les couches de la Sakamena inférieure e=60 à 2000m

Les calcaires et conglomérats de base e=100m. Les conglomérats sont formés de blocs et calcaires provenant de l'érosion de la Sakoa.

Juste au-dessus apparaissent des formations calcaires contenant des fossiles marins : Productus, Spirifer.

Les grès et schistes inférieurs e=1500m. Ce sont des grès durs contenant quelques débris végétaux.

Une série calcaire : les calcaires de Vohiparara marins plus épais. Les schistes supérieurs épais contenant des grès-micas appelés psammites.

On rencontre des **fossiles d'animaux terrestres** (amphibiens, reptiles), des fossiles végétaux (Glossopteris, Schizoneura, Phyllotea).

Les argiles à nodule de la Sakamena moyenne e=100 à

400m Le faciès est très variable du Sud au Nord

dans le sud : faciès néritique

dans le centre : faciès benthique

dans l'extrême Nord : le faciès est parfois typiquement marin, avec des fossiles d'animaux : poisson, Ammonites.

Il est parfois continental avec des fossiles d'animaux et des fossiles végétaux : Protobatrachus, Massinoti qui est l'ancêtre de la grenouille.

La série rouge supérieure de la Sakamena supérieure e= 250 à 600m

Elle est formée de grès, de schistes et d'argiles rouges.

Climat : Les dépôts lessivés de la Sakamena inférieure traduisent un climat chaud.

Tectonique : Tectonique de la faille.

3.1.3. Groupe de l'Isalo

L'Isalo désigne des formations continentales essentiellement gréseuses.

Stratigraphie

L'Isalo I : e= quelques centaines à 1000

Il est formé de grès grossiers qui sont transgressifs et discordants sur la Sakamena, avec des conglomérats de base. Fossile : bois silicifiés.

L'Isalo II

Il est formé de grès moins grossiers et d'argiles rouges. L'Isalo II dans les bassins de : Morondava, avec deux types de faciès :

Faciès continentaux avec des fossiles d'animaux marins :

Ammonites de Mandevy

Faciès continentaux avec des fossiles végétaux : bois silicifiés de

Majunga :

Au sud, vers Kandreho : faciès marin avec des argiles et calcaires marins, fossiles : ammonites (*Bouleiceras*)

Au centre, au niveau de la Betsiboka : faciès continental.

Vers le Nord : faciès marin caractérisé par les calcaires dolomitiques marins avec des fossiles marins (*Spiriferina rostrata*)

L'Isalo III

C'est la fin du comblement des bassins de Majunga et de Morondava. Les grès et argiles sont fins. La transgression marine amorcée à L'Isalo I se généralise.

Les faciès de l'Isalo III passent vers l'Ouest à des formations mixtes lagunaires puis à des formations marines. Il y a variation latérale de faciès.

Au nord de la Tsiribihina, faciès marin constituant le plateau calcaire de Bemaraha.

Dans le bassin de Majunga, au nord de Maevatanàna, les formations continentales de l'Isalo II passent vers le Sud à des faciès mixtes lagunaires à des formations marines du Jurassique moyen de l'Ankara.

Dans le bassin de Diègo, faciès essentiellement marins dans cet ensemble du Jurassique moyen de faciès continentaux : grès entrecroisés avec argiles rouges contenant des Dinosaures.

Des faciès marins calcaires à ammonites, Rhynchonelles et oursins avec présence de reptiles (*Plésiosaurus* = Dinosaures dans l'eau).

Le Jurassique supérieur : formations marines marneuses ou glauconieuses très riches en Ammonites, Belemnites et Oursins.

3.2. Formations Post-Karoo

3.2.1. Crétacé :

Essentiellement marin, correspond à des argiles, marnes et calcaires, Se termine au sommet par des grès calcaires (Maestrichtien) marque la régression.

Est marqué par l'abondance des Ammonites avec apparition et développement des Ammonites déroulées (Cénomaniens) alors que les Bélemnites régressent et disparaissent.

Riche en Lamellibranches, Gastéropodes, Echinides, Crustacés.

- Les formations continentales riches en reptiles dinosauriens sont marquées par de grandes manifestations volcaniques au Turonien et à la base, au Campanien entraînant de vastes coulées côtières avec d'innombrables filons de Dolérites.

A la fin du Campanien, le morcellement du Gondwana s'accroît (grande faille orientale) et Madagascar devient une île et la mer envahit pour la première fois la côte Nord-Ouest au Maestrichtien.

3.2.2. Tertiaire :

Le Paléogène connu est marin et est représenté par les calcaires riches en Foraminifères.

De l'Oligocène : manifestations volcaniques qui se poursuivent jusqu'au quaternaire : éruption de l'Ankaratra, montagne d'Ambre, d'Ankaizina avec intrusion subvolcanique dans la presqu'île d'Ampasindava.

Début Miocène : il se produit des dépôts de calcaires à l'épidocyclines (Foraminifères)

Dès le Miocène supérieur : nouvelle régression se prolongeant tout le

Pliocène : dépôts continentaux : grès, argiles à bois silicifiés sans autres fossiles.

3.2.3. Quaternaire :

La régression se poursuit au Quaternaire et est suivie d'une transgression qui envahit les basses vallées de Betsiboka jusqu'au-delà d'Ambato-Boéni.

Enfin une régression amène à la situation actuelle, caractérisée par une faune subfossile de Lémuriens, d'Hyppopotamus nains, de petits carnivores et des oiseaux géants : Aepyornis.

Dans le sud, le quaternaire est marqué par 3 transgressions qui ont laissé des dunes.

Les activités volcaniques se poursuivent au Quaternaire et ont édifié la montagne d'Ambre, le complexe volcanique d'Ankaizina-Tsaratananien, le massif volcanique de l'Itasy et de l'Ankaratra.

3.2.4. Formations intrusives récentes du socle

Outre les intrusions volcaniques et subvolcaniques précédentes, le socle antécambrien malgache est traversé par des intrusions récentes :

massif d'Ambohibiby et de Bevato

antampombato (Ambatovy) au Nord-Ouest de Moramanga

filons doléritiques crétacés de la côte Est.

le cortège filonien d'Ankaimbelo.

Les massifs de Bevato et d'Ambohibiby

Les gneiss et migmatites de tsiroanomandidy sont traversés par de nombreuses intrusions basiques (gabbros = roches grenues à Labrador, augite et parfois olivine).

Près de Tsiroanomandidy, Bevato est un dôme circulaire de 6km de diamètre à diorite quartzique, augite, aégyrine sodique, diopside, hypersthène et hornblende brune.

A côté de Bevato, le massif d'Ambohibiby plus développé de 14 km de diamètre, est une composition plus complexe. C'est un granite alcalin à albite, microcline sodique, aégyrine, hornblendebrune, associé à des syénites, des microgranites, des diorites et des gabbros à augite et olivine.

Un cortège filonien important entoure les massifs de Bevato et Ambohibiby : rhyolites, trachytes, microgranites, syénites (micro), le plus souvent à aégyrine et également constitué de gabbros.

Le caractère dominant de l'ensemble de toutes les roches des massifs ou des filons est leur tendance alcaline marquée par la présence d'aégyrine. Ces intrusions ne sont pas datées mais probablement récentes (Crétacé ou Eocène).

Le massif Manama à l'ouest de Vohipeno.

A 90km à l'Ouest de Manakara, correspondant à une grande intrusion de 16x10km, un gabbroïque avec quelques différenciations ultrabasiques et une ceinture granito-syémitique. Les

argiles latéritiques résultant de l'altération des masses ultra-basiques (péridotites, pyroxénolites) semblant être pauvres en nickel (0.1 à 1.4% de Ni dans la latérite)

Le massif d'Antampombato

Situé à une quinzaine de km au Nord-Ouest de Moramanga, le massif intrusif 12x7 km recoupe nettement le socle cristallin et montre un bel exemple de différenciation magmatique avec syénites au Nord, et dans l'Est et au sud on a les masses différenciées de péridotites (plateau d'Ambatovy et Analamay). Les péridotites sont fortement latérisées et constituent un gisement nickélifère important (1.5 à 3%).

Les filons doléritiques crétacés

De nombreux filons recoupent le socle cristallin ; particulièrement nombreux dans la région côtière suivant une direction N 15° E, c'est-à-dire parallèle à la côte Est, ont des épaisseurs variables métriques à décimétriques parfois hectométriques et des longueurs kilométriques, s'épaississent localement pour former des amas, sont rapportés au grand cycle volcanique du Crétacé moyen qui a affecté Madagascar.

Le cortège filonien d'Ankarimbelo

Au nord du massif de Manama, de nombreuses cassures orientées N 60° E sont remplies de roches allant des rhyolites aux gabbros (syénites, syénites néphéliniques, microsyénites, microdiocrites, théralites, dolérites et basaltes)

VOLCANISME A MADAGASCAR

4.1. Volcanisme crétacé

Dans les bassins sédimentaires, il y a des coulées inter stratifiées du Turonien et du Campanien. Nous allons voir les coulées du socle cristallin.

4.1.1. Volcanisme de la côte orientale

Datant du Turonien entre Vohémar et la pointe sud de la presqu'île Masoala, il est surtout constitué de basaltes, sakalavites (basalte à silice), tholéites (basalte à quartz sursaturé). Mais au Sud de Vohémar, il existe quelques basaltes néphéliniques. Les coulées sont parfois recouvertes de coulées rhyolitiques.

4.1.2. Massif de l'Androy

C'est le massif du Nummulitique allongé sur 80 km dans la partie sud, recouvert par les sables des grandes dunes Tatsimiennes d'Ambovombe. Il résulte de l'emplacement de bas en haut de :

basaltes inférieurs, rhyolites inférieurs et basaltes supérieurs
rhyolites supérieures

L'épaisseur totale des coulées atteint près de 2000m recoupée de petits massifs de microdiorites et de microgranites (ankaratrite = basalte alcalin)

4.2. Volcanisme tertiaire et quaternaire

A partir du sommet d'Ambre ; les volcans du tertiaire et quaternaire sont représentés dans les îles de Nosy-Be, de Nosy Mitsio, le massif de l'Ankaizina ; de Tsaratanàna, de l'Itasy et de l'Ankaratra.

4.2.1. Volcan des îles

A Nosy-be ; il y a deux types d'émissions, ce sont les plus anciennes

la première est de type hawaïen avec de longs épanchements très fluides.

la deuxième donnant de nombreux cônes stromboliens ; les laves sont surtout des ankaratrites. Les projections sont certainement abondantes, les cratères-lacs sont tellement nombreux.

A Nosy Mitsio, on a les coulées de basaltes, de basanites et d'andésites sans appareils conservés

4.2.2. Volcan d'Ankaizina-Tsaratanàna.

L'Ankaizina constitue un puissant ensemble volcanique où l'on peut séparer le massif de Tsaratanàna et le massif d'Ambondro. A l'ouest de ce dernier le massif de Manongarivo. Cet ensemble résulte d'importantes manifestations de l'Eocène comme celle de Manongarivo, de la presqu'île de Manangaka.

Les manifestations volcaniques sont suivies de nombreuses émissions de laves, Le Tertiaire très récent qui en partant de la base représente :

des rhyolites, trachytes, ignimbrites ;

des basaltes, basanitoïdes ;

des trachy-phonolites, phonolites ;

des basaltes, basanites de plateau.

des basaltes, basanites récents.

La région de Bealanana représente une belle série de cône strombolien avec des coulées dans les vallées.

P O S T K A R R O O	ERE	AGE ETAGE	FORMATIONS ET CARACTERES PETROGRAPHIQUES	
	QUATERNAIRE		ACTIVITE VOLCANIQUE DE L'ITASY INSTALLATION DES LACS DANS LES CRATERES ETEINTS (Lac Itasy) LATERISATION CARAPACE SABLEUSE FORMATION DE DUNES FORMATION DES RECIFS CORALLIENS	
	TERTIAIRE	PLIOCENE MIOCENE	REGRESSION MARINE FORMATION DE CARAPACES SABLEUSES CASSURE DU SOL (1) DEPOTS LACUSTRES (Sambaina- Antsirabe-Alaotra) (2) VOLCANISME Massif d'Ambre (Diego), Ankaratra	
		OLIGOCENE	DEPOTS MARINS TRANSGRESSIFS ET DISCORDANTS DE LA FORMATION ANTERIEURE GRES + ARGILES SABLEUSES A BOIS SILICIFIES (Majunga)	
		EOCENE	CALCAIRE (Diego - Morondova - Majunga - Bassin oriental) GRES MARNES A HUITRE (Morondova) LAGUNES (Morondova)	
	SECONDAIRE	CRETACE SUPERIEUR	AFFAISSEMENT DU SOCLE MARNES - GRES TENDRE- GRES SABLEUX CONTINENTAUX (Diego - Majunga - Morondova) COULEES BASALTIQUES ET RHYOLITIQUES (Bassin oriental)	
		CRETACE INFERIEUR ET MOYEN	GRES MARIN + GRES CONTINENTAL (Betsiboka) GRES + MARNES (Majunga) GRES + ARGILES + AMMONITES (Diego)	
		JURASSIQUE SUPERIEUR	MARNE GLAUCONIEUX (Morondova) MARNE + ARGILE GLAUCONIEUX (Majunga) MARNE + COULEES BASALTIQUES (Diego)	

K A R R O O		JURASSIQUE MOYEN	3°) Groupe de l'Isalo		Isalo III : GRES TENDRE - CALCAIRE (Bemaraha, Kelifely) – BOIS SILICIFIE Isalo II : CALCAIRE MARINE - GRES TENDRE – SABLE Isalo I : GRES TENDRE - SABLE	
		JURASSIQUE INFERIEUR				
		TRIAS				
	PRIMAIRE	PERMIEN	2°) Groupe de la Sakamena : GRES ET SCHISTES + AMMONITES			
		CARBONIFERE SUPERIEUR	1°) Groupe de la Sakoa	Ouverture du Canal du Mozambique CALCAIRE MARIN de Vohitolia Série rouge : ARGILES ROUGES CONTINENTAUX Série houillère : GRES -CHARBON A GLOSSOPTERIES Série glacière : TILLITE - VARVE		
		CARBONIFERE MOYEN INFERIEUR DEVONIEN SILURIEN CAMBRIEN				
	PRECAMBRIEN	FORMATION DU SOCLE				CRISTALLIN

Chapitre III : GÉOLOGIE APPLIQUEE

A-PETROLE

Le terme pétrole (du latin Petra : pierre et oléum: huile) peut être défini comme un produit fossile incorporé dans des **sédiments**. C'est un produit combustible apparaissant par suite de l'accumulation et de la transformation complexe biochimique des restes organiques animaux et végétaux.

On peut extraire dans un gisement de pétrole les éléments suivants :

- Une partie solide constituant les Asphaltes et les Paraffines ;
- Une partie liquide de nature huileuse appelée **brut** de couleur brun noir
- ; Une partie gazeuse qui constitue les gaz de pétrole.

Description

Le pétrole est un produit constitué d'une multitude de molécules composées d'atomes de carbone et d'hydrogène uniquement, on parle d'hydrocarbures.

Ces différentes molécules sont caractérisées par le nombre et la structure des atomes de carbone. La chimie minérale distingue quatre grands types d'hydrocarbures en **fonction** de la nature des liaisons atomiques entre atomes de carbone:

les alcanes : ce sont les molécules dont la chaîne d'atomes de carbone est composée de liaisons simples, c'est une chaîne aliphatique saturée. Le nombre de carbone varie le plus souvent entre 1 et 20. Autrefois, les alcanes étaient appelés paraffines. Exemples : le méthane, le butane, l'hexane. Formule brute : C_nH_{2n+2} . Un groupe d'alcanes est particulier, ce sont les **cyclo alcanes** dont la chaîne d'atomes de carbone contient au moins un cycle hexane ou pentane. Exemples : le cyclohexane, le méthylcyclopentane. Formule brute : C_nH_{2n}

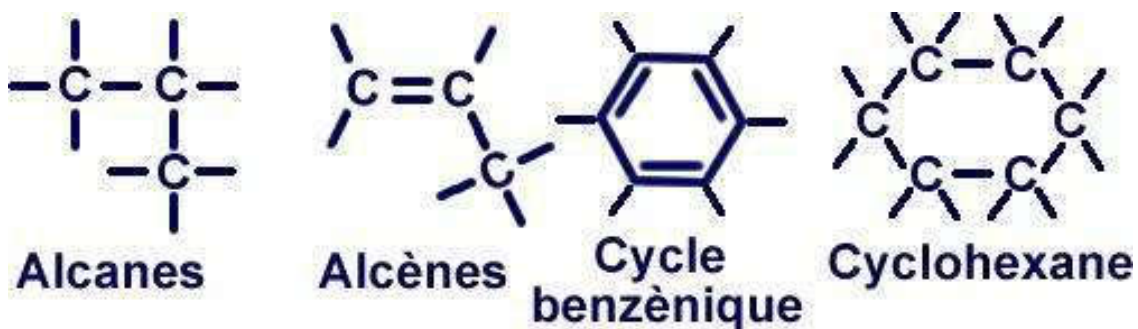
les alcènes ou carbures éthyléniques : ce sont les molécules dont la chaîne d'atomes de carbone contient une liaison double. Le nombre de carbone varie le plus souvent entre

2 et 20. Autrefois, les alcènes étaient appelés oléfines. Exemples : l'éthylène, le butène, l'isobutène. Formule brute : $C_n H_{2n}$

les diènes ou alcynes : ce sont les molécules qui contiennent plus d'une double liaison dans la chaîne aliphatique. Exemples : l'acétylène, les butadiènes.

Formule brute : $C_n H_{2n-2}$.

les chaînes aromatiques : ce sont les molécules dont la chaîne d'atomes de carbone contient au moins un cycle benzénique. Le nombre de carbone est au minimum de 6. Exemples : le benzène, le naphthalène. Formule brute : C_6H_5-Y (où Y représente une molécule attachée au cycle benzénique).



Origine

Certains gisements contiennent des bactéries et de la matière organique ;

La présence **d'hormone** ainsi que des différents restes animaux et végétaux a également été signalée dans certains pétroles ;

Beaucoup d'huiles lourdes contiennent des porphyrines (pigments dérivés de la chlorophylle).

Ces observations permettent de confirmer l'origine organique du pétrole.

D'ailleurs la plupart des géologues pensent que ce sont des Organismes unicellulaires et en particulier des bactéries qui seraient les principaux « fabricants » d'hydrocarbures.

La matière première du pétrole doit donc être recherchée dans des SAPROPELS qui sont des dépôts en putréfaction mélangés à de la boue et à du sable, dans les lagunes littorales : le sapropel se trouve soumis dès son dépôt à des fermentations bactériennes anaérobies qui brisent les molécules d'acide gras et les transforment en hydrocarbures. Notons cependant que le développement d'abondantes quantités de matières organiques est une condition nécessaire mais non suffisante pour donner naissance à la formation d'accumulation d'hydrocarbures.

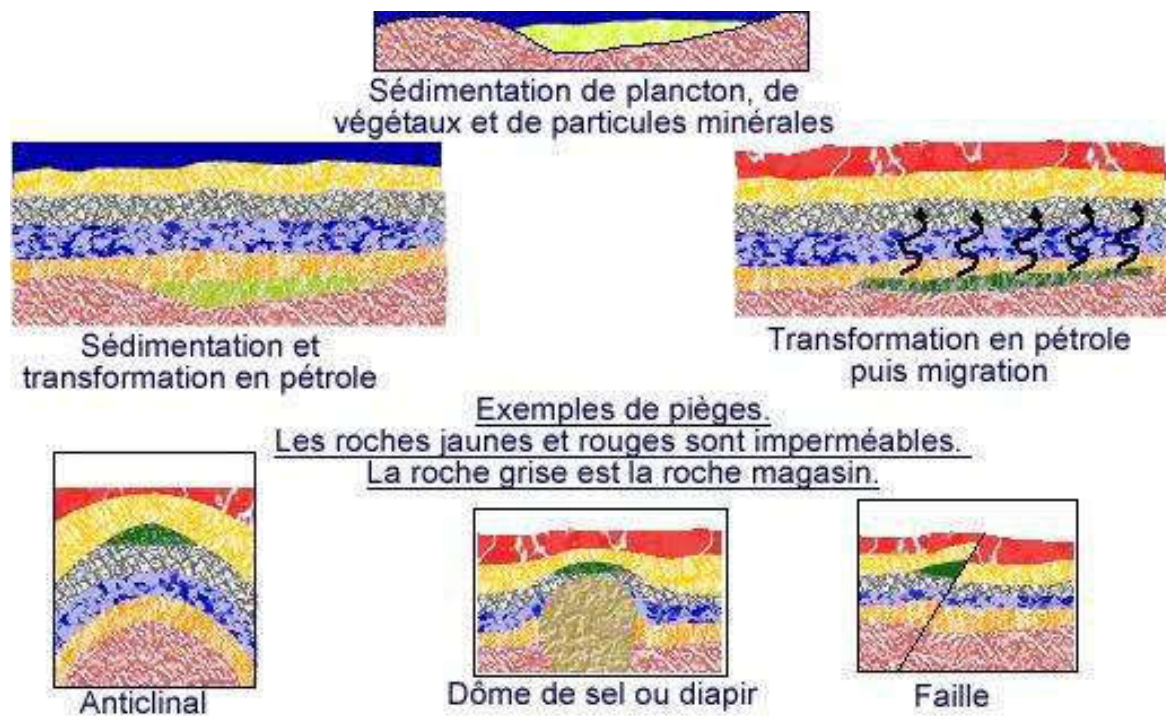
3. Mode de formation du pétrole

Des accumulations d'organismes planctoniques (ensemble des plantes et d'animaux de petite taille en suspension dans l'eau qui flottent près de la surface) ont pu se faire d'une manière continue dans un milieu marin anaérobie; les fonds vaseux des zones peu agitées semblent particulièrement favorables à ce phénomène.

Sous l'action de bactéries anaérobies, les lipides et les protides de ces organismes se transforment en hydrocarbures. Il s'agit ici d'une diagenèse biochimique suivie par une diagenèse physico-chimique. Lorsque par subsidence la température et la pression augmentent, la roche-mère se consolide en donnant naissance à un schiste imprégné d'hydrocarbures.

Le liquide ainsi formé a tendance à migrer dans les zones superficielles de l'écorce terrestre et à s'échapper à l'air libre.

Il forme des gisements là, où, sous la surface du sol se trouve un dispositif de roches imperméables en forme de toit qui arrête son ascension et une roche poreuse susceptible de le retenir. Celle-ci appelée roche-magasin ou roche réservoir est le plus souvent constituée par un grès, un calcaire, un sable ou une dolomie. Ces dispositifs sont appelés des **pièges à pétroles**.



Etapes de la formation du pétrole et quelques exemples de pièges

4. Mode de gisement du pétrole

Un gisement est toujours localisé en un point singulier ou une anomalie naturelle permettant de se rassembler en un point, haut, sous une couverture imperméable (argile, marne) qui est interdit de s'échapper.

Les pièges les plus courants sont : les anticlinaux, les dômes de sel en forme de champignon, les failles qui ont amené un terrain sédimentaire imperméable en face de la roche-mère ou roche magasin (grès, calcaire), les discordances. Ce n'est que très rarement qu'on trouve **le pétrole** dans un lac sous- terrain, des fissures ou des cavités contrairement à ce qu'on pense.

Les deux caractéristiques principales des milieux favorables à la genèse d'hydrocarbures sont :

Une forte proportion de matières organiques ;

Un milieu réducteur favorable à l'évolution et la conservation de ces matières organiques

Les différentes phases peuvent être schématisées comme suit

Roches mères	Migrations primaires	Roches réservoirs ou Roches magasins	Migrations secondaires	Roches protectrices ou roches de couverture
--------------	----------------------	--------------------------------------	------------------------	---

Les Roches mères

Les roches mères pétrolifères sont des roches sapropeliennes dont les altérations anaérobies engendrent le **pétrole**. Elles doivent être à grains fins comme les argiles et les calcaires organiques: de telles roches favorisent la formation du pétrole mais ne se prêtent pas à la concentration des huiles et à l'accumulation sur place d'une gîte pétrolière.

Comme le gisement de pétrole ne s'observe que dans certaines conditions de température et de pression assez limitées, des forces de différentes origines contribuent à réaliser ces conditions et produisent alors les migrations.

Celles-ci ont pour résultat : l'accumulation du pétrole dans des roches magasins.

Distensions et la destruction des gîtes ainsi que la production d'indices superficiels.
Les roches réservoirs ou roches- magasins

On nomme ainsi toutes roches poreuses et perméables qui peuvent renfermer du pétrole et l'abandonner facilement.

Les roches protectrices

Ce sont des roches qui doivent être imperméables pour s'opposer à la dissémination de l'huile de pierre hors de son gisement.

Ces roches constituent le toit du gisement pétrolifère.

Remarque : Ces modes de gisement sont toujours observés quel que soit le type de gisement de pétrole. Pour la prospection, les géologues recourent aux indices superficiels qui sont constitués par l'apparition d'une des trois substances que l'on trouve en profondeur : gaz, huile et eaux salée.

5. Distillation et raffinage du pétrole

Pour la séparation des principaux constituants du pétrole brut et leur transformation en produits commerciaux nettement définis, de vente courante et de conservation assurée, l'industrie procède à une distillation fractionnée puis à un raffinage des premiers lots d'hydrocarbures à « rectifier » par la suite.

Les usines de grande production procèdent à une pré-distillation (à 140° et sous 5kg de pression) qui libère les fractions légères dissoutes (propane, butane, gazoline ...)

5.1. Distillation primaire ou Topping

Le pétrole, ayant subi une pré-distillation, est soumis à une première distillation sous pression normale, et suivant la température, on sépare quatre fractions.

- Essence du 1^{er} jet ou straight-run T°eb 180° - 200° ;

{ 149 }

Henintsoa Solotiana

Pétrole lampant T°eb 180° - 230° ;

Gasoil T°eb 230° - 280° ;

Résidu dont on peut extraire d'autres fractions telles que : huiles de graissage, fuel- oil, bitume ...

Résumé : Pétrole brut-gaz légers

Essence du 1^{er} jet : 20 à 25 % du pétrole brut

Naphte ou pétrole lampant ou kérosène: 3 à 5 % du pétrole brut

Résidu pouvant être distillé de nouveau: 50 % du pétrole brut

5.2. Distillation fractionnée des résidus du naphte brut

La distillation fractionnée sous vide des résidus du **topping** permet l'extraction des huiles de graissage qui sont des mélanges d'hydrocarbures dits paraffiniques et naphéniques.

5.3. Raffinage :

Le but du raffinage est d'enlever les impuretés. Il peut se faire suivant trois procédés :

Raffinage par terres décolorantes dans lequel le liquide traverse des argiles spéciales qui absorbent les impuretés ;

Raffinage par les solvants sélectifs ;

Raffinage par lavage.

Les essences pour carburation et les huiles de graissage doivent être raffinées avant leur utilisation. L'essence pour carburation est le produit le plus important extrait du pétrole.

On peut augmenter le pourcentage d'essence du 1^{er} jet des procédés de **CRACKING** appliqués aux fractions lourdes (gasoil et pétrole lampant)

5.4. Cracking

Le cracking est un traitement thermique qui a pour but de rompre, de **craquer** les molécules lourdes d'hydrocarbures dont l'intérêt est d'augmenter le pourcentage de pétrole lampant ou Kérosène : produit issu du naphte brut le plus intéressant.

Il y a deux méthodes de cracking :

Cracking thermique en phase liquide

Cracking thermique en **phase vapeur** ou **reforming** (ex ; Raffinerie de pétrole de Tamatave)

Le raffinage des huiles de graissage consiste surtout à éliminer les hydrocarbures.

La paraffine et la vaseline sont les produits récupérés après le déparaffinage.

La paraffine et une substance blanche ou jaunâtre, sèche au toucher est utilisée pour la fabrication des bougies, des cirages, des isolants.

La vaseline est une substance molle, incolore utilisée en pharmacie.

Le gasoil est un carburant de choix pour les moteurs de type diesel dans lesquels l'inflammation du mélange combustible dans le cylindre résulte d'un auto-allumage par compression.

Le gas-oil forme facilement des peroxydes qui provoquent l'auto-allumage, on dit qu'il est autoxydable à chaud. On apprécie cette aptitude par l'indice d'octane qui s'exprime par le pourcentage d'octane du mélange qui à une inflammabilité semblable à celle du gas-oil, plus l'indice d'octane est élevé plus la quantité du gas-oil est bonne.

Le pétrole lampant est le carburant le mieux adapté aux moteurs d'avion à réactions dits : « turboréacteurs ». Il est aussi utilisé pour l'éclairage.

Les fuel- oils remplacent de plus en plus l'huile dans le chauffage industriel et domestique.

Le bitume est solide à la température ordinaire. Imprégné d'huile ou émulsionné dans l'eau il sert à réparer les revêtements de route

Pétrochimie

La pétrochimie est l'industrie de la transformation chimique des matières premières de **base** résultant de la distillation de pétroles et des gaz naturels et leurs dérivés. Elle a favorisé la création des industries des carburants synthétiques, des explosifs, des solvants, des parfums et colorants, des drogueries (détergents, insecticides), des fibres synthétiques et enfin la production de protéines alimentaires obtenues à partir de levures cultivées sur gas-oil.

B- HOUILLE

1. Introduction

La houille ou charbon de terre est une roche sédimentaire carbone extraite des profondeurs du sol dans des endroits appelés *bassins houillers*. Elle peut constituer soit des *couches charbon* soit des veines *charbonneuses*. Les estimations grossières des réserves mondiales de charbon s'élèvent à 10 000 milliards de tonnes dont 80 milliards exploitables dans l'état actuel de la technologie et des prix. Les réserves globales s'élèveraient même à 30 000 milliards de tonnes.

De tous les combustibles actuels, la houille est le combustible le plus abondant. Selon les conférences mondiales sur l'Energie (1974), les réserves sont au moins, cinq fois plus grandes que toutes les ressources combinées de pétrole brut, gaz naturel et schiste bitumineux forte teneur.

Origine et formation de la houille

L'origine végétale de ces matières carbonées est prouvée d'une façon certaine. Voici les stades successifs de formation :

1^{er} temps : des quantités énormes de débris végétaux, bois, écorces, feuilles, spores, algues microscopiques fournis essentiellement par des forêts à végétation exubérante s'accumulent dans **un site géologique favorable**.

2^{ème} temps : la couche végétale ainsi constitué est recouverte par les eaux, sans doute, la suite d'un **affaissement du sol**.

3^{ème} temps : sur cette couche se dépose un sédiment minéral alluvionnaire sur lequel se constituera une autre végétation.

4^{ème} temps : à l'abri de l'air commence la **fermentation** de la houille végétale. Au cours de cette **fermentation** extrêmement lente, les **sédiments** végétaux s'enrichissent fortement en carbone, alors que diminue corrélativement la part des autres substances initialement contenues dans le dépôt.

Conditions géologiques : existence d'aires de subsidence.

Conditions climatiques : atmosphère humide, chaude et chargée de gaz carbonique.

Ces deux conditions doivent être remplies.

Par la paléoclimatologie et la paléobotanique, l'on sait que ces conditions furent d'une manière exceptionnelle, réunies à la fin de l'ère primaire (Permo-Carbonifère).

Sur la formation de ces couches fossiles, deux grandes théories sont avancées : l'**autochtonie** qui prévaut aujourd'hui et l'**allochtonie**. Dans un bassin autochtone, le **lit** (mur : en langage minier) sur lequel repose la couche de charbon est gréseux ou argileux. Sa structure est **irrégulière** et **entrecroisée** ; il recèle des fragments de racines végétales (dans la position qu'elles devaient avoir dans une forêt **vivante**).

Le **toit** de la couche par contre, est constitué de grès ou de schistes à sédimentation régulière et portant des empreintes de feuilles, des coquilles de mollusques ou autres fossiles d'invertébrés ou vertèbres divers. Entre ces deux bancs se trouve la **couche de houille**. Elle est composée d'une purée végétale assez fine dont le dépôt s'est opéré lentement et sans déplacement ni transport notable. Exemples de bassins houillers autochtones :

Aux Etats-Unis, à l'Ouest des Appalaches ;

Sakoa: dans le Sud-Ouest de Madagascar.

Préparation de la houille

Il va sans dire que le charbon n'est pas livré au consommateur tel qu'il sort de la mine. Il subit une préparation plus ou moins complexe qui lui donne les spécifications correspondantes aux usages auxquels on le destine. Certes, on ne modifie pas sa nature, mais des opérations sélectives permettent de tirer, du produit brut, une série de produits homogènes aux caractéristiques bien déterminées.

Classification commerciale

Les charbons sont classés suivant deux caractéristiques principales complémentaires : la **catégorie** et le **calibre**.

Mais il est plus rationnel de prendre pour référence la teneur en matières volatiles qui donne une indication plus précise que la catégorie. Le calibre indique la dimension des morceaux dont il donne une limite inférieure et une limite supérieure. A chaque calibre correspond une appellation beaucoup plus usuelle que sa définition dimensionnelle. Ces calibres sont :

Tout venant: 0 à 200mm ;
Gros calibres 80 à 120mm ;
Gailletins 50 à 80mm ;
Noix 30 à 50mm ;
Noisettes 20 à 30mm ou 15 à 30mm ;
Braisettes 10 à 20mm ou 10 à 15mm ;
Grains 6 à 10mm – Fines 0 à 6mm ;
Pulvérulents 0 à 1mm ;
Schlamms 0 à 0,5mm.

Carbochimie

La carbochimie est l'industrie de la transformation chimique des houilles et de leurs dérivés.

La carbochimie a permis la création des industries des **engrais azotés**, des **carburants synthétiques**, des **matières plastiques** et des **textiles synthétiques**, des **goudrons**, des **colorants**, des **produits pharmaceutiques** et des **explosifs**. C'est avant la première guerre mondiale et durant la période s'étendant de la naissance de l'industrie gazière à 1914 que l'on peut situer la première phase du développement de la carbochimie.

Après la guerre de 1914 - 1918, **trois autres procédés de valorisation de la houille** furent mis au point pour couvrir les besoins mondiaux en matières premières utilisées dans

l'industrie chimique pour la fabrication de produits organiques de synthèse nouvellement créés au moyen de :

la carbonisation à basse température ;

l'hydrogénation du charbon ;

la gazéification.

4.1. Carbonisation à basse température (500°C à 700°C)

Les procédés ont pour objet initial la production de combustibles liquides à partir d'un charbon de qualité secondaire inapte à la carbonisation à haute température. On obtient du **semi-coke** et comme sous-produits des goudrons riches en phénols, crésols et huiles légères, une essence brute aromatique, des eaux ammoniacales que l'on transforme en sulfate d'ammonium, des gaz riches dont le pouvoir calorifique supérieur dépasse 5 000 cal/m³.

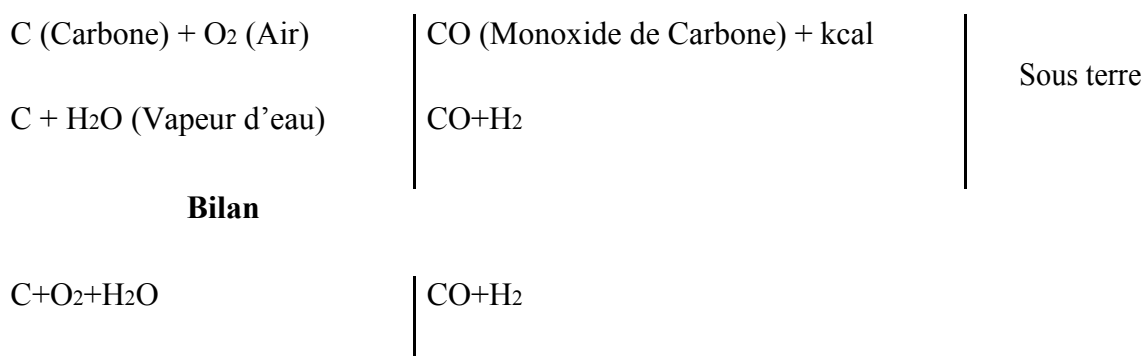
4.2. Hydrogénation du charbon

L'hydrogénation du charbon consiste à fabriquer des carburants liquides. Le procédé **Bergius d'hydrogénation** a fourni de l'essence pendant la deuxième guerre mondiale mais fut arrêté vers 1945 à cause de ses prix de revient plus élevés que ceux de l'essence de pétrole.

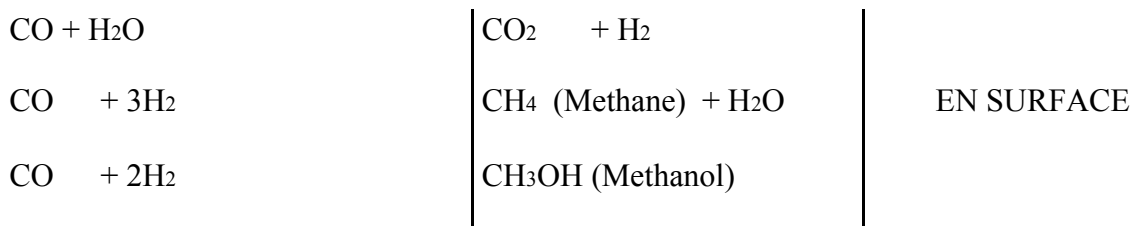
4.3. Gazéification

La gazéification des combustibles solides en présence de vapeur d'eau et d'oxygène, a été, pendant longtemps, une source importante de ce gaz. Nous pouvons observer les chaînes de réactions chimiques résumant ces deux derniers procédés :

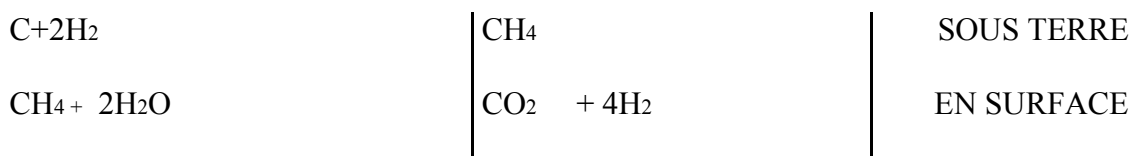
Procédé à l'air et à la vapeur d'eau



Procédé à l'hydrogène



Procédé à l'hydrogène



- Bilan



La gazéification souterraine par hydrogénation directe est un procédé actuellement en Allemagne.

4.4. Bilan actuel de la carbochimie

Aujourd'hui, la carbochimie est essentiellement fondée sur les produits résultant de la **distillation du charbon à haute température**. Dans ce procédé on distille, vers 1 200°C, une houille grasse comportant 20 à 30% de matières volatiles et l'on obtient par tonne de charbon enfournée : 700 à 800kg de coke, 25 à 40kg de goudrons ; 1,4 à 2,6 d'ammoniac ; 7 à 12 kg de benzol ; 6 à 10g de sulfate d'ammonium ; 300 à 350m³ de gaz dont le pouvoir calorifique supérieur est de l'ordre de 4 900 calories.

Le coke : Il est constitué de carbone assez pur avec très peu de matières volatiles, gris, léger et poreux sans être friable; il brûle sans dégager de suie, de fumée ou d'odeur. En outre, il fournit les quantités importantes de calories nécessaires à la fusion du minéral dont il assure en même temps la réduction chimique par absorption de l'oxygène des oxydes de fer. Son pouvoir **calorifique** doit être élevé (6 500 à 7 500 calories) et sa combustion presque complète pour ne laisser que peu de cendres (8 à 10%).

Seuls les charbons ayant une teneur moyenne en matières volatiles (18 à 35%) et un bon pouvoir agglutinant produisent le coke. Le coke est destiné soit aux **hauts fourneaux** et à la

fonderie, soit au **chauffage**, soit encore à l'**industrie chimique**. Jusqu'en 1950, les matières premières constituant la base des principales fabrications de synthèse comme H_2 , CO , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_6 furent presque uniquement les produits solides et gazeux de la carbonisation.

Le carbure de calcium en particulier joue un grand rôle dans le développement de l'industrie chimique servant à produire de l'acétylène et ses dérivés. Il faut souligner aussi que l'industrie du carbure de calcium permet de produire un engrais, la **cyanamide calcique**, après une réaction dite d'azotation. C'est une industrie spécifiquement carbochimique, puisqu'elle met en œuvre l'énergie électrique, le coke et la chaux. Le coke, grâce à son usage spécifique, maintiendra aux mines de charbon un marché privilégié, tant qu'il n'aura pas à s'effacer devant des nouvelles techniques métallurgiques capables de modifier radicalement et massivement le processus de préparation de la fonte ou de l'acier.

Les goudrons : d'abord déshydratés, sont distillés. Deux cas peuvent se présenter:

si la distillation est **partielle**, on obtient les **goudrons routiers**.

si la distillation est **totale**, on obtient les **brais** (50 à 55%) + **huiles brutes** (45 à 50%).

Les brais servent à l'agglomération des charbons maigres et quart gras; ils sont encore utilisés pour les produits imperméabilisants, les enduits, les peintures, et les vernis de protection.

Les huiles peuvent être obtenues en proportions variables en fonction de la conjoncture économique. Elles sont fractionnées en plusieurs coupes d'où l'on retire toute une série de produits qui deviennent la matière première de diverses fabrications chimiques.

C- ARGILE

L'argile est une roche sédimentaire d'origine détritique de nature silico-alumineuse mais peut renfermer des impuretés telles que les substances ferrugineuses. Elle est une roche tendre, friable à l'ongle, ne fait pas effervescence avec un acide. En présence des chlorures de sodium, les fines particules d'argiles qui sont en suspension dans l'eau précipitent.

L'argile constitue la principale matière dans la fabrication des briques, des faïences, des porcelaines et dans les poteries. Son utilisation s'exprime par certaines de ses propriétés.

Les particules fines argileuses absorbent l'eau et se gonflent si bien que la pâte imprégnée d'eau devient imperméable.

L'argile modelée est plastique, elle se laisse modeler facilement.

L'argile se durcit à la cuisson et change de couleur, le phénomène est irréversible car au refroidissement elle ne fait plus pâte à l'eau. L'argile cuite devient poreuse et cassante, au contraire l'argile mouillée se durcit aussi en séchant et se fendille, ce phénomène de retrait est réversible car l'argile peut faire pâte à l'eau.

Fabrication des briques

Elle se résume en 3 opérations principales :

La préparation de la pâte : La pâte est un mélange d'argile et d'autre substance qui évite le retrait lors du séchage. Le mélange se fait en présence d'eau ou de vapeur. L'ensemble est malaxé afin d'obtenir une pâte bien homogène. Pour éviter le retrait, on utilise soit du sable soit du feldspath.

Le moulage des briques : La pâte passe dans une sorte de filière à la sortie de laquelle un fil d'acier découpe des tronçons égaux. On les place ensuite sur un chariot, qui reste quelques heures dans un tunnel ventilé à air chaude.

La cuisson : Dans le tunnel, les briques perdent de l'eau, on les range dans un four pour être cuites pendant 6 heures jusqu'à une température de 950°C. Une fois cette température atteinte, on arrête le chauffage, et on laisse refroidir le four pendant un jour et demi, et on défourne les briques. La cuisson a modifié l'un des constituants de l'argile et provoque un changement de coloration des briques.

2. Fabrication des céramiques

La céramique est l'ensemble qui utilise l'argile comme matière première dans la fabrication des poteries de terre cuite, de faïence, et de porcelaine.

Les principales étapes sont:

Préparation de la pâte : par addition d'eau d'argile se transforme en pâte plastique à laquelle on incorpore des substances pulvérisées qui jouent le rôle de dégraissant. On évite ainsi le retrait.

Façonnage : c'est l'étape par laquelle on donne à l'argile plastique la forme désirée. Il peut se faire soit par moulage (façonnage en voie pâteuse) soit par coulage (façonnage en voie liquide) et se termine par le fournage, opération qui consiste après séchage partielle à enlever un excédent de pâte qui avait obligé d'ébaucher trop épais de façon que la pâte encore molle ne s'affaisse pas.

La cuisson : est l'opération la plus importante de toute la fabrication. Elle a pour objet d'achever la déshydratation des pâtes et d'amener la fusion des glaçures (enduit coloré) et le développement des couleurs. Elle a lieu dans les fours construits en briques réfractaires après le séchage naturel ou par ventilation des poteries. Les terres cuites et les poteries qui ne recevront pas de glaçures ne subissent qu'une seule cuisson. Les autres catégories de céramique qui doivent recevoir d'enduit vitrifiable et coloré sont soumises à la cuisson, la première avant la glaçure, la seconde après.

Glaçure : Elle est nécessaire pour rendre les poteries imperméables aux liquides; elle rend les poteries brillantes. Les enduits transparents ou vernis défroissent l'éclat de la pâte, ces enduits opaques cachent ou changent la couleur lorsque la pâte n'a pas une bonne couleur naturelle.

La coloration : Les colorants utilisés sont des oxydes métalliques tels que: les oxydes de cuivre qui fournissent une bleue turquoise avec les glaçures alcalines et une verte avec les glaçures plombées. Les oxydes de chrome fournissent des jaunes et rouge-oranges à basse température. La coloration des produits céramiques peut être réalisée de différentes manières.

Coloration de la pâte : elle peut s'effectuer par 3 procédés :

La teinture : on incorpore dans la masse pâteuse des oxydes métalliques colorants ou des solutions de métaux colorants.

L'englobage : on recouvre d'une mince couche de pâte colorée, on englobe la surface de la poterie.

La couleur sous-couverte : le colorant doit être dilué dans une pâte recouverte d'une couche beaucoup plus mince et sans addition de matière verte.

Coloration des glaçures : elle se fait par addition d'acides colorants soit en provoquant des accidents de dévitrification (couverts cristallisés) ou de réduction (produisant les flammes, les reflets métalliques) soit en appliquant sur la glaçure crue ou fondue les compositions colorées. Les nuances de coloration sont d'autant plus variées et éclatantes pour une température de cuisson moins élevée; à haute température, la décoloration est plus solide. L'application des couleurs différentes peut se faire par trempage, par aspersion, vaporisation ou au pinceau.

Exemple: la teinte d'un fond sera obtenue par trempage et l'ornementation par la peinture au plafond. Après la pose des couleurs, les poteries subissent la deuxième cuisson.

Poteries céramiques

Les carnes cuites sont des poteries poreuses non recouvertes d'une glaçure. Elles sont fabriquées pour les produits industriels réfractaires, les poteries d'art et les épreuves de sculptures.

Les poteries vernissées ou lustrées. Les poteries lustrées sont recouvertes d'enduit vitreux de composition silico-alkaline pour les rendre imperméable aux liquides. Les poteries vernissées sont enduites de produits à base de plomb et sont décorées par le procédé d'englobe, la température de cuisson atteint 900 à 1 000°C. Cette technique est utilisée dans les carrelages, les vases et les vaisselles.

Les faïences (composés d'argile, de sable, de marne, de calcaire). La faïence se distingue des poteries précédentes par la nature de l'enduit qui recouvre la terre cuite

D-CALCAIRE – MARNE / FABRICATION DU CIMENT

Caractères du calcaire et de la marne :

Le calcaire et la marne sont des roches sédimentaires.

1.1. Calcaire

Le calcaire de formule chimique Ca CO_3 est de couleur blanche ou jaunâtre. C'est une matière tendre, raie l'ongle parfois l'entame. Il est quelquefois friable. Parfois, il faut l'acier pour le rayer. Le calcaire est très peu soluble dans l'eau (13mg/l). Il est soluble dans l'eau chargée de CO_2 (jusqu'à 2g/l) à cause de la formation de carbonate de calcium.

Tout facteur qui provoque le départ de CO_2 ou H_2O liquide détruit l'équilibre en faveur du premier membre et conduit directement à la précipitation du calcaire. Les facteurs qui peuvent provoquer le départ de CO_2 sont :

Elévation de température : développement de tartre dans les bouilloires les sources pétrifiantes ;

Diminution de CO_2 par les plantes vertes ;

Absorption de CO_2 ou augmentation de **pH** résultant d'actions bactériennes anaérobies notamment sur les fonds marins. Le calcaire peut être d'origine :

Organique : il provient de l'activité des organismes vivants (ou calcaires construits et calcaires d'accumulation) ;

Chimique : il provient de la précipitation du carbonate soluble.

1.2. Marne

C'est un mélange d'argile et de calcaire. C'est une roche tendre, rayable à l'ongle ou à l'acier. Comme l'argile, elle peut avoir différentes couleurs : ocre, jaunes, rouge, rose, verte selon qu'elle contient des oxydes, des hydroxydes ou des matières organiques. La marne provient généralement de la consolidation d'anciennes vases marines.

2. Ciment

2.1. Matières premières

On fabrique le ciment en mélangeant, dans les proportions soigneusement établies en fonction de l'utilisation du produit :

Calcaire marneux à 85 – 90% de carbonate de calcium ;

Marnes à 65 – 70% de carbonate de calcium apportant l'alumine ;

Sables apportant la silice ;

Argiles rouges apportant oxydes de fer et alumine ;

Gypse ;

Pouzzolane (gravier volcanique, rougeâtre, amiante. A Madagascar, on en trouve à Betafo).

2.2. Fabrication du ciment

Elle comprend plusieurs phases : extraction, concassage, fabrication de la pâte, cuisson, refroidissement, broyage, ensachage.

roche tendre, est attaquée par pelle mécanique à la dynamite alors que la marne,

Concassage : on fait passer ces roches dans un concasseur à cylindres dentés; à la sortie, la matière a un calibre maximum de 18 cm.

Dosage : le calcaire passe ensuite dans un silo de dosage, la marne dans un autre et dans un troisième, il y a du sable. Chaque silo est équipé à sa base d'un secou-vibreux vibrant électromagnétique. Après dosage, les matières premières passent dans un deuxième concasseur pour y être réduite à un calibre maximum de 25mm.

Fabrication de la pâte : à la sortie de ce concasseur, on ajoute de l'eau et le tout est introduit dans un broyeur cylindrique. Ainsi humidifiées et finement moulues, les matières deviennent de la pâte. La pâte sera ensuite stockée et homogénéisée

par agitation mécanique, et brassage à air comprimé dans 3 cuves.

Cuisson : **Extraction** : le calcaire, roche dure, est attaqué

Les combustibles utilisés sont : pétrole, gaz, fuel-oil, charbon, électricité, etc.... A Amboanio, on utilise du charbon pulvérisé (du Mozambique).

La cuisson s'effectue dans un four cylindrique de 5m de long légèrement incliné et tournent lentement autour de son axe. La pâte est introduite par l'extrémité supérieure, et le charbon séché et pulvérisé est injecté sous

pression avec un air de combustion par l'extrémité inférieure.

Dans un four la pâte passe par :

un stade de séchage puis de réchauffage entre 40% et 700°C ;

une décarbonatation et calcination vers 1000°C ; une

clinkerisation vers 1 450°C.

A la sortie du four, on a un mélange formé de gros grains de 0,5 à 3 cm de diamètre appelé CLINKER. Puis le clinker passe dans un refroidissement qui abaisse la température vers 100°C (l'air chauffé sortant du refroidissement est utilisé pour le séchage et la combustion du charbon).

Broyage : le clinker passe alors dans un broyeur. On ajoute 4% de gypse en vue de régularisation la prise du ciment. A la sortie, on y ajoute...grise moulue au millième du millimètre appelée ciment.

Puis, par ensachage automatique, le ciment est mis dans des sacs de papier de 50 kg. Le ciment ainsi fabriqué doit répondre à des normes internationales définies par l'Association Françaises de Normalisation (AFNOR) : teneur en MgO (inférieur à 15%), résistance mécanique à la compression, prise du ciment...

Le ciment est surtout utilisé dans les grands travaux de construction : barrage, ponts, tunnels, bâtiments...

NB : L'analyse diffractométrie de la poudre du ciment montre qu'elle à 4 constituants fondamentaux :

Silicate tricalcique 3CaO , SiO_2 (clinker);

Silicate dicalcique 2CaO , SiO_2 ;

Aluminate tricalcique 3CaO , M_2O_3 ;

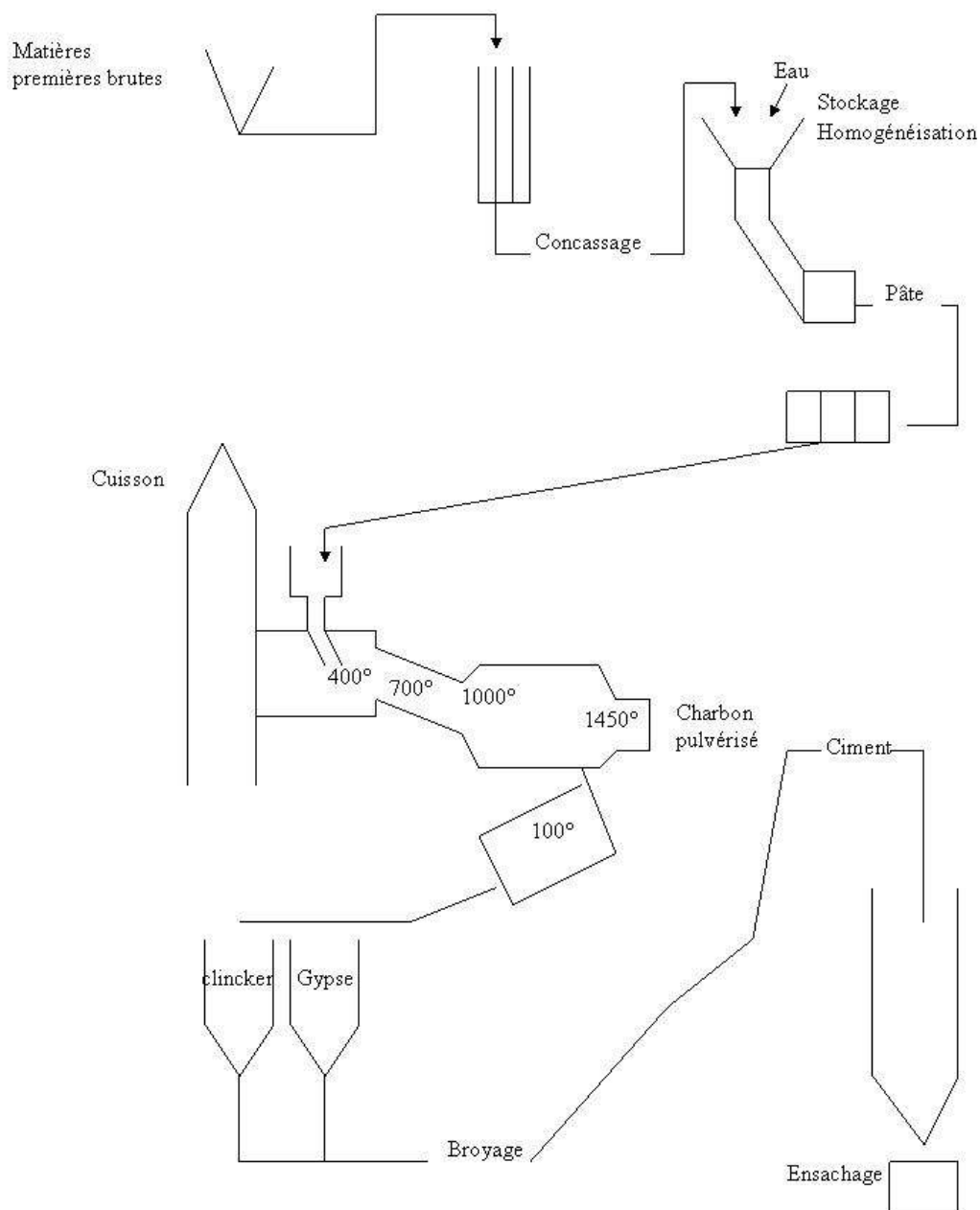
Alumino-ferrile tétracalcique 4CaO , M_2O_3 , Fe_2O_3

Cimenteries de Madagascar

AMBOANIO : elle dispose d'un gisement de marnes et de calcaires et d'un équipement électrique complet : centrale électrique, ateliers, magasins, laboratoires,...

IBITY : elle dispose des cipolins de l'IBITY, des argiles lacustres du bassin d'Antsirabe de nombreux, de pouzzolane du Nord et de l'Ouest d'Antsirabe, le long de la route de Betafo.

FABRICATION DU CIMENT



Chapitre IV : EVOLUTION DE L'HOMME

A-ORIGINE ET EVOLUTION DE L'HOMME

1. Introduction

L'**hominisation** est l'acquisition progressive des caractères morphologiques et culturels de la lignée humaine.

La **lignée humaine** est toute l'histoire évolutive des **homininés** qui, à partir du plus récent ancêtre commun à l'**homme** et au **chimpanzé** conduit à l'**homme moderne**. Cette histoire couvre **5 à 7 millions d'années** et elle est basée sur de **nombreux restes fossiles**.

La **lignée humaine** est **représentée actuellement** par une **seule espèce**, l'**Homme moderne** = **HOMO sapiens**. Entre **6 millions d'années** et **100 000 ans**, plusieurs espèces d'homininés ont vécu. A **100 000 ans** sont **apparus les hommes modernes**.

Ces espèces appartiennent à 2 genres :

Les **australopithèques** = *australopithecus* ;

Les **hommes** = *Homo*

Classification de l'homme :

Règne : Animal

Embranchement : Vertébrés

Classe : Mammifères (poils- mamelles)

Ordre : Primates (pouce opposable)

Famille : Hominidés

Genre : *Homo*

Espèce : *sapiens*

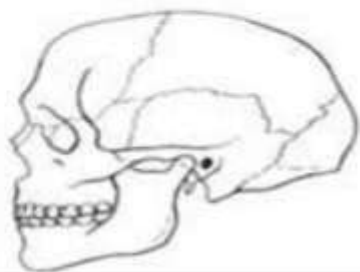
Sous-espèce : *sapiens*

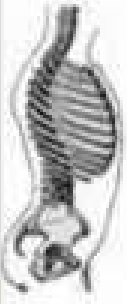
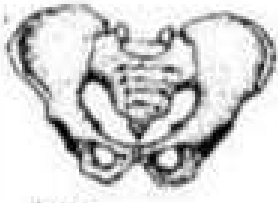
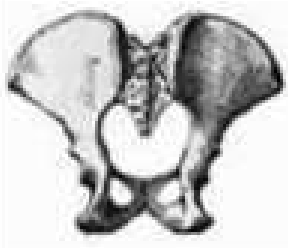
Remarque : **Hominoïde** : absence de queue ; **Homininé** : bipédie

Un autre genre appartenait à la famille des hominidés : c'est le genre *Australopithecus* avec des espèces *afarensis* ou *Lucy*, *africanus*, *robustus* et *boisier*.

Comparaison de l'homme moderne et du chimpanzé

	Homme moderne	Chimpanzé
Squelette :		
colonne vertébrale	4 courbures	1 seule courbure
Posture	Bipède	Quadrupède
Membre inférieur	Allongé, gros orteil dans le même alignement que les autres doigts	Fléchi
Membre supérieur	Plus court, libéré de la locomotion Jouant le rôle de préhension Pouvant effectuer des mouvements	plus long, touchant le sol jouant le rôle de locomotion

	Homme moderne	Chimpanzé
Crâne :		
Vue latérale de crâne		
Crâne vu du dessous		
	Trou occipital en dessous de la boîte crânienne : tête posée en équilibre au-dessus	Trou occipital en arrière de boîte crânienne : tête penchée vers l'avant
Crâne	Arrondi	allongé vers l'arrière
Capacité crânienne	1400cm ³	<300cm ³ réduit
Front	Saillant et haut Coupe transversale en anse de panier	Fuyant et bas Coupe transversale en ogive
Face	Petite, à la verticale du front Squelette allongé Pas de bourrelet sus-orbitaire, non prognathe	Projetée vers l'avant, squelette massif avec bourrelet sus-orbitaire, prognathe
Dentures	Plus petite et serrée	Plus forte
Menton	Existe	N'existe pas

	Homme moderne	Chimpanzé
Bassin :	  Large	  Etroit
Mandibules	 Mâchoires légères Arcade dentaire parabolique Petites canines	 Mâchoires massives Arcade dentaire en U Grosses canines

Critères de l'hominisation

Les principaux critères de l'hominisation sont :

- La bipédie ;
- Le développement du cerveau ;
- L'acquisition du langage articulé ;
- Le développement de techniques de plus en plus performantes en liaison avec le développement de la pensée.

3.1. Bipédie

C'est la première étape de l'hominisation. L'adaptation à la marche bipède entraîne chez l'Homme un certain nombre de modifications anatomiques :

Membre supérieur plus court que le membre inférieur, **adapté à la manipulation d'objet** (perte du rôle de brachiation).

Os du membre inférieur plus développés que ceux du membre supérieur.

Pied adapté à la marche et gros orteil dans l'alignement des autres (perte du rôle préhenseur).

Colonne vertébrale avec 4 courbures (1 seule chez le singe).

Raccourcissement de l'os iliaque du bassin permettant l'insertion des muscles fessiers puissants indispensables à la **station debout**.

Tête en équilibre au sommet de la colonne vertébrale par *avancée du trou occipital* sur la plancher crânien.

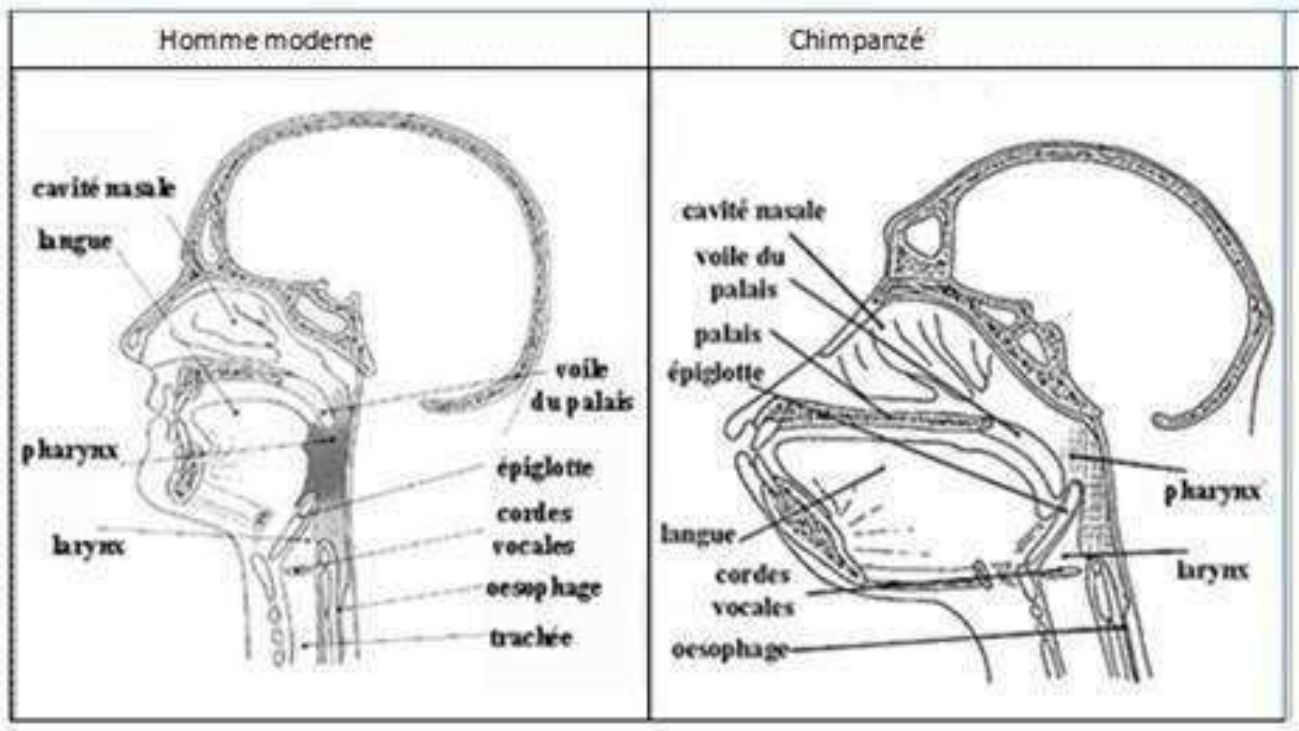
3.2. Développement du cerveau

L'anatomie du cerveau des Hommes fossiles nous est accessible par mesure de volume de la boîte crânienne et par les moulages endocrâniens. Ainsi, les circonvolutions du cortex cérébral sont repérées d'après les traces laissées à la surface interne de la boîte crânienne. Le volume cérébral a triplé en 3 millions d'années : 400cm^3 chez les Australopithèques à 1350cm^3 en moyenne pour la population humaine actuelle. Cet accroissement est particulièrement important de l'Homo erectus à l'Homo sapiens.

3.3. Acquisition du langage articulé

La comparaison entre l'appareil vocal d'un chimpanzé et celui de l'Homme actuel permet d'expliquer pourquoi ce dernier peut produire un langage articulé alors que le singe n'émet que des grognements et des hurlements seulement. L'expression de langage articulé met en jeu un appareil phonatoire qui permet la production de sons par les cordes vocales, ainsi que leur amplification et leur modélisation par le pharynx. Chez l'Homme, la position basse du larynx accroît considérablement l'espace disponible pour le pharynx, ce qui permet de transformer les sons en phénomène et mots. L'acquisition graduelle du langage articulé met également en jeu des centres cérébraux moteurs (émission du langage) et sensoriels (compréhension du langage) localisés dans les lobes frontaux et pariétaux.

Comparaison de l'appareil vocal de l'Homme moderne et d'un chimpanzé



3.4. Développement des techniques : activités culturelles

Parallèlement à l'évolution biologique, l'hominisation se caractérise par la création et l'utilisation d'outils découverts qui sont de plus en plus perfectionnés au cours des temps géologiques. Chaque espèce d'Homo est caractérisée par leur propre découverte.

3.4.1. Australopithèques : premiers représentants de la lignée humaine

- 6 millions d'années, éteints vers **1 million d'années** ;

Herbivores ;

Outils utilisés : galets aménagés ;

C'est le pebble culture.

3.4.2. Genre Homo : Les premiers hommes
Homo habilis

Les premiers représentants du genre *Homo* apparaissent en **Afrique de l'Est**.

vers -2,5 millions d'années, le plus récent remonte à - 1,55 millions d'années ;

Omnivore ;

bipédie imparfaite ;

L'utilisation d'outils en pierre est une **caractéristique essentielle.**

Homo habilis (homme habile) taille les outils.

Des **galets de roches dures** sont aménagés de façon rudimentaire en enlevant des éclats par **percussion** pour obtenir un tranchant.

Sur une face (choppers)

Sur 2 faces (chopping tools)

C'est la **culture oldowayenne**. Ces outils servent à **briser les os** et les éclats, à **couper les chairs**.

Les *Homo habilis* vivent en société. Ils pratiquent la chasse et la cueillette.

Homo erectus, le premier homme à quitter le berceau africain : Premier homme droit

Apparaît en Afrique de l'Est, il y a 1, 8 millions d'années le plus récent date de 150 000 ans.

Cohabite avec *homo habilis*

Caractères :

Plus grand (1,60 à 1,80 m)

Il a de **longues jambes**, un **bassin court et étroit**, un **corps dressé**, capable de longues marches.

Le **volume encéphalique** ($800 \text{ à } 1000 \text{ cm}^3$) montre la présence d'aires du langage.

Réduction de la face et de l'appareil masticateur.

Forme du crâne avec **bourrelets sus-orbitaires**.

Face prognathe présentant **ni front, ni menton** (fuyant).

Les dents attestent d'un **régime carnivore**.

Il construit des campements

Il **fabrique des outils** (haches, grattoirs et des **armes taillées sur les 2 faces** avec crêtes vives = **bifaces** caractéristiques de l'**industrie acheuléenne**).

La **maîtrise du feu** lui permet d'améliorer ses techniques de **chasse**, la **protection contre le froid**.

Pendant près de 50 000 ans cohabitent en Europe

Les **hommes de Néanderthal** ou *Homo sapiens néandertalensis*
connus depuis 110 000 ans.

Les **hommes modernes** ou *Homo sapiens sapiens* (**Cro-Magnon**) connus
depuis 100 000 ans.

Morphologies différentes

Néanderthaliens : <i>Homo sapiens néandertalensis</i>	Homme moderne : <i>Homo sapiens sapiens</i>
Corps trapu Climats froids	Plus sveltes
1,5 m à 1,7 m	Plus grand 1,7 m
Crâne étiré vers l'arrière	
Absence de menton	Menton projeté en avant
Arcades osseuses sus orbitaires marquées	Absence
Front fuyant	Front se hausse
Face prognathe	Face non proéminente
Volume crânien important 1200 à 1700 cm ³	Volume crânien 1100 à 2000 cm ³
Dents petites carnivore	Dents plus grandes omnivore

Une longue cohabitation entre néandertaliens et hommes modernes

vers – 75 000 ans, les Néandertaliens migrent vers l'Est. (Moyen-Orient, Asie Centrale) et y rencontrent des **pré- hommes modernes**.

vers – 40 000 ans, les descendants des pré-hommes modernes, les **hommes modernes (hommes de Cro-Magnon)**, venus de l'Est envahissent progressivement l'Europe Occidentale.

Les Néandertaliens disparaissent vers – 30 000 ans au sud de l'Europe sans cause connue.

Pendant leur longue période de cohabitation, ils ont des **pratiques culturelles très proches**.

Techniques de taille de pierre identique (Industrie moustérienne)
permettant d'obtenir un outillage diversifié.

outils lourds (percuteurs, enclumes)

outils légers pour racler, trancher, fendre, scier, écorcer, aiguïser, raboter.

Fabriqués dans des roches dures variées.

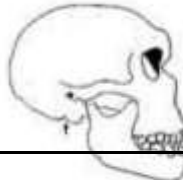
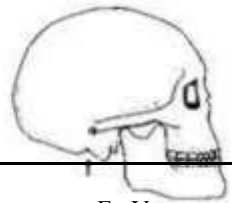
L'homme moderne diversifie les matériaux utilisés (os, bois de renne, ivoire, corne) permettant la fabrication d'outils de petites tailles (pointe, aiguille à chas, harpons, hameçon).

Pratiquent tous deux le culte des morts avec rites funéraires.

L'aménagement de **sépultures**, la **présence d'offrandes** révèlent que les **hommes ont pris conscience de la mort.**

Avec l'homme moderne, apparaissent les premières manifestations artistiques (peinture, gravure), la pêche, l'agriculture et l'élevage. En Europe *Homo Sapiens* remplace *Homo Néanderthalensis* éteint vers – 30 000 ans.

Grandes lignes de l'évolution de l'Homme

	Australopithécus	Homo habilis	Homo erectus	Homo sapiens néanderthalensis	Homo sapiens sapiens
Datation en MA	-6 à -1	-2,5 à -1,3	-1,8 à -0,15	-0,75 à -0,3	-0,3 à actuel
Taille moyenne (m)	1,20	1,30	1,60 à 1,80	1,5 m à 1,7	1,7
Volume crânien (cm ³)	<300	600 à 700	850 à 1200	1500 à 1750	1500
Forme de tête					
Forme de mâchoire	En U	En V	En V	En V	En V
Locomotion	Quadrupède : adaptation à la vie arboricole	bipède imparfait	Bipède (corps dressé)	bipède	bipède parfait
Outils	galets aménagés C'est le pebble culture	galets de roches dures, chopping tools : C'est la culture oldowayenne	bifaces caractéristiques de l'industrie acheuléenne	Industrie moustérienne permettant d'obtenir un outillage diversifié fabriqué par des roches dures	diversification des matériaux utilisés (os, bois, ivoire, corne) permettant la fabrication d'outils de petites tailles (pointe, aiguille à chas, harpons, hameçon)
Langage articulé	Vraisemblablement non	non	oui	oui	oui
Autres activités culturelles	aucune	cueillette et chasse	maîtrise du feu	culte des morts avec rites funéraires	manifestations artistiques (peinture, gravure), pêche, agriculture et élevage

B- ACQUISITION DES CARACTERISTIQUES HUMAINES

Quelles sont les acquisitions anatomiques et morphologiques qui caractérisent l'Homme ?

Comment situer l'**Australopithèque** Lucy, par rapport à ces acquisitions ?

Pour répondre, on dispose de 3 schémas de squelettes de vertébrés Hominidés : 2 squelettes actuels (le Gorille et l'Homme) et les restes d'un squelette fossile (l'Australopithèque surnommé Lucy).

Les innovations anatomiques et morphologiques propres à l'Homme sont visibles en comparant les squelettes de l'Homme et du Gorille. Nous savons que les grands singes (dont le gorille est un représentant actuel), sont apparus avant les Hommes. Donc les états des caractères humains différents des caractères simiens sont des états évolués.

Ainsi deux acquisitions caractérisent l'Homme, Homininé parmi les Hominidés :

La bipédie : elle devient définitive grâce à plusieurs modifications du squelette :

Bassin large et court ;

Fémur oblique par rapport à la verticale quand il est vu de face (schéma) ;

Voute plantaire ;

Quatre courbures de la colonne redressée à la verticale ;

Trou occipital centré dans le plancher de la boîte crânienne pour fixer la tête au sommet de la colonne ;

Les membres supérieurs ne servent plus d'appui au sol : ils ne sont pas plus longs que les membres inférieurs.

L'évolution de la boîte crânienne : elle est visible à plusieurs niveaux :

Capacité crânienne 1550 cm³ (donc > à 500cm)

Crâne sphérique

Face redressée, présence de front, de nez,

Bourrelets sus-orbitaux réduits

Maxillaire parabolique et canines moins développées...

Une seule de ces acquisitions est présente chez Lucy : la bipédie réalisée.

Son bassin est évasé et court ;

Son fémur est oblique ;

La taille des bras n'est pas supérieure à celle des jambes
; Le crâne est centré au sommet de la colonne.

Elle permet de préciser que Lucy, comme l'Homme, est un Homininé parmi les Hominidés.

En effet tout fossile comportant au moins une innovation évolutive propre à la lignée humaine, fait partie des Homininés.

Cependant les restes de la boîte crânienne ont encore les caractères primitifs communs aux Hominidés (capacité crânienne $< 500\text{cm}^3$, face proéminente, mâchoire en U ...).

Lucy appartient à la lignée humaine puisqu'elle est bipède. Mais elle a encore un crâne de singe. C'est un Homininé primitif et pas encore un Homme.

L'hominisation se réalise progressivement : l'acquisition de **la bipédie** puis le développement de l'encéphale.

C- CARACTERE BUISSONNANT DE LA LIGNEE HUMAINE

1. Australopithèques : premiers représentants la lignée humaine

1.1. Acquisition de la bipédie, étape essentielle de l'hominisation.

Apparue dans une population d'ancêtres communs, **l'acquisition de la bipédie** a conduit à la **séparation de la lignée des grands singes** de celle de **l'homme actuel**.

Les preuves de cette bipédie sont directes (traces *de pas* dans des cendres volcaniques de 3,7 millions d'années) et indirectes concernant le *squelette*.

Le **bassin court et évasé des australopithèques** ressemble à celui de **l'homme** et s'oppose à celui des **grands singes qui est long et étroit**.

Les **ilions** sont **plus courts que chez le singe**.

Les **vertèbres lombaires** montrent **une courbure**.

Les **fémurs** possèdent un **col plus allongé et convergent vers le bas** ce qui permet au pied d'être à l'aplomb du centre de gravité.

Les australopithèques marchaient en balançant les bras, **plus longs que chez l'homme** et en roulant des hanches (LUCY).

Un individu préaustralopithèque a dû subir **une ou plusieurs mutations de gènes de régulation** (gène **hox**) qui lui ont permis d'acquérir la bipédie.

Les **gènes Hox** sont des gènes codant pour des protéines qui se fixent sur l'ADN dans une région pouvant activer ou inhiber l'expression d'un **gène**.

1.2. Australopithèques, une mosaïque d'homininés

De nombreux **restes d'homininés** sont trouvés en **Afrique orientale** et **australe**.

Australopithèques et **paranthropes** occupent l'Afrique et certaines espèces ont cohabité.

Les **paranthropes** ou **presque homme** connus depuis 2,6 millions d'années.

Présentent des caractères communs avec l'australopithèque

Face projetée en avant

- Présence de **bourrelet sus-orbitaire** | australopithèques robustes
Ils se distinguent de l'australopithèque

par un **volume encéphalique supérieur** 500 à 600 cm³ contre 400 à 500 cm³ chez l'australopithèque ;

par une **locomotion occasionnellement bipède** alors qu'elle l'est essentiellement chez l'australopithèque ;

des **mâchoires très robustes** avec de **grosses molaires** et **prémolaires** et des **muscles masticateurs puissants**.

Ils se sont **éteints vers -1million d'années**

Ils ne sont pas à l'origine de sapiens.

Des découvertes récentes prouvent :

que **des australopithèques** (*Australopithecus barhelghazali*) trouvés au **Tchad** ont vécu dans d'autres régions que l'Afrique orientale et australe. que **la bipédie** est plus ancienne que – 4 millions d'années. Elle daterait de –6 millions d'années comme le montre les restes d'*ororin tugenensis* qui vivait en milieu forestier.

2. Premiers hommes

2.1. Emergence du genre *Homo* au sein des australopithèques

Les **premiers représentants du genre homo** apparaissent en **Afrique de l'Est** vers **R 2,5 millions d'années**, le plus récent remonte à - 1,55 millions d'années

Il est caractérisé par :

l'accroissement brusque de la capacité crânienne 700 cm^3 (au lieu de 500 cm^3 chez l'australopithèque)
réduction de la face moins prognathe (moins rejetée en arrière) crâne avec **développement de la région frontale** et du sommet. **dentition transformée** : les incisives (antérieures) sont plus fortes par rapport aux molaires et prémolaires (latérales) réduites ou plus étroites. Leur **usure** traduit un **régime omnivore**.

Ils *conservent des caractères d'australopithèques*

bourrelet sus-orbitaire

petite taille (1,25 m)

poids léger (30 à 32 kg)

bipédie imparfaite.

L'utilisation d'outils en pierre est une **caractéristique essentielle**

L'*Homo habilis* (homme habile) taille les outils. Des **galets de roches dures** sont aménagés de façon rudimentaire en enlevant des **éclats par percussion** pour obtenir un tranchant.

Sur une face = choppers

Sur 2 faces (chopping tools)

C'est la **culture oldowayenne** (site d'olduvai en Tanzanie). Ces outils servent à **briser les os** et les **éclats à couper les chairs**.

Les **premiers hommes ont cohabité en Afrique avec les australopithèques** disparus vers -1 million d'années et les **paranthropes**.

Ils n'étaient pas représentés que par un seul type *homo habilis* mais aussi ***homo rodolfensis***.

2.2. *Homo erectus*, le premier homme à quitter le berceau africain.

2.2.1. *Homo erectus* premier homme droit

Apparaît en Afrique de l'Est, il y a **1,8 millions d'années** le plus récent date de 150 000 ans.

Cohabite avec *homo habilis*

Caractères :

Plus grand (1,60 à 1,80 m)

Il a de **longues jambes**, un **bassin court et étroit**, un **corps dressé**, capable de longues marches.

Le **volume encéphalique** ($800 \text{ à } 1000 \text{ cm}^3$) montre la présence d'aires du langage.

Réduction de la face et de l'**appareil masticateur**

Forme du crane avec **bourrelets sus-orbitaires**

Face prognathe présentant **ni front, ni menton** (fuyant)

régime carnivore.

Il construit des campements

Il **fabrique des outils** = *haches, grattoirs* et des **armes taillées sur les 2 faces**

avec crêtes vives (**bifaces**) caractéristiques de l'**industrie acheuléenne**. La **maîtrise du feu** lui permet d'améliorer ses techniques de **chasse**, la **protection contre le froid**. Les dents attestent d'un

2.2.2. Premier grand voyageur de l'Histoire.

Il **quitte le berceau africain**.

Premières migrations en ASIE. Les hommes sont robustes retrouvés en **Chine (homme de Pékin)** et dans les **îles de la Sonde (homme de Java)**.

Deuxième migration colonise le **Moyen-Orient** et l'**Europe**. Une mandibule datée de 1,5 M d'années et des bifaces découverts en Géorgie.

Il a peut-être colonisé l'Europe en passant par l'Egypte, le Proche-Orient. En **Europe Occidentale**, présence en **Espagne** (-800 000 ans) et en **France** à Tautavel (Corbières) (- 450 000 ans).

Neandertaliens et hommes modernes.

Pendant près de 50 000 ans cohabitent en Europe :

Les **hommes de Néanderthal** connus depuis 110 000 ans ;

Les **hommes modernes (Cro-Magnon)** connus depuis 100 000 ans.

3.1. Morphologies différentes.

Néanderthaliens	Homme moderne
Corps trapu Climats froids 1,5 m à 1,7 m	Plus sveltes Plus grand 1,7 m
Crâne étiré vers l'arrière Absence de menton	Menton projeté en avant
Arcades osseuses sus orbitaires marquées	Absence
Front fuyant	Front se hausse
Face prognathe	Face non proéminente
Volume crânien important 1200 à 1700 cm ³	Volume crânien 1100 à 2000 cm ³
Dents petites carnivore	Dents plus grandes omnivore

3.2. Origines différentes.

Les Néandertaliens sont des **descendants directs**, en Europe Occidentale des **Homo erectus**. Des populations d'Homo erectus **isolées à cause des glaciations** ont évolué indépendamment des populations plus orientales.

Les **hommes modernes** semblent **provenir d'autres populations migrantes** qui à partir de l'Afrique ont envahi l'Eurasie.

3.3. Longue cohabitation entre néandertaliens et hommes modernes

vers – 75 000 ans, les Néandertaliens migrent vers l'Est. (Moyen -Orient, Asie Centrale) et y **rencontrent des pré- hommes modernes**.

Vers – 40 000 ans, les descendants des pré-hommes modernes, les **hommes modernes (hommes de Cro-Magnon)** , venus de l'Est envahissent progressivement l'Europe Occidentale.

Les Néandertaliens **disparaissent vers – 30 000 ans** au sud de l'Europe sans cause connue.

Pendant leur longue période de cohabitation, ils ont des **pratiques culturelles très proches**.

Techniques de taille de pierre identique. (Industrie moustérienne)

permettant d'obtenir un outillage diversifié :

outils lourds = percuteurs, enclumes

outils légers pour racler, trancher, fendre, scier, écorcer, aiguïser, raboter.

Fabriqués dans des roches dures variées.

L'homme moderne diversifie les matériaux utilisés (*os, bois de renne, ivoire, corne*) permettant la fabrication d'outils de petites tailles (pointe, aiguille à chas, harpons, hameçon)

Pratiquent tous deux le culte des morts avec rites funéraires.

L'aménagement de **sépultures**, la **présence d'offrandes** révèlent que les **hommes ont pris conscience de la mort**.

Avec l'homme moderne, apparaissent les premières manifestations artistiques (peinture, gravure)

Origine des hommes modernes

Il est certain que **tous les hommes actuels appartiennent à la même espèce**.

Les **caractéristiques morphologiques différentes d'une région à l'autre du globe** font penser à des **origines différentes**.

2 modèles proposés :

4.1. Les 2 modèles = le remplacement ou

l'origine multirégionale ET

L'origine de l'homme serait unique et africaine.

A partir de ce berceau, l'homme moderne aurait essaimé dans le reste du monde remplaçant les hommes archaïques *Homo erectus*. Les **arguments** sont ***fondés sur des analyses de séquences de gènes*** et sur la ***diversité allélique au sein des populations***.

2^{ème} modèle dit de l'origine multi Régionale

Les différentes populations d'homme moderne provenant de **lignées différentes de précurseurs (pro Cro-Magnons)** auraient évolué chacun dans leur région à partir de populations d'*Homo erectus*. Les **arguments** viennent de ***l'analyse des fossiles*** qui montrent une continuité de traits anatomiques depuis les hommes **archaïques** jusqu'aux hommes modernes en Europe et en Asie.

4.2. Pour les généticiens, nous sommes tous des africains.

Les **études des séquences d'ADN** montrent que **toutes les populations actuelles partagent les mêmes allèles**, mais avec des **fréquences différentes**. Il n'y a pas d'allèles spécifiques à une population.

La principale cause des différences de fréquence géniques entre les populations humaines actuelles est la **distance géographique**. En effet, quand un groupe de migrants s'isole à partir d'une population initiale, il n'emporte avec lui **qu'une partie du patrimoine génétique** et les **deux pools génétiques évoluent indépendamment**.

De plus, la **diversité allélique augmente avec le temps**. Or c'est dans les **populations africaines que l'on trouve la plus grande diversité d'allèles**

Berceau de l'homme moderne

Tous les hommes actuels descendraient d'un groupe ancestral réduit (quelques dizaines de milliers d'individus) ayant vécu en Afrique il y a 150 à 200 000 ans.

Des **groupes auraient quitté l'Afrique vers 100 000 ans** gagnant l'Eurasie par le Proche-Orient, envahissant l'Europe de l'ouest à partir de -40 000 ans, colonisant l'Amérique vers -25 000 ans par le détroit de Behring quand le niveau marin était bas (glaciation). Ils ont ainsi remplacé *Homo erectus*.

En Europe *Homo Sapiens* remplace *Homo Néanderthalensis* éteint vers 30 000 ans.