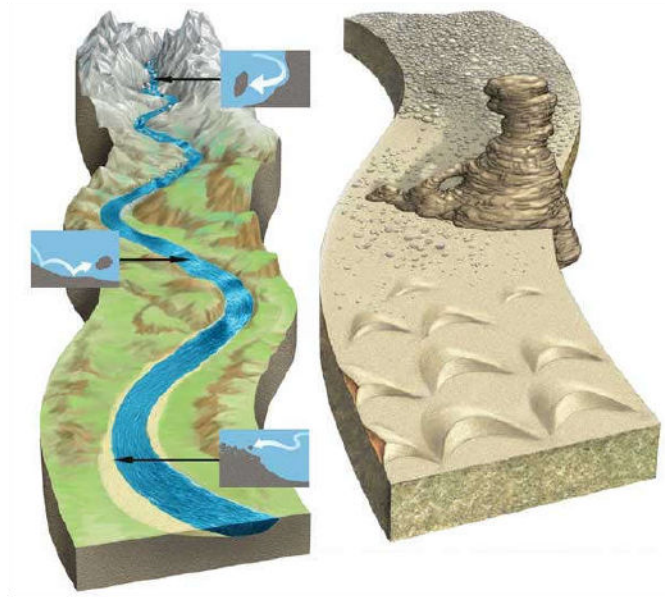


Unité 1: Phénomènes géologiques externes

INTRODUCTION



La géodynamique externe étudie la structure et l'évolution des enveloppes externes de la Terre. Son domaine englobe tous les phénomènes dissipant une énergie qui provient, plus ou moins directement, du rayonnement solaire. L'enveloppe superficielle solide de la Terre : la lithosphère, est entourée de plusieurs enveloppes fluides. L'hydrosphère (Enveloppe liquide) et l'atmosphère (Enveloppe gazeuse). Ce sont des enveloppes dynamiques déterminant l'évolution de l'aspect extérieur de la croûte.

Les roches sédimentaires forment le gros morceau de la croûte terrestre. Elles résultent du transport suivi d'une sédimentation de particules issues de l'érosion, lesquelles, très lentement, se transforment en roche (diagenèse). Elles évoluent donc avec le temps et permettent ainsi aux géologues, grâce à divers indices, de reconstituer l'histoire des paysages.

- **Comment réaliser la carte paléogéographique d'une région ?**
- **Quels sont les principes et les méthodes adoptées pour récupérer l'histoire géologique d'une région Sédimentaires ?**

Chapitre 1:

Réalisation de la carte paléogéographique d'une région

INTRODUCTION:

Un sédiment est le résultat d'une histoire complexe dans laquelle interviennent de multiples facteurs (Altération, transport, dépôt).

Les observations faites dans les milieux actuels, transposées aux phénomènes du passé, permettent de reconstituer certains éléments des paysages anciens (Principe d'actualisme).

Les roches sédimentaires sont donc des archives des paysages anciens.

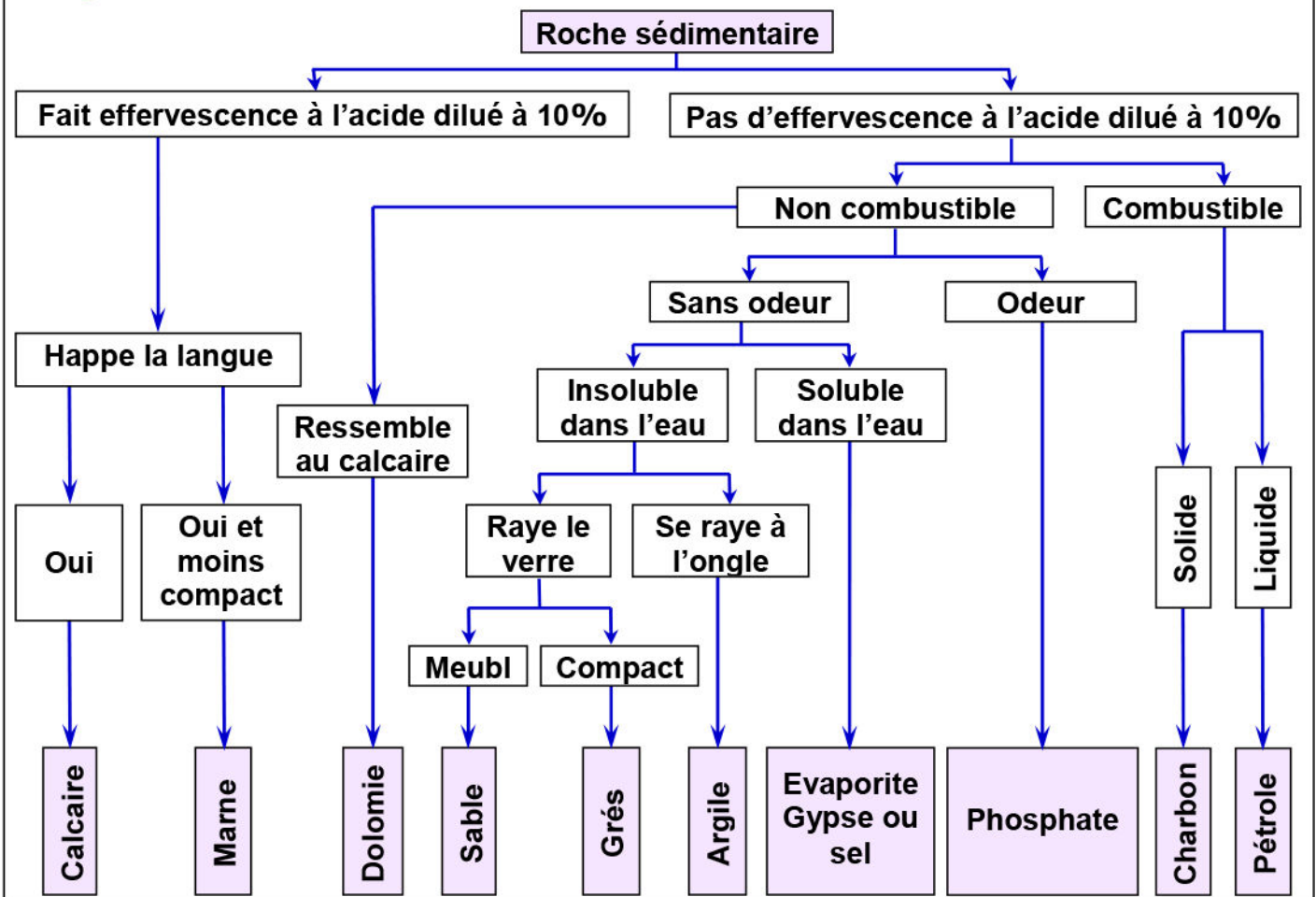
- Quelles sont les propriétés des roches sédimentaires adoptées pour reconstituer les milieux sédimentaires ?
- Comment exploiter les propriétés de ces roches pour déterminer les conditions de dépôt et connaître la nature et les limites des anciens bassins sédimentaires ?

I – Classification des roches sédimentaires:

Une roche sédimentaire se forme à la surface du globe terrestre dans un bassin sédimentaire marin ou continental : c'est une roche exogène. Le document 1 présente les indices permettant d'identifier les roches sédimentaires. (Voir le document 1)

Document 1: Classification des roches sédimentaires:

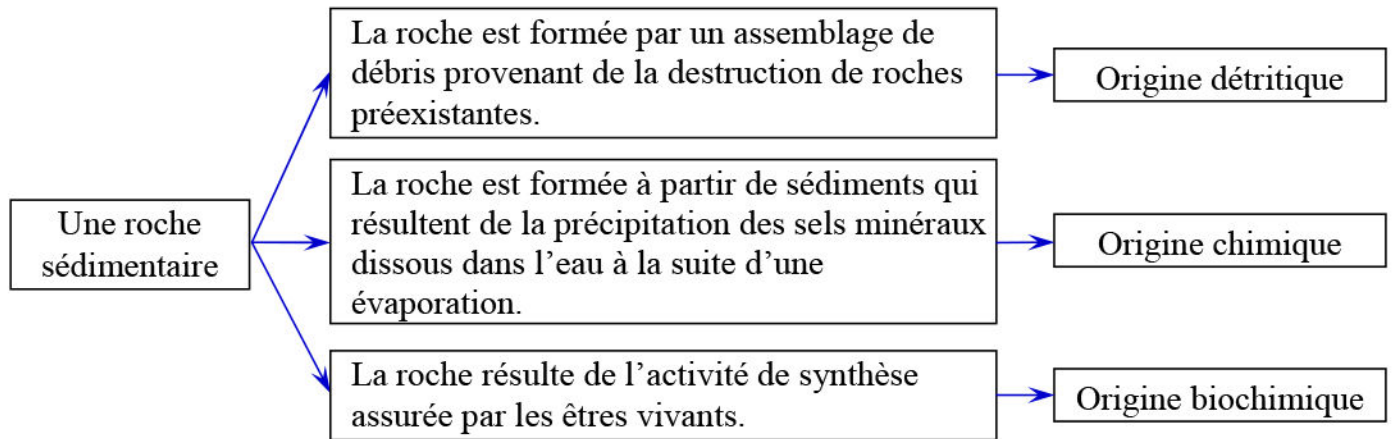
⇒ Figure 1 : Clé d'identification d'une roche sédimentaire :



Document 1 (Suite): Classification des roches sédimentaires :

⇒ Figures 2 : Classification des roches sédimentaires :

❶ Classification selon l'origine des éléments qui les constituent :



❷ Classification simplifiée des roches détritiques:

Nom de la particule	Taille de la particule	Nom du sédiment	Nom de la roche solide	classe
Blocs	> 256 mm	Graviers	Conglomérats (Poudingues si les particules sont arrondies, si non c'est des brèches)	Rudites
Gros cailloux	64-256 mm			
Petits cailloux	2-64 mm			
Sable	1/16-2mm	Sables	Grès	Arénites
Silt	1/256-1/16mm	silts	Siltites	Lutites (pélites)
argile	< 1/256 mm	argiles	argiles	

❸ Classification selon leur composition chimique:

Composition chimique	Classe de roche	Exemple de roche
Silice	Siliceuse	Le silex
Silicate d'alumine	Argileuse	L'argile
Carbonate de calcium	Carbonatée	Calcaire, marne, dolomie
Phosphate de calcium	Phosphatée	Le phosphate
Matière organique	Carbonée	L'antracite
Chlorure, potassium, sodium	Evaporitique	Le sel

En se basant sur les données de ce document et vos connaissances, dégager les critères de classification des roches détritiques.

Selon l'origine et la composition des roches sédimentaires on peut établir un classement assez précis :

★ **Roches chimiques et biochimiques** : elles sont le produit, de phénomènes physico-chimique ou d'une activité biochimique.

⇒ **Roches d'origines chimiques** : formées par des dépôts minéralogiques.

- Les roches carbonatées : ce sont les dépôts formés généralement par précipitation.
- Les roches siliceuses
- Les évaporites : roches salines provenant d'un lessivage continental ou d'une évaporation lagunaire.

⇒ **Roches biochimiques** : sont formées par accumulation de squelettes, de tests ou de constructions d'êtres vivants

- Calcaires d'accumulation
- Calcaires construits ou récifaux : Ils sont formés par l'accumulation, quasiment sur place, des squelettes des organismes constituant les récifs coralliens.
- Roches siliceuses : radiolarites (eaux tempérées), spongolites (spicules d'éponges), diatomites (eaux froides).

★ **Roches détritiques** : elles sont formées de particules minérales issues de l'altération de roches préexistantes.

- Rudites : Ces roches possèdent une majorité de particules dont le diamètre est supérieur à 2 mm
- Arénites : Grains, minéraux compris entre 50 µm et 2 mm
- Pélites ou lutites : Essentiellement siliceuses, les grains font moins de 50 µm. Les minéraux sont généralement des argiles, des micas, des quartzs, de la calcite.

★ **Roches d'origine organique** : elles sont le produit, d'une activité organique

- Charbons : Accumulation de débris végétaux qui sous l'action de micro-organismes anaérobies s'enrichissent en carbone (destruction de cellulose).
- Pétroles : Après l'accumulation de débris organiques en milieu aquatique plus ou moins confiné, il y a transformation des lipides et protéines en hydrocarbures par des micro-organismes.
- Bitumes : Il s'agit d'une forme plus ou moins solide d'hydrocarbure, liée soit à des calcaires soit à des schistes. Ces hydrocarbures peuvent, après traitement, fournir du pétrole exploitable.

II – Etudes statistiques et morphoscopiques des sédiments:

① **Les figures sédimentaires** : (Voir le document 2)

Document 2: Les figures sédimentaires:

Le document présente des photos de quelques figures sédimentaires



Figure 1: Rides actuelles (Ripple-marks).



Figure 2: Rides anciennes (ripple-marks) (-200Ma).



Figure 3: Fentes de dessiccation (Mud-cracks)

Le document présente des photos de quelques figures sédimentaires :



Figure 4: Fentes de dessiccation anciennes



Figure 5: stratification entre-croisée (Cross-bedding)

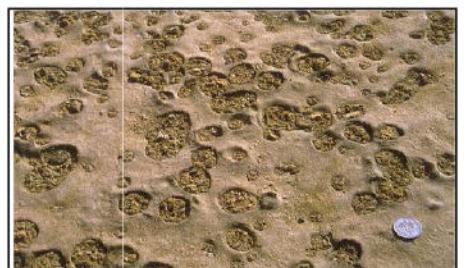


Figure 6: Terriers à la surface d'un banc.

Décrivez les différentes formes sédimentaires et montrez leurs intérêts dans la connaissance des dynamiques des milieux sédimentaires

Les figures sédimentaires sont des structures qui s'observent sur les roches sédimentaires.

- ★ Les rides (Ripple marks), sont liées à l'écoulement d'un fluide (Eau ou vent) sur les sédiments détritiques.
- ★ Les fentes de dessiccation sont des fissures s'ouvrant dans un sédiment fin qui se dessèche. Elles marquent dans un sédiment ancien une période d'émersion et un climat aride.
- ★ La stratification entrecroisée est une organisation litée avec des fines couches obliques par rapport aux joints de stratification. Les couches les plus jeunes recoupent les plus anciennes. Cette stratification entrecroisée apparaît dans des zones où les conditions hydrauliques varient lors de la sédimentation, comme les rivières (alternance de crues et décrues).
- ★ Les terriers (Abri souterrain creusé par un animal dans la terre) : Par leur activité, les êtres vivants peuvent perturber la surface du sédiment laissant des traces qui peuvent être fossilisées (Empreintes de pas de dinosaures). Ces traces constituent des indicateurs de l'activité des organismes lors de la sédimentation (Indicateurs d'environnement).

Les figures sédimentaires peuvent donc constituer un important indicateur des conditions qui dominaient dans des milieux sédimentaires anciens.

② Dynamique et agents de transport des sédiments :

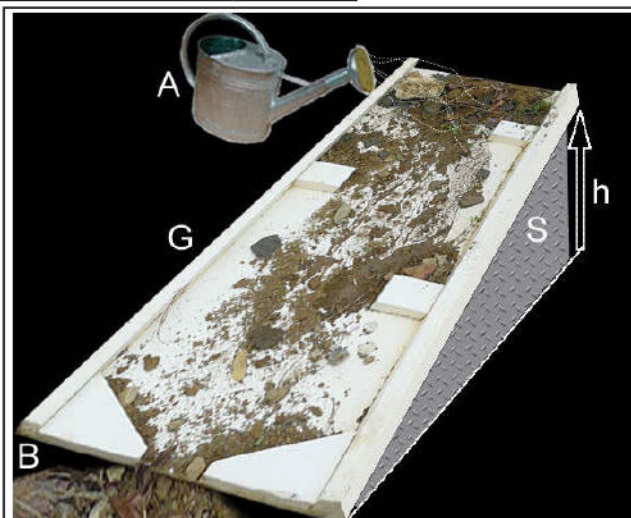
Le transport des sédiments est assuré par les agents de transport, comme l'eau, le vent, la pesanteur, les glaciers... L'importance de ces agents varie d'une région à l'autre et d'une période à une autre.

a) Relation entre le courant et les particules transportées

⇒ **Manipulation :** (Voir document 3)

Document 3: Relation entre le courant et les particules transportées:

On dépose dans la partie supérieure de la gouttière (G), un mélange de 500g de sable, 500g de graviers et 500g de cailloux. On verse sur ces éléments une quantité d'eau par l'arrosoir (A). Le bassin (B) sous le bord inférieur de la gouttière, reçoit les éléments transportés par l'eau. Le tableau résume les résultats de deux manipulations effectués pendant la même durée, avec l'utilisation d'un support (S) de hauteur (h) respectivement 30cm et 50 cm.



	h = 30cm	h = 50cm
Sable	344	484
Graviers	28	185
cailloux	0	46
total	372	705

- 1) A partir de l'analyse des résultats de ces manipulations, déterminer la relation qui lie la hauteur (h) et la vitesse du courant dans la gouttière, la vitesse du courant et la quantité de matière transportée, la vitesse du courant et la taille des éléments transportés.
- 2) Faite le lien entre le modèle expérimental et la pente de la vallée dans la nature.

1) A partir de l'analyse des résultats des manipulations, on peut dire que:

- ★ Plus la valeur de la hauteur (h) du support (S) augmente, plus la vitesse du courant d'eau dans la gouttière augmente.
- ★ Plus la vitesse du courant augmente, plus la quantité de matière transportée augmente.
- ★ Plus la vitesse du courant augmente, plus la taille des éléments transportés augmente.

2) Nous concluons donc que le transfert d'éléments sédimentaires est le résultat de deux forces:

- ★ La puissance du jet d'eau liée au débit du liquide et à la pente.
- ★ La force du poids des éléments mobiles (gravité), liée aussi à la pente.

Le débit et la vitesse sont les principaux facteurs qui déterminent l'énergie à développer par un courant d'eau et de là son pouvoir érosif. La formule suivante explique cette relation:

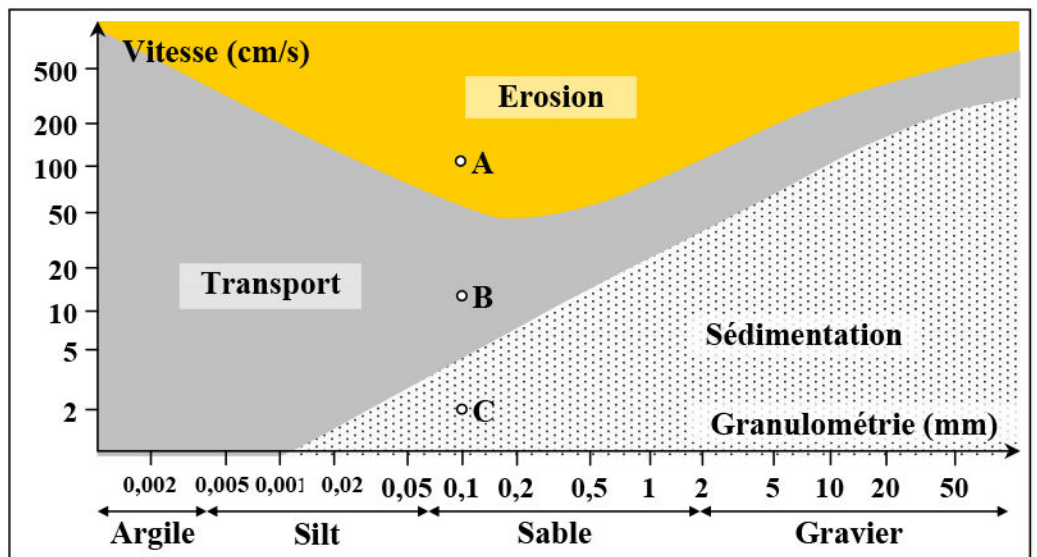
$$E = \frac{1}{2} \cdot M \cdot V^2 \quad (E = \text{L'énergie motrice}, M = \text{La masse en mouvement}, V = \text{La vitesse de la masse en mouvement})$$

⇒ **Relation entre la vitesse du courant et la taille des éléments transportés:**
(Voir document 4)

Document 4: Diagramme de Hjulström :

Le diagramme de Hjulström permet de relier la vitesse d'un courant à son action sur des matériaux de granulométrie variée.

Le fond d'un chenal est tapissé de particules dont les diamètres sont connus et on observe leur comportement lorsque la vitesse du courant varie.



- 1) A partir de l'analyse du diagramme de Hjulström, indiquer l'attitude des particules de 0,1mm de diamètre, en A, B et C.
- 2) Pour un courant de vitesse égale à 100 cm/s, quel est le diamètre maximal des particules qui peuvent être transportées?

1) Pour les particules de 0,1mm:

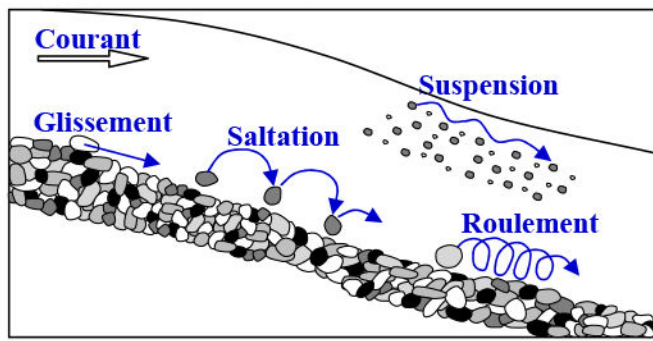
- ★ En A: la vitesse de l'eau est élevée (100cm/s). L'eau circulant à une grande vitesse va séparer les particules et les transporter vers l'aval du chenal (il y a érosion).
- ★ En B: la vitesse est plus faible (14cm/s). L'eau transporte ces particules si ces dernières sont dissociées, par contre, elle ne pourra pas les arracher du fond du chenal où la cohésion des particules est suffisamment importante (il y a exclusivement transport).
- ★ En C: la vitesse du courant est très faible (2cm/s). Les particules qui arrivent dans le chenal se déposent sur place (il y a sédimentation).

2) Pour un courant de vitesse égale à 100 cm/s, le diamètre maximal des particules qui peuvent être transportées est 10 mm.

Document 5: Modes de transport des particules dans un courant:

La vitesse du courant d'eau augmente du fond vers la surface, ce qui constitue un gradient de vitesse. Le dessin ci contre présente les différentes modalités de transport des sédiments par un courant d'eau.

En exploitant les données de ce document, décrire les différentes modes de transport des sédiments par les courants d'eau.



Dans les cours d'eau, les mouvements des sédiments sont variables dans le temps et dans l'espace. Pour un même écoulement liquide, ces mouvements dépendent de la taille et de la densité des particules.

Plusieurs modes de transport ont été observés:

⇒ **Transport par suspension**

La charge en suspension est constituée par des matériaux dont la taille et la densité leur permettent, dans des conditions d'écoulement déterminées, de se déplacer sans toucher le fond du lit. Le transport en suspension est en général constitué de matériaux fins, argiles et colloïdes et quelquefois de limons.

⇒ **Transport sur le fond:**

La charge de fond est formée de matériaux trop grossiers pour être mis en suspension à cause de leur densité et de la vitesse du courant. Ces particules glissent, roulent ou se déplacent par saltation (transport par bonds, suite à des chocs successifs) sur le fond du chenal.

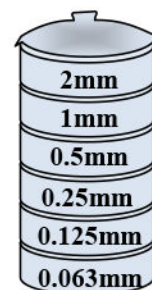
③ **Etude granulométrique des sédiments:**

a) **Analyse granulométrique du sable : (Voir document 6)**

Document 6: Analyse granulométrique du sable:

L'analyse granulométrique nécessite l'utilisation d'une série de tamis emboîtés les uns sur les autres dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Les étapes sont :

- Prendre un échantillon de sable ;
- Dans un tamis de 0.063mm de diamètre de mailles, laver le sable par l'eau pour se débarrasser de l'argile et du limon ;
- Traiter le sable par l'HCl pour éliminer le calcaire, puis l'eau oxygénée pour éliminer la matière organique ;
- Rincer le sable et le sécher ;
- Déposer une quantité de 100g de chaque échantillon de sable dans une colonne de tamis ;
- Mettre à vibrer la colonne sur la tamiseuse pendant 15mn ;
- Peser les fractions retenues par les tamis successifs (Refus).



Réaliser la manipulation décrite par ce document et déterminer le pourcentage de chaque fraction.

b) Exploitation des résultats:

L'analyse granulométrique consiste à étudier la distribution dimensionnelle des différents grains d'un échantillon de sable sec (granulat), en fonction de la taille (diamètre). Cette analyse se fait par tamisage.

Pour exploiter les résultats de l'analyse granulométriques, on suit les étapes suivantes:

⇒ Etape1: Calcul des pourcentages de refus et de refus cumulés:

Après avoir fractionné les 100g de sable sec en plusieurs classes granulaires, on effectue les opérations suivantes:

- On pèse le refus du tamis ayant la plus grande maille: soit R_1 la masse de ce refus.
- On poursuit la même opération avec tous les tamis de la colonne pour obtenir les masses des différents refus.
- Les masses des différents refus cumulés R_i sont rapportées à la masse totale de l'échantillon m_1 .
- Les pourcentages de refus et de refus cumulés pour chaque tamis seront déduits.

Classe Granulométrique (Diamètre des particules)	$\emptyset > 2$	$2 \geq \emptyset > 1$	$1 \geq \emptyset > 1/2$ [1-0.5 [$1/2 \geq \emptyset > 1/4$ [0.5-0.25 [$1/4 \geq \emptyset > 1/8$ [0.25-0.125[$1/8 \geq \emptyset > 1/16$ [0.125-0.063[
% Refus	a	b	c	d	e	f
% Refus Cumulé	a	a+b	a+b+c	a+b+c+d	a+b+c+d+e	a+b+c+d+e+f

⇒ Etape 2: représentation graphique des résultats: (Voir document 7)

Document 7: Représentation des résultats de l'analyse granulométriques:

Les résultats de l'analyse granulométrique sont représentés graphiquement par un histogramme et une courbe de fréquence.

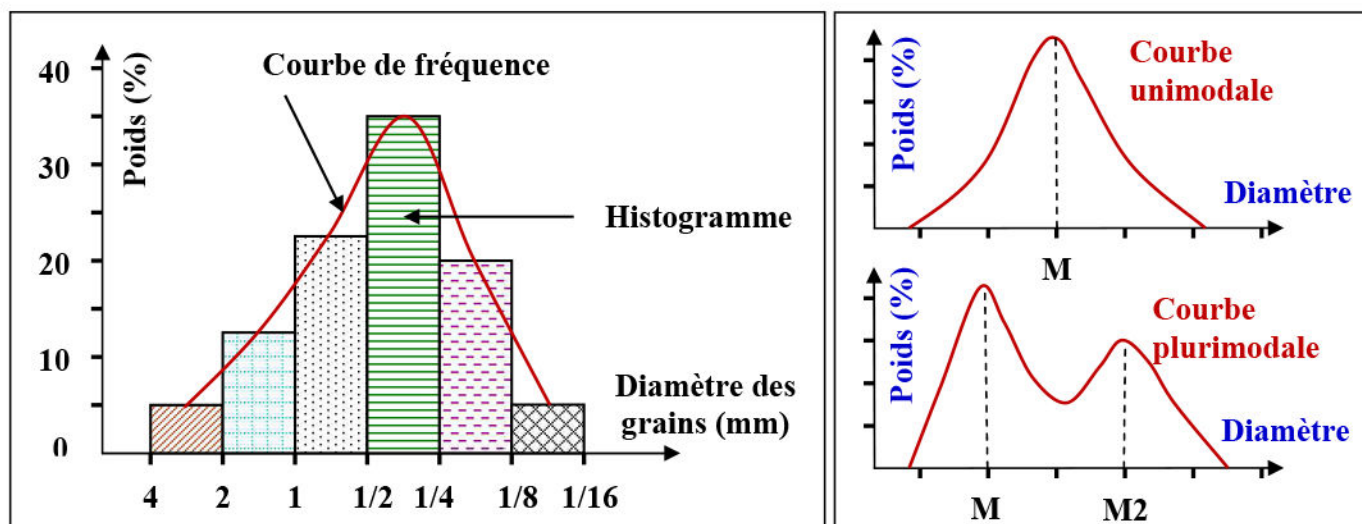


Figure 1 : Histogramme et courbe de fréquence

A partir de l'analyse de la courbe de fréquence on déduit que:

- ✓ Si la courbe de fréquence est unimodale (Un seul pique), le sable est homogène (Plage, éolien ou fluvial).
- ✓ Si la courbe de fréquence est plurimodale (Deux ou plusieurs piques), le sable est hétérogène (mélange de plusieurs sables).

Document 7: Suite:

A fin de caractériser les sables analysés, on trace une courbe cumulative du poids de diverses fractions en additionnant successivement les fractions obtenues.

La courbe des fréquences cumulées croissantes nous permet de retrouver les quartiles Q_1 et Q_2 et la médiane Md .

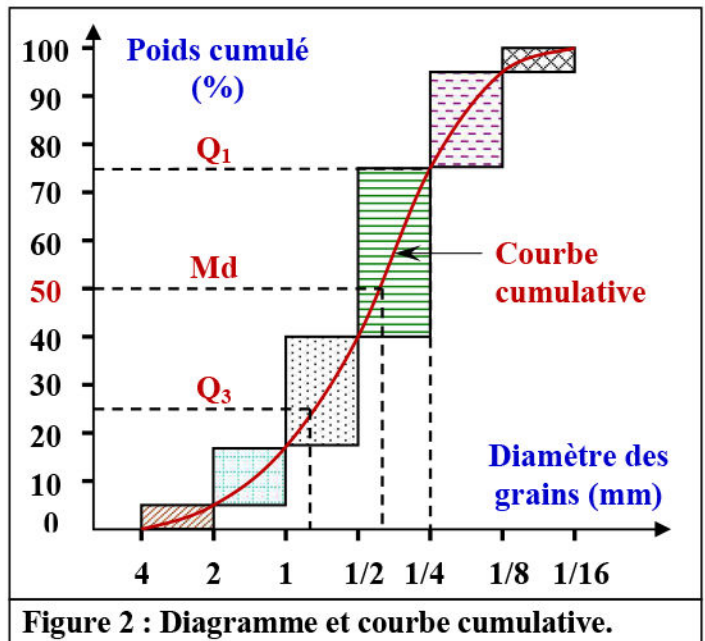


Figure 2 : Diagramme et courbe cumulative.

Pour représenter les distributions granulométriques, on porte les divers pourcentages des refus et de refus cumulés sur un papier millimétré et on réalise :

- Des histogrammes ou diagrammes à colonnes: (Figure 1, document 7)

Ils sont formés de rectangles jointifs dont les bases respectives représentent les intervalles de classes sur une échelle logarithmique et dont les hauteurs correspondent aux fréquences des différentes classes, sur une échelle arithmétique.

- Des courbes cumulatives: (Figure 2, document 7)

Elles représentent les variations des pourcentages en poids cumulés des sédiments sur une échelle arithmétique en fonction de diamètre des grains sur une échelle logarithmique.

⇒ Etape 3: Interprétation des résultats:

★ Courbe de fréquence :

- Si la courbe de fréquence est unimodale, cela signifie que le sable étudié est homogène et on peut dire par la suite que les sédiments n'ont pas subi de remaniement liés au courant (courant stable).
- Si la courbe de fréquence est multimodale, cela signifie que le sable étudié est hétérogène ; on peut penser que les sédiments ont été remaniés et que la force du courant n'est pas constante (vagues de marées).

★ Courbe cumulative :

La courbe cumulative permet de retrouver les quartiles :

- Q_1 qui est la valeur du diamètre des grains correspondant à l'ordonnée 75% des fréquences cumulées.
- Md (Médiane) qui est la valeur du diamètre des grains correspondant à l'ordonnée 50% des fréquences cumulées.
- Q_2 qui est la valeur du diamètre des grains correspondant à l'ordonnée 25% des fréquences cumulées.

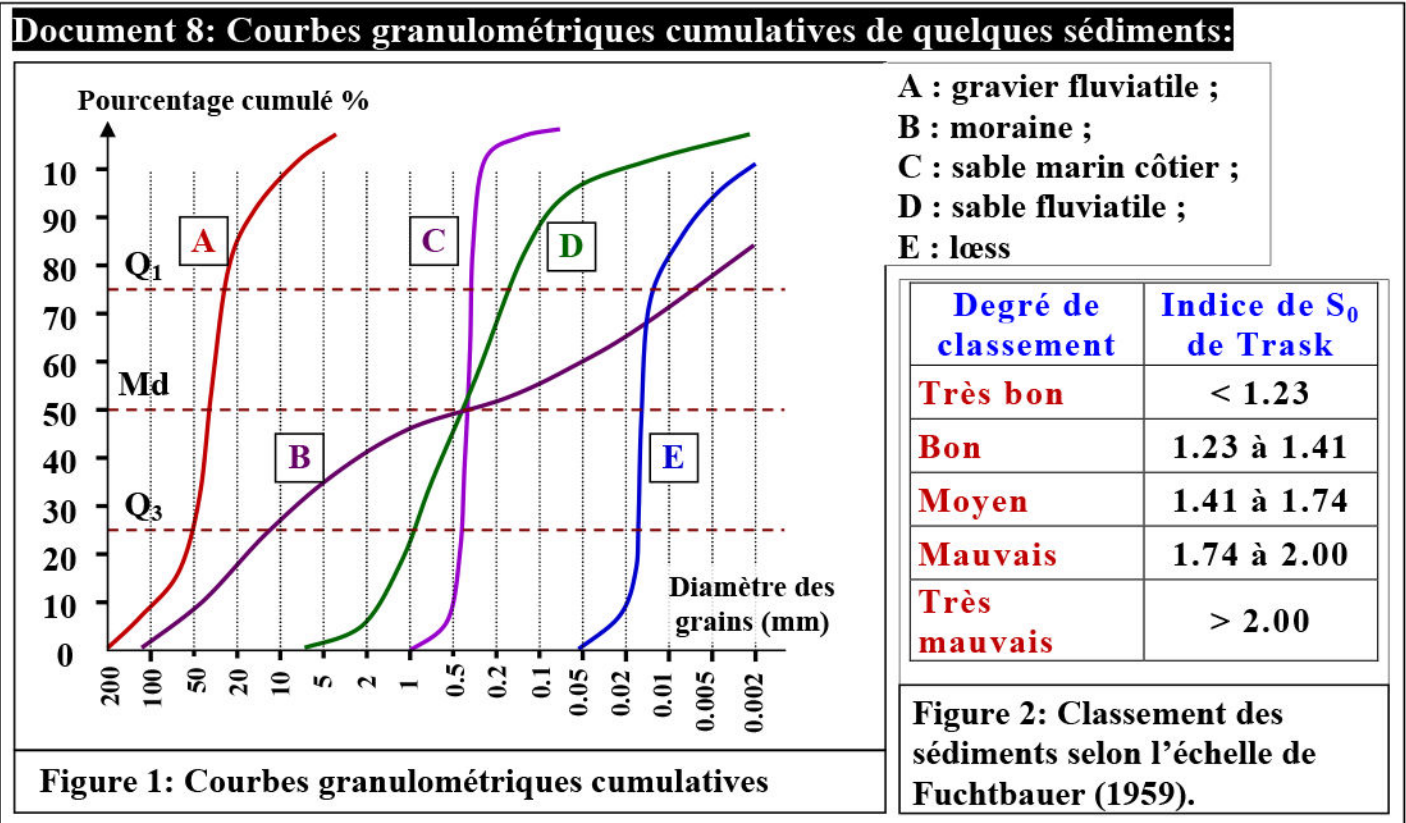
La courbe cumulative permet de calculer l'indice de classement de Trask S_0 :

$$S_0 = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$$

Exemple : à partir de la figure 2 du document 7 :

$Q_1 = 0.25$, $Q_3 = 0.8$ donc $S_0 = \sqrt{0.8/0.25} = 1.79$

L'indice de classement de Trask S_0 permet de déterminer le type de classement qui caractérise le sédiment étudié et déduire l'environnement de dépôt, en utilisant l'échelle de Fuchtbauer (1959), (Voir document 8).



$1.74 < S_0 < 2 \Rightarrow$ d'après l'échelle de Fuchtbauer, ce sédiment présente un mauvais classement, ce qui caractérise le sable fluviatile.

c) Conclusion:

Les études morphoscopiques et statistiques des sédiments contribuent à la reconstitution de l'itinéraire évolutif probable de ces sédiments, et permettent la reconstitution de la paléogéographie du milieu sédimentaire.

d) Exercices:

\Rightarrow **Exercice 1:** (Voir document 9)

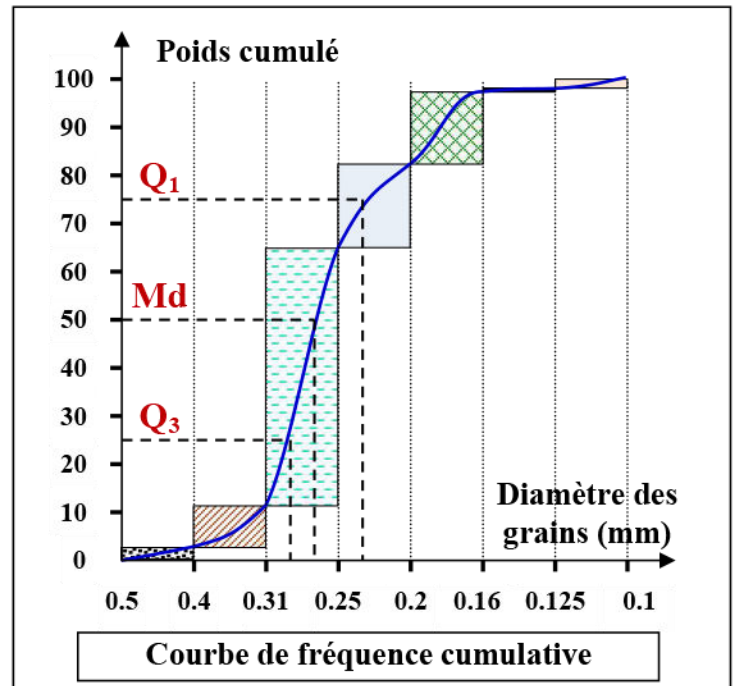
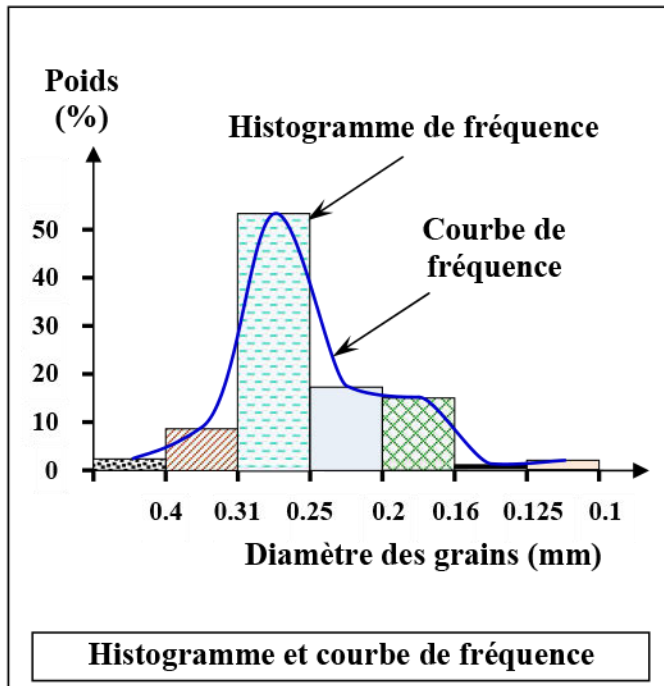
Document 9: Exercice 1:

Le tamisage d'un échantillon de sables anciens a donné les résultats indiqués dans le tableau suivant :

N° du tamis	1	2	3	4	5	6	7
Diamètre des mailles	0.4	0.31	0.25	0.20	0.16	0.125	0.1
Refus	0.6	12.8	69.8	23.8	20.9	0.3	0.4
Pourcentage	0.47	9.95	54.28	18.51	16.25	0.23	0.31
Pourcentage cumulé	0.47	10.42	64.7	83.21	99.46	99.69	100

- 1) Complétez le tableau puis construire sur le même graphique, l'histogramme et la courbe de fréquence. En utilisant les données du tableau, tracer la courbe cumulative
- 2) Retrouver les quartiles Q_1 , M_d et Q_3 puis calculer l'indice de Trask S_0 .
- 3) Quelle conclusion peut-on tirer sur le classement de cet échantillon de sable ?

- 1) Calcule du pourcentage des refus : voir tableau sur le document ;
Construisons l'histogramme, la courbe de fréquence et la courbe cumulative:



2) $Q_1 = 0.23$; $M_d = 0.26$; $Q_3 = 0.27$; L'indice de Trask $S_0 = \sqrt{0.27/0.23} = 1.08$

3) $S_0 < 1.23 \Rightarrow$ d'après l'échelle de Fuchtbauer, ce sédiment très bien classé.

\Rightarrow **Exercice 2:** (Voir document 10)

Document 10: Exercice 2:

Le tableau suivant présente les résultats granulométriques de trois échantillons de 100g de sable : E₁, E₂ et E₃, prélevés de trois milieux sédimentaires différents:

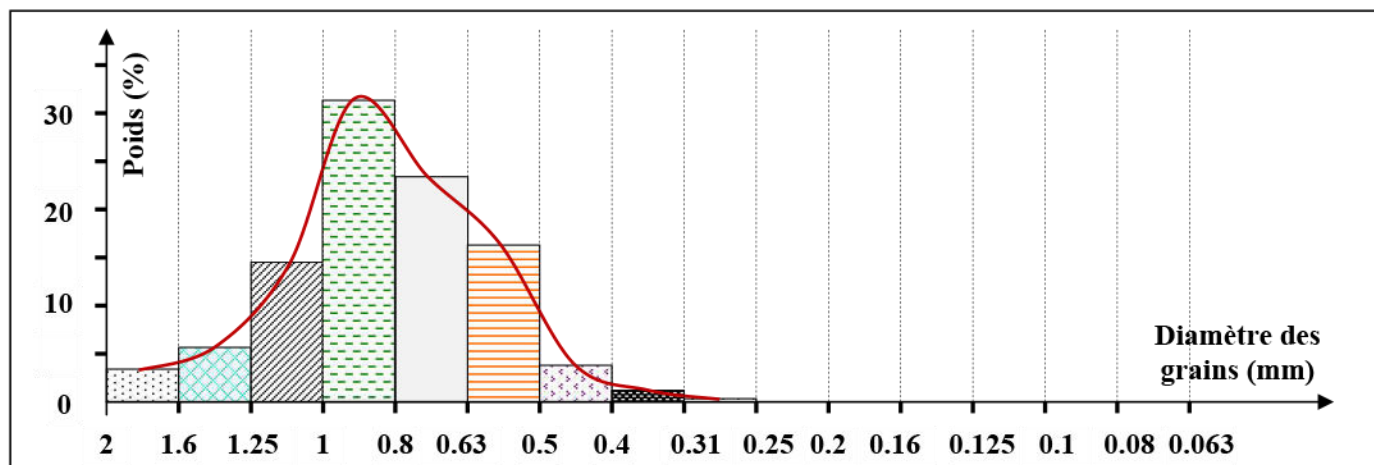
Diamètre (mm)	2	1.6	1.25	1	0.8	0.63	0.5	0.4	0.31	0.25	0.2	0.16	0.125	0.1	0.08	0.063
E ₁	0	3.4	5.7	14.5	31.4	23.4	16.3	3.8	1.2	0.3	0	0	0	0	0	0
% cumulé	0	3.4	9.1	23.6	55	78.4	94.7	98.5	99.7	100	100	100	100	100	100	100
E ₂	0	4	9.3	11.6	5	4.7	8	9.3	11.4	14	10	6.5	3.2	2.5	0.5	0
% cumulé	0	4	13.3	24.9	29.9	34.6	42.6	51.9	63.3	77.3	87.3	93.8	97	99.5	100	100
E ₃	0	0	0	0	0	0	0.4	1.2	5.1	26.1	47.4	12.1	5.6	1.5	0.6	0
% cumulé	0	0	0	0	0	0	0.4	1.6	6.7	32.8	80.2	92.3	97.9	99.4	100	100

- 1) Complétez le tableau puis construisez l'histogramme et la courbe de fréquence. Pour chaque type de sable.
- 2) En utilisant les données du tableau, tracer sur le même graphique les courbes cumulatives des trois types de sable.
- 3) A partir des représentations graphiques précédentes, Quelle conclusion peut-on tirer sur le classement de ces trois types d'échantillon de sable?

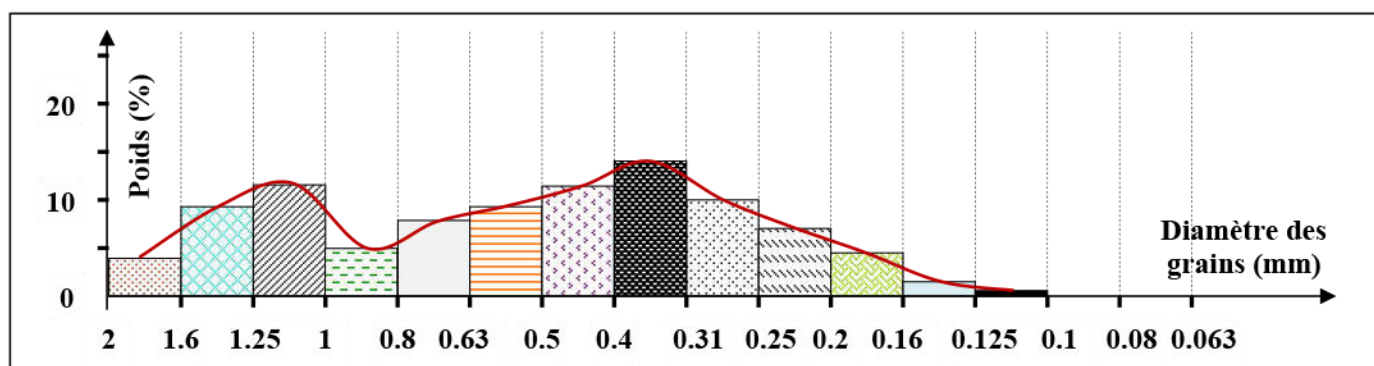
1) Complétons le tableau : (Voir tableau document 10)

Construisons l'histogramme et la courbe de fréquence des trois types de sable:

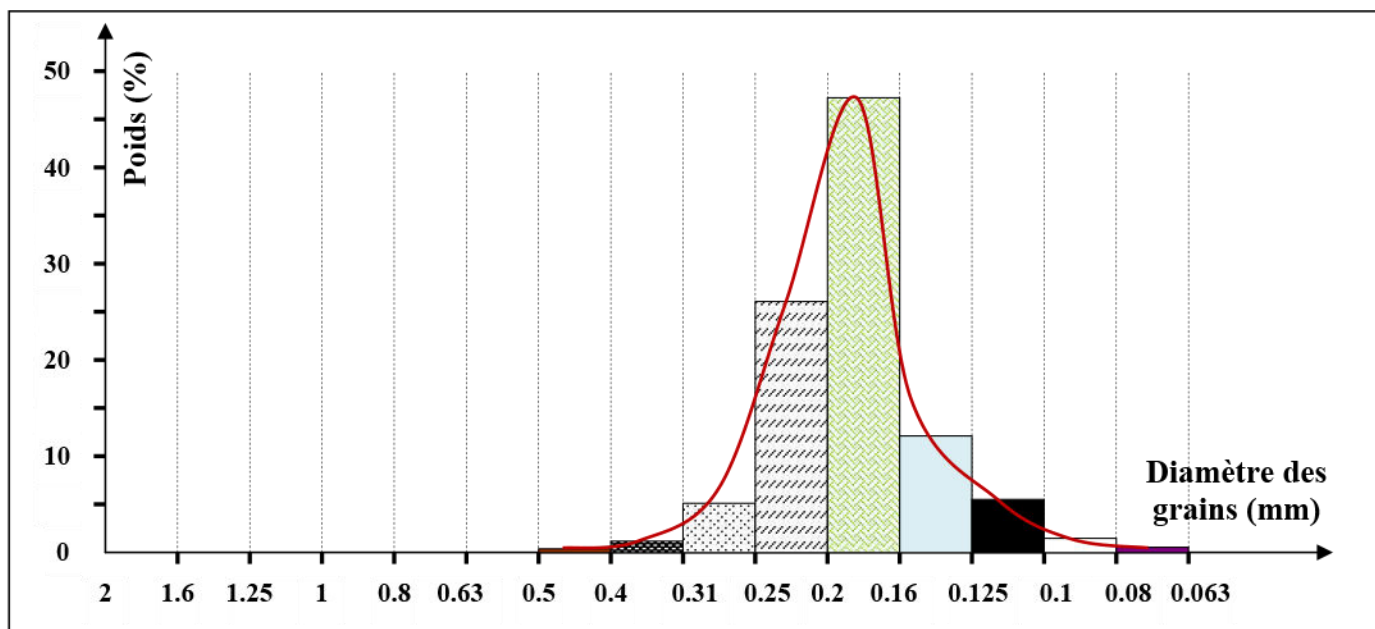
★ L'échantillon E₁:



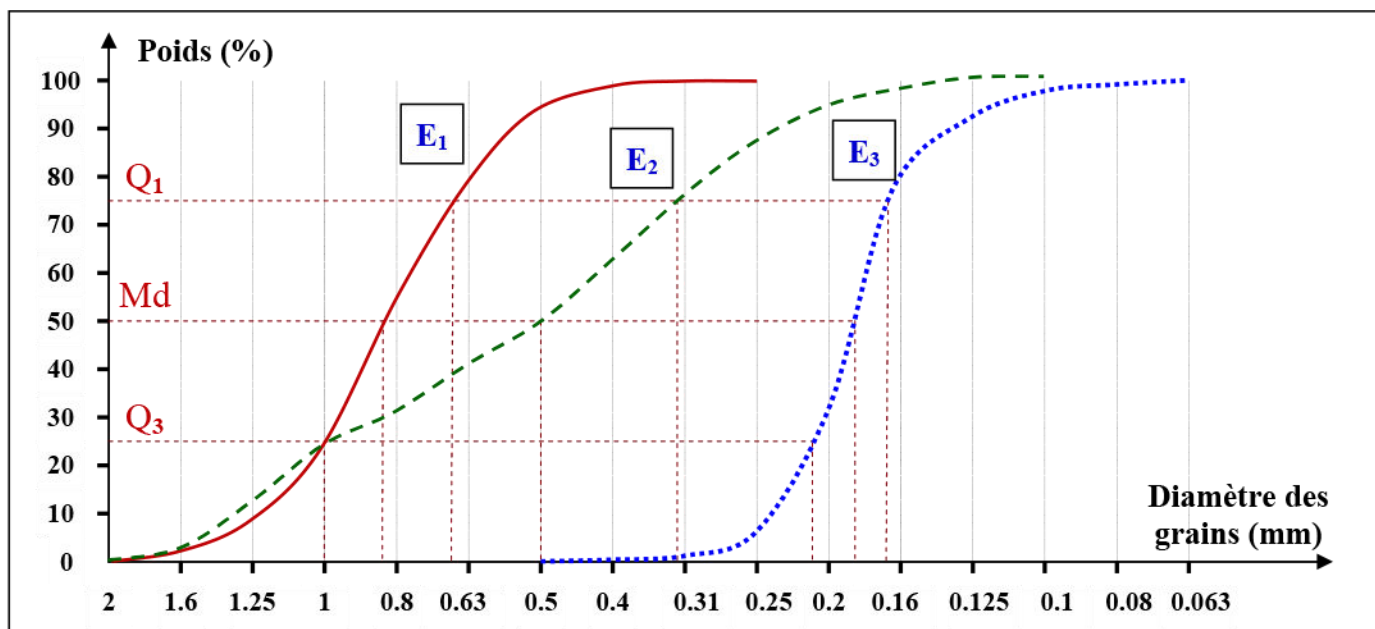
★ L'échantillon E₂:



★ L'échantillon E₃:



2) Traçons les courbes cumulatives des trois types de sable :



3) A partir de la courbe cumulative permet de calculer l'indice de classement de Trask S_0 pour chaque échantillon de sable :

★ L'échantillon E₁:

$$Q_1 = 0.66, \quad Q_3 = 1 \quad \text{donc } S_0 = \sqrt{1/0.66} = 1.23$$

★ L'échantillon E₂:

$$Q_1 = 0.32, \quad Q_3 = 1 \quad \text{donc } S_0 = \sqrt{1/0.32} = 1.77$$

★ L'échantillon E₃:

$$Q_1 = 0.17, \quad Q_3 = 0.22 \quad \text{donc } S_0 = \sqrt{0.22/0.17} = 1.14$$

A partir des données précédentes, on peut établir le tableau suivant :

	Echantillon E ₁	Echantillon E ₂	Echantillon E ₃
Courbe de fréquence	Etroite unimodale	Étalée plurimodale	Etroite unimodale
Courbe cumulative	Forte pente	Faible pente	Forte pente
Degré de classement	Bon classement	Mauvais classement	Très bon classement
Conclusion	Sable de plage	Sable fluviatile	Sable dunaire

④ Etude morphoscopique des sédiments:

La forme et l'aspect des grains de quartz d'un sable observé à la loupe binoculaire témoignent de l'intensité et de la durée des actions d'érosion auxquelles ils ont été soumis.

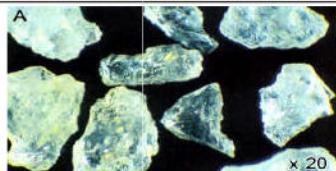

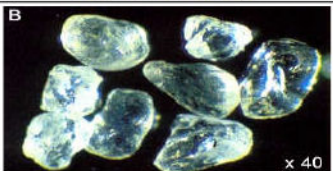
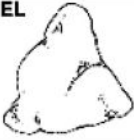
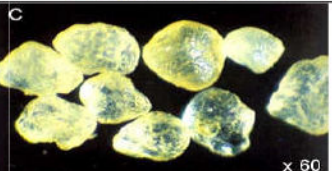

a) Observation microscopique des grains de sable: (Voir document 11)

Document 11: Etude morphoscopique des grains de sable:

Pour observer les grains de quartz d'un échantillon de sable ayant reçu au préalable à une étude granulométrique, on suit les étapes suivantes :

- ✓ On lave le sable avec de l'eau pour éliminer les éléments argileux ;
- ✓ On lave le sable avec de l'acide chlorhydrique pour éliminer les grains de calcaire ;
- ✓ On lave le sable avec de l'eau oxygénée diluée pour éliminer les éléments organiques ;
- ✓ On observe le sable à l'aide d'une loupe binoculaire.

L'observation permet de distinguer trois types de grains :

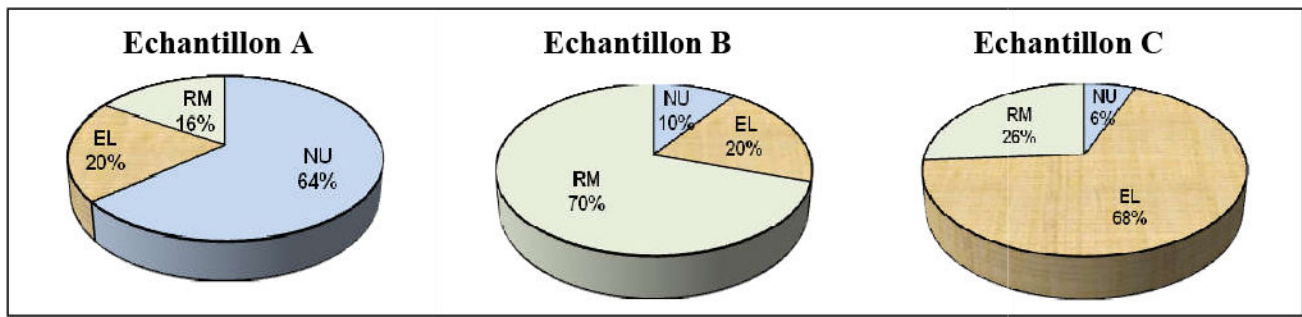
	Echantillon A	Echantillon B	Echantillon C
	 	 	 
Aspect des grains	Transparents, anguleux à arêtes tranchantes	Transparents, facettes brillants à arêtes usées	Translucides, facettes dépolies
Types de grains	Non usés (NU)	Emoussés luisants (EL)	Ronds mats (RM)
Mode de transport	Altération physique Transport glaciaire ou fluviatile (Faible transport)	Transport prolongé dans l'eau (plage marins, cours inférieurs des fleuves)	Un long transport par le vent

L'étude statistique des grains de quartz de trois échantillons de sable (A, B et C) extrait de trois couches distinctes a donné les résultats du tableau ci-dessous:

	Forme des grains de sable		
	% NU	% EL	% RM
Echantillon A	64	20	16
Echantillon B	10	20	70
Echantillon C	6	68	26

- 1) Représentez les résultats du tableau sous forme d'un diagramme circulaire « en camembert »
- 2) Interprétez ces résultats et déterminez le mode de transport subi par ces échantillons de sable.

1) Représentons les résultats du tableau sous forme d'un diagramme circulaire :



2) Interprétation des résultats :

Pour caractériser un milieu de dépôt et déterminer l'agent et les conditions de transport, on procède à l'analyse morphoscopique des sédiments.

L'analyse des grains de quartz dans un sédiment permet de distinguer entre trois types : Les grains non usés (NU), les grains émoussés luisants (EL), les grains ronds mats (RM).

Selon les pourcentages des trois types de grains, on déduit l'agent de transport dominant :

- Si le pourcentage des grains EL $> 30\%$, c'est un sable marin.
- Si le pourcentage des grains $20\% < EL < 30\%$, le sable est fort probable un sable marin (ou fluviatile).
- Si par contre le pourcentage des grains $EL < 20\%$, l'origine marine du sable est alors contestée (Mettre en cause).

D'après les données du tableau on constate que :

- Dans l'échantillon A : le pourcentage des grains NU est élevé (64%), cela signifie que le transport est limité. Puisque le pourcentage des grains EL est égal à 20%, c'est un sable fluviatile.
- Dans l'échantillon B : le pourcentage des grains RM est élevé (70%), cela signifie que le sédiment a subi un long transport par le vent (milieu éolien). Donc c'est un sable qui caractérise le milieu désertique.
- Dans l'échantillon C : le pourcentage des grains EL est élevé (68%), cela signifie que le sédiment a subi un long transport par l'eau. Donc c'est un sable qui caractérise le milieu marin côtier.

b) Conclusion:

Les études statistiques et morphoscopiques des grains de quartz d'un sédiment, contribue à la reconstitution de l'itinéraire évolutif probable de ce sédiment, et permet la reconstitution de la paléogéographie de milieux de sédimentations.

III – Les milieux sédimentaires actuels:

Les débris de l'érosion sont transportés par les agents de transport, et finissent par se déposer et s'accumuler dans un milieu de sédimentation.

Les milieux sédimentaires sont des structures géomorphologiques où règne un ensemble de facteurs physiques, chimiques et biologiques suffisamment constants pour former un dépôt caractéristique. Ainsi, le géologue pourra reconstituer les conditions ayant régné dans un milieu ancien à l'aide des caractéristiques de ses dépôts.

- Quels sont les principaux milieux de sédimentation ? (Voir document 12 et 13 (fig 1))

Document 12: Principaux milieux de sédimentation actuels:

Le tableau suivant présente quelques caractéristiques des différents milieux de sédimentation actuels.

Milieux de Sédimentation		Types de sédiments
milieux continentaux	Vallées torrentielles	Alluvions (Dépôt de débris (sédiments))
	Milieux glaciaires	Moraines (accumulations de blocs éboulés sur le glacier ou arrachés et transportés par lui)
	Dépôts éoliens	dunes de sables, loess (dépôt sédimentaire détritique meuble, non stratifié, argilo-calcaire et silteux, à grain inférieur à 62,5µm)
	Plaines alluviales	(grandes rivières permanentes): granulats (sables, graviers et galets)
	Lacs et marécages	Détritiques
Chimiques		gypse, l'halite, la sylvite, calcaires rares.
Organiques		roches carbonées (charbon, hydrocarbure), des diatomites.
Milieux intermédiaires	Estuaire	Embouchure d'un fleuve et où l'influence de la mer est prépondérante : dépôt essentiel est la vase formée de sable quartzeux ou calcaire.
	Delta	Embouchure d'un fleuve qui a une action dominante sur les marées; sédimentation abondante : dépôts formés de sables surmontés par des argiles.
	Lagune	Étendue d'eau plus ou moins salée séparée de la mer par un cordon littoral. Evaporites (gypse, l'halite, la sylvite), calcaires dolomitiques, dolomies, marnes
milieux marins	Plage et plate-forme	le plateau continental , zone plane, légèrement inclinée vers la mer, large en moyenne de 80 km, profonde de 200 m tout au plus; - sédimentation à dominance siliceuse quand l'apport détritique est fort ; sédimentation à dominance carbonatée là où l'apport détritique est faible et le climat favorable au développement des organismes constructeurs (coraux par exemple).
	Talus	la pente continentale (ou talus continental), large de 45 km en moyenne et dont la profondeur va de 200 à 4000m, entamée par des canyons sous-marins ; sédiments détritiques rythmés mis en place en bas du talus par les courants de turbidité.
	Plaine abyssale	détritiques fins (argiles) venant du talus auxquels s'ajoutent les particules fines calcaires tombant de la surface: débris planctoniques,... dépôt de boues pélagiques (des êtres flottants ou nageant).
	Grands fonds	A plus de 5000m de profondeur Argiles rouges, avec absence du calcaire sous le niveau 5000m de compensation des carbonates.

En se basant sur les données de ce tableau et les figures des documents 13, 14, 15 et 16, décrire les caractéristiques des milieux de sédimentation.

Document 13: Principaux milieux de sédimentation actuels:

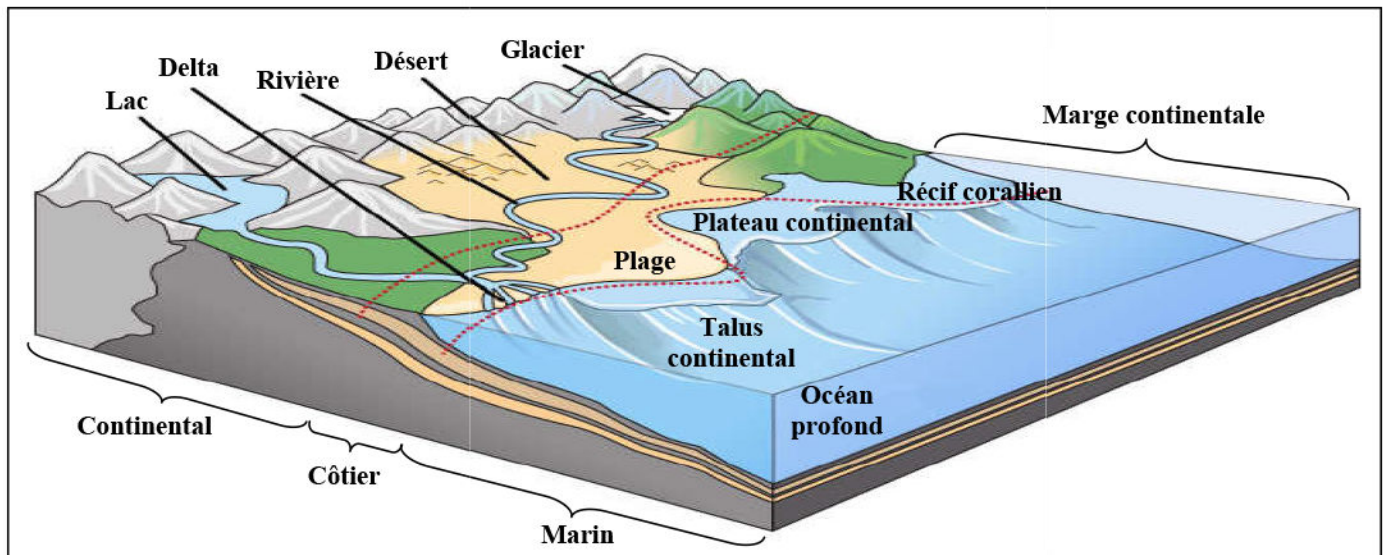
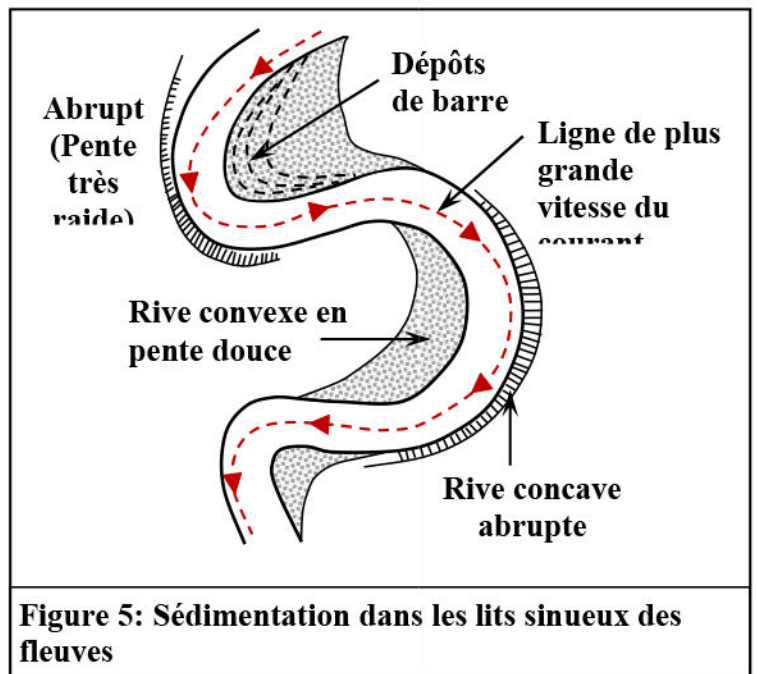
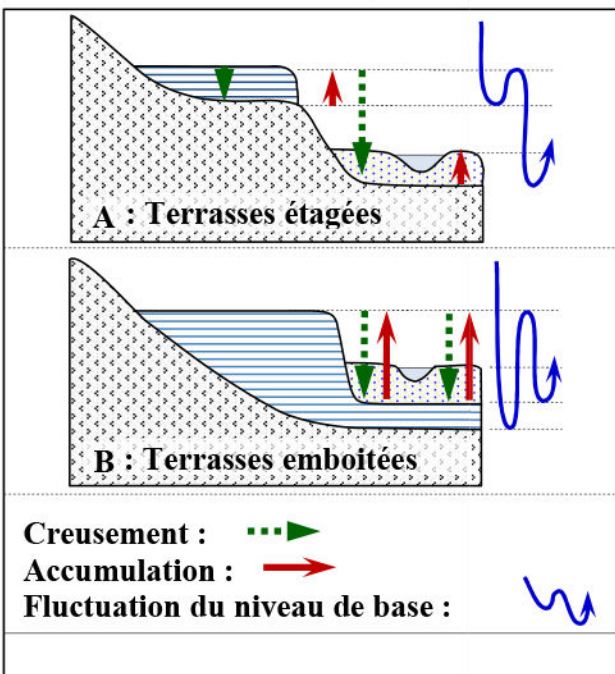
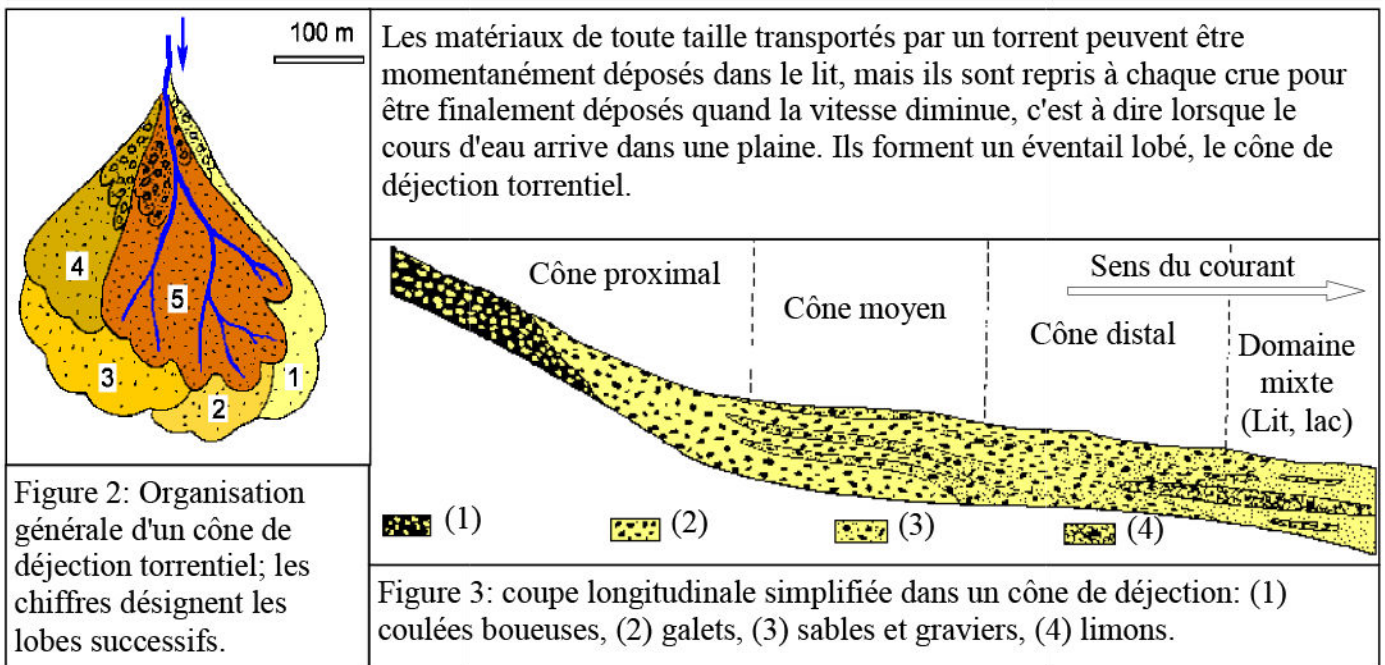


Figure 1: Principaux milieux de sédimentation.



① Les milieux de sédimentation continentaux :

⇒ **La sédimentation torrentielle:** (Voir figure 2 et 3, document 13)

Ce sont des sédiments qui se déposent dans les torrents. Ils forment un éventail lobé, Le cône de déjection torrentiel correspond à l'étalement des matériaux lors d'une crue; ceux-ci sont granoclassés d'amont en aval, les éléments fins sont emportés le plus loin.

⇒ **La sédimentation fluviale:** (Voir figure 4 et 5, document 13)

Les milieux fluviaux (Rivières, fleuves...) sont caractérisés par des structures sédimentaires appelées terrasses fluviales. On distingue deux types : des terrasses étagées et des terrasses emboîtées.

Les rivières déposent des sédiments aux endroits où la vitesse du courant diminue, c'est à dire le long de leur cours et finalement à leur embouchure.

Un méandre est une sinuosité très prononcée du cours d'un fleuve ou rivière

Les méandres sont des lieux de dépôt particuliers. En effet, dans un méandre, l'érosion se produit sur la rive concave, à pente raide, là où la vitesse du courant est la plus grande. Le dépôt se réalise sur la rive convexe, là où la vitesse du courant est la plus faible, formant une terrasse alluviale (ou barre de méandre).

⇒ **La sédimentation Lacustre:**

Un lac est un corps d'eau permanent enclavé dans le continent. La nature de sédimentation dépend de plusieurs facteurs : le climat, la profondeur, du lac, l'apport des rivières et la végétation.

La sédimentation lacustre est caractérisée par des dépôts calcaires de nature chimique riche en fossiles indicateurs de conditions écologiques régnant dans ces milieux.

Les sédiments se déposent dans le lac selon une zonation concentrique (la taille des particules diminue de la périphérie vers le centre).

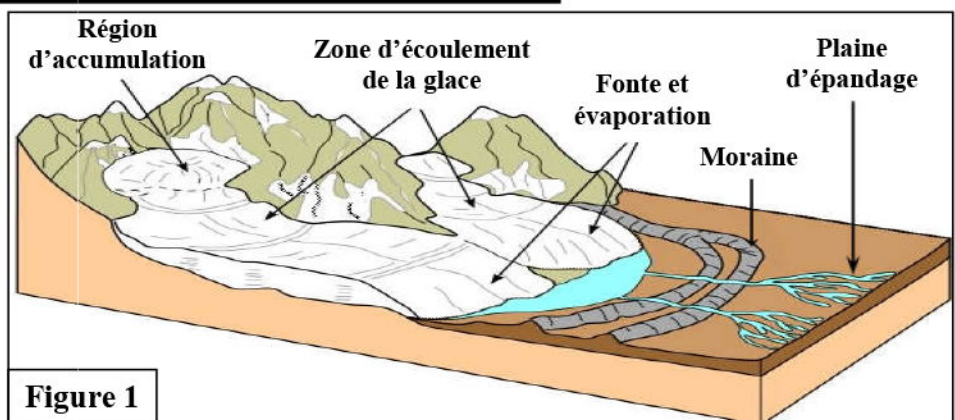
⇒ **La sédimentation glaciaire:** (Voir figure 1, document 14)

La sédimentation dans les montagnes glaciaire est liée surtout au climat. la force et l'énergie des glaciers en mouvement est à l'origine de l'érosion, du transport et de la sédimentation.

Les matériaux transportés par les glaciers se déposent lorsque la glace fond, et s'accumulent en une moraine (Amas de débris rocheux (appelé aussi till), entraînés par le mouvement de glissement d'un glacier). La moraine est caractérisée par des sédiments très hétérogènes, non classés formés de blocs et de galets anguleux, et parfois striés et de grains de quartz anguleux.

Document 14: Principaux milieux de sédimentation actuels:

Figure 1: La sédimentation dans les milieux glaciaires.



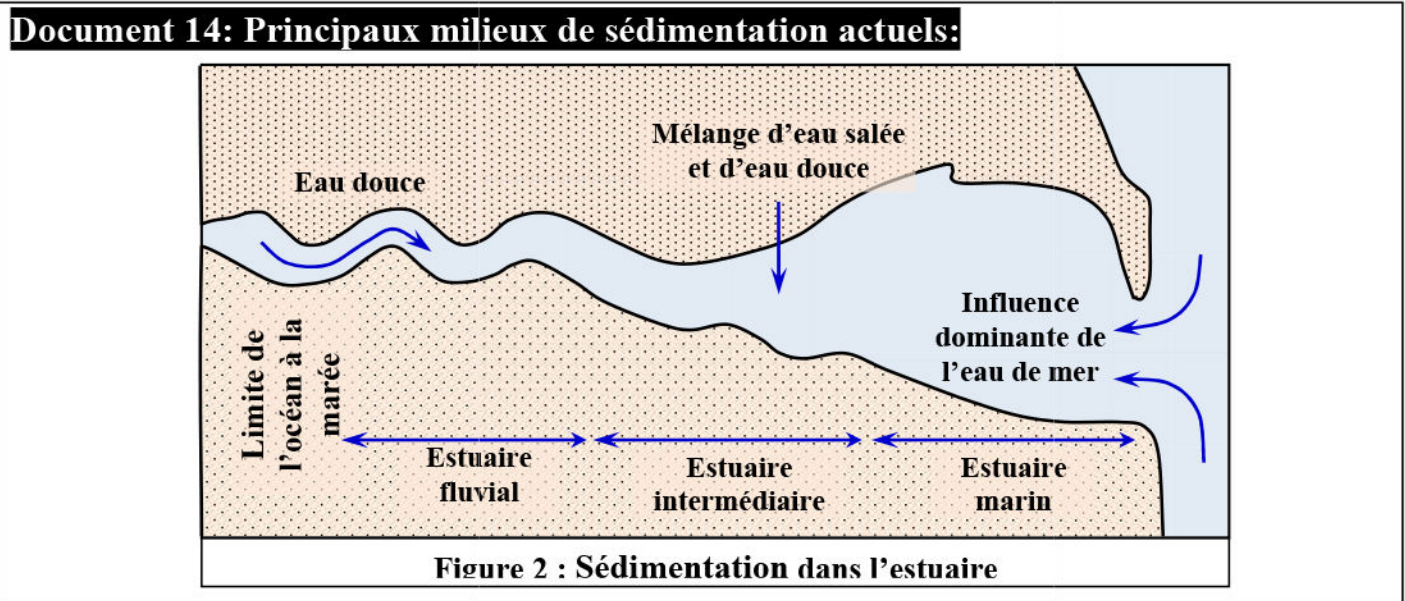
⇒ La sédimentation éolienne :

Dans les milieux désertiques, ce sont les dépôts éoliens qui constituent la majeure partie des sédiments actuels. Les roches sédimentaires d'origine désertique sont caractérisées par des grains sableux arrondis et dépoli (rond-mat) bien classés. Les dépôts de sables forment les dunes (nebka, barkhanes, seifs, ergs...). Les régions d'accumulation des sables alternent avec des régions dénudées.

② Les milieux de sédimentation intermédiaires:

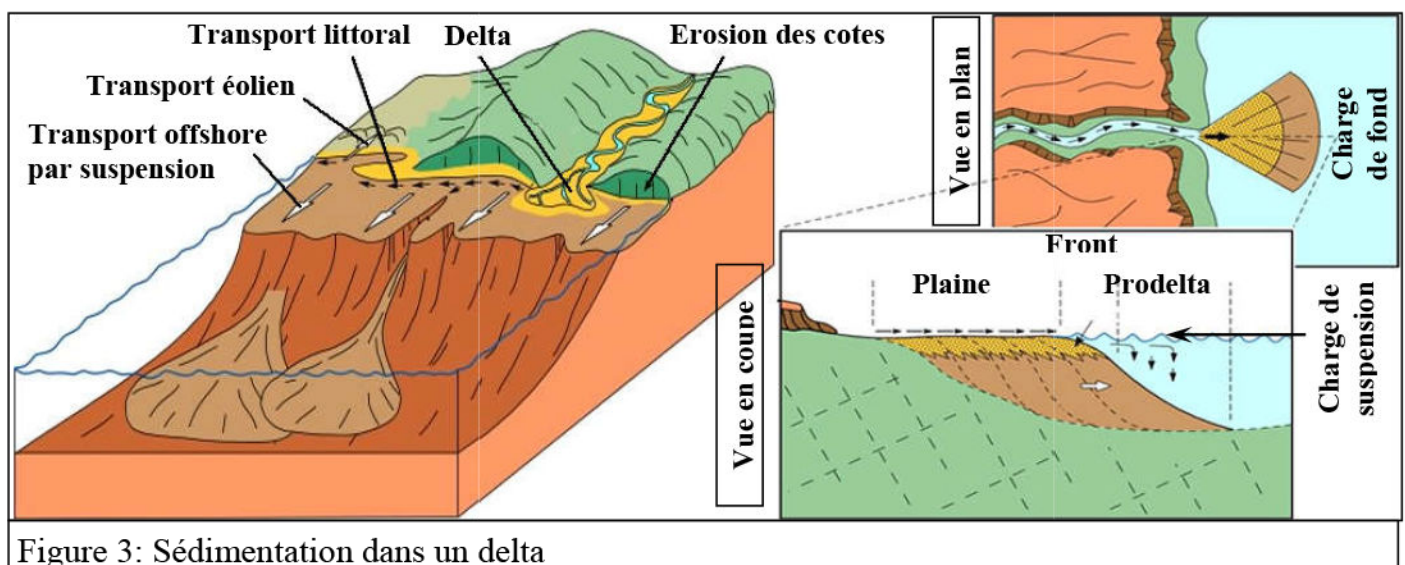
Ils sont situés aux limites du domaine marin et du domaine continental et présentent des caractères mixtes. Ils sont soumis aux processus continentaux et aux processus marins.

⇒ L'estuaire: (Voir figure 2, document 14)



C'est l'embouchure d'un fleuve, de forme évasée et où la mer remonte (l'effet de la mer ou de l'océan dans lequel il se jette est dominant). C'est une zone de mélange entre eaux douces et eaux marines. La plupart des sédiments apportés par les rivières dans les estuaires sont piégés à l'intérieur de l'estuaire sous forme de boue.

⇒ Le delta: (Voir figure 3, document 14)



Lorsque le fleuve a une action dominante; on parle de delta.

Les sédiments dans le cours d'eau sont transportés souvent avec une vitesse assez élevée.

Lorsque la charge du cours d'eau arrive dans la mer, le courant perd son énergie et les sédiments se dispersent, en s'étalant sur un delta: une zone d'accumulation triangulaire en plan.

L'apport continu des sédiments dans le delta fait avancer ce dernier dans le domaine marin : c'est la progradation deltaïque.

⇒ La lagune: (Voir figure 4, document 14)

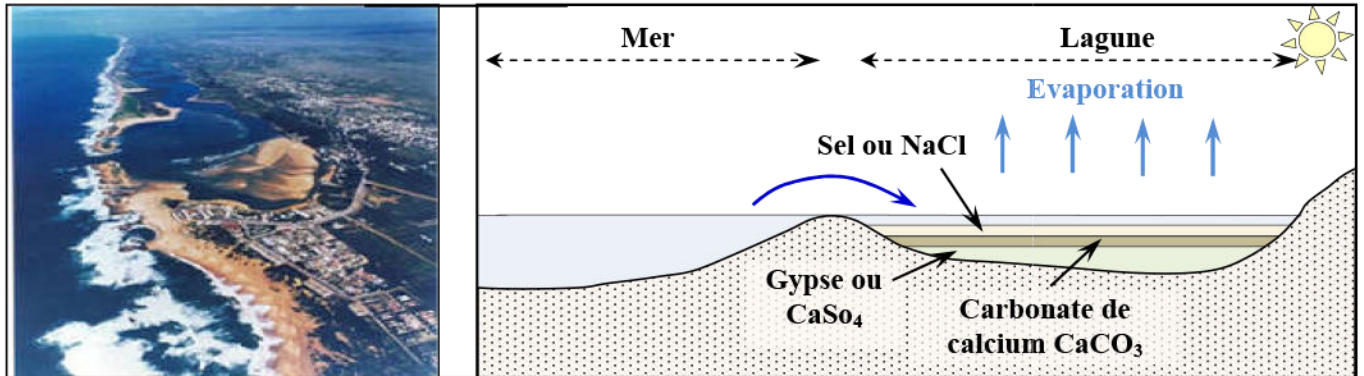


Figure 4: Sédimentation dans La lagune (Exemple Oualidia à El-Jadida, Maroc)

C'est une étendue d'eau généralement peu profonde séparée de la mer par un cordon littoral souvent constitué de sable fin.

A climat chaud, la concentration saline des lagunes augmente par la forte évaporation. Lorsque la saturation est atteinte, les sels cristallisent et se déposent au fond du bassin formant des évaporites (halite (NaCl), gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), sylvite (KCl), borates ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$))

③ Les milieux de sédimentation marins: (Voir figure 5, document 14 et document 15 + 16).

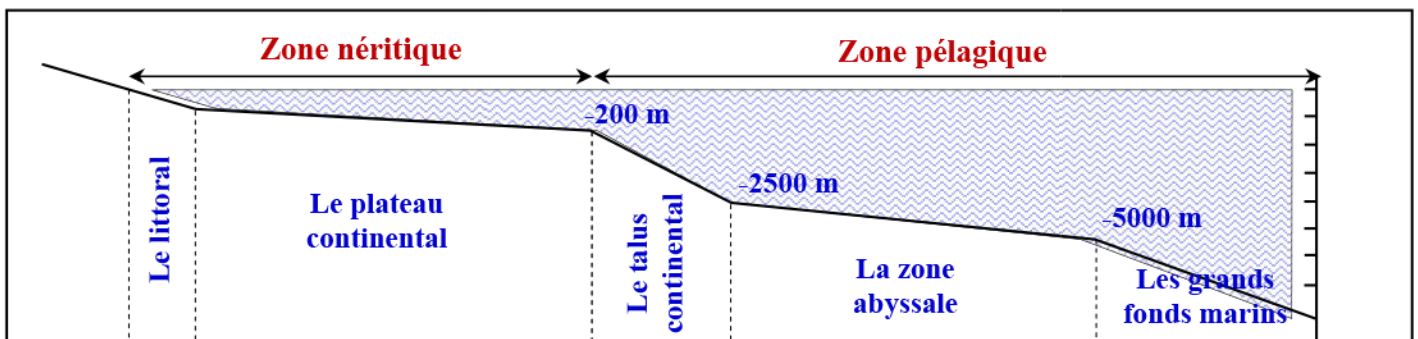


Figure 5: Morphologie du milieu marin et zones de sédimentation.

Document 15: Les conditions de sédimentation dans le milieu marin:

Un récif corallien est une structure naturelle qui résulte de l'activité d'êtres vivants fixés : les coraux, capables d'utiliser le calcium dissous dans l'eau pour édifier leur squelette.

Pour se développer, les coraux ont besoin de conditions de vie précises :

- Eau claire bien oxygénée.
- Température supérieure à 20°C.
- Profondeur inférieure à 100m (plateforme).



Figure 1 : les récifs coralliens

Document 15: Les conditions de sédimentation dans le milieu marin:

Les courants de turbidité sont des écoulements gravitaires dans lesquels le sédiment est maintenu en suspension par la turbulence du fluide interstitiel. Ce mélange d'eau et de sédiment possède une densité plus grande que celle de l'eau et se déplace vers le bas sous l'effet de la gravité.

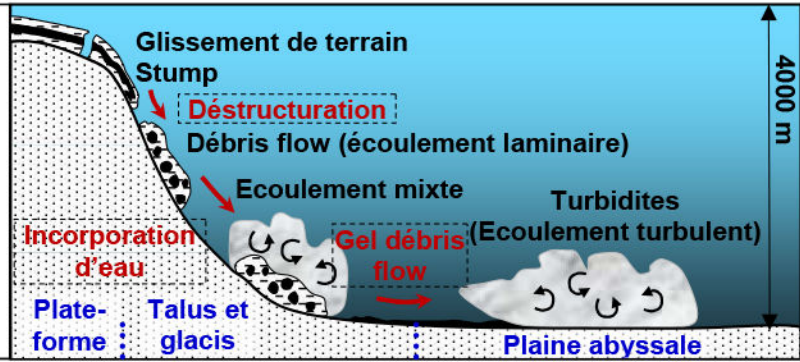
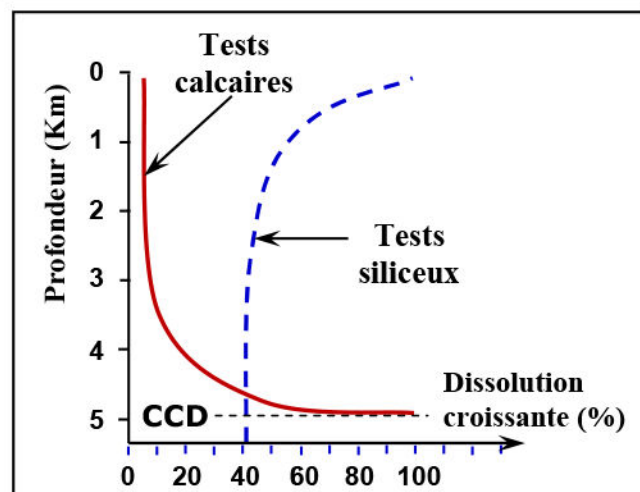
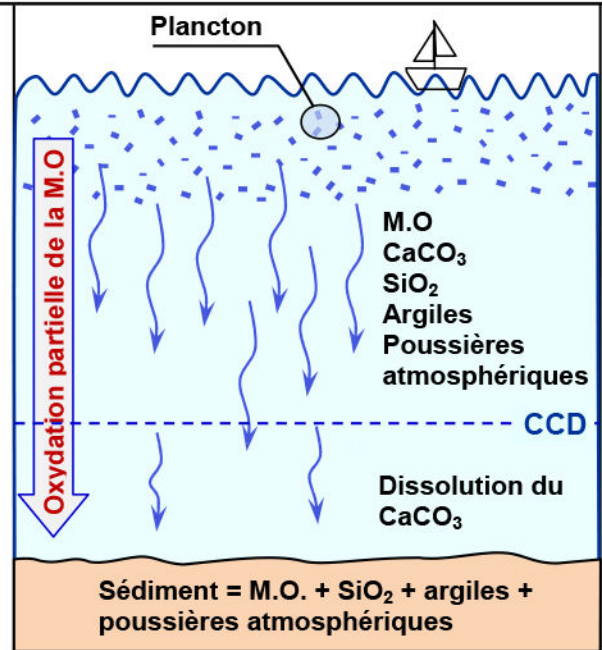


Figure 2 : Glissement de terrain dans la partie supérieure du talus continental.

Figure 3 : Le niveau de compensation des carbonates (CCD)

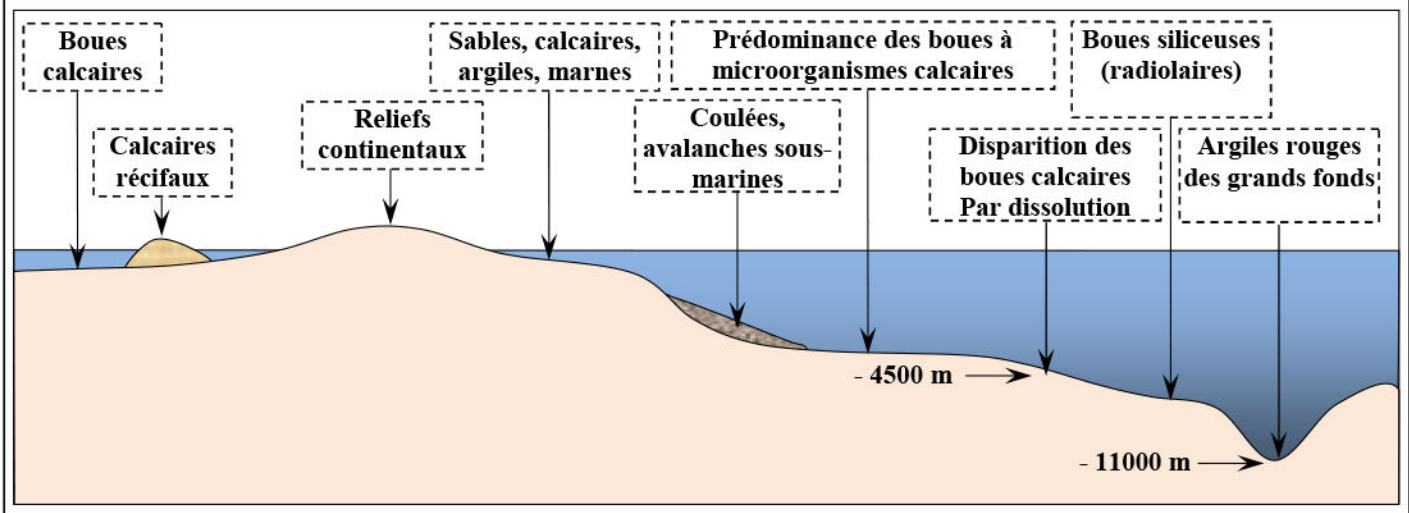
La CCD est un niveau en milieu océanique, sous lequel le carbonate de calcium (CaCO_3) se dissocie, c'est-à-dire que lorsque des particules de CaCO_3 , comme celles qui viennent du plancton, atteignent ce niveau, elles sont dissoutes et se retrouvent dans l'eau sous leur forme ionique Ca^{2+} et HCO_3^- . Ce niveau est contrôlé par la température de l'eau. Il se situe à des profondeurs variables selon la latitude et la nature de la circulation océanique.



Courbes de dissolution des tests siliceux et calcaires en fonction de la profondeur.

La CCD exerce donc une influence sur la composition des sédiments des fonds océaniques. Les couches supérieures de la surface océanique produisent une pluie de matériaux fins composés de matières organiques, de CaCO_3 , de SiO_2 , ainsi que d'une certaine quantité d'argiles décantées de la sédimentation terrigène et de poussières atmosphériques qui se déposent à la surface des océans.

Document 16: Répartition des principaux types de sédiments marins:



⇒ Zone littorale:

En plus de la cote, s'ajoute la plateforme immergée dont la profondeur ne dépasse pas 200m. On y trouve les dépôts amenés par les fleuves, le vent mais aussi des sédiments biochimiques et biologiques ainsi que des constructions d'organismes (récifs correspondant à des températures de 20 à 35°C et à des profondeurs faibles mais à eaux agitées permettant une bonne oxygénation).

Les dépôts détritiques de plate forme sont classés, répartis, étalés par les marées, les vagues et les courants littoraux et de plateaux.

- Sédimentation à dominance silico-clastique quand l'apport détritique est fort.
- Sédimentation à dominance carbonatée là où l'apport détritique est faible et le climat favorable au développement des organismes constructeurs.

⇒ Le plateau continental:

C'est une plateforme qui s'incline progressivement vers les fonds marins. Sa largeur atteint 80km et sa profondeur avoisine 200m. Elle est caractérisée par la dynamique des eaux due aux vagues, aux orages et à l'alternance incessante des marées.

On distingue plusieurs types de sédiments en fonction de la dynamique des eaux. Dans les eaux profondes, l'état calme favorise la sédimentation d'éléments organiques.

⇒ Le talus continental:

C'est une formation géologique à pente raide (5° environ). Il est caractérisé par des glissements de terrains dans sa partie supérieure, ce qui mobilise une grande masse de sédiments aboutissant à la formation de courant de turbidité. Ces sédiments sont appelés des turbidites. Ils finissent par se déposer sous l'effet de la gravité.

⇒ Les grands fonds marins:

C'est à ce niveau qu'a lieu la sédimentation détritique fins venant du talus auxquels s'ajoutent les particules fines tombant de la surface (débris planctoniques, poussières volcaniques, dépôt de boues calcaires ou argileuses).

Le plancton constitue l'ensemble des microorganismes qui vivent à la surface des océans. Une grande proportion de ces microorganismes possède un squelette minéralisé, soit en carbonate de

calcium (CaCO₃), comme par exemple les foraminifères, soit en silice (SiO₂), comme les diatomées et les radiolaires.

Le carbonate de calcium est dissous en profondeur; il n'y a plus de carbonate dans les mers actuelles au delà de 5400 m de profondeur. Les tests calcaires de foraminifères issus du plancton sont dissous et ne laissent plus de trace dans le sédiment. La profondeur de compensation des carbonates (Carbonate Compensation Depth ou CCD) varie selon les mers actuelles, à plus forte raison pour les mers anciennes. Néanmoins on peut toujours affirmer qu'un sédiment carbonaté ne s'est pas formé à grande profondeur: c'est le cas de la craie constituée de test calcaires de micro-organismes planctoniques.

IV – Les conditions de sédimentation dans un milieu de sédimentation ancien (Cas du bassin des phosphates au Maroc):

a) Répartition spatiale et temporelle des gisements de phosphate au Maroc: Voir doc 17

Document 17 : Répartition des gisements de phosphate au Maroc:

Le Maroc contient 75% des réserves mondiales en phosphates. Il dispose de plusieurs gisements (Figure 1):

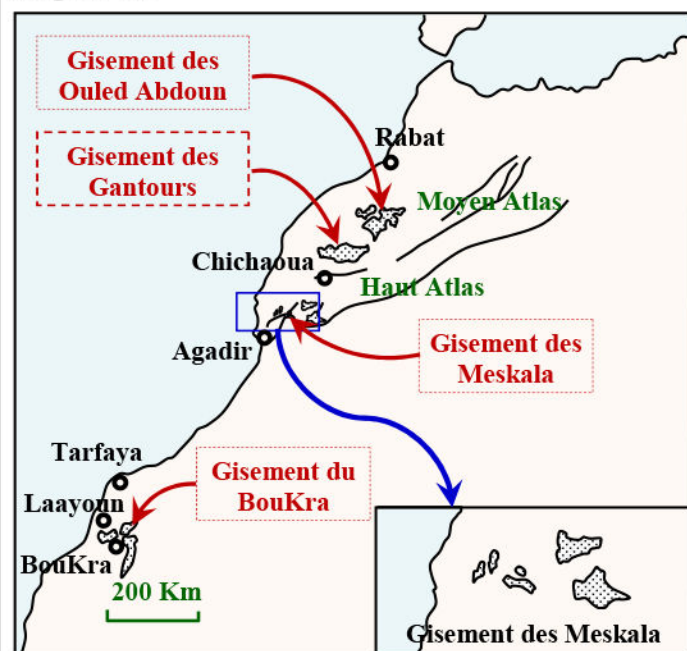


Figure 1 : Répartition géographique des principaux bassins phosphatés marocains

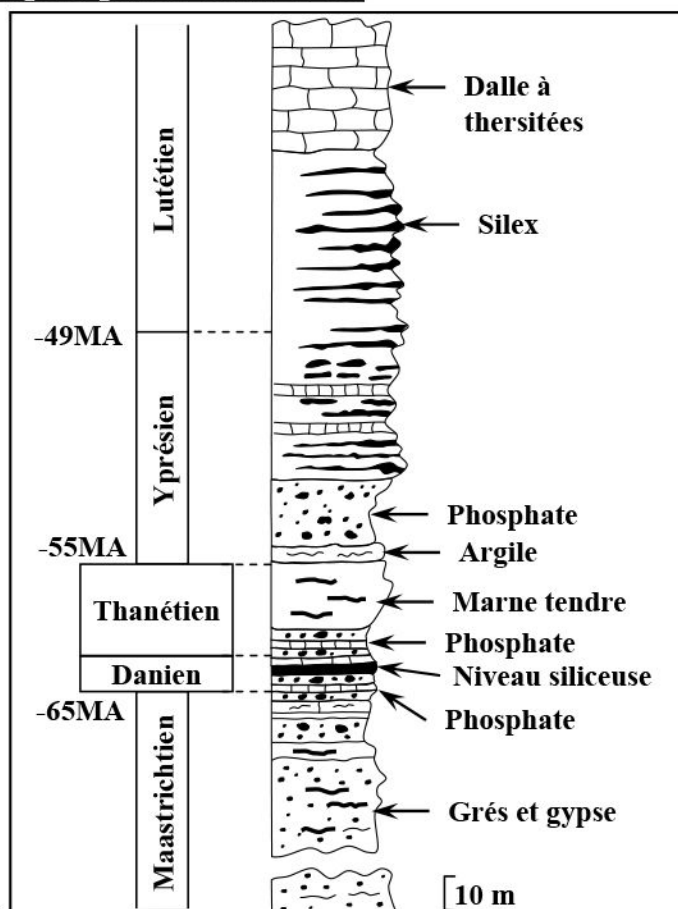


Figure 2 : Colonne stratigraphique typique des formations phosphatées (Khouribga)

- ✓ Bassin d'Ouled Abdoun: à Khouribga. C'est le plus important (9000 Km²).
- ✓ Bassin de Gantour, près de youssoufia;
- ✓ Bassin de Meskala: à l'ouest de Marrakech;
- ✓ Bassin d'Oued Eddahab: Au sud dans la région du BouKraa (sud de laayoun).

Au Maroc les phosphates se trouvent à une profondeur de 100 à 160 m et sous différentes formes (Sable phosphaté; Silex phosphaté et calcaire phosphaté).

La série phosphatée d'Ouled Abdoun (Figure 2), débute du Maastrichtien par des dépôts phosphatés marneux et se termine au Lutétien par une dalle à thersités (Gastéropodes).

A partir de l'analyse des données de ce document, dégager les caractéristiques des faciès phosphatiques (Ensemble des caractères lithologiques ou paléontologiques d'une roche qui témoignent de l'environnement de sa formation).

Au Maroc les gisements de phosphates existent dans plusieurs bassins (Ouled Abdoun à Khouribga, Gantour à Youssoufia, Meskala à l'ouest de Marrakech, Oued Eddahab au Sahara)

Les roches de phosphate se déposent en couches horizontales de faible épaisseur, généralement en alternance avec des couches siliceuses, argileuses, marneuses et calcaires.

L'épaisseur des série phosphatée varie géographiquement d'un gisement à l'autre, et chronologiquement aussi, d'un étage stratigraphique à l'autre. La genèse des bassins de phosphate marocain s'étale du Maastrichtien (La fin du Crétacé) au Lutétien (Début du Tertiaire) durant une période de 15 million d'années.

b) Nature et composition des roches phosphatées marocaines:

(Voir le document 18)

Document 18: Nature et composition des roches phosphatées marocaines:

La roche de phosphate a l'aspect d'un sable fin, assez compact. Elle forme des couches horizontales de faible épaisseur. On distingue entre trois types de faciès: le phosphate sableux, le calcaire phosphatique et le silex phosphatique. Les roches de phosphate sont caractérisées par la diversité de leurs composés minéralogiques et paléontologiques.



Figure 1 : Sable phosphaté dans une carrière

Composants	Pourcentage
Phosphate tricalcique	75 %
Carbonate de calcium	8.5 %
Fluorure de calcium	6.5 %
Sulfates de chaux	3 %
Eau combinée et matières organiques	2.5 %
Matières siliceuses	2 %
Oxyde de fer et d'alumine	0.5 %
Sels alcalins et magnésiens	2 %
Uranium	Traces

Figure 2 : principaux composants chimiques des roches de phosphate du gisement d'Ouled Abdoun



Humérus (Reptile) Maastrichtien
Hauteur : 240mm



Enchodus (Genre de poisson préhistorique) Maastrichtien
Longueur : 100 mm ; Hauteur dent : 15mm



Nebrius (Requin) Yprésien
Hauteur : 10mm

Figure 3 : Quelques fossiles du gisement de phosphate d'Ouled Abdoun

En se basant sur les données de ce document, déterminer les différentes formes de roches phosphatées et leurs composition minéralogiques et paléontologiques.

Au Maroc les gisements de phosphate existent dans plusieurs bassins, et se caractérisent par leur richesse en fossiles littoral et pélagique. On distingue trois types de faciès:

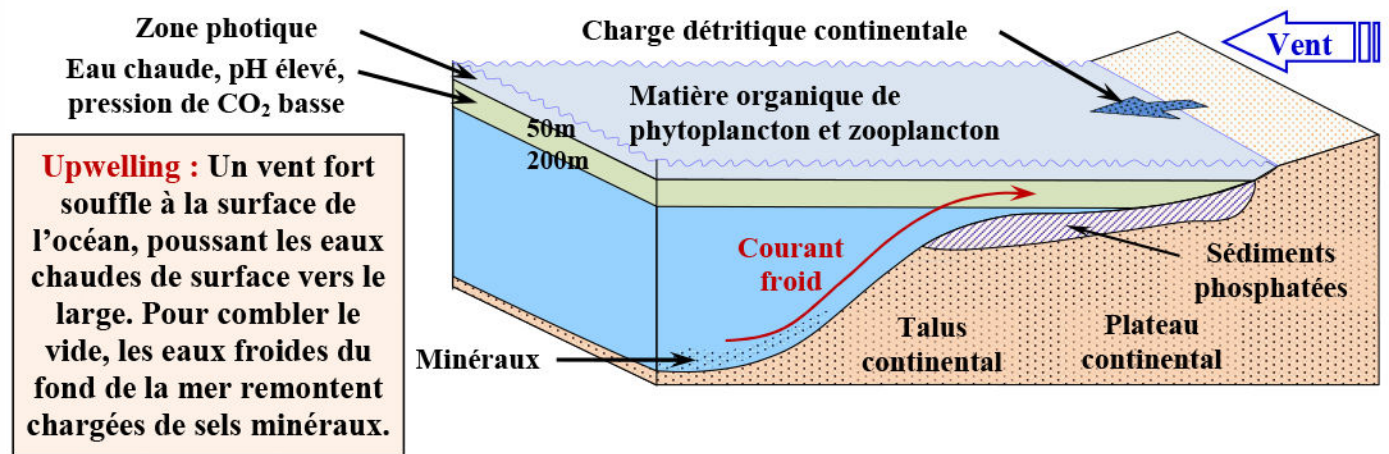
- ✓ Sable phosphatés : formé par des grains fins de formes variées comme la glauconie (Silicate de fer hydraté) et contenant des foraminifères phosphatés (Protozoaires marins), des oolithes phosphatés.
- ✓ Silex phosphaté : contenant un faible taux de phosphate et caractérisé par des couleurs très variées.
- ✓ Calcaire phosphaté : présents dans tous les gisements sous forme d'une roche compacte constituée de calcaire a ciment phosphaté.

c) Conditions de sédimentation des roches phosphatées: (document 19)

Document 19: Conditions de sédimentation des roches phosphatées:

Pour expliquer la formation des phosphates, plusieurs théories ont été émises:

- 1) Théories minérales (1952): les phosphates sont le résultat de précipitation des composés phosphatés directement de l'eau de mer.
- 2) Théories biolithiques (1936): l'accumulation des phosphates est le fait d'êtres vivants par fixation du phosphore dans les squelettes des vertébrés ou par les algues.
- 3) Théories de Kasakov (1937): (Voir figure ci-dessous) la teneur en P_2O_5 de l'eau de mer augmente avec la profondeur, le minimum se trouve dans la zone de photosynthèse (Zone photique) où le phosphore est consommé et le maximum se trouve vers 500m. selon cette théorie, le phosphore précipiterait chimiquement sur les bords du plateau continental, après y avoir été amené par des courants froids ascendants (Upwelling). Avec échauffement des eaux, il y a augmentation du pH et diminution de la pression partielle de CO_2 , ce qui amène à une précipitation de $CaCO_3$ puis de phosphates.



A partir de l'analyse des données de ce document, déterminer les conditions de formation des roches phosphatées au Maroc.

- ★ La sédimentation chimique des phosphates ne peut se produire dans les régions profondes, là où la pression partielle du CO_2 est trop élevée, ni dans la zone de photosynthèse où le phosphore est consommé. C'est donc entre 50 et 200m environ que la phosphorite précipitera. Pour cela il faut une communication facile avec la mer ouverte et des courants ascendants.
- ★ Les idées sur l'origine des phosphates ont fait un grand progrès avec la théorie de russe Kasakov (1937).

Le phosphate qui précipitait chimiquement sur les bords du plateau continental, après y avoir été amené par des courants froids ascendants (Upwelling). Avec échauffement des eaux, il y a augmentation du pH et diminution de la pression partielle en CO_2 , ce qui amène une précipitation du CaCO_3 , puis des phosphates.

d) Reconstitution de la paléogéographie de bassins de phosphate Marocains: (doc 20)

Document 20: Reconstitution de la paléogéographie de bassins de phosphate Marocains:

Pour expliquer la genèse des phosphates au Maroc, plusieurs théories ont été présentées, nous citons les deux plus connues:

- La théorie d'une transgression au centre et à l'ouest du Maroc d'une mer épicontinentale formant un plateau continental qui conditionne la phosphatogenèse et avec des endroits à fond surélevés où il y a absence de ces conditions (Herbig 1986 et Trappe 1989).
- La théorie du bassin fermé en communication restreinte avec la haute mer (Boujo, 1976), ce modèle propose un système de golfs et prévoit que le phosphore et les autres minéraux des eaux froides profondes, nécessaires à la formation des phosphates, seront distribués par l'intermédiaire des courants de distribution dans des cuvettes peu profondes protégées des courants forts venus du large.

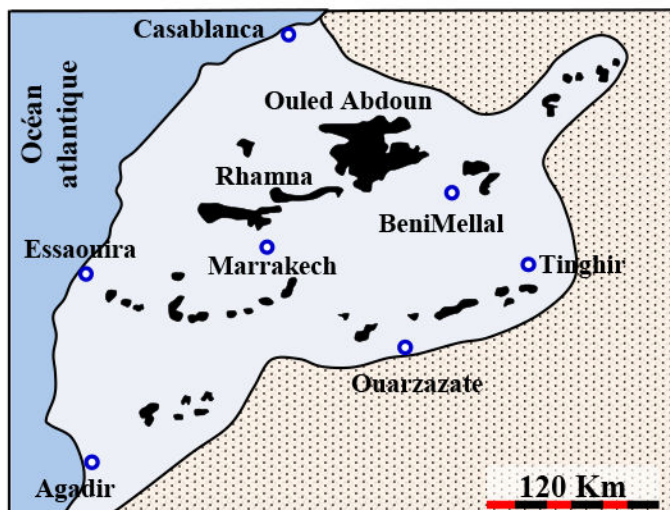


Figure 1: Modèle d'une mer épicontinentale (Modèle de Trappe 1989)

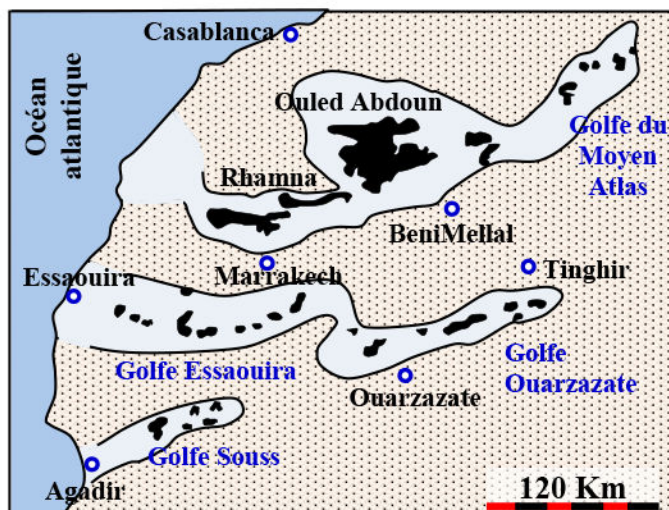


Figure 2: Le modèle des bassins fermés (Golfs) (Boujo 1976)

En exploitant les données de ce document, discuter la reconstitution de la paléogéographie de bassins de phosphate Marocains.

Les bassins de phosphate sont un exemple d'anciens bassins sédimentaires. L'analyse de leurs structures et de leurs constituants fournit des informations sur les conditions et les caractéristiques des bassins sédimentaires anciens.

En comparant la géographie actuelle du Maroc aux conditions de sédimentation des roches phosphatées, on a constaté que le littoral était plus à l'est. Il existe deux tendances qui peuvent être prises en considération pour reconstituer la géographie ancienne du Maroc central:

- ✓ Modèle de trappe qui suppose l'existence d'une mer épicontinentale au milieu et à l'Ouest du Maroc, communiquant avec l'océan atlantique. C'est un golf peu profond, très allongé, entouré d'un environnement terrestre à relief fort évolué. Ce golf présentait des seuils et des irrégularités (hauts fonds, rides) qui conditionnaient la sédimentation.

- ✓ Modèle de boujo qui suppose l'existence de golfes de faible profondeur provenant de l'atlantique, séparés par des terrains émergés. Ces golfes vont constituer des zones dans lesquelles la sédimentation phosphatée va s'installer.

INTRODUCTION:

L'étude de la succession des formations rocheuses d'une région permet de reconstituer les événements géologiques qui se sont succédé dans cette région.

On appelle stratigraphie l'étude de la succession des couches sédimentaires (Strates).

La stratigraphie repose sur des principes de base appelés principes stratigraphiques.

- Quelles méthodes et principes utilisent les géologues pour déterminer l'âge relatif des événements géologiques?
- Comment peut-on exploiter ces principes dans la reconstitution de l'histoire géologique d'une région?
- Quels sont les bases de la réalisation de la carte et de la coupe géologique ?

I – Les principes stratigraphiques et la datation relative des formations géologiques:

① Principe de superposition: (Voir le document 1)

Document 1: Principe de superposition:

Les roches sédimentaires ont tendance à se former en couches plus ou moins horizontales. Elles se forment en effet à partir du dépôt de sédiments. Ces derniers se déposent toujours sur des structures déjà en place, formant éventuellement de nouvelles couches qu'on appelle strates.

Figure 1: Couches sédimentaires horizontales non déformées



Figure 2: Modèle explicatif simple

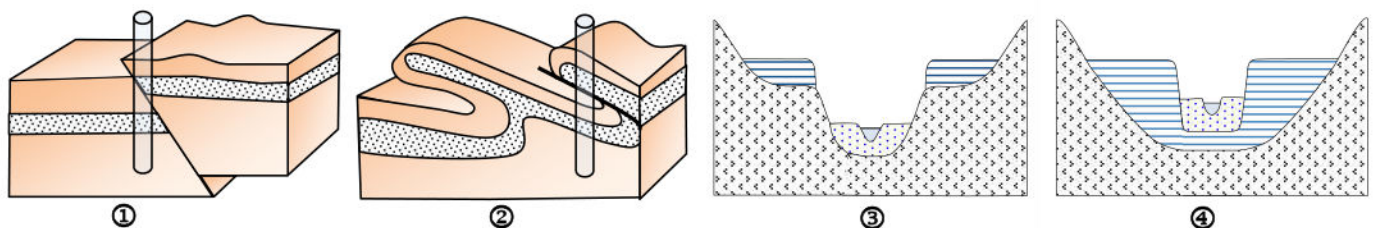
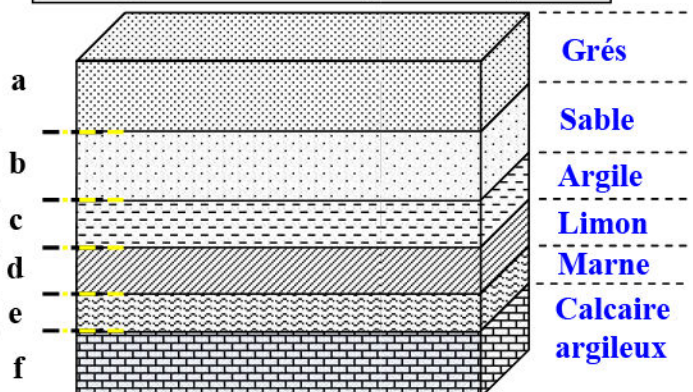


Figure 3: ①= Faille inverse ; ②= Pli couché ; ③ et ④ = Terrasses fluviales

En exploitant les données de la figure 1, 2 et 3:

- 1) Définir la strate, la stratification et la stratigraphie.
- 2) Classez les couches (a, b, ..., f) de la plus ancienne à la plus récente sachant qu'elles représentent des couches non déformées, puis énoncez le principe de superposition.
- 3) Déterminez les limites d'application du principe de superposition.

1) D'après les données de la figure 1 et 2, on peut donner les définitions suivantes:

- ★ Une strate est un ensemble sédimentaire ou volcanique délimité par deux surfaces plus ou moins parallèles, la base que l'on nomme « plancher, mur ou lit » et le sommet, que l'on nomme « toit ».
La strate exprime le non rupture de la sédimentation ou le changement des constituants de cette roche de telle sorte qu'il est facile de la distinguer des autres roches avoisinantes.
- ★ En géologie, une stratification indique un empilage, une superposition de roches sédimentaires. On nomme chacune des couches de roches (souvent de couleurs visiblement différentes) des strates. Chacune des strates est séparée par un plan de stratification «S₀».
- ★ La stratigraphie est une discipline des sciences de la Terre qui étudie la succession des formations rocheuses d'une région, ce qui permet d'établir une chronologie relative des événements géologiques qui se sont succédés dans cette région.

2) L'ordre chronologique des couches (a, b, ..., f) de la plus ancienne à la plus récente: f → e → d → c → b → a

Enoncé du principe de superposition : **La strate supérieure (Située en haut) dans une série sédimentaire, est considérée plus récente par rapport à la couche située en dessous, et plus ancienne que celle située en dessus (Celle qui la couvre).**

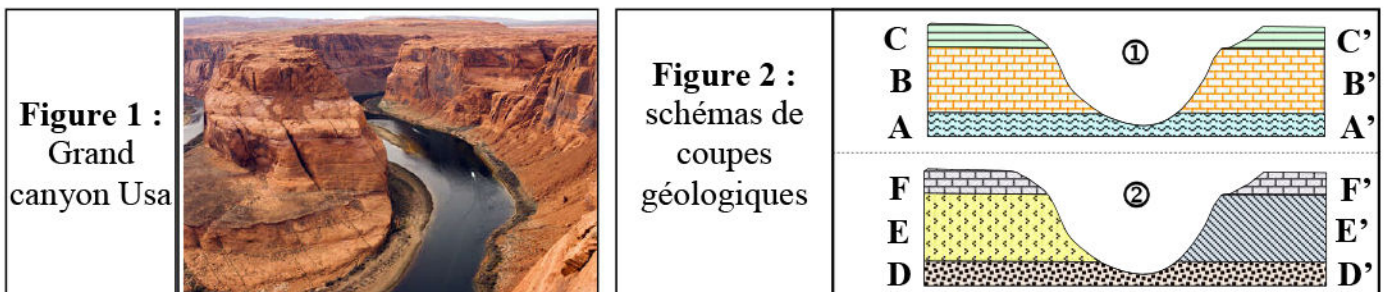
3) Les limites d'application du principe de superposition:

La lithosphère est en perpétuel dynamique, ce qui fait que les strates de roches, qui la constituent, subissent des déformations, et par conséquent un remaniement de l'ordre de dépôt de ces couches. Ce qui induit une exception au principe.

- ★ Les déformations tectoniques antérieures peuvent renverser les séries, comme le cas des failles, des plis et des chevauchements.
- ★ Au niveau du dépôt de terrasses alluviales, c'est la couche centrale, et souvent la plus basse, qui est la plus jeune: le lit du fleuve est plus récent que ses berges.

② Principe de continuité: (Voir le document 2)

Document 2: Principe de continuité:



Une couche sédimentaire est de même âge en tous ses points.

A partir de l'exploitation des données de la figure 1 et la figure 2 :

- 1) Est ce que les strates A, B et C ont le même âge que les strates A', B' et C'?
- 2) Déterminez l'âge relatif des couches E et E'. justifiez votre réponse.
- 3) Formulez le principe de continuité et déterminez les limites de son application.

- 1) Sur ce schéma se superposent les couches : A, B et C ainsi que les couches : A', B' et C'. La couche A est la continuité de la couches A', elles ont donc le même âge.
Les couches B et C, ont respectivement la même nature pétrographique que les couches B' et C'.
Donc B a le même âge que B', et C a le même âge que C'.

- 2) Les roches constituant les formations notées E et E' sont de natures différentes. Elles ont été formées dans des conditions géographiques ou climatiques différentes. Les roches E et E' sont toutes les deux intercalées entre les couches D, D' et F, F' (couches repères). Les roches E et E' forment donc une même couche et ont le même âge.
- 3) Le principe de continuité: **L'âge d'une strate, à faciès déterminé, est le même sur toute la distance de son extension (Une couche sédimentaire est de même âge en tous ses points).**

Les limites d'application du principe de continuité :

- ★ L'application du principe de continuité est limitée à de courtes distances ne dépassant pas une dizaine de kilomètre.
- ★ L'application du principe devient difficile si les sédiments se succèdent à des couches de roches semblables.

③ Principe de recoupement et d'inclusion: (Voir le document 3)

Document 3: Principe de recoupement et d'inclusion:

On cherche à établir la chronologie des événements géologiques ayant eu lieu dans une région donnée.

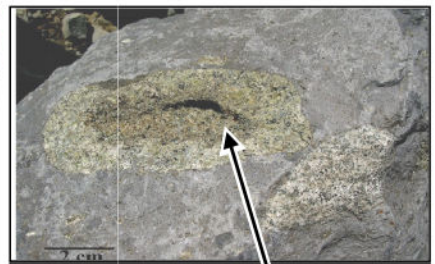
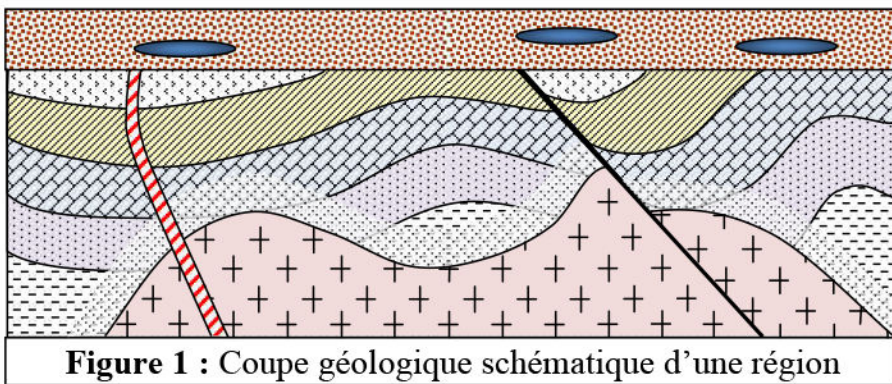


Figure 2 : Enclave du socle granitique dans une coulée de basalte

	Marne		Marne bleue		Calcaire lacustre		Calcaire et dolomite
	Argile		Grès		Granite		Filon
	Zone de métamorphisme de contact		Inclusion (galet)		Faille		

A partir des données de ce document :

- 1) Retracer les différentes étapes qui ont abouti à l'obtention de la coupe géologique de la figure 1.
- 2) Énoncez le principe de recoupement et d'inclusion.

1) La chronologie des événements géologiques qui ont abouti à l'obtention de la coupe géologique de la figure 1 :

- ★ Selon le principe de superposition, la marne est la couche la plus ancienne, et le grès, la couche la plus récente. Donc il y a eu en premier, dépôt de la série sédimentaire formée de Marne, Marne bleu, Calcaire lacustre, calcaire et dolomite puis l'argile.
- ★ La région est soumise à une compression qui va produire un plissement des terrains. L'argile est la dernière strate plissée. On peut donc affirmer que la phase de plissement s'est déroulée postérieurement à la formation des dépôts que l'argile recouvre.

- ★ La série sédimentaire étant métamorphisée autour d'un pluton granitique, on en déduit que ce pluton est post sédimentaire. Ce pluton n'étant pas plissé, il est donc post-compression.
- ★ On constate que la faille recoupe les terrains de la série sédimentaire, ainsi que le pluton granitique. On peut donc dire que la faille est postérieure à toutes ces formations géologiques.
- ★ Le filon n'est pas déformé, il est donc postérieur au pluton granitique.
- ★ Une surface d'érosion limite les strates de la série sédimentaire précédente. On constate que le grès recouvre cette surface d'érosion, et il n'est pas touché par le plissement ni par la faille. on peut donc penser que cette surface s'est mise en place antérieurement au dépôt de grès. Ce dernier s'est déposé postérieurement.
- ★ Le grès renferme des inclusions (Galets) de roches avoisinantes qui lui sont antérieur.

2) Enoncé du principe de recoupement et d'inclusion :

Toute déformation ou formation de roche recoupant (Traversant) des sédiments la précédant, ou s'introduisant en son sein, est considérée plus récente que ces sédiments.








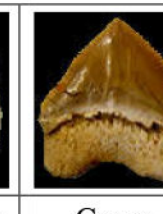
④ Principe d'identité paléontologique: (Voir document 4 et 5)

Document 4: Principe d'identité paléontologique:

Le tableau ci-dessous présente la répartition stratigraphique de quelques fossiles retrouvés dans les couches de phosphates d'Ouled Abdoun.

A partir de l'analyse des données de ce document :

- 1) Déterminez les caractéristiques des fossiles stratigraphiques et déduire leur importance dans la datation relative des strates.
- 2) Enoncez le principe d'identité paléontologique.

				
Odontaspis	Lamna-asc	Lamna-bia	Rhombodus	Enchodus
				
Ostrea	Pseudaspi..	Mosasaurus	Corax	

Quelques fossiles retrouvés dans les couches de phosphates d'Ouled Abdoun	Répartition stratigraphique							
	Crétacé				Eocène			
	Cénomannien	Turonien	Sénonien	Maastrichtien	Montien	Thanétien	Yprésien	Lutétien
Odontaspis substriata					+	+	+	
Lamna aschersoni						+	+	
Lamna biauriculata				+				
Rhombodus binkhorsti				+				
Enchodus libycus				+				
Corax pristodontus				+				
Ostrea canaliculata					+			
Pseudaspidoceras		+	+	+				
Mosasaurus leidon			+					

1) Caractéristiques des fossiles stratigraphiques et leur importance dans la datation relative des strates :

- ★ Les roches sédimentaires renferment, souvent, des fossiles qui renseignent sur les conditions, les milieux de sédimentation et leur âge relatif. Ces fossiles sont les restes ou les empreintes d'êtres vivants, morts au moment de la formation des roches sédimentaires.
- ★ On constate que les couches de phosphate d'Ouled Abdoun, contiennent un certain nombre de formes de fossiles, notamment des dents de requin. Certains de ces fossiles n'existent qu'à un niveau unique de la série stratigraphique, comme par exemple : *Lamna biauriculata*, *Rhombodus binkhorsti*, *Enchodus libycus*, *Corax pristodontus*, *Ostrea canaliculata* et *Mosasaurus leidon*. Cela s'explique par le fait que certains organismes ont eu une durée d'existence relativement brève au cours des temps géologiques. Ce sont donc de bons marqueurs temporels. On les appelle fossiles stratigraphiques.
- ★ Le fossile stratigraphique est un fossile caractéristique d'une époque géologique délimitée dans le temps, et qui a une forte extension géographique. il permet de dater aisément les couches dans laquelle il se trouve.

2) Enoncé du principe d'identité paléontologique : **Les formations sédimentaires, qui renferment un même bon fossile stratigraphique, sont considérées de même âge.**

Document 5: fossile de faciès et fossile stratigraphique:

Les récifs coralliens (Figure 1), sont des structures naturelles édifiées par des animaux marins (les coraux) apparus dans les régions tropicales et vivent encore dans les mers peu profondes, avec des eaux chaudes et riches (Entre le parallèle 30° nord et 30° sud).

Les ammonites (Figure 2), sont des mollusques marins exclusivement fossiles ayant vécu dans les mers épicontinentales du jurassique au crétacé.

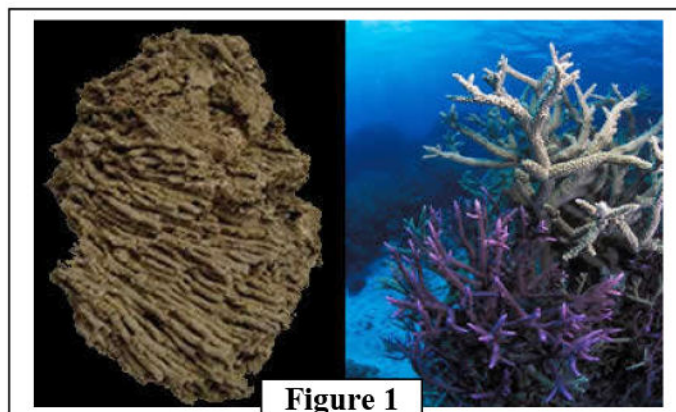


Figure 1

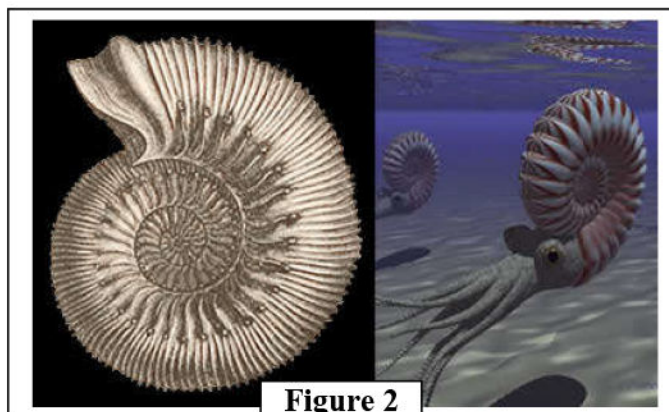


Figure 2

- 1) Comparez ces deux types de fossiles, et enlevez des arguments permettant d'affirmer que seules les ammonites constituent un excellent fossile stratigraphique permettant une datation relative des couches sédimentaires éloignées.
- 2) Déterminer l'importance des fossiles stratigraphiques dans l'établissement de l'échelle stratigraphique.

- 1) ★ Les récifs coralliens ont une distribution locale bien limitée, étroitement liée aux conditions physiques, chimiques et biologiques de l'environnement. On dit que les récifs coralliens ont une extension géographique étroite (Extension horizontale) et une extension verticale vaste (n'est pas limitée dans le temps). Ces fossiles nous donnent des informations sur l'environnement du milieu de sédimentation. On les appelle des fossiles de faciès.

★ Les ammonites sont caractéristiques d'une époque géologique délimitée dans le temps. La présence de ces fossiles dans une roche sédimentaire quelque soit sa localisation géographique indique qu'elle s'est formée à cette époque. Les ammonites permettent donc de dater les couches sédimentaires d'où elles sont issues. On les appelle donc des fossiles stratigraphiques.

2) Les différentes couches sédimentaires ne possèdent pas les mêmes fossiles et on a pu ainsi associer un âge relatif à chaque couche possédant une association de fossiles définie. On a ainsi construit l'échelle stratigraphique internationale des temps géologiques.

Remarque : Les limites d'application du principe d'identité paléontologique :

- ★ L'absence ou le non conservation des fossiles.
- ★ Fossiles n'ayant pas gardé leur position d'origine (Erodés ou déplacés).
- ★ Certains fossiles ne sont ni exclusivement continentaux, ni marins, ce qui rend la corrélation plus délicate.

II – La construction de l'échelle stratigraphique:

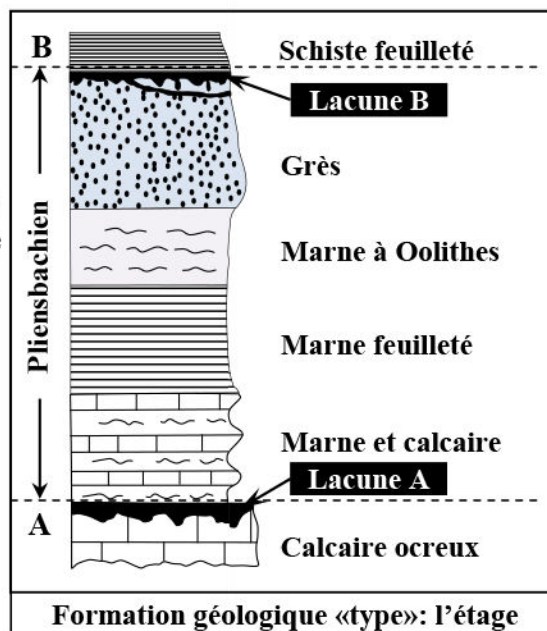
① La notion d'étage et de stratotype: (Voir le document 6)

Document 6: Notion d'étage et de stratotype:

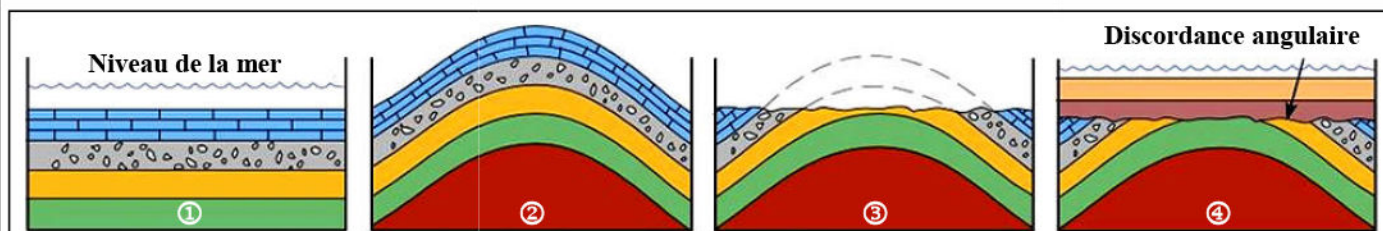
La limite A qui surplombe le calcaire ocreux, est formée d'enduit ferrugineux à nodules phosphatés, contenant des fossiles d'âges variés caractéristiques des couches rocheuses absentes dans la série sédimentaire, ce qui indique l'absence de sédimentation qui est due aux vagues et courants marins très forts. Cette limite s'appelle : lacune stratigraphique.

Dans la limite B on trouve des grès sableux et du fer Oolitique qui caractérisent des faciès marins peu profond, ce qui annonce une régression marine, cause de la lacune stratigraphique B.

A et B limitent un stratotype (Exemple : Stratotype Pliensbachien) se rapportant à la région de Pliensbach en Allemagne.



La figure ci-dessous représente un modèle explicatif de lacunes stratigraphiques.



En exploitant les données de ce document:

- 1) Identifiez les caractéristiques des limites du stratotype Pliensbachien.
- 2) Définissez la lacune stratigraphique, le stratotype et l'étage.
- 3) Montrez l'importance de la lacune stratigraphique dans la délimitation d'un stratotype.

1) Le Pliensbachien est un ensemble de couches sédimentaires marines constituées de marnes alternées par des bancs de calcaire. Ce stratotype est délimité par des intervalles de non dépôt (interruption de sédimentation), appelées lacunes stratigraphiques.

2) Définitions:

✓ La lacune stratigraphique:

Lorsqu'il n'y a pas de continuité chronologique entre deux couches sédimentaire, on parle de lacune. Il y a deux types de lacunes:

– Lacune d'érosion: l'érosion a enlevé des couches, puis la sédimentation a repris en laissant la lacune.

– Lacune de sédimentation: pendant la période correspondant à la durée de la lacune, la sédimentation s'est interrompue.

Lorsqu'il y a interruption de la sédimentation, suivie d'une déformation (failles ou plissement) et d'une érosion, puis sédimentation, il y a discordance entre les couches anciennes déformées et celles récentes, horizontales. On parle dans ce cas de discordance angulaire.

✓ Le stratotype:

C'est un ensemble de couches sédimentaires caractérisé par son contenu lithologique et paléontologique spécifique, choisie dans une série sédimentaire d'origine marine et fossilifère, délimitée par des lacunes stratigraphiques. Cette coupe représente un intervalle de temps précis.

✓ L'étage :

L'étage est une unité chronostratigraphique dont la valeur est universelle. Il est défini à partir d'une coupe de référence: le stratotype.

L'étage est donc une unité de temps qui correspond à un âge géologique. Il prend le nom du lieu géographique où le stratotype a été identifié pour la première fois en ajoutant le suffixe «ien» (Ex : Pliensbachien). Généralement un étage représente une durée de temps comprise entre 2 et 10 millions d'années.

3) Les lacunes stratigraphiques, facilitent le découpage stratigraphique d'une série, elles ont été mises en profit pour placer des coupures dans l'histoire géologique des bassins étudiés et par extension, dans l'histoire de la terre : limites d'étages.

② La notion du cycle sédimentaire: (Voir document 7)

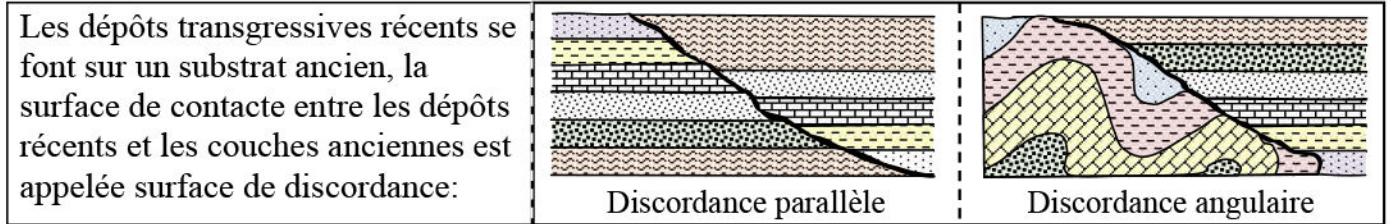
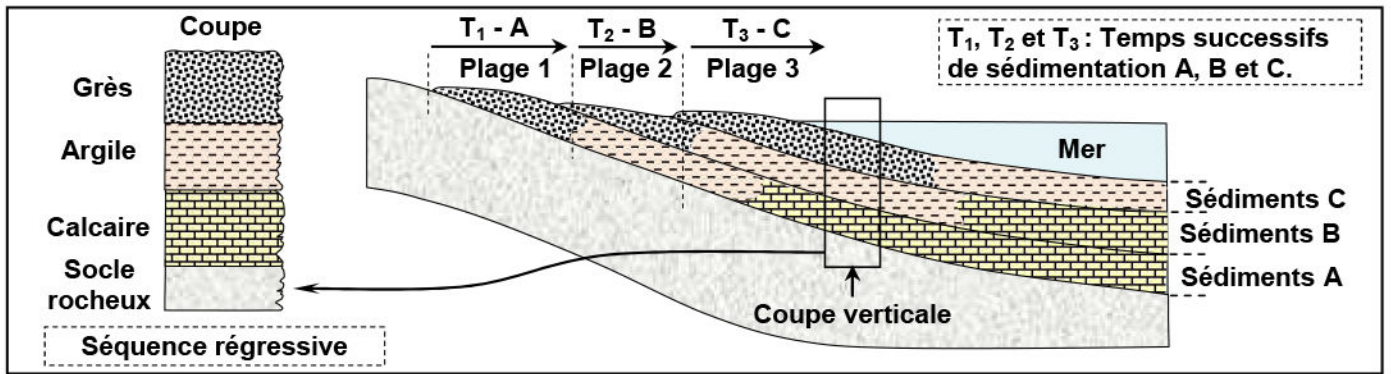
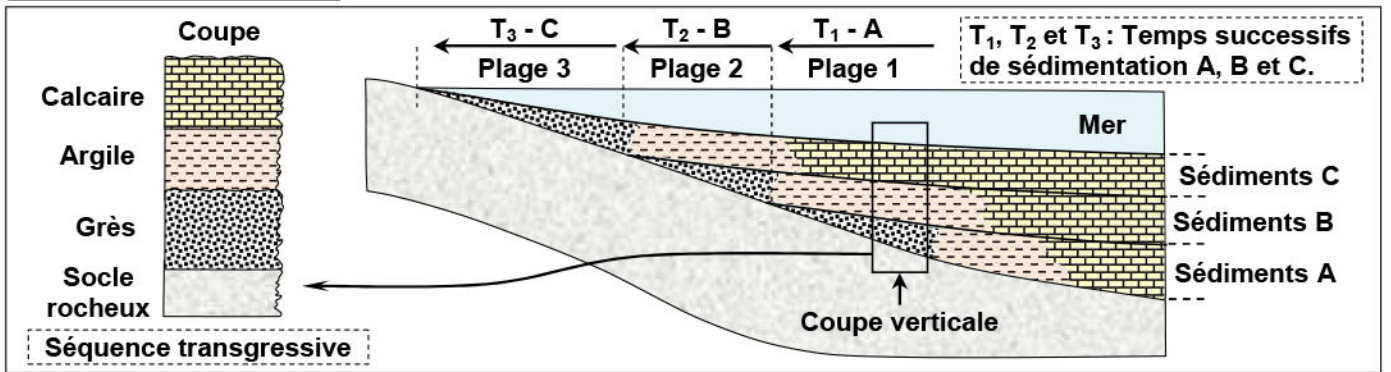
Document 7: La notion du cycle sédimentaire:

Le plateau continental est le lieu où les éléments détritiques, apportés par les fleuves ou par le vent, se déposent par gravité: les plus gros se déposent près du rivage, les plus fins sont transportés plus loin. Il en résulte un granoclassement latéral.

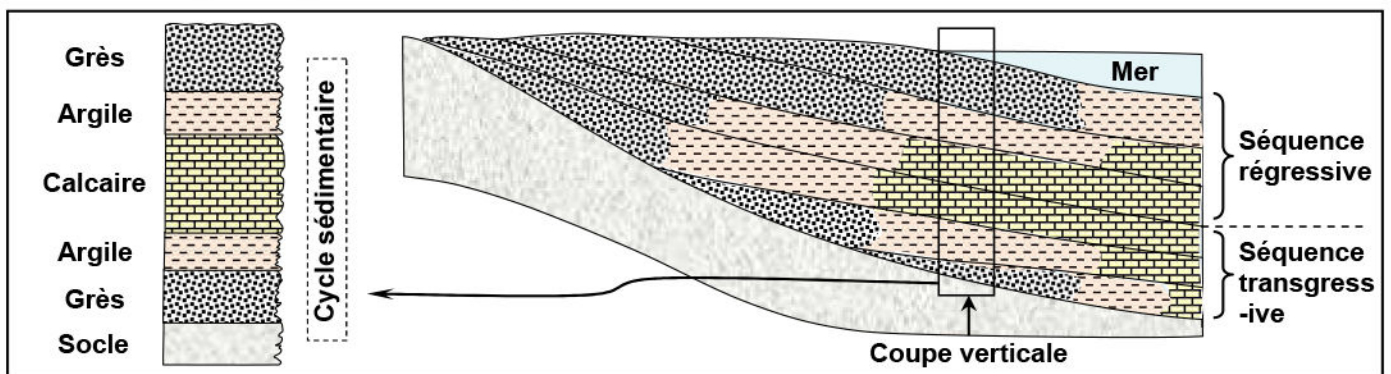
L'extension des différentes roches sédimentaires varie avec les mouvements d'avancée (transgression) ou de recul (régression) de la mer. Donc les roches sédimentaires par leur nature et leur extension enregistrent les variations relatives du niveau de la mer

La séquence verticale des roches (granoclassement vertical) va donc changer selon qu'elle a enregistré une phase transgressive (séquence transgressive ou positive) ou une phase régressive (séquence régressive ou négative) (Voir les figures ci-dessous).

Document 7: (Suite):



Un même bassin peut être envahi à plusieurs reprises par la mer. L'ensemble des phénomènes sédimentaires accomplis entre une transgression et la régression suivante constitue un cycle sédimentaire (Voir figure ci-dessous).



En exploitant les données de ce document, comparez deux séries sédimentaires, l'une transgressive et l'autre régressive, et en déduire les attributs distinctifs de chacune d'elle et la notion de cycle sédimentaire.

⇒ Les caractéristiques des séquences transgressives et les séquences régressives:

★ La transgression:

Quand la mer avance progressivement sur une région continentale elle l'immerge, suite à des mouvements tectoniques (abaissement d'une région ou surélévation des fonds marins), les sédiments se déposent successivement en fonction de l'avancement de la mer, formant une série de dépôt sédimentaire caractéristique (Série transgressive) qui débute par des dépôts grossier (Conglomérat, grès) et s'achève par des dépôts très fins (argile, calcaire).

Les couches transgressives se déposent sur la surface du socle ancien qui a subi l'érosion et qui a une structure différente de la structure de couverture. La limite qui sépare le socle de la couverture s'appelle discordance. On distingue deux types de discordances :

- ✓ Discordance tabulaire ou parallèle: quand les dépôts récents horizontaux se trouvent sur des couches anciennes horizontales non déformées.
- ✓ Discordance angulaire : quand les dépôts récents horizontaux se trouvent sur des couches anciennes déformées.

★ La régression:

Pour des raisons tectoniques telle que la surélévation d'une région continentale ou l'abaissement des fonds marins, les eaux de mer recule progressivement du continent vers le large de l'océan, les sédiments se déposent successivement en fonction du recule de la mer formant une série de dépôt sédimentaire caractéristique (Série régressive) qui débute par des dépôts fins (Calcaire, argile) et s'achève par des dépôts grossiers (Grès, conglomérat). On passe d'un faciès marin à un faciès continentale.

⇒ Le cycle sédimentaire:

★ Définition du cycle sédimentaire:

La succession d'une transgression suivie du dépôt d'une série transgressive et d'une régression précédée du dépôt d'une série régressive constitue un cycle sédimentaire. On appelle aussi cycle sédimentaire l'ensemble des sédiments déposés au cours de cette succession.

③ La notion de biozone: (Voir document 8)

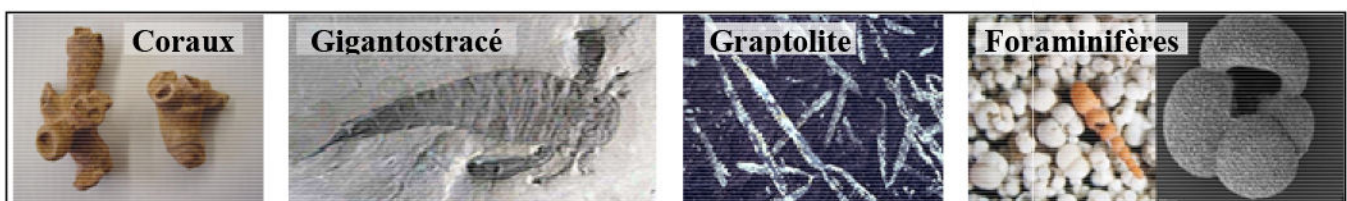
Document 8: La biozone une unité stratigraphique:

★ L'étage, en tant qu'unité stratigraphique, est essentiel dans la mise en place d'une échelle stratigraphique, mais il reste insuffisant. Ce qui a poussé les géologues à établir une unité aussi importante dite biozone. Cette dernière se base sur le contenu paléontologique de la strate étudiée.

★ La biostratigraphie est l'étude de la répartition des espèces dans les strates et donc dans les temps géologiques et qui permet un découpage en biozone (Biozotation).

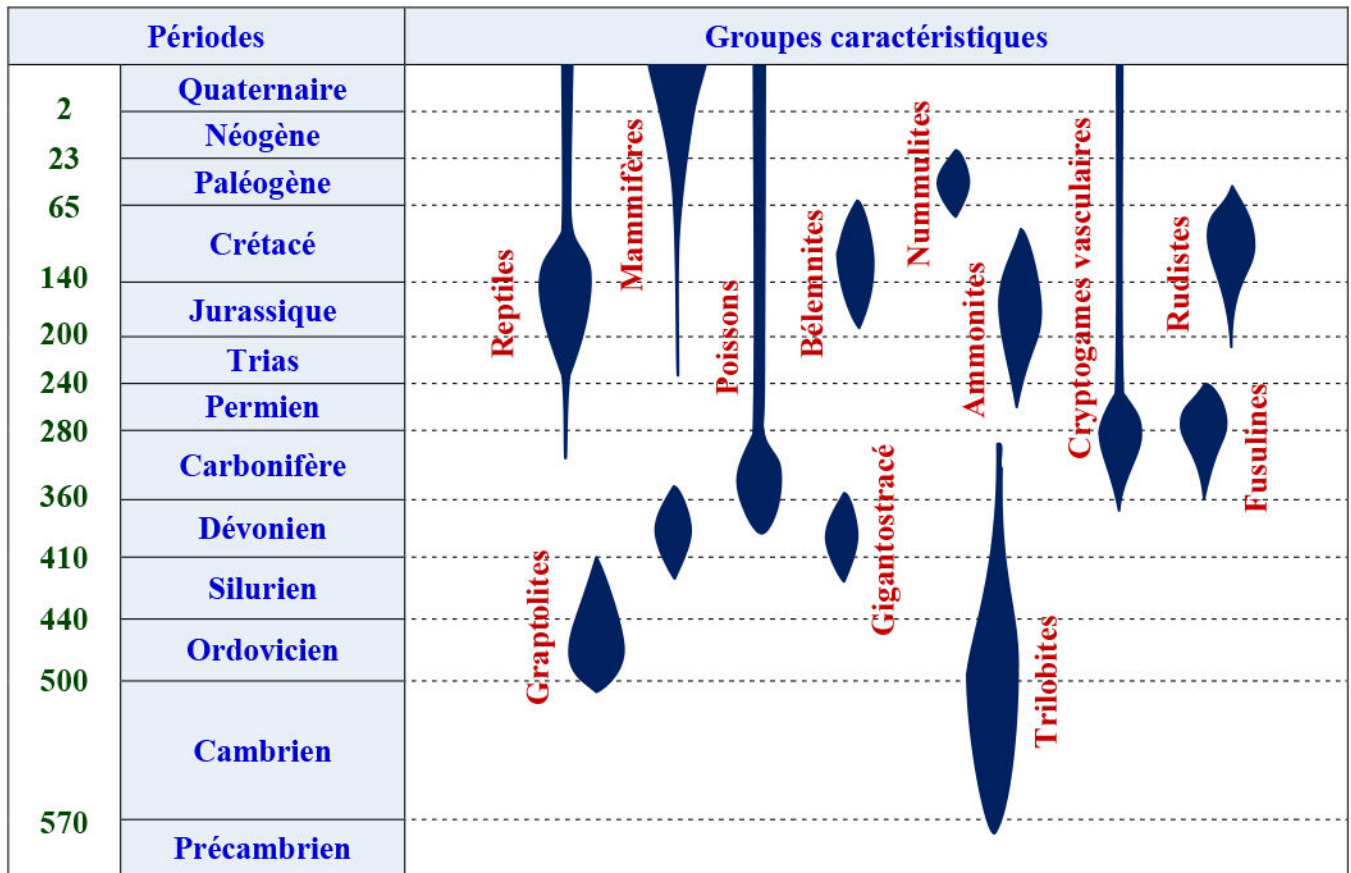
★ Les extinctions massives et simultanées qui touchent des espèces variés sur une large échelle géographique, sont plus rares et sont qualifiés de crises biologiques. Ainsi, à chaque crise correspond une coupure qui permet de délimiter des ères géologiques:

- ✓ Crise de la fin de l'ordovicien : Extinction d'environ le 1/3 de la faune marine en particulier les coraux.
- ✓ Crise de la fin du dévonien : Disparition de 90% des phytoplanctons et de 70% du zooplancton.
- ✓ Crise de la fin du permien : 96% des espèces éteintes. Cette crise a marquée la limite entre l'ère primaire et l'ère secondaire.
- ✓ Crise de la fin du crétacé et début du tertiaire : La disparition des dinosaures et d'autres animaux comme les foraminifères.



Document 8: (Suite):

★ La figure suivante présente l'extension des principaux groupes de fossiles stratigraphiques.



En se basant sur les données de ce document, déterminez la notion de biozone et montrez son importance dans l'établissement de l'échelle stratigraphique.

L'évolution des êtres vivants peut être considérée comme un marqueur irréversible du temps. C'est pourquoi on utilise les fossiles présents dans les couches géologiques afin de définir des unités du temps.

Pour classer les couches géologiques d'un point de vue stratigraphique, on les divise en unités distinguées par des différences dans leur teneur en fossiles.

La biozone est l'unité de base de la biostratigraphie. Elle correspond à l'ensemble des couches successives contenant effectivement une ou plusieurs espèces fossiles.

L'apparition ou la disparition irréversible d'une espèce, constituent des repères chronologiques et permettent ainsi d'établir des coupures dans les temps géologiques.

④ La notion du cycle orogénique:

On appelle cycle orogénique ou cycle tectonique la succession des événements correspondant à la formation puis à la destruction d'une chaîne de montagnes. Un tel cycle comprend en général trois phases :

- ✓ Une sédimentation dans un bassin sédimentaire;
- ✓ Le plissement des sédiments accumulés dans le bassin sédimentaire et formation d'une chaîne de montagnes;
- ✓ L'érosion de la chaîne montagneuse.

Le début de chaque cycle est marqué, à la base des strates qui lui correspondent, par une discordance majeure sur les strates affectées par le cycle précédent. Cette discordance représente du temps géologique et peut-être utilisée dans la construction de l'échelle stratigraphique.

⑤ **La notion de l'ère et de la période:**

L'échelle stratigraphique définit des repères mais il manque la notion de temps. En effet, une couche sédimentaire se dépose avec une certaine vitesse: on définit ainsi le temps de dépôt d'un étage par un âge et plusieurs étages forment une série ou époque (Crétacé inférieur et le Crétacé supérieur). Plusieurs séries forment un système ou période (le Crétacé, le Jurassique). Plusieurs systèmes forment un érathème ou ère.

Les temps géologiques ont été découpés par les géologues en une échelle chronologique. Ainsi, l'histoire des temps fossilifères a été divisée, dès le XIXe siècle, en trois ères: Le primaire, le secondaire, le tertiaire et le quaternaire.

⑥ **L'échelle des temps géologiques:** (Voir document 9)

Document 9: Echelle des temps géologiques (Echelle stratigraphique):

CENOZOÏQUE (Terti + Quater)				PALEOZOÏQUE (Primaire)								
Ere Sys	Série	Etage	Âg e	Ere Sys	Série	Etage	Âg					
CENOZOÏQUE (Terti + Quater)	Quat	Pléistocène \ Holocène	2,58	MEZOZOÏQUE (Secondaire)	PALEOZOÏQUE (Primaire)	Lopingien	252,1					
			254,14									
	Néogène	Pliocène	Piacenzien			3,6	Permien	Wuchiapingien	259,8			
			Zancleén			5,33			Capitanien	265,1		
			Messinien			7,25				Wordien	268,8	
			Tortonien			11,62				Roadien	272,3	
			Serravalien			13,82			Kungurien	283,5		
		Langhien	15,97									
		Paléogène	Miocène			Burdigalien	20,44	Cisuralien	Artinskien	290,1		
						Aquitanién	23,0			Sakmarien	295,0	
						Chattien	28,1			Assélien	298,9	
						Rupélien	33,9			Gzhélien	303,7	
	Priabonien					38,0	Kasimovien			307,0		
	Eocène		Paléocène			Lutétien	41,3	Pennsylvanien	Moscovien	315,2		
						Yprésien	47,8			Bashkirien	323,2	
						Thanétien	56,0			Serpukhovien	330,9	
						Sélandien	59,2				Viséen	346,7
						Danien	66,0			Tournaisien	358,9	
	Maestrichtien	72,1	Famennien			372,2						
	Crétacé	Supérieur	Campanien			83,6	Dévonien	Supérieur	Frasnien	382,7		
			Santonien			86,3			Moyen	Givétien	387,7	
			Coniacien			89,8				Eifélien	393,3	
			Turonien			93,9			Inférieur	Emsien	407,6	
			Cénomanién			100,5				Praguien	410,8	
		Albien	113,0			Lochkovien	419,2					
		Jurassique	Inférieur			Aptien	125,0	Silurien	Pridoli	Ludfordien	423,0	
						Barrémien	129,4			Ludlow	Gorstien	425,6
						Hauterivién	132,9				Homérien	427,4
						Valanginién	139,8			Wenlock	Sheinwoodien	430,5
Berriasién	145,0			Télychien	434,3							
Tithonien	152,1		Aéronien	438,5								
Moyen	Supérieur		Kimméridgien	157,3	OrdoVICIEN	Supérieur	Rhuddanien	440,8				
			Oxfordien	163,5			Hirnatien	443,4				
			Callovién	166,1			Katien	445,2				
			Bathonien	168,3			Sandbien	453,0				
		Bajocién	170,3	Darriwilien			458,4					
Trias	Inférieur	Aalénién	174,1	Cambrien	Séries 3	Dapingien	467,3					
		Toarcién	182,7			Séries 2	Floien	470,0				
		Pliensbachien	187,7				Trémadocién	477,7				
		Sinémurién	190,8				Etage 10	485,4				
		Hettangien	199,3			Furongien	Jiangshanien	489,5				
	Rhétien	201,3	Paibien	494,0								
	Supérieur	Moyen	Norien	208,5	Terreneuvién	Séries 2	Guzhangien	497,0				
			Carnien	227,0			Etage 5	500,5				
			Ladinién	237,0			Etage 4	504,5				
			Anisien	242,0			Etage 3	509,0				
Olenékién			247,2	Etage 2			514,0					
Inférieur	Moyen	Induen	251,2	Protérozoïque	Archéen	521,0						
		252,17	Hadéen			529,0						
						Plusieurs cycles	541,0					
								2500				
								4000				
								4600				

Cycle orogénique alpin

Cycle orogénique hercynien

Cycle orogénique calédonien

Plusieurs cycles

III – La carte géologique: bilan synthétique des études stratigraphiques

① Réalisation de la carte géologique:

a) Rappel: la carte et profil topographique (Voir le document 10)

Document 10: La carte topographique:

La carte topographique est une représentation plane des reliefs de la surface terrestre, permettant de percevoir le relief, déterminer des altitudes et mesurer des pentes.

Les reliefs sont représentés par les courbes de niveau qui sont des lignes imaginaires placées sur la carte, qui joignent tous les points situés à la même altitude. Une courbe de niveau est la ligne d'intersection d'un plan horizontal avec le relief du terrain.

La figure ci-contre montre Principe de construction des courbes de niveaux.

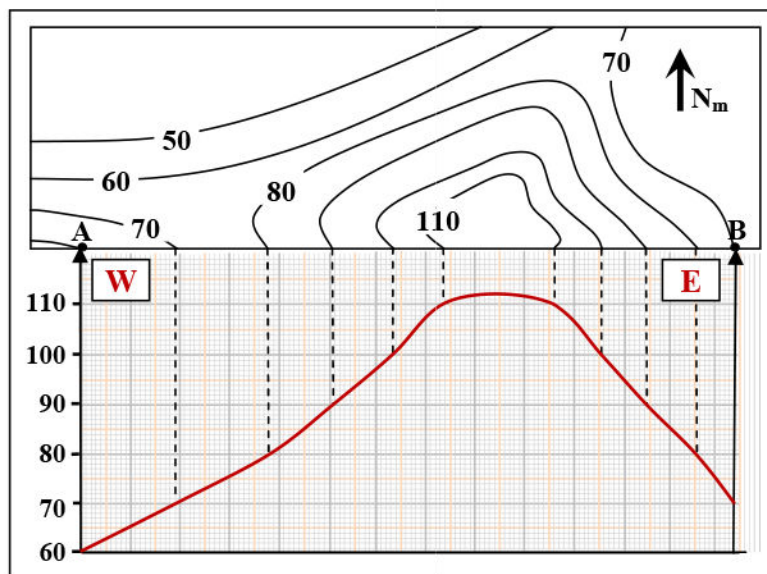
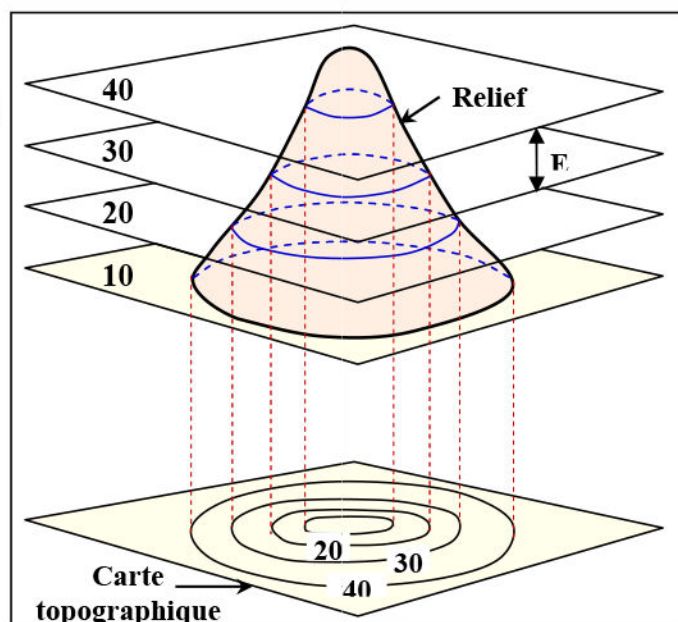
$E = \text{équidistance}$: c'est la distance verticale séparant deux courbes de niveau.

La carte topographique permet de tracer un profil topographique. Il s'agit d'une coupe verticale dans le relief selon un segment tracé sur la carte.

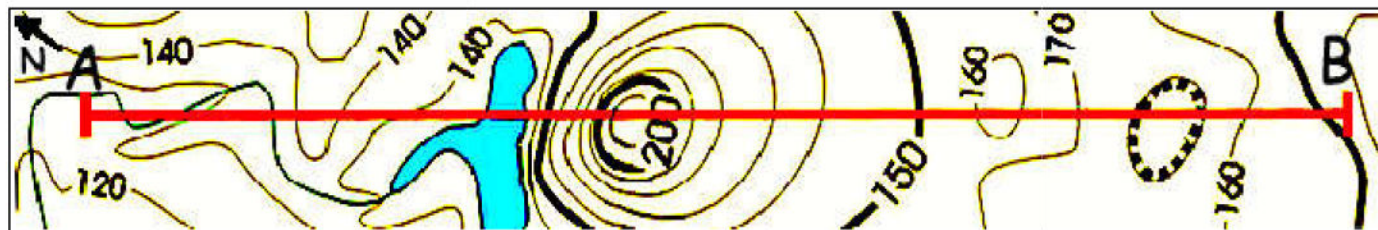
A l'aide des indications données sur la carte topographique ci-contre, reconstitue le relief situé entre A et B.

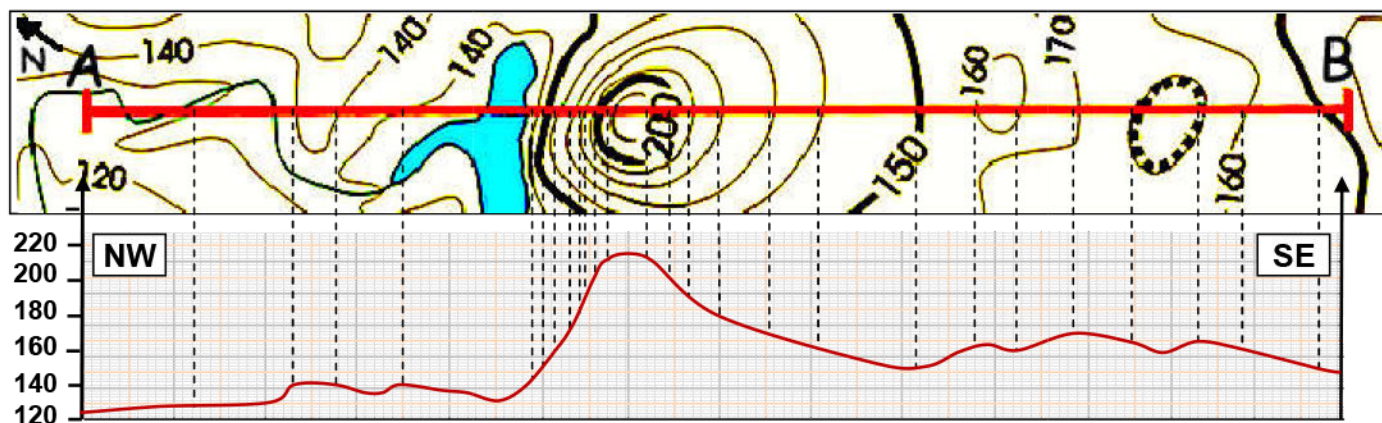
La procédure:

- ✓ Tracer un axe horizontal sur le papier millimétré en respectant l'échelle.
- ✓ Tracer un axe vertical en respectant l'échelle des
- ✓ Placer le bord du papier millimétré le long de l'axe AB. Chaque fois qu'une courbe de niveau recoupe cette ligne AB, marquer le bord du papier millimétré et indiquer l'altitude.
- ✓ Reporter ensuite chaque point en tenant compte de son altitude.
- ✓ Relier les points entre eux.
- ✓ Indiquer sur le profil topographique, l'orientation du tracé, la localisation Titre du profil Identification des éléments du paysage L'échelle horizontale L'échelle verticale Les grandes unités topographiques.
- ✓ Donner un titre en précisant à partir de quel extrait de carte géologique le profil a été réalisé.



Réalisez le profil topographique à partir de la carte topographique suivante selon AB:

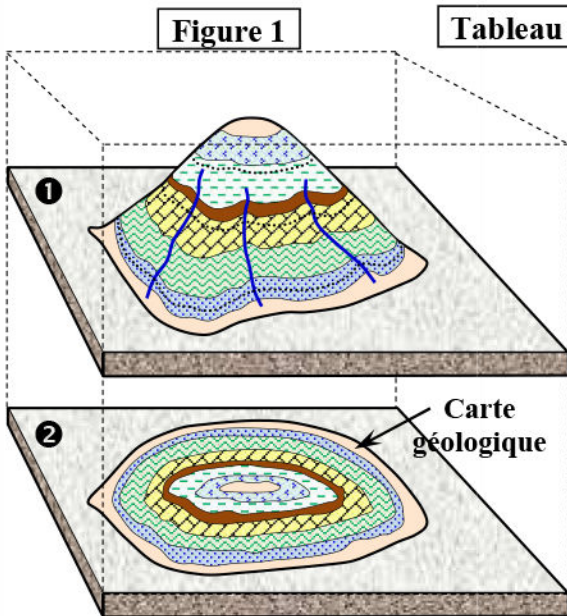




b) La carte géologique (Voir le document 11)

Document 11: La carte géologique:

- ★ La figure 1 représente la projection d'une colline (①) sur un plan (②).
- ★ Le tableau 1: La représentation sur une carte géologique des données stratigraphiques:



Divisions stratigraphiques		Notation	Couleur
Quaternaire		A, a, q	Beige
Cénozoïque (Tertiaire)	Pliocène	p	Jaune
	Miocène	m	
	Oligocène	g	Orange
	Eocène	e	
Mésozoïque (Secondaire)	Crétacé	c	Vert clair
	Jurassique	i et j	Bleu
	Trias	t	Rose
	Permien	r	Violet
Paléozoïque (Primaire)	Carbonifère	h	Gris
	Dévonien	d	Marron
	Silurien	s	Vert
	Ordovicien	o	
	Cambrien	k	Brun beige
Précambrien	x	Rouge	

- ★ Le tableau 2: La représentation sur la carte géologique des données lithologiques:

Roche	Calcaire	Dolomite	Argile	Grés	Sable	Marne	Sel
Figure							

- ★ Le tableau 3 ci-dessous: La représentation symbolique des données tectoniques:

Degré d'inclinaison	Symbole	Diagramme	
Nulle (0°)	+		
Faible (10° → 30°)	T		
Moyenne (30° → 60°)	T		
Forte (60° → 80°)	T		
Verticale (90°)	- - -		
Inversée (> 90°)	⌋		

En se basant sur les données de ce document, déduire les caractéristiques de la carte géologique.

Une carte géologique présente sur un fond de carte topographique, une série de taches de couleurs différentes et de dimensions plus ou moins grandes. Chacune de ces couleurs correspond à une roche affleurant en surface telle que le calcaire, la marne, l'argile, le sable, le granite, le micaschiste, le basalte, la craie, etc.

La carte géologique est un document important pour l'étude de l'écorce terrestre en ce sens qu'elle fournit beaucoup de renseignements sur la structure lithologique, tectonique, et sur l'évolution paléogéographique.

Comme toutes les cartes, la carte géologique a :

- ✓ Un nom et des indications permettant de la situer.
- ✓ Une échelle numérique et kilométrique.
- ✓ Des courbes de niveaux: maîtresses, secondaires et parfois intercalaires.
- ✓ Une équidistance des courbes de niveaux.
- ✓ Des points cotés.
- ✓ Une légende qui indique les terrains sédimentaires du plus jeune (en haut de la succession) au plus âgé (en bas de la succession).

② Réalisation de la coupe géologique:

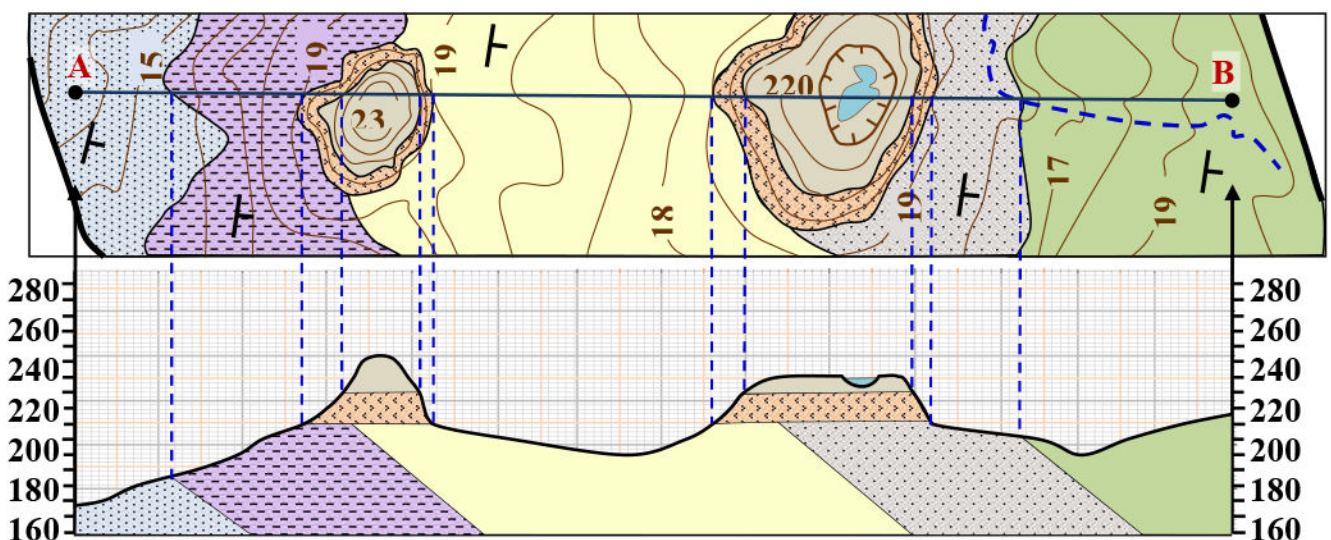
a) **Principes de réalisation de la coupe géologique:** (Voir le document 12)

Document 12: Principes de la réalisation d'une coupe géologique:

Les coupes géologiques permettent de montrer la structure en profondeur. Elles sont réalisées à partir de la carte géologique en respectant les étapes suivantes:

- ✓ Bien lire la carte géologique ;
- ✓ Construire le profil topographique;
- ✓ Reporter les contours des couches géologiques et les failles sur le profil topographique;
- ✓ Calculer les pentages des limites de couche et des failles et reportez leurs amorces sur la coupe. Il est conseillé de prendre en compte l'épaisseur des couches indiquées généralement sur la légende ;
- ✓ Reconstruire la structure en profondeur de façon à respecter la stratigraphie (empilement des couches de la plus âgée à la plus jeune) sauf en cas de discontinuité (faille, discordance...);
- ✓ Enfin, compléter le schéma avec un titre, l'échelle, l'orientation et la légende.

Soit l'extrait d'une carte géologique représenté par la figure ci-dessous:



Le but de la coupe géologique est de représenter la structure en profondeur à partir des informations de surface: topographie, limites de couches, direction, pendage, etc.

La réalisation de cette coupe nécessite en premier temps la réalisation du profil topographique (voir document 12), en suite:

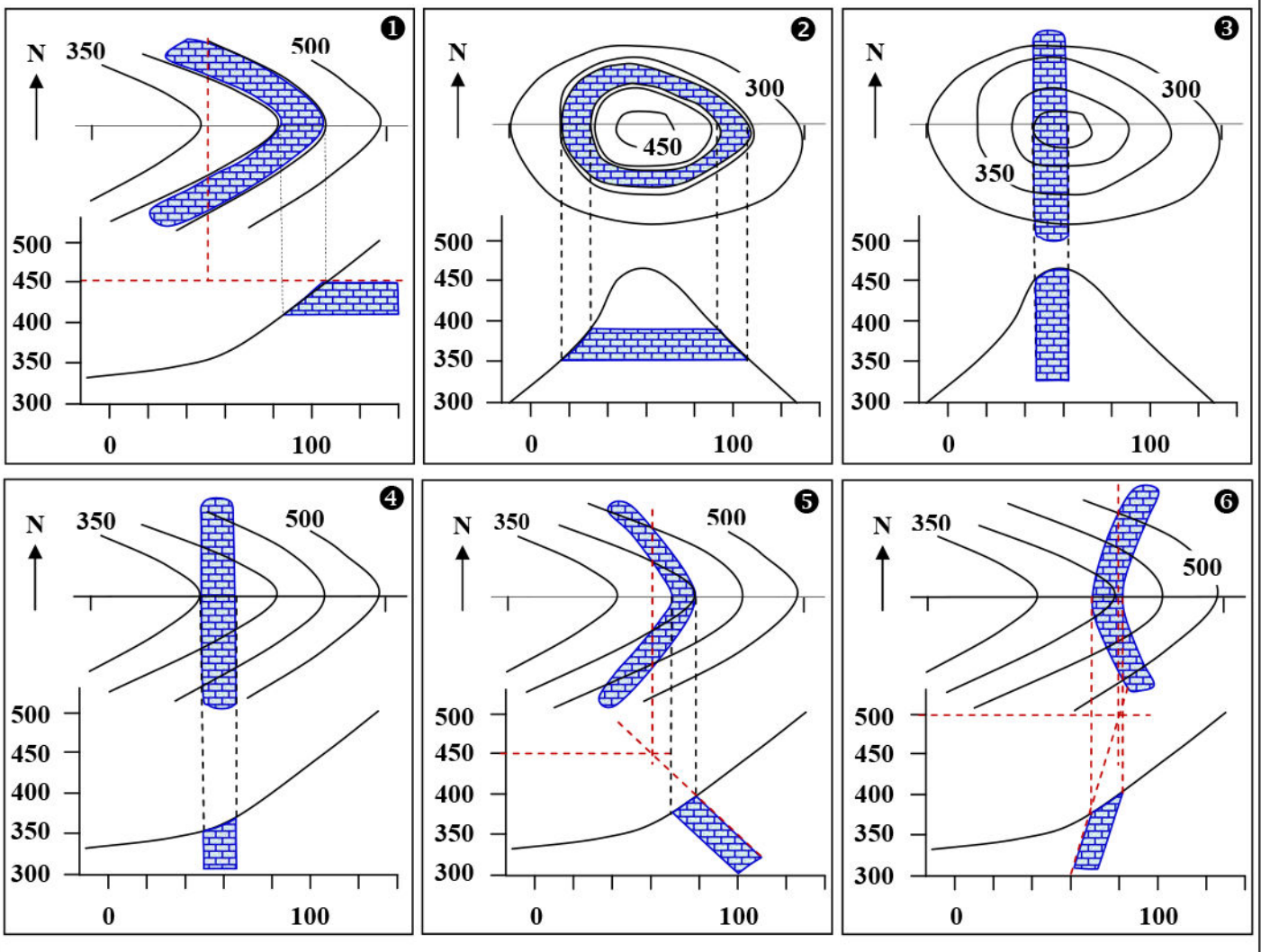
- On fait la projection des limites des couches verticalement sur le profil topographique. La strate, dont le toit et le lit apparaissent nettement, est dessinée en premiers.
- On met en place les autres strates selon les principes de superposition tout en en respectant l'épaisseur et le pendage des couches.
- On reporte sur la coupe les éléments de la carte géologiques (légende, orientation...).

La coupe géologique permet de reconstituer l'histoire d'une zone, aussi bien en termes de sédimentologie et d'environnements de dépôt que de déformation et tectonique.

b) Détermination du pendage des couches géologiques: (document 13)

Document 13 : Détermination du pendage des couches géologiques.

Tracer une coupe géologique nécessite de déterminer le pendage des couches, c'est à dire de savoir dans quelle direction elles sont inclinées. Pour cela, on repère les V que dessine l'affleurement dans les vallées et observer où la limite de la couche recoupe deux fois la même courbe de niveau et où elle recoupe la courbe de niveau inférieure. Plusieurs cas de figure sont possibles. Les figures ci-dessous présentent ces cas:



On peut déterminer la position des strates sur une carte géologique en se basant soit:

- ✓ Sur les symboles d'inclinaison: Plus la queue de T est courte plus l'inclinaison est importante.
- ✓ Sur la relation entre les courbes de niveau et les contours d'affleurement des strates:
On cherche sur la carte géologique l'emplacement d'un oued ou les courbes de niveaux forment un V et on observe la relation entre le V des courbes de niveaux avec les contours d'affleurement:
- Si les contours d'affleurement sont parallèles ou conformes aux courbes de niveau (carte ❶ et ❷), cette relation signifie que les couches sont horizontales.
- Si les contours d'affleurement coupent transversalement le V des courbes de niveaux (carte ❸ et ❹), cette relation signifie que la couche est verticale.
- Si les contours d'affleurement forment un V au niveau de l'oued, cela signifie que les couches sont inclinées.
Pour déterminer le sens et l'amplitude de l'inclinaison on observe le V des contours d'affleurement, la pointe du V indique le sens, son ouverture indique l'amplitude:

Par exemple si la pointe du V du contour d'affleurement indique l'Est, son ouverture est assez grande: la couche est inclinée vers le Sud Est (carte ❺).

Ou bien si la pointe du V du contour d'affleurement indique l'Ouest, et son ouverture est grande: la couche est fortement inclinée vers le sud Ouest (carte ❻).

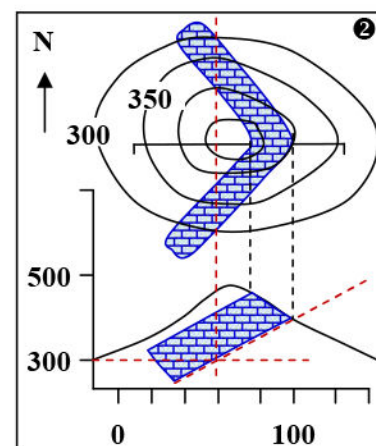
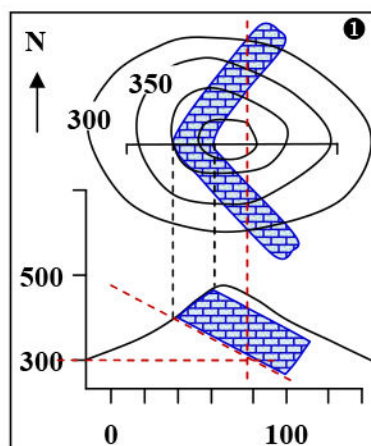
Remarque: (Voir le document 14)

Document 14 : Détermination du pendage des couches dans une colline.

La détermination du sens du pendage par l'intersection des contours d'une couche géologique avec les courbes de niveau dépend de la topographie où le V est dessiné.

Les figures ci-contre présentent des cas d'intersection des contours de l'affleurement avec les courbes de niveau dans une colline.

Déterminez sur chaque figure le pendage de la couche géologique.



Si les contours des affleurements dessinent des formes V, la détermination du sens du pendage dépend de la topographie:

- ✓ Au niveau des vallées, la pointe du V, des contours de couches, indique le sens de pendage.
- ✓ Au niveau des collines, la pointe du V, des contours de couches, est opposée au sens du pendage.

c) Exercices d'application:

Exercice 1 :

Réalisation d'une coupe géologique dans une région à structure tabulaire (Strates horizontales) ; (Voir le document 15)

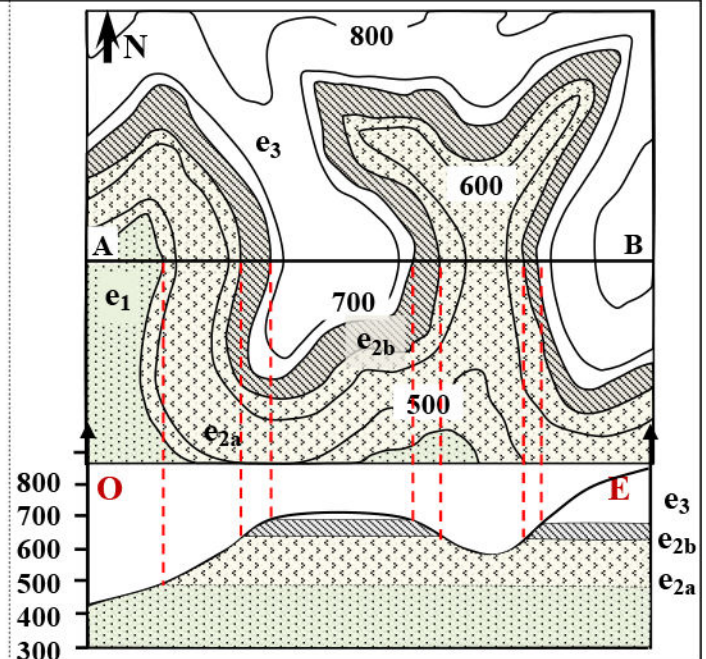
Document 15 : Exercice d'application.

Soit l'extrait d'une carte géologique et le profil topographique (figure ci-contre).

$e_1 = 200\text{m}$; $e_{2a} = 50\text{m}$; $e_{2b} = 200\text{m}$; $e_3 = 200\text{m}$

Echelle : 1/100.000ème

- 1) Calculez la distance réelle AB, sachant que la distance AB sur la carte est 8 cm.
- 2) Classez par ordre chronologique de dépôt les différentes couches observées sur la carte.
- 3) Quelle est la structure observée sur la carte? Justifiez.
- 4) Réalisez la coupe géologique suivant le trait AB.



- 1) La distance réelle $AB = 8 \text{ cm} \times 10000 = 80000 \text{ cm} = 800 \text{ m}$
- 2) L'ordre chronologique des différentes couches : $e_1 \rightarrow e_{2a} \rightarrow e_{2b} \rightarrow e_3$
- 3) On a une structure horizontale ou tabulaire car les limites des couches et les courbes de niveau sont parallèles.
- 4) Réalisation de la coupe géologique (Voir le document 14)

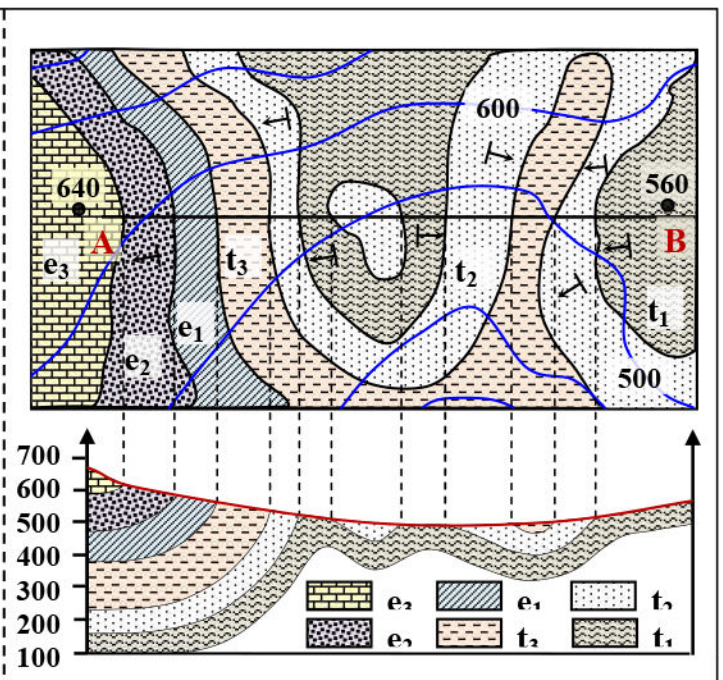
Exercice 2 :

Réalisation d'une coupe géologique dans une région à structure tabulaire (Strates déformées) (Voir le document 16)

Document 16 : Exercice d'application.

Soit l'extrait d'une carte géologique et le profil topographique (figure ci-contre).

- 1) Calculer l'échelle (E) de cette carte si la distance réelle (L) entre A et B est égale à 8,5 km, alors que la distance AB sur la carte est $e=7\text{cm}$.
- 2) Etablir l'ordre chronologique des couches. Quelle est l'importance de ce classement ?
- 3) Déterminer la structure géologique de cette carte. Justifier votre réponse
- 4) Réaliser le profil et la coupe géologique correspondants suivant le trait de coupe AB.



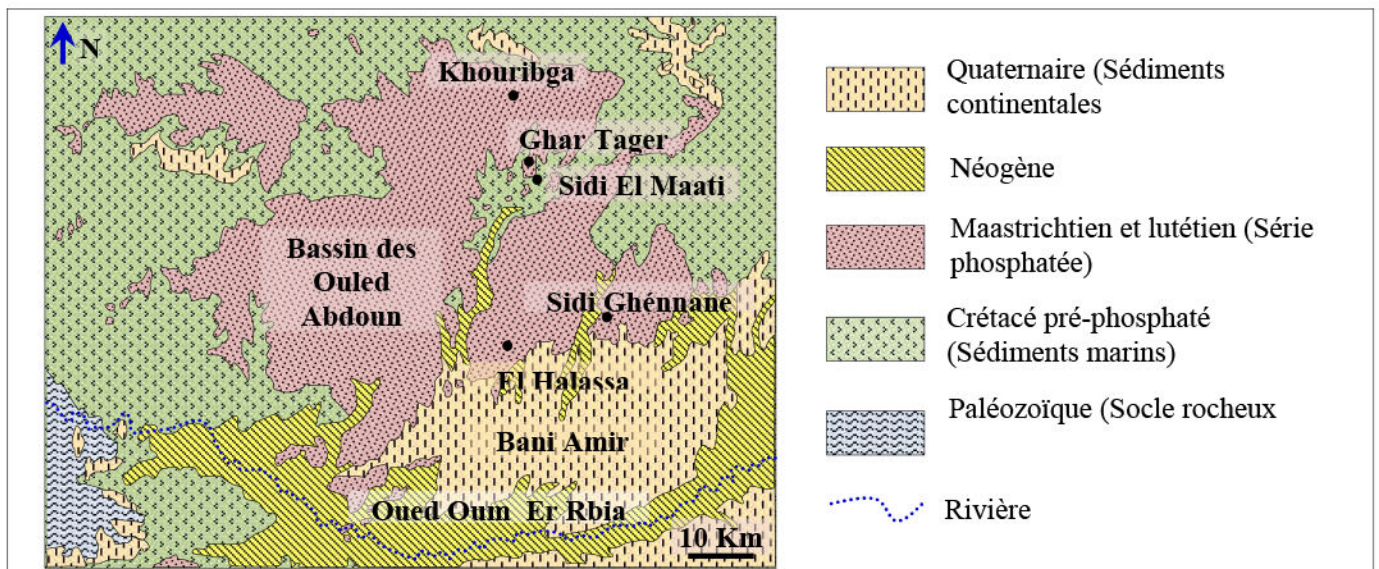
- 1) L'échelle (E) de cette carte si la distance réelle (L) entre A et B est égale à 8,5 km; AB sur la carte étant e = 7 cm: $E = L/e + 1/x$
 $\Rightarrow x = L/e = 850000/7 = 50000$
 $\Rightarrow E = 1/50000$
- 2) L'ordre chronologique des couches : $t_1 ; t_2 ; t_3 ; e_1 ; e_2 ; e_3$
- 3) La structure géologique de cette carte est plissée car il y a:
 - ✓ Répétition des couches au niveau des terminaisons périclinales.
 - ✓ Pendages dans divers sens.
 - ✓ Limites des couches non parallèles aux courbes de niveau.
- 4) Coupe géologique correspondants suivant le trait de coupe AB :
 (Voir document 16)

IV – Reconstitution de l'histoire géologique du bassin des phosphates:

Document 17 : Reconstitution de l'histoire géologique d'un bassin phosphaté.

La série phosphatée des Ouled Abdoun constitue la dernière série sédimentaire s'étant déposée sur le socle rocheux ancien (primaire), alors que les couches de ce dernier ont subi des déformations (plis et failles) à la fin du primaire, les couches secondaires quant à eux sont restées intactes.

★ La figure ci-dessous représente une carte géologique synthétique représentant le plateau des phosphates (Région de Khouribga).



Le tableau ci-dessous présente des données stratigraphiques et paléontologiques et une colonne stratigraphique synthétique des formations phosphatées du bassin nord (Ouled Abdoun) :

Document 17 : (Suite).

L'étage stratigraphique	Nature des sédiments	Caractéristiques paléogéographiques	Colonne stratigraphique
Lutétien	Formation de silex, calcaires et grès quartzeux	Régression marine suite à l'orogénèse atlasienne.	
Yprésien	Dépôts de silex	Début de transgression marine	
Thanétien Danien	- Divers dépôts phosphatés. - Dépôts calcaires le long du bassin de sédimentation	- Apparition d'un effondrement du côté de Ben Guerir. - Fermeture du golfe.	
Maestrichtien	Extension du bassin de youssoufia à Timhdit	Golf de faible profondeur, Apparition de quelques îles et grands fonds.	
Primaire	Socle rocheux déformé	Cycle hercynien	

En exploitant les données de ce document, reconstituez l'histoire géologique du bassin phosphaté d'Ouled Abdoun.

La reconstitution de l'histoire géologique d'une région est la détermination de l'ensemble des évènements géologiques s'étant succédé dans cette région. Elle fait appel aux données stratigraphiques, paléontologiques et tectoniques rassemblées à partir des études de terrain, de l'analyse des cartes et des coupes géologiques et des logs stratigraphiques.

Le bassin d'Ouled Abdoun (également connu sous le nom de Bassin de Khouribga) est le plus important du Maroc, avec 44% des réserves de phosphate du Maroc.

Le dépôt des sédiments phosphatés dans le bassin Nord-Marocain a commencé au Maestrichtien (Crétacé supérieur) et a poursuivi jusqu'au Lutétien (Paléogène).

- ✓ Au cours de Maestrichtien, un golf marin de faible profondeur a été formé avec quelques îles. Il s'étend de Youssoufia à l'Est au Timahdit à l'Ouest et communique avec l'océan entre Youssoufia et Chemaya. Les sédiments de cet étage se caractérisent par des faciès transgressifs (Présence d'éléments détritiques rugueux à la base.
- ✓ Au cours du paléocène (Thanétien-Danien), le bassin a subi une transgression et se caractérise par une succession de sédimentations sans arrêt avec sédimentation du phosphate sableux et calcaire phosphaté riche en fossile du *Cardita Coquandi* (Lamellibranches)
- ✓ Au cours de l'yprésien, la sédimentation est principalement phosphatée, se terminant par des dépôts de silex.

✓ L'étage lutétien se caractérise par une alternance de marne et de silex et des dépôts de calcaire phosphaté.

Cet étage marque la fin du dépôt des phosphates. Il renferme des niveaux de silex et de calcaire surmonté par endroits de grès siliceux, indiquant ainsi la régression marine liée à l'orogénèse alpine.

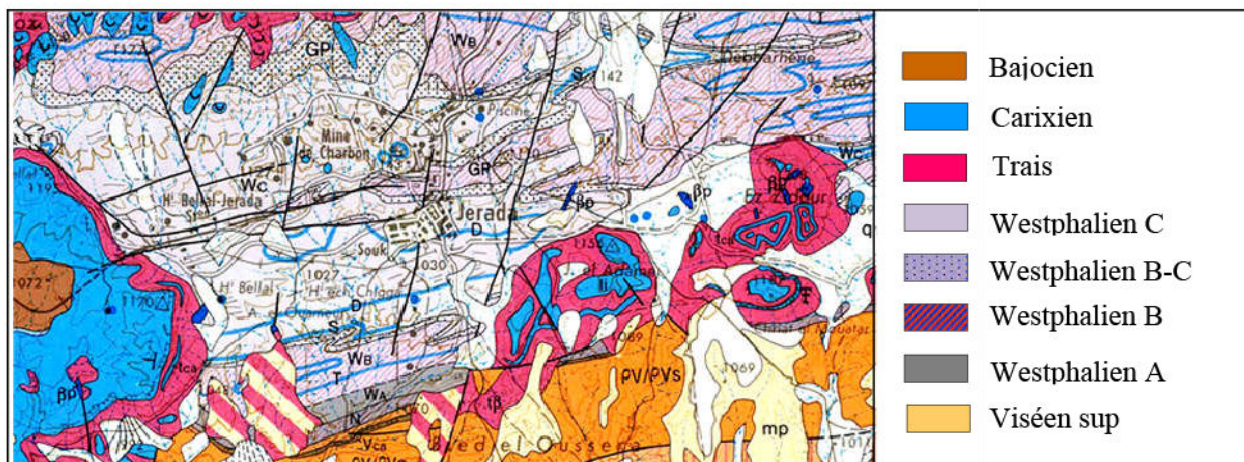
V – Reconstitution de l'histoire géologique du bassin houiller de Jérada:

(Voir document 18)

Document 18: Reconstitution de l'histoire géologique du bassin houiller de Jérada.

★ Situation géographique et cadre géologique du bassin houiller de Jérada au Maroc:

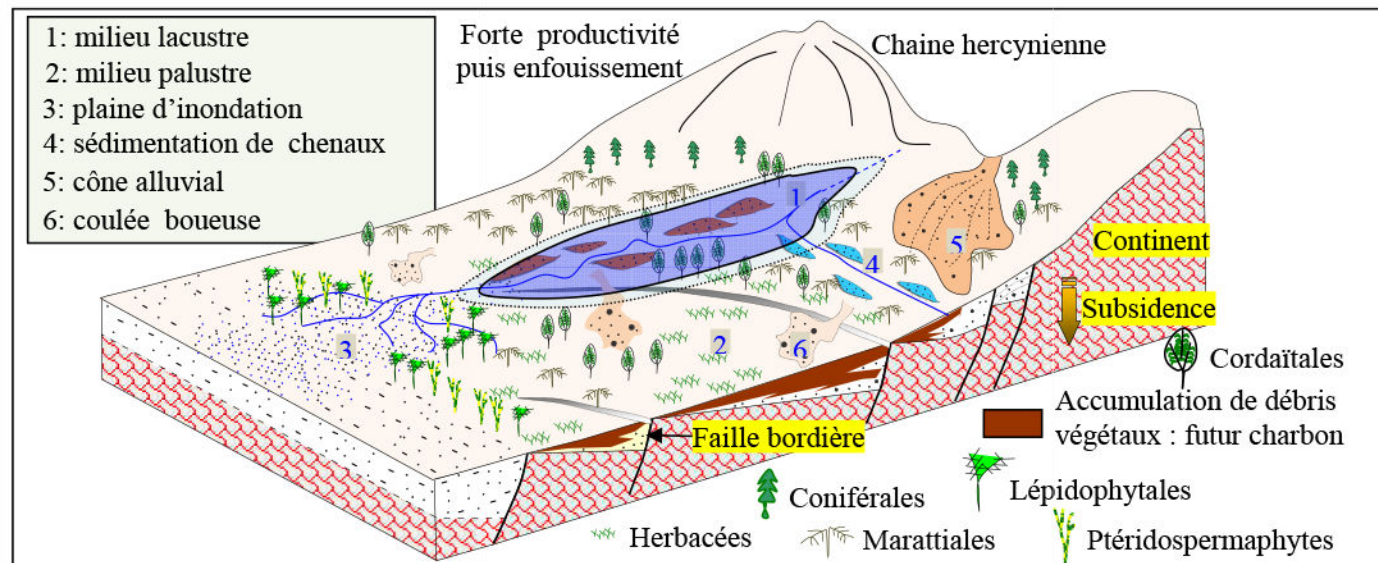
Le bassin houiller de Jérada est situé en bordure des hauts plateaux du Maroc oriental à 50km. Il forme un synclinal, orienté d'Est en Ouest, qui affleure sur 25 km de longueur et 8km de largeur. La figure ci-dessous présente un extrait de la carte géologique du bassin houiller de Jérada



★ Paléogéographique du bassin de Jérada au Maroc :

Le bassin sédimentaire houiller de Jérada se caractérise par la diversité des faciès qui témoignent de la diversité des milieux de sédimentation. L'étude de ces faciès permet la reconstitution de la paléogéographie du bassin sédimentaire de Jérada pendant la période d'accumulation et des dépôts à l'origine du charbon.

La figure ci-dessous est une coupe schématique présentant la reconstitution paléogéographique du bassin de Jérada :



Document 18: (Suite).

Les séquences sédimentaires décrites traduisent dans un premier temps l'avancée d'un delta lacustre sur un domaine inondé réalisant un comblement temporaire.

La sédimentation reprend et s'installe un système fluviatile sur la plaine deltaïque occupée par une végétation dense. Les deltas reculent progressivement jusqu'au retour des milieux inondés.

En se basant sur les données de ce document, décrire l'histoire géologique du bassin houiller de Jérada.

Le bassin houiller de Jérada est un bassin épicontinental formé au carbonifère. Les principaux événements géologiques s'étant succédé dans ce bassin sont :

Au cours du namurien : la sédimentation est marine et caractérisée par l'alternance de schistes et de conglomérat.

- ✓ Durant le westphalien A : la sédimentation est toujours marine, sous forme d'une transgression limitée du côté nord du bassin. Elle se caractérise par une alternance rythmique des bancs de schiste et de grès.
- ✓ Les westphaliens B et C sont caractérisées par des dépôts continentaux.
Le westphalien B se caractérise par l'alternance de schiste et de grès avec des niveaux marins et des filons de charbon. Le contenu fossilifère est de nature lacustre et marine.
- ✓ Le westphalien C : commence par le conglomérat marin, suivi de grès et de schiste avec des niveaux de charbon. Cette sédimentation épicontinentale se poursuit jusqu'à la fin du westphalien.
- ✓ L'orogénèse hercynienne a affecté les formations du bassin houiller en engendrant des structures tectoniques.

Au cours du secondaire, des sédiments de marnes et de calcaires et des coulées basaltiques ont été déposés en discordance. Ces formations ont subi l'influence de la tectonique alpine et des agents d'érosion.

Unité 2: Production de la matière organique et flux d'énergie

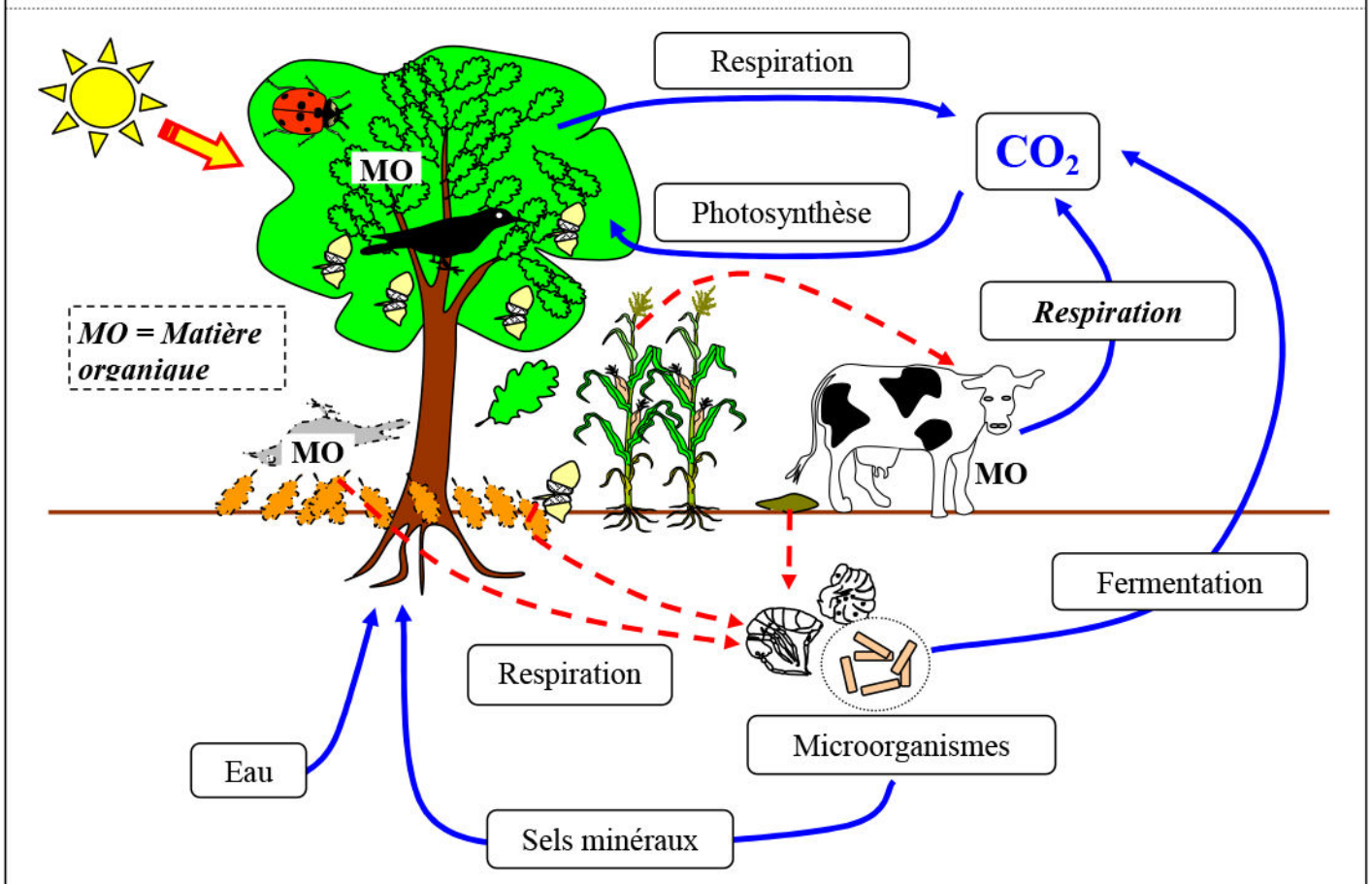
INTRODUCTION:

Les végétaux verts produisent de la matière organique pour leur croissance à partir de ce qu'ils prélèvent dans leur environnement, les végétaux sont donc des producteurs de matière (Voir le document 1).

Document 1: Le cycle de la matière et flux de l'énergie dans un écosystème:

Dans un écosystème, les plantes chlorophylliennes fabriquent de la matière organique sans consommer celle d'un autre être vivant; on dit qu'ils sont autotrophes. Comme ce sont les premiers êtres vivants du réseau trophique à produire de la matière organique, on les appelle des producteurs primaires.

Tous les autres êtres vivants du réseau trophique sont des producteurs secondaires; ils consomment la matière organique d'un autre organisme pour fabriquer leur propre matière organique. Ce sont des hétérotrophes (consommateurs).



La plante prend l'eau, les sels minéraux et le gaz carbonique pour fabriquer sa propre matière organique à partir de l'énergie solaire grâce à des pigments comme la chlorophylle contenus dans ses feuilles (La photosynthèse)

- Par quels mécanismes les plantes absorbent-elles l'eau et les sels minéraux ?
- Comment s'effectuent les échanges gazeux chlorophylliens au niveau d'une plante chlorophyllienne ?
- Comment les végétaux chlorophylliens utilisent-ils l'énergie lumineuse pour produire leur matière organique ?

INTRODUCTION: (Voir le document 2)

Document 2: L'eau et les sels minéraux sont indispensables pour les plantes:

Figure 1 : Mesure de l'absorption de l'eau par une plante chlorophyllienne

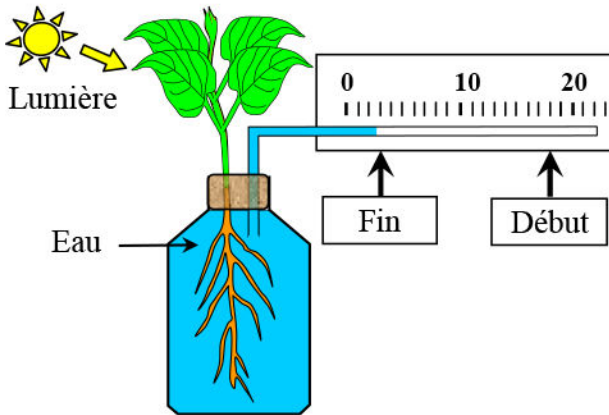
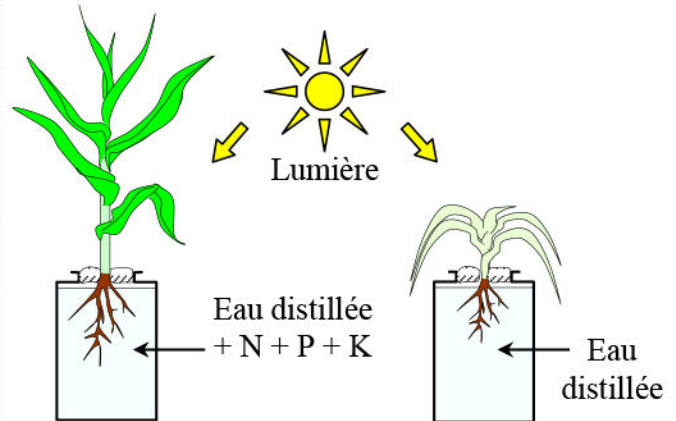


Figure 2 : Mise en évidence de l'importance des sels minéraux



Analysez les résultats de ces manipulations puis conclure.

★ Analyse des résultats:

⇒ La manipulation de la figure 1 montre que les plantes absorbent de l'eau en permanence; et ce à travers les racines.

L'eau est indispensable à la vie des plantes.

⇒ D'après les résultats de la manipulation de la figure 2; le plant qui a eu un développement considérable est celui cultivé sur un milieu contenant en plus de l'eau, un mélange équilibré de sels minéraux les plus importants: Sels d'azote (N) ; sels de potassium (K) et sels de phosphore (P).

★ Conclusion :

En plus du dioxyde de carbone (CO_2), et de l'énergie lumineuse, les plantes ont besoin d'eau et d'un mélange de sel minéraux, équilibré quantitativement et qualitativement.

- Quelles sont les structures responsables de l'absorption de l'eau et des sels minéraux au niveau d'une plante chlorophyllienne ?
- Quels sont les mécanismes d'absorption de l'eau et des sels minéraux ?

I – Mise en évidence des échanges hydriques chez les plantes vertes:

① Observations à l'échelle macroscopique:

a) **Manipulation :** (Voir le document 3)

Document 3: Mise en évidence des échanges hydriques chez la pomme de terre:

Découper dans le parenchyme de la pomme de terre des parallélépipèdes longs de 5 cm et de même volume ;

Réaliser des dilutions à partir de la solution mère de saccharose allant de 0 mol/l à 1 mol/l en respectant les volumes du tableau de mesure ;

Plonger dans chaque tube un fragment de pomme de terre ;

Après une heure, mesurer les fragments de pomme de terre ;

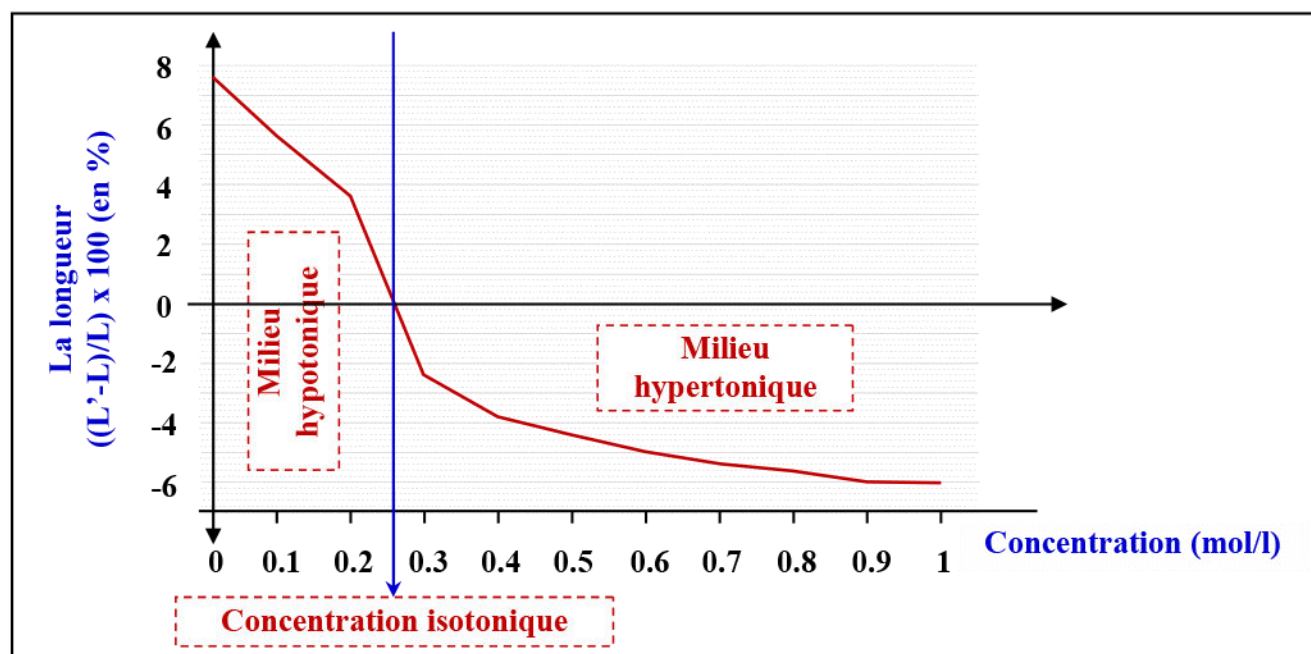
Notez les résultats obtenus dans le tableau ci-dessous.

N° du tube	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Volume de solution mère en ml	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Volume d'eau en ml	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Concentration de la solution en mol/l	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Longueur au début (L) (en cm)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Longueur après une heure (L') (en cm)	5.38	5.29	5.18	4.89	4.81	4.78	4.75	4.73	4.71	4.7	4.7
$((L'-L)/L) \times 100$ (en %)	7.6	5.8	3.6	-2.2	-3.8	-4.4	-5	-5.4	-5.8	-6	-6

Réaliser la manipulation décrite dans ce document et compléter le tableau. Traduire ces résultats obtenus sous forme de courbe ($((L'-L)/L) \times 100$) en fonction de la concentration. Analyser et interpréter la courbe.

b) Exploitation des résultats :

On construit le graphique représentant le pourcentage de variation de la longueur des fragments de pomme de terre en fonction de la concentration de la solution.



On constate que la taille des fragments augmente dans les solutions peu concentrées et diminue dans les solutions concentrées. En outre, la variation de longueur est proportionnelle à la concentration et elle est nulle pour une concentration donnée qu'il est possible de déterminer graphiquement à partir de la courbe obtenue.

La courbe obtenue montre que la dimension des fragments de pomme de terre dépend de la concentration du milieu. Dans un milieu hypotonique, les fragments s'allongent tandis que dans un

milieu hypertonique, elles raccourcissent. Le point situé à l'intersection de la courbe et de l'axe des abscisses permet d'évaluer la concentration équivalente des cellules du tubercule à 0,26 mol/L.

② Observations microscopiques:

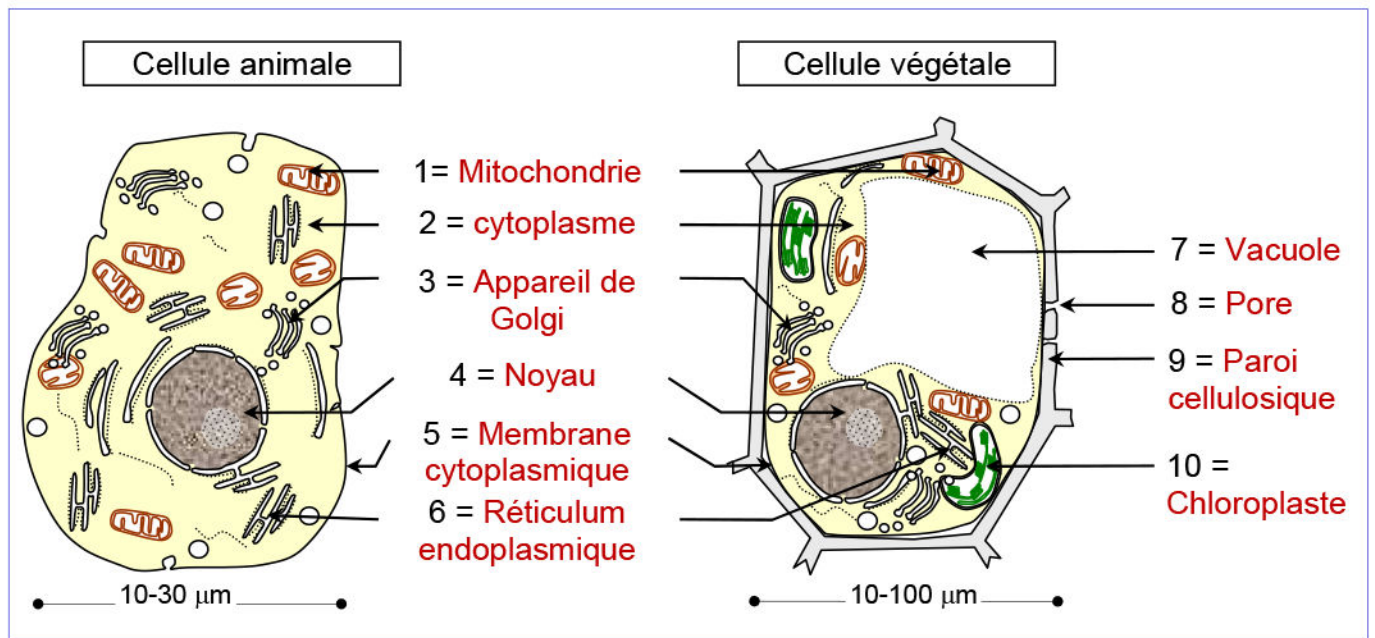
a) Rappel sur la structure de la cellule: (Voir le document 4)

Document 4: Structure de la cellule:

L'observation au microscope optique des cellules animales et végétales montre que tous les êtres vivants se composent de cellules.

L'observation au microscope électronique permet de confirmer la présence des parties mises en évidence au microscope optique. Elle permet en plus de découvrir dans le cytoplasme des sous-unités structurales et fonctionnelles qui assurent les activités fondamentales communes à toutes les formes de vie: les organites.

La figure ci-dessous présente le schéma de la structure d'une cellule eucaryote, animale et végétale.



Compléter la légende de ce schéma puis déduire en ce qui concerne la structure de la cellule.

Malgré leur grande diversité; les cellules ont le même plan d'organisation. On retrouve les parties essentielles suivantes :

- ✓ Un noyau;
- ✓ Le cytoplasme présentant diverses inclusions ou organites ;
- ✓ La membrane cytoplasmique qui entoure toute la cellule.

Cependant la cellule végétale diffère de la cellule animale en quelques points:

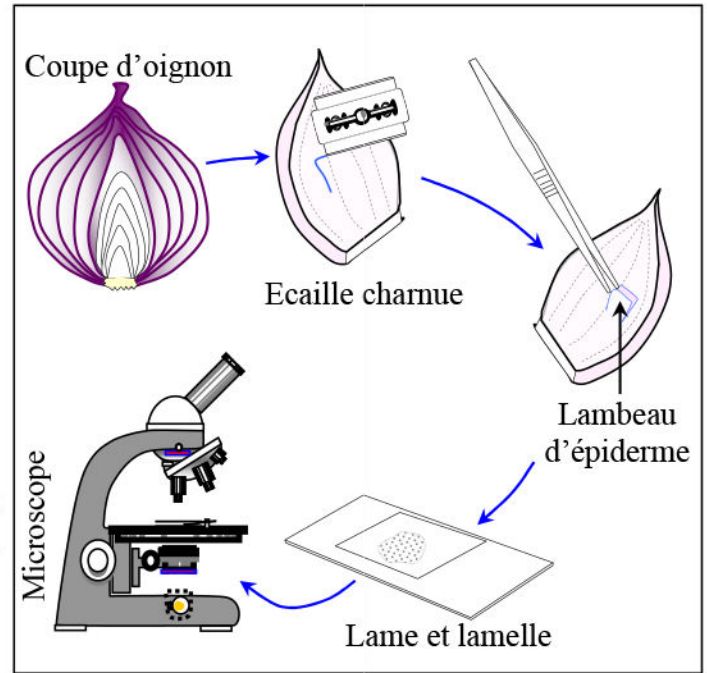
- ✓ La forme est polyédrique;
- ✓ La membrane plasmique est recouverte extérieurement par une paroi plus ou moins rigide constituée de pectine et de cellulose (paroi pectocellulosique) ;
- ✓ La présence des chloroplastes (dans les cellules chlorophylliennes) et des vacuoles de très grande taille.

Document 5: Préparation microscopique de l'épiderme d'oignon:

Pour pouvoir observer le comportement des cellules de l'épiderme d'oignon dans des milieux différents, il faut réaliser une préparation microscopique.

★ Manipulation: (Figure ci-contre)

- Prélever des fragments d'épiderme interne d'oignon sur la face concave d'une écaille charnue.
- Déposer quelques fragments dans l'eau distillée et les autres dans des solutions de saccharose de concentration 50g/l, 100g/l et 200g/l.
- Ajouter à chaque solution 1ml d'une solution de rouge neutre pour colorer les vacuoles des cellules.
- Monter, ensuite, les fragments entre lame et lamelle et observer au microscope optique.



★ Résultats de l'observation :

	50g/l de saccharose	100 g/l de saccharose	200g/l de saccharose
Observation microscopique			
Schéma d'une cellule		<p>Paroi pectocellulosique</p> <p>Membrane cytoplasmique</p> <p>Noyau</p> <p>Vacuole</p> <p>Cytoplasme</p>	
Description de la cellule	La vacuole est grande; le cytoplasme se trouve entre la vacuole et la paroi pectocellulosique. La membrane plasmique, plaquée contre la paroi, n'est pas visible.	la vacuole des cellules garde l'état normale	Les vacuoles sont plus petites et plus colorées, on distingue bien la membrane plasmique qui reste accrochée à la paroi au niveau des plasmodesmes.
Type	Cellule turgescence	Cellule normale	Cellule en plasmolyse

A partir d'une observation microscopique et en exploitant les données de ce document, réaliser des schémas annotés des cellules de l'épiderme d'oignon dans les différents milieux observés puis faire une description de ces cellules.

★ **Dans le milieu à concentration 50g/l de saccharose :**

Tout le cytoplasme est coloré en rouge, la vacuole l'occupe en entier, elle est chargée d'eau, on parle de turgescence, la cellule est dite turgescence.

En turgescence la vacuole presse la membrane squelettique et la cellule se dilate et augmente de volume.

★ **Dans le milieu à concentration 100g/l de saccharose :**

La vacuole des cellules garde l'état normal.

★ **Dans le milieu à concentration 200g/l de saccharose :**

La vacuole s'est rétrécit par perte d'eau, on parle de plasmolyse, la cellule est dite plasmolysée. La contraction de la vacuole réduit le volume de la cellule et réduit sa taille.

Remarque: Si on replace la cellule plasmolysée dans un milieu concentré, elle récupère spontanément de l'eau et devient turgescence, ce phénomène est appelé désplasmolyse.

Ces observations permettent d'émettre l'hypothèse qu'il existe réellement des échanges entre la cellule (plus précisément la vacuole) et le milieu extérieur. Ces échanges varient avec la variation des concentrations.

II – Explication physique des échanges d'eau chez les cellules:

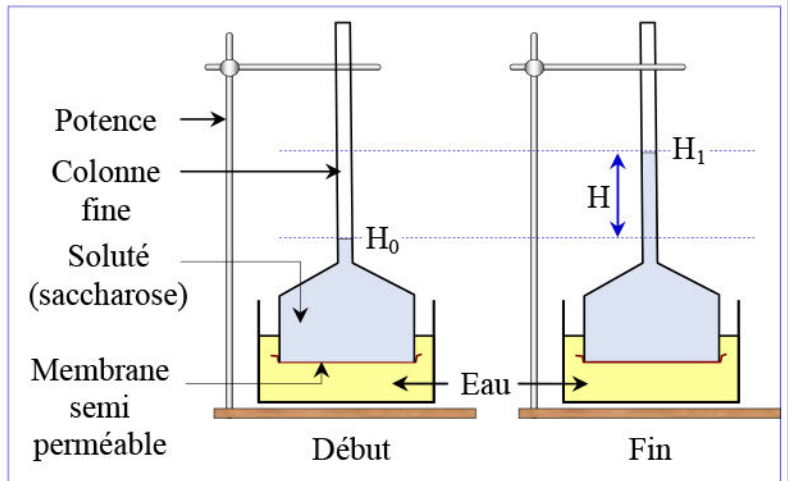
① **Mise en évidence du phénomène d'osmose:**

a) **Expérience de Dutrochet :** (Voir le document 6)

Document 6: Mise en évidence expérimentale du phénomène d'osmose:

Pour expliquer la variation de la vacuole sous l'effet de la concentration du milieu extérieur, Dutrochet a proposé en 1827 un modèle explicatif des mouvements d'eau à travers une membrane semi-perméable, c'est l'osmomètre de Dutrochet.

Cet osmomètre est constitué d'un réservoir de verre dont la partie supérieure est reliée à un long tube vertical et sa base est obturée par une membrane semi-perméable (Vessie de porc ou de mouton) (Figure ci-contre).



On remplit le réservoir d'une solution du saccharose et on le plonge dans un cristalliseur contenant de l'eau pure.

Les résultats de cette expérience sont présentés par la figure ci-dessus.

A partir de l'analyse des données de ce document, interpréter la variation de l'aspect des cellules dans les préparations microscopiques du document 5.

b) **Analyse des résultats:**

Au début de l'expérience les liquides sont au même niveau dans le cristalliseur et dans le tube de l'entonnoir, on constate après quelques minutes une montée du niveau du liquide dans le tube de l'entonnoir.

Le niveau de la solution de saccharose s'est élevé, l'eau est passée du milieu le moins concentré (eau pure) au milieu le plus concentré (solution du saccharose).

c) Conclusions:

- ✓ Les molécules d'eau passent à travers une membrane semi perméable, lorsque deux solutions de concentrations différentes sont placées de part et d'autre de cette membrane, on parle du phénomène d'osmose.
- ✓ Le passage de l'eau à travers la membrane semi-perméable, indique l'existence d'une pression d'absorption exercée par la solution du saccharose, elle est appelée pression osmotique.
- ✓ Sous l'effet de la pression osmotique, les molécules d'eau vont de la solution la moins concentrée (milieu hypotonique) vers la solution la plus concentrée (milieu hypertonique) jusqu'à l'équilibre (isotonie).
- ✓ Quand la cellule est placée dans une solution de saccharose à 50g/l, elle se trouve dans une solution hypotonique par rapport au suc vacuolaire qui est lui hypertonique. Il y a donc passage d'eau par osmose dans la vacuole qui occupe tout le volume cellulaire: la cellule est turgescente.
- ✓ Lorsque l'on remplace l'eau du milieu de montage par la solution concentrée de saccharose (200g/l), le mouvement d'eau par osmose s'inverse, la vacuole perd son eau, la membrane cytoplasmique se décolle de la membrane squelettique: la cellule est plasmolysée.

② Mesure de la pression osmotique: (Voir le document 7)

Document 7: Mesure de la pression osmotique:

La pression osmotique d'une solution est la pression créée par l'appel d'eau que cette solution provoque lorsqu'elle est séparée d'un milieu par une membrane semi-perméable.

La pression osmotique dépend de plusieurs facteurs tels que : la température (T) et la concentration de la solution. Par conséquent, on peut calculer la pression osmotique en utilisant la formule suivante : $\pi = R.T.C$

π = Pression osmotique en Pa (Pascal) (Si en atm on multiplie par 10^5).

R = constante des gaz parfaits = 0.082.

T = température absolue en °K (Kelvin) ($^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$).

C = concentration molaire en mol/ l (= concentration massique/masse molaire).

n = nombre de particules issues de la dissolution du soluté utilisé.

Ainsi d'après la formule, on remarque que la pression osmotique est proportionnelle à la température et à la concentration molaire de la solution. Elle est indépendante de la nature de la substance dissoute.

★ **Remarque** : Pour les substances qui se dissocient en ions lors du passage en solution, on doit multiplier la concentration molaire par le nombre d'ions libérés. Par exemple on multiplie par 2 dans le cas de NaCl.

★ **Application** : On fait dissoudre 700 mg de glucose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) dans 25 ml d'eau à une température de 20°C . Sachant que les masses molaires des éléments :

$\text{M}(\text{O}) = 16\text{g/mol}$; $\text{M}(\text{C}) = 12\text{g/mol}$; $\text{M}(\text{H}) = 1\text{g/mol}$:

- 1) Calculer la concentration massique et la concentration molaire.
- 2) Calculer la pression osmotique de la solution.

La masse molaire du chlorure de sodium NaCl étant 58, si la concentration d'une solution de NaCl est de 4.5 g/l, et si la température du milieu est de 18°C :

- 3) Calculer la concentration molaire de la solution et sa pression osmotique.

La pression osmotique (π) est une force déterminée par une différence de concentration entre deux solutions situées de part et d'autre d'une membrane semi-perméable.

C'est la valeur de π d'un milieu qui détermine le sens de déplacement de l'eau, si on considère π_i la pression osmotique interne du suc vacuolaire, et π_e la pression osmotique du milieu externe on a :

- ✓ $\pi_i > \pi_e$ l'eau passera du milieu extérieur au milieu intérieur à travers la membrane cytoplasmique, et la cellule sera turgescente.
- ✓ $\pi_i < \pi_e$ l'eau passera du milieu intérieur au milieu extérieur à travers la membrane cytoplasmique, et la cellule sera plasmolysée.
- ✓ $\pi_i = \pi_e$ milieu isotonique, aucun mouvement d'eau, cellule à l'état normal.

Application :

1) La concentration massique est C_m :

$$C_m = m/v \text{ (g/l)}$$

$$C_m = (700 \times 10^{-3}) / (25 \times 10^{-3}) = 700 / 25 = 28 \text{ g/l}$$

La concentration molaire de la solution est C :

$$C = (\text{concentration massique en g/l}) / \text{masse molaire en g/mol} = C_m / M_{(C_6H_{12}O_6)}$$

$$C = 28 / 180 = 0.15 \text{ mol/l.}$$

2) La pression osmotique de la solution est π :

$$\pi = n.R.T.C \text{ (La molécule du glucose est non ionisable donc } n = 1)$$

$$\pi = R.T.C$$

$$\pi = 0.082 \times (20 + 273) \times 0.15 = 3.6039 \text{ atm}$$

3) La concentration molaire de la solution est C :

$$C = (4.5 / 58) \times 2$$

(x2) car chaque molécule de NaCl se dissocie en deux ions Na^+ et Cl^- .

$$C = 0.15 \text{ mol/l}$$

La pression osmotique est π :

$$\pi = 0.082 \times (18 + 273) \times 0.15 = 3.58 \text{ atm}$$

III – Mise en évidence des échanges de solutés au niveau de la cellule végétale:

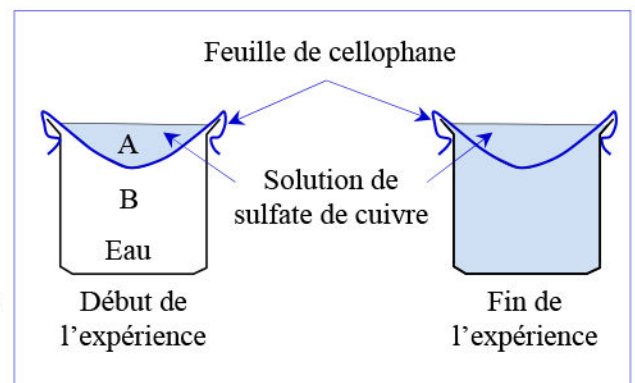
① Mise en évidence du phénomène de la diffusion:

a) Expériences: (Voir le document 8)

Document 8: Mise en évidence du phénomène de la diffusion:

★ **Expérience 1** : On prépare le montage expérimental représenté dans le schéma ci-contre. Le papier cellophane est perméable à l'eau et au sulfate de cuivre:

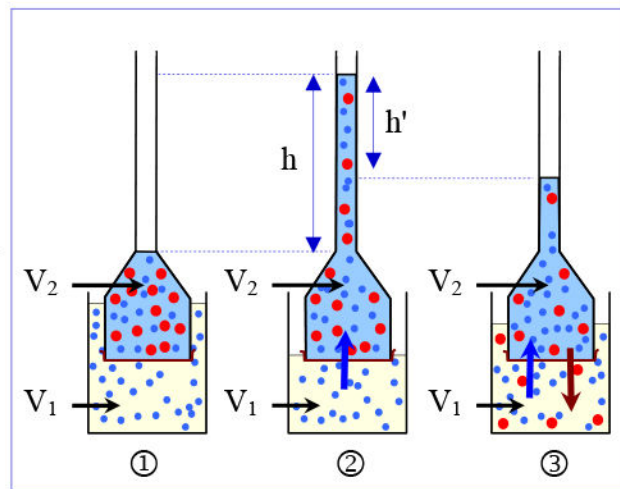
- ✓ Dans la partie B on a de l'eau distillée; dans la partie A on met une solution de sulfate de cuivre.
- ✓ Après un temps donné, la coloration bleue diffuse de A vers B ; et la concentration du sulfate de cuivre devient la même dans A et B.



Document 8 (Suite):

★ **Expérience 2 :** On utilise un osmomètre comme indiqué sur les trois schémas ci-contre.

- ✓ ① : Au début de l'expérience, le milieu V_1 contient de l'eau distillée, le milieu V_2 une solution de saccharose. Les deux milieux sont séparés par une membrane perméable aussi bien à l'eau qu'au saccharose.
- ✓ ② : Après un temps donné t_1 , le niveau du liquide V_2 monte dans le tube fin d'une hauteur h .
- ✓ ③ : Après une autre période t_2 , le niveau du liquide V_2 redescend d'une hauteur h' .



★ **Expérience 3 :** On prépare une solution hypertonique du glycérol (hypertonique par rapport au milieu intracellulaire des cellules d'oignon). Dans ce milieu on met un morceau de l'épiderme interne d'une écaille charnue d'un bulbe d'oignon. Et on observe au microscope. Au début, les cellules apparaissent plasmolysées. Après un certain temps, elles deviennent turgescentes.

★ **Expérience 4 :** On dépose dans des verres de montre des solutions de nature et de concentrations différentes. On met dans chaque verre de montre plusieurs carreaux de l'épiderme d'oignon, et on observe au microscope. On note les variations que subissent les cellules avec le temps. Les résultats de cette expérience sont présentés par le tableau suivant:

Expériences	Résultats
Une solution de saccharose (0,6 mol/l)	les cellules deviennent plasmolysées.
Une solution de chlorure de sodium (NaCl) (0,3 mol/l)	les cellules sont d'abord plasmolysées, ensuite elles se déplasmolysent après un certain temps.
Une solution de glucose (0,6 mol/l)	les cellules sont plasmolysées ; ensuite elles se déplasmolysent après un temps plus court.
Une solution de glycérol (0.6 mol/l)	les cellules conservent leur état, elles restent turgescentes.
Une solution d'urée (0,6 mol/l)	

En exploitant les résultats présentés par ce document, déduisez les propriétés caractéristiques de la diffusion.

b) Exploitation des résultats:

Expérience 1:

Entre le début et la fin de l'expérience, les molécules de sulfate de cuivre ont diffusé du compartiment «A» vers le compartiment «B». L'équilibre est atteint lorsque les concentrations du sulfate de cuivre dans les deux compartiments sont égales. A l'état d'équilibre la diffusion nette des molécules en solution entre les deux compartiments est nulle.

Expérience 2:

Après le temps t_1 , les molécules d'eau ont traversé la membrane du compartiment V_1 vers le compartiment V_2 ; et ceci sous l'effet de la pression osmotique. Ce qui se traduit par la montée du niveau du liquide dans le tube fin d'une hauteur h .

Après le temps t_2 , le niveau d'eau descend dans le tube d'une hauteur h' . Ceci est due au fait que les molécules de saccharose ont traversé la membrane du compartiment V_2 vers le compartiment V_1 . C'est la diffusion qui sera suivie du passage de l'eau, du compartiment V_2 vers le compartiment V_1 par l'effet de l'osmose.

Expérience 3: Vu que la solution est hypertonique, et vu que les molécules d'eau sont les plus rapides à traverser la membrane ; c'est l'effet de l'osmose qui se manifeste en premier lieu. Ainsi, suite à la sortie d'eau, les cellules deviennent plasmolysées. Ensuite la pénétration des molécules de glycérol dans la cellule sous l'effet de la diffusion va provoquer l'augmentation de la pression osmotique à l'intérieur de la cellule. Il s'en suit un flux d'eau entrant sous l'effet de l'osmose. Ainsi la cellule devient turgescente. C'est le phénomène de déplasmolyse.

Expérience 4: Toutes les solutions étant hypertoniques, on doit s'attendre à une plasmolyse puis une déplasmolyse.

- Pour le saccharose, pas de déplasmolyse; la membrane plasmique est imperméable à ce soluté. C'est une grosse molécule. On parle de perméabilité sélective.
- Pour le cas du glucose, la déplasmolyse est plus rapide en comparaison avec le cas de NaCl. La membrane plasmique est plus perméable au glucose qu'au NaCl. On parle de perméabilité différentielle.
- Pour le cas du glycérol et de l'urée, la perméabilité de la membrane plasmique est tellement élevée que l'on passe directement à la déplasmolyse, sans passer par la plasmolyse.

Conclusions :

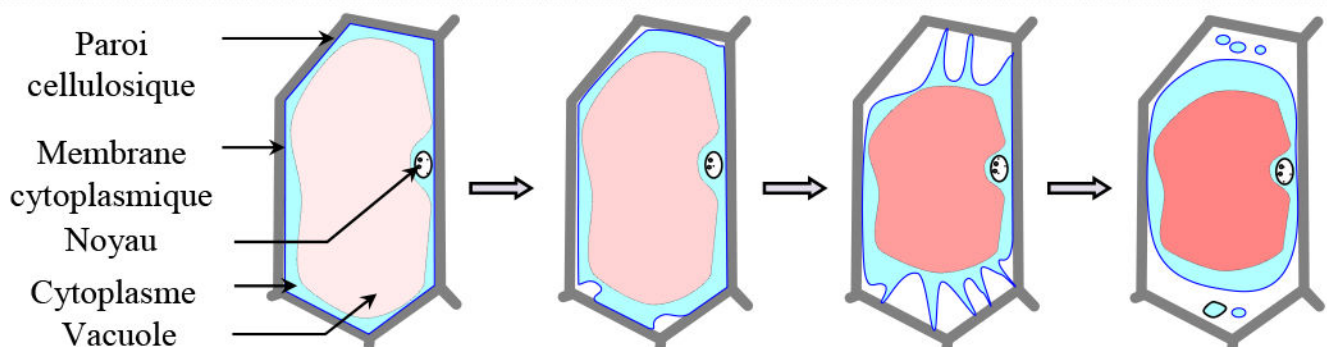
- ✓ La diffusion est le déplacement des molécules en solution entre deux milieux séparés par une membrane perméable. Ce déplacement s'effectue du milieu le plus concentré vers le milieu le moins concentré. À l'équilibre, la concentration du soluté est la même dans les deux milieux.
- ✓ Lorsqu'une substance traverse la membrane plasmique suivant un gradient décroissant, on peut considérer en première approximation, que sa diffusion à travers la membrane est une diffusion libre.
- ✓ La diffusion est en grande partie liée à la taille des molécules; autrement dit, à la masse molaire: les molécules les plus petites traversent la membrane plus facilement.

② Mise en évidence de la diffusion orientée:

a) **Expérience:** (Voir le document 9)

Document 9: Mise en évidence de la diffusion orientée:

L'étude des étapes de la plasmolyse des cellules d'épiderme d'oignon préalablement placées dans une solution de rouge neutre à 1 g/l, pH = 7,4, montre que les vacuoles sont de plus en plus colorées (Voir figure ci-dessous).



Dégager de ce document les arguments qui montrent qu'il s'agit d'une diffusion orientée.

b) Interprétation des résultats:

Les vacuoles sont de plus en plus colorées, cela peut être expliqué par le fait que l'eau sort mais le rouge neutre reste. Ainsi le rouge neutre ne traverse la membrane que dans un seul sens: sa diffusion est dite orientée.

③ Mise en évidence de la diffusion facilitée:

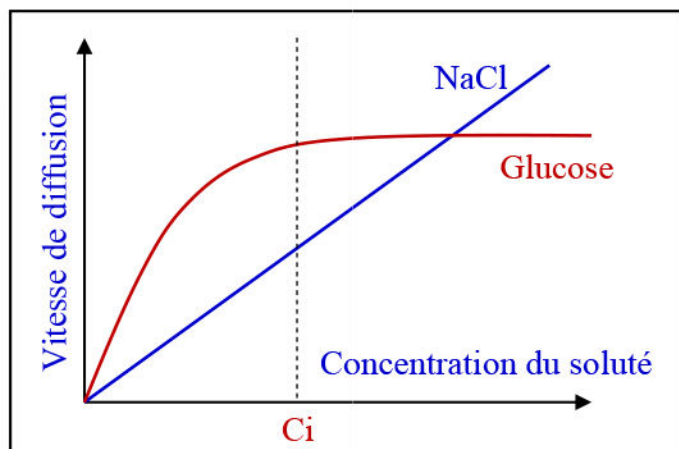
a) Expérience: (Voir le document 10)

Document 10: Mise en évidence de la diffusion facilitée:

Une étude de la vitesse de diffusion d'un soluté à travers la membrane cytoplasmique d'une cellule vivante a permis de tracer les courbes de la figure ci contre.

Les courbes représentent l'évolution de la diffusion du glucose et de NaCl en fonction de leur concentration dans le milieu extracellulaire.

Analyser les courbes du document et proposer une explication de la différence de l'allure des deux courbes.

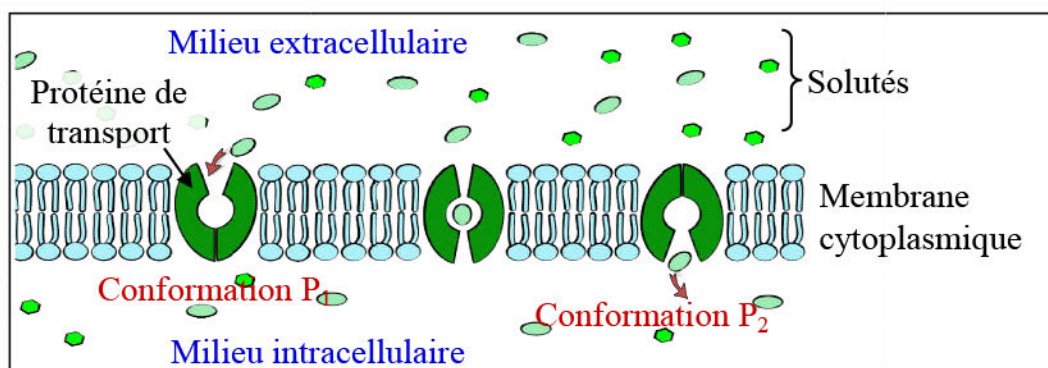


b) Interprétation des résultats:

La diffusion de NaCl est proportionnelle à sa concentration, plus la concentration augmente plus la diffusion augmente.

Pour les faibles concentrations de glucose, inférieure à une valeur C_i , la diffusion est très rapide, et atteint très vite la valeur maximale. Au dessus de la concentration C_i la diffusion reste stable en une valeur maximale.

La diffusion rapide du glucose est due à des transporteurs spécifiques, ce sont des protéines intégrées dans la membrane cytoplasmique qui fixent le glucose du milieu extérieur et le déposent dans le cytoplasme, ils facilitent donc le transport du glucose sans aucune consommation d'énergie, ce mécanisme est appelé transport facilité.



L'augmentation rapide de la diffusion est due à l'engagement successif des transporteurs. Quand tous les transporteurs qui existent dans la membrane cytoplasmique sont engagés, la vitesse de diffusion atteint la valeur maximale et se stabilise.

④ Mise en évidence du transport actif:

a) Expérience: (Voir le document 11)

Document 11: Mise en évidence du transport actif:

Valonia est une algue verte marine unicellulaire qui se nourrit directement de l'eau de mer par des échanges cellulaires.

On a mesuré la concentration de quelques ions dans le suc vacuolaire de cette algue et dans son milieu de culture : dans des conditions normales et après addition du cyanure dans le milieu de culture (Le cyanure est une substance toxique qui inhibe la production de l'énergie au niveau de la cellule).



Les résultats obtenus sont représentés sur le tableau suivant :

Milieu de culture	Ions	Comparaison de la concentration intracellulaire et la concentration du milieu de culture
Eau de mer (conditions normales)	K^+	Le suc vacuolaire est plus concentré que le milieu extracellulaire
	Na^+	Le milieu extracellulaire est plus concentré que le suc vacuolaire
Addition du cyanure au milieu de culture	K^+ et Na^+	Egalité de concentration entre le suc vacuolaire et le milieu extracellulaire.

D'autres expériences montrent que les ions Na^+ et K^+ se déplacent en permanence entre le milieu intracellulaire et le milieu extracellulaire, ce qui permet le maintien de l'inégalité de concentration entre les deux milieux dans les conditions normales.

En s'appuyant sur les résultats des expériences de ce document, montrer que les ions Na^+ et K^+ subissent un transport actif chez Valonia en expliquant les résultats obtenus.

b) Interprétation des résultats:

La concentration en K^+ est plus élevée à l'intérieur des cellules qu'à l'extérieur, alors que la situation est inversée pour Na^+ . Cette inégalité de concentration de ces ions disparaît en absence d'énergie cellulaire.

Les ions Na^+ et K^+ se déplacent en permanence entre le milieu intracellulaire et le milieu extracellulaire. S'il s'agissait uniquement de la diffusion, qui est un phénomène purement physique, on devrait s'attendre à un état d'équilibre pour lequel on aura une égalité de concentration des ions de part et d'autre de la membrane plasmique.

En plus de la diffusion, il existe un autre type de transport des molécules à travers la membrane plasmique, c'est le transport actif. Ce transport est lié à la vie de la cellule, et nécessite de l'énergie. Ainsi il est bloqué lorsque la respiration cellulaire est bloquée.

Le transport actif travaille dans le sens inverse de la diffusion pour maintenir l'inégalité de concentrations ioniques de part et d'autre de la membrane plasmique.

Le transport actif c'est le transport de substances dissoutes à travers la membrane cytoplasmique contre le gradient de concentration, du milieu hypotonique vers le milieu hypertonique, par des protéines intégrées dans la membrane cytoplasmique qui consomme de l'énergie.

IV – Les mécanismes d'absorption d'eau et des sels minéraux chez les plantes:

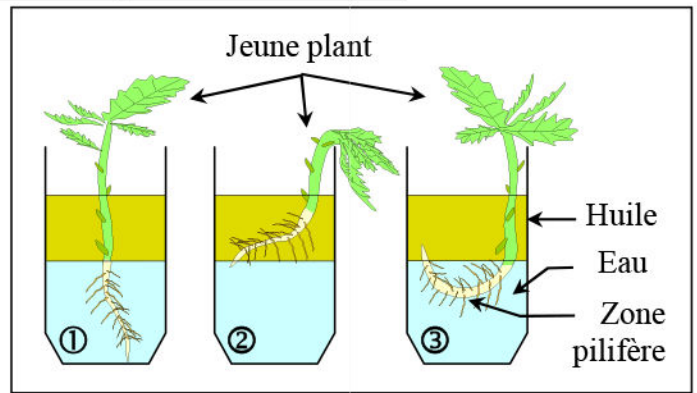
① Les structures responsables de l'absorption:

a) Expérience de Rosène : (Voir le document 12)

Document 12: Mise en évidence de la zone d'absorption de la racine.

Pour déterminer le lieu d'absorption de l'eau par une jeune racine, on fait germer sur du coton des graines de radis ou de moutarde. On obtient des plants avec les premières feuilles en une dizaine de jours. Avec ces plantules on réalise les expériences suivantes :

On dispose trois jeunes plants, sur un milieu contenant une couche d'eau surmontée d'une couche d'huile, de la manière représentée par les schémas ci-contre.



- ①: L'extrémité de la racine et la zone pilifère plongent toutes les deux dans l'eau.
- ②: Seule l'extrémité de la racine plonge dans l'eau.
- ③: Seule la zone pilifère plonge dans l'eau.

Montrez en justifiant votre réponse, la zone d'absorption de l'eau par la plantule.

b) Interprétation des résultats:

D'après les résultats de la manipulation, seule la plantule dont la zone pilifère est plongée dans l'huile, se fane.

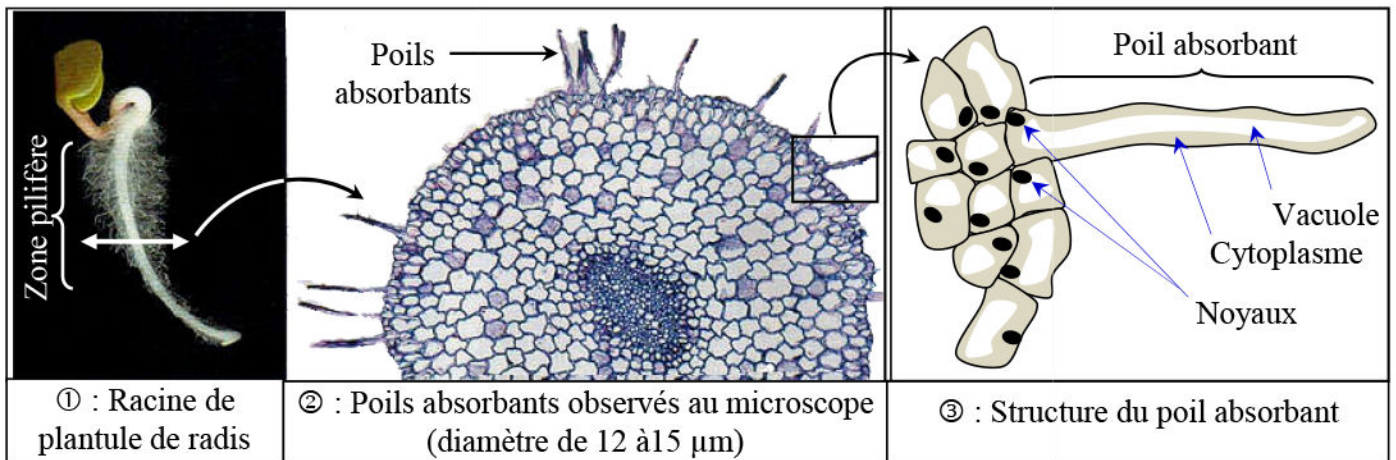
Conclusion: la plante absorbe de l'eau et les sels minéraux à travers les poils de la zone pilifère. On parle donc de «poils absorbants».

c) Structure du poil absorbant: (Voir le document 13)

Document 13: Structure du poil absorbant.

Chez de nombreuses plantes terrestres, principalement chez les plantes herbacées, l'entrée des molécules d'eau se fait par des poils très fins: les poils absorbants. Ceux-ci sont localisés dans la zone sub-terminale des jeunes racines, appelée zone pilifère.

La figure ci-dessous présente un ensemble d'observations permettant de déterminer la structure d'un poil absorbant.



En exploitant les données de ce document, montrez que le poil absorbant est une cellule spécialisée pour absorber de l'eau et des sels minéraux.

Chez de nombreuses plantes terrestres, les racines présentent, au voisinage de leur extrémité, de nombreux poils absorbants formant la zone pilifère.

On peut facilement comprendre que le poil absorbant est une cellule adaptée à l'absorption de l'eau et des sels minéraux, si l'on tient compte des observations suivantes :

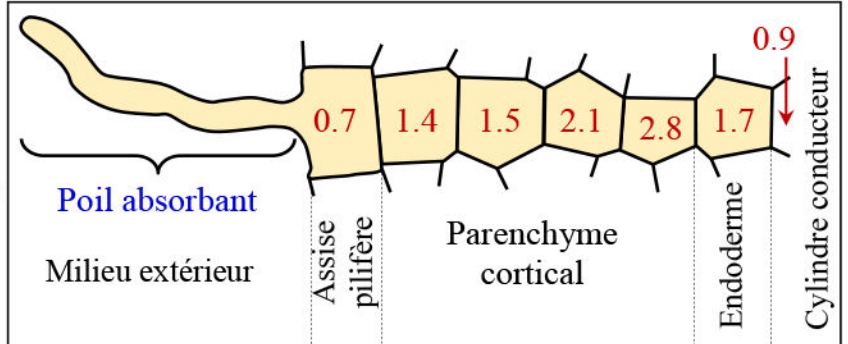
- ✓ L'absorption de l'eau et des sels minéraux s'effectue au niveau de la zone pilifère qui est riche en poils absorbants.
- ✓ En plus des constituants ordinaires que l'on retrouve chez toute cellule végétale, le poil absorbant est doté d'un prolongement très important qui assure une grande surface de contact avec la solution du sol. C'est à travers cette surface de contact que s'effectue le phénomène d'absorption de l'eau et des sels minéraux.

② Mécanismes d'absorption de l'eau et des sels minéraux:

a) Données expérimentales : (Voir le document 14)

Document 14: Mécanisme d'absorption de l'eau et des sels minéraux.

Une coupe transversale, effectuée au niveau de la région pilifère d'une jeune racine, montre l'existence de deux zones concentriques nettement distinctes: écorce ou cortex et cylindre central ou endoderme où se trouvent les vaisseaux du bois conducteurs de la sève brute.



La figure ci-dessus présente une coupe transversale d'une racine montrant les valeurs de la pression osmotique en atmosphère dans les différentes cellules d'une racine de fève situées entre le poil absorbant et le cylindre central.

En exploitant les données de ce document, montrez comment l'eau circule du milieu extérieur vers le centre de la racine ?

b) Exploitation des résultats :

Un poil absorbant étant une cellule géante dont la vacuole représente le milieu intracellulaire alors que le milieu extracellulaire étant la solution du sol (eau + sels minéraux du sol).

La pression osmotique dans les cellules de la racine est de plus en plus élevée en passant de la périphérie vers le centre. Puis il y'a une inversion du gradient de pression osmotique au niveau de l'endoderme.

L'eau absorbée traverse horizontalement la racine du poil absorbant vers le cylindre conducteur, en passant de cellule en cellule par le mécanisme de l'osmose : c'est la conduction latérale.

Des poils absorbants à l'endoderme, l'eau circule de manière passive selon les lois de l'osmose; à partir de l'endoderme, la progression nécessite une dépense d'énergie : c'est un transport actif.

C'est le transport actif qui permet le passage des sels minéraux de la solution du sol vers les tissus de la racine.

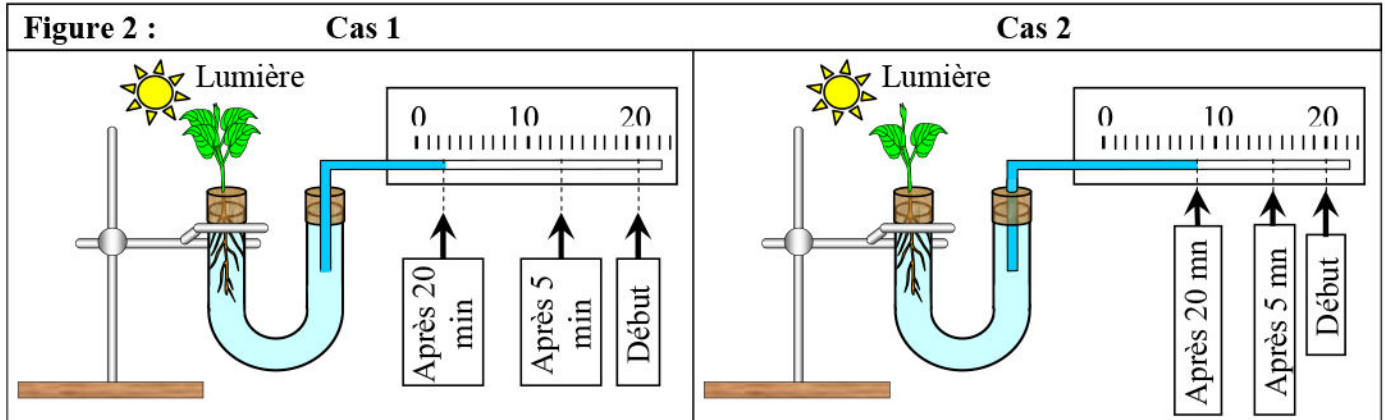
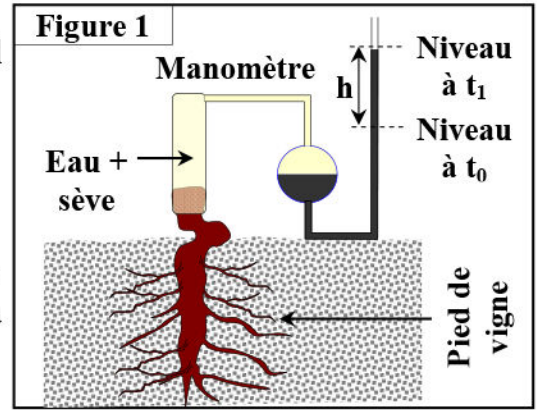
③ Rôle de la transpiration dans l'acheminement de la sève brute:

a) Données expérimentales : (Voir le document 15)

Document 15: Rôle de la transpiration dans l'acheminement de la sève brute.

★ En 1727, Hales a découpé la base du tronc de vigne, il a observé la sortie d'un liquide de la zone découpée. Lorsqu'il a relié cette zone à un osmomètre (figure 1), il a constaté que le liquide sort sous une pression qu'il l'a appelé la poussée radiculaire.

★ On met un jeune plant de haricot à l'extrémité d'un tube, comme représenté dans le schéma de la figure 2. On mesure la distance du recul de l'eau colorée dans le tube fin; et ce au bout de 5 minutes et après 20 minutes. On enlève la moitié des feuilles, et on refait les mesures de la même manière.



A partir des données de ce documents, expliquez comment s'effectue le transport de la sève brute depuis les racines jusqu'aux feuilles.

b) Exploitation des résultats:

La figure 1: La montée du liquide dans le tube fin de l'osmomètre se fait sous l'effet d'une pression dite poussée radiculaire. Quel est donc le phénomène responsable de cette pression ?

La figure 2 : On constate que l'absorption de l'eau diminue sensiblement lorsqu'on enlève les feuilles de la plante (cas 2). Ainsi grâce à la transpiration qui s'effectue au niveau des feuilles, il s'effectue un appel d'eau ascendant depuis la racine vers les feuilles. Ainsi la sève brute est acheminée des racines vers les feuilles. L'ascension de l'eau qui s'effectue sous l'effet de la transpiration au niveau des feuilles s'appelle l'appel foliaire.

V – Les structures cellulaires intervenant dans l'absorption de l'eau et des sels minéraux:

Dans les tissus végétaux, chaque cellule est délimitée par une membrane plasmique et entourée par une paroi dite paroi pectocellulosique (ou squelettique).

Comment ces structures cellulaires assurent-elles le transport de l'eau et des sels minéraux indispensables à la vie des cellules?

① L'ultrastructure de la paroi squelettique: (Voir le document 16)

Document 16: L'ultrastructure de la paroi squelettique.

La paroi cellulaire est l'une des particularités de la cellule végétale. Cette paroi leur permet d'acquérir une certaine rigidité essentielle au maintien d'une forte pression osmotique intracellulaire, elle-même indispensable au port de la plante.

Les figures ci-contre, illustrent la structure et l'ultrastructure de la paroi cellulosique :

1 = Perforation; 2 = Ponctuation;
3 = Ponctuation à plasmodesmes;
4 = Plasmodesme; 5 = Méat;
6 = Lamelle moyenne (pectine);
7 = Paroi primaire (Cellulose + pectine);
8 = Paroi secondaire (Cellulose 100%).

La paroi pectocellulosique est formée au centre d'une lamelle moyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire.

Figure 1: cellule végétale

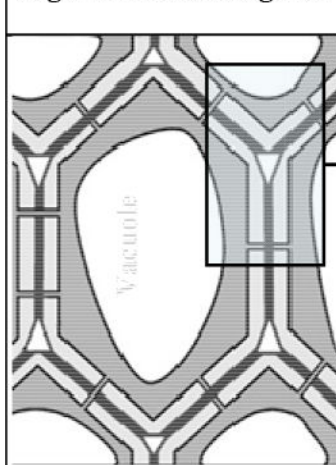


Figure 2 : L'ultrastructure de la paroi squelettique

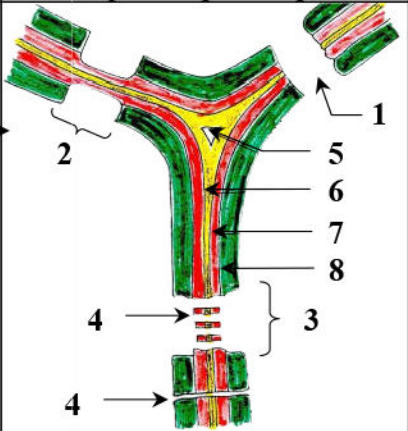
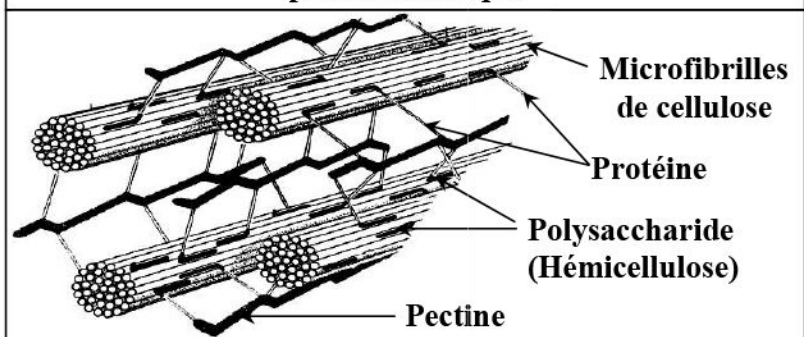


Figure 3 : la structure moléculaire de la paroi pectocellulosique



A partir des données de ce documents, expliquez comment s'effectue le transport de la sève brute depuis les racines jusqu'aux feuilles.

La paroi pectocellulosique est une enveloppe périphérique par rapport à la membrane plasmique. Elle comporte de l'extérieur vers l'intérieur: la lamelle moyenne commune aux cellules voisines, la paroi primaire puis la paroi secondaire.

Cette paroi possède des ponctuations correspondant à des plages de plasmodesmes, elles mêmes correspondant à de petits orifices permettant la communication entre les cellules.

La paroi squelettique est constituée essentiellement de polysaccharides (pectine et cellulose) et de protéines (Glycoprotéines).

- ✓ La cellulose est une macromolécule caractéristique du règne végétal. C'est un polysaccharide homogène (constitué d'un seul type de monomère), formé de longues chaînes tendues qui s'associent les unes avec les autres pour former des paquets de microfibrilles.
- ✓ Les hémicelluloses sont des polymères hétérogènes à structure linéaire ramifiée.
- ✓ Les pectines qui sont des polysaccharides hétérogènes.

② **L'ultrastructure de la membrane plasmique:** (Voir le document 17)

Document 17: Structure et ultrastructure de la membrane plasmique.

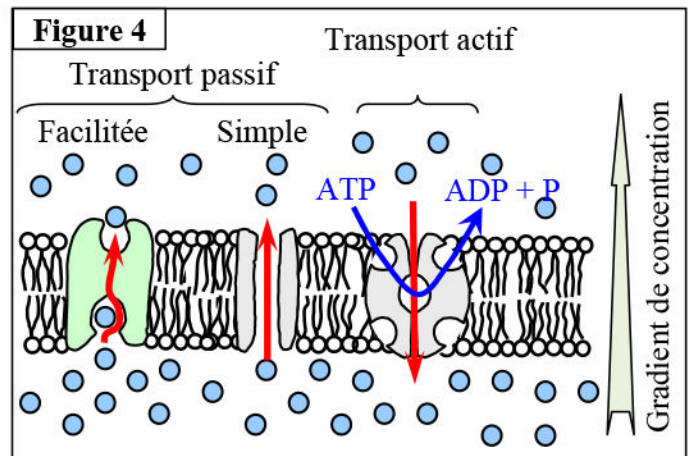
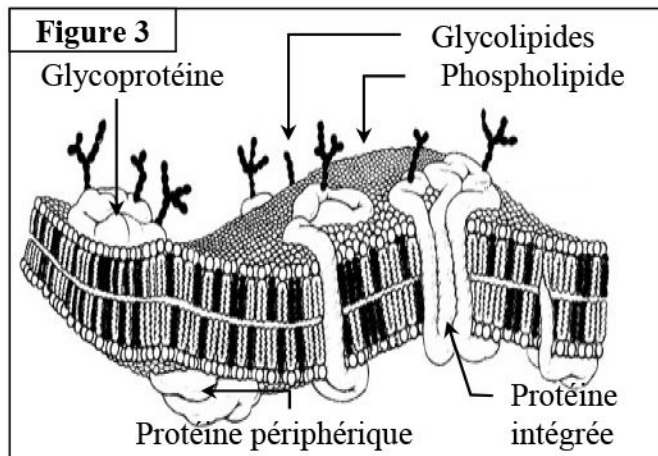
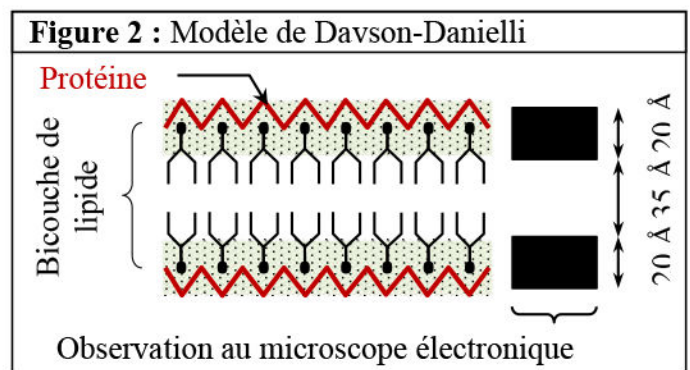
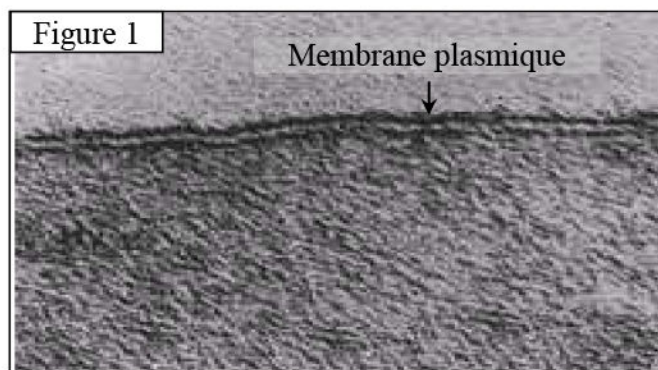
Les membranes cellulaires forment un réseau qui permet de délimiter différents compartiments dans la cellule. Leurs structures sont très proches et peuvent être comparées à celle de la membrane cytoplasmique.

★ Figure 1: Observé au microscope électronique (x120 000), la membrane plasmique est formée de deux couches sombres séparées par une couche claire ($\varnothing = 75 \text{ \AA}$).

★ Figure 2: Le modèle de Davson-Danielli était un modèle de la membrane plasmique d'une cellule, proposé en 1935 par Hugh Davson et James Danielli: une double couche de molécules de lipides est prise en sandwich dans une double couche de molécules de protéines.

★ Figure 3: Le modèle de Singer et Nicholson: La membrane plasmique constitue une structure dynamique. Le modèle principal décrivant cette dynamique est celui de la *mosaïque fluide* proposé par Singer et Nicholson en 1972. Selon ce modèle, phospholipides et protéines membranaires sont libres de se mouvoir au sein de la membrane.

★ Figure 4: Un schéma présente la membrane cytoplasmique en trois dimensions.



A partir de l'exploitation des données proposées par ce document :

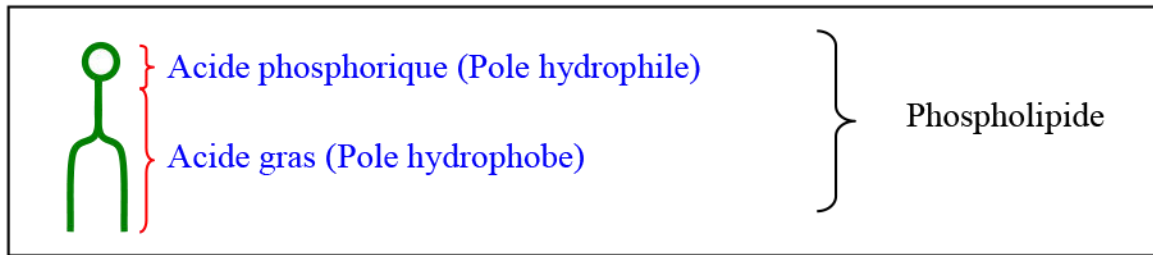
- 1) Déterminez les différents composants chimiques de la membrane plasmique puis décrivez sa structure.
- 2) Expliquez les différents mécanismes qui assurent le transport de l'eau et les sels minéraux à travers la membrane plasmique.

1) La membrane plasmique est la membrane qui délimite une cellule. Elle sépare l'intérieur de la cellule (le cytoplasme) du milieu extérieur.

En microscopie optique, la membrane est quasi invisible. En microscopie électronique, elle a l'aspect tri-lamellaire (3 couches) : deux feuillets denses séparés par un feuillet clair.

Elle est composée de 3 constituants principaux : 80 % de phospholipides (et de cholestérol pour les cellules animales), 20 % de protéines une très faible proportion de glucides.

Les phospholipides se composent d'acide gras insoluble dans l'eau liés à l'acide phosphorique soluble dans l'eau, ce qui donne à la molécule de phospholipide une polarité vis-à-vis de l'eau, avec un pôle hydrophile et un pôle hydrophobe, on la représente par le schéma suivant :



A partir de la composition chimique et de l'ultra structure, on suppose que les feuillets sombres sont des pôles hydrophiles et le feuillet clair est formé des pôles hydrophobes des phospholipides.

Le modèle de Danielli et Davson permettait de mieux comprendre la structure tri-lamellaire de la membrane plasmique, mais il se révèle très vite insuffisant, il ne permet pas d'expliquer la diffusion de molécules d'eau et de solutés hydrophiles.

Singer et Nicholson en 1972 ont proposé le modèle de la mosaïque fluide. Les protéines membranaires sont insérées dans la double couche lipidique ou à sa périphérie.

Selon ce modèle, les constituants de la membrane cytoplasmique, ne sont pas figés, mais ils sont capables de se déplacer à l'intérieur de la membrane sous forme de mosaïque fluide.

- 2) Selon le modèle de la mosaïque fluide, la membrane cytoplasmique est constituée d'un ensemble de molécules actives capables d'effectuer des échanges de matière au niveau de la cellule:
- ✓ Certaines protéines constituent des canaux d'eau temporaires qui permettent le passage de l'eau et des sels solubles en fonction du degré de concentration. C'est la diffusion simple.
 - ✓ Certaines protéines de transport se lient à certaines molécules et facilitent leur passage à travers la membrane cytoplasmique selon le gradient de concentration.
 - ✓ Certaines protéines intrinsèques agissent comme des molécules qui transportent des molécules contre le gradient de concentration ce qui demande la consommation d'énergie sous forme d'ATP.

Chapitre 2:

Echanges gazeux chlorophylliens et production de la matière organique

INTRODUCTION:

Les plantes chlorophylliennes sont des plantes autotrophes qui se caractérisent par la capacité de synthétiser leurs substances organiques à partir de substances minérales (eau, les sels minéraux et le CO_2). Cette synthèse nécessite l'énergie lumineuse, c'est pour ça qu'on parle de photosynthèse. La photosynthèse, est accompagnée par des échanges gazeux chlorophylliens avec les milieux extérieurs.

- Comment peut-on mettre en évidence ces échanges gazeux?
- Comment les plantes chlorophylliennes synthétisent elles les substances organiques? Et quelles sont les structures cellulaires qui interviennent.
- Comment se fait la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique?
- Quelles sont les principales classes de matières organiques qui résultent de la photosynthèse?

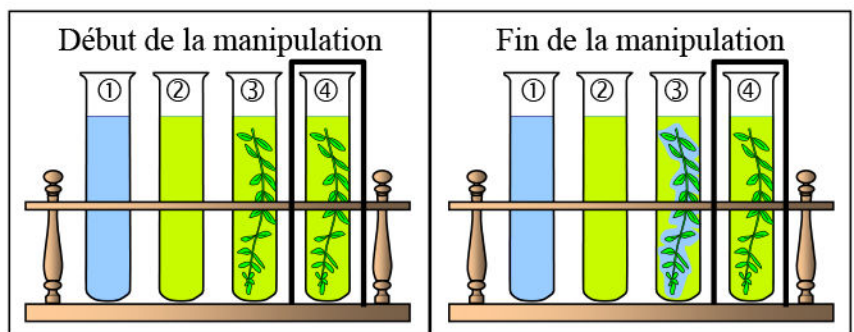
I – Mise en évidence des échanges gazeux chlorophylliens:

① Mise en évidence de l'absorption du CO_2 : (Voir le document 1)

Document 1: Mise en évidence de l'absorption de CO_2 :

Le bleu de bromothymol (BB) est un réactif colorant qui est bleu en absence de CO_2 , jaune verdâtre dans un milieu riche en CO_2 .

La figure ci-contre présente la manipulation de mise en évidence de l'absorption de CO_2 par une plante chlorophyllienne dans un milieu aquatique.



★ Pour mettre en évidence l'absorption du CO_2 par une plante aquatique qui est l'élodée, on prépare 4 tubes à essai, isolés de l'air ambiant et en présence de la lumière:

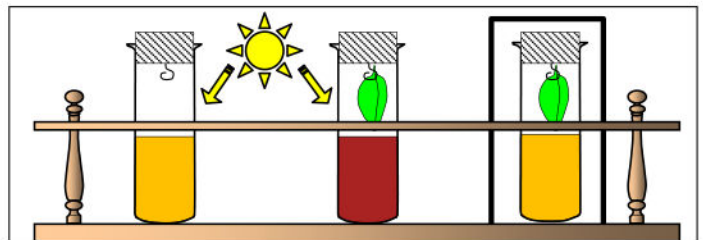
- ✓ Le tube ①, contient le BB + eau.
- ✓ Le tube ②, contient le BB + eau + CO_2 .
- ✓ Le tube ③, contient le BB + eau + CO_2 + l'élodée.
- ✓ Le tube ④, contient le BB + eau + CO_2 + l'élodée, mais en absence de la lumière.

Les figures ci-dessus présentent les résultats de cette manipulation.

★ Pour mettre en évidence l'absorption du CO_2 par une plante dans un milieu aérien on réalise la manipulation présenté par la figure ci-dessous.

Le rouge de crésol est un réactif dont la coloration change suivant la concentration du CO_2 dans le milieu. Il est :

- ✓ Marron clair dans l'air ambiant.
- ✓ Rouge dans un air pauvre en CO_2 .
- ✓ Jaune dans un air riche en CO_2 .



Utilisez les propriétés du bleu de bromothymol et le rouge de crésol pour expliquer les résultats obtenus et déduisez le phénomène biologique mis en évidence.

★ Première manipulation :

✓ Au début de la manipulation :

Le tube ① est bleu à cause de l'absence du CO_2 . Les tubes ②, ③ et ④ sont jaune verdâtre à cause de l'enrichissement du milieu en CO_2 .

✓ A la fin de la manipulation:

- La coloration des tubes ① et ② ne change pas à cause du non changement des conditions de la manipulation.
- Le tube ③ change de coloration. Il y'a apparition de la coloration bleu, qui peut être expliqué par l'appauvrissement du milieu en CO_2 . Ce CO_2 a été absorbé par la plante.
- Le tube ④ ne change pas de coloration, donc pas d'absorption de CO_2 dans ce milieu.

★ Deuxième manipulation :

- ✓ Le tube ⑤ et ⑦ sont de coloration jaune, du fait que le milieu est riche en CO_2 .
- ✓ Le tube ⑥ change de coloration et devient marron clair du fait de l'apparition du CO_2 dans ce milieu. Ce CO_2 est dégagé par la plante chlorophyllienne.

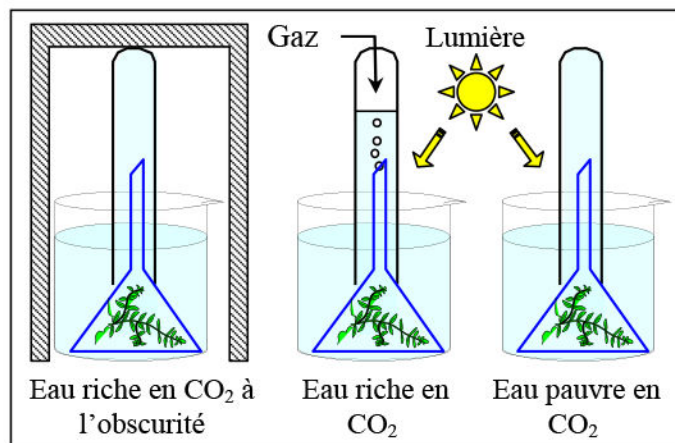
★ Conclusion :

En présence de la lumière, les plantes chlorophyllienne aériennes et aquatiques absorbent du CO_2 .

② **Mise en évidence du dégagement de l'oxygène:** (Voir le document 2)

Document 2: Mise en évidence du dégagement de l'oxygène (O_2):

Des plantes aquatiques (Elodée) sont placées sous un entonnoir recouvert d'un tube à essai. Soit à la lumière, soit à l'obscurité. Au début de l'expérience, les deux tubes utilisés était pleine d'eau. Les figures ci-contre, présentent les résultats observés une heure plus tard. Le gaz recueilli dans le tube à essai ravive une allumette ne présentant plus qu'un point en ignition : c'est le dioxygène (O_2).



Comparez les résultats obtenus à la lumière et à l'obscurité. Que peut-on déduire de ces expériences ?

A partir des résultats de l'expérience, on voit que la plante chlorophyllienne en présence de la lumière et du CO_2 , dégage un gaz qui ravive une allumette. Donc ce gaz est le dioxygène (O_2)

On déduit de ces résultats que la plante chlorophyllienne en présence de la lumière et du CO_2 , rejette le dioxygène (O_2).

③ Conclusion:

En présence de la lumière, les plantes chlorophylliennes absorbent le CO_2 et dégagent l' O_2 . On parle d'échanges gazeux chlorophylliens entre ces plantes et le milieu de vie.

Le processus cellulaire responsable du rejet d' O_2 et l'absorption de CO_2 est la photosynthèse qui est initiée par l'absorption de l'énergie lumineuse.

On appelle intensité photosynthétique (IP), la quantité de CO₂ absorbée ou la quantité d'O₂ dégagée en fonction du temps et de la masse de la matière végétale responsable.

$$IP = P(O_2 \text{ ou } CO_2) / \text{min} / \text{kg (ou } /m^2)$$

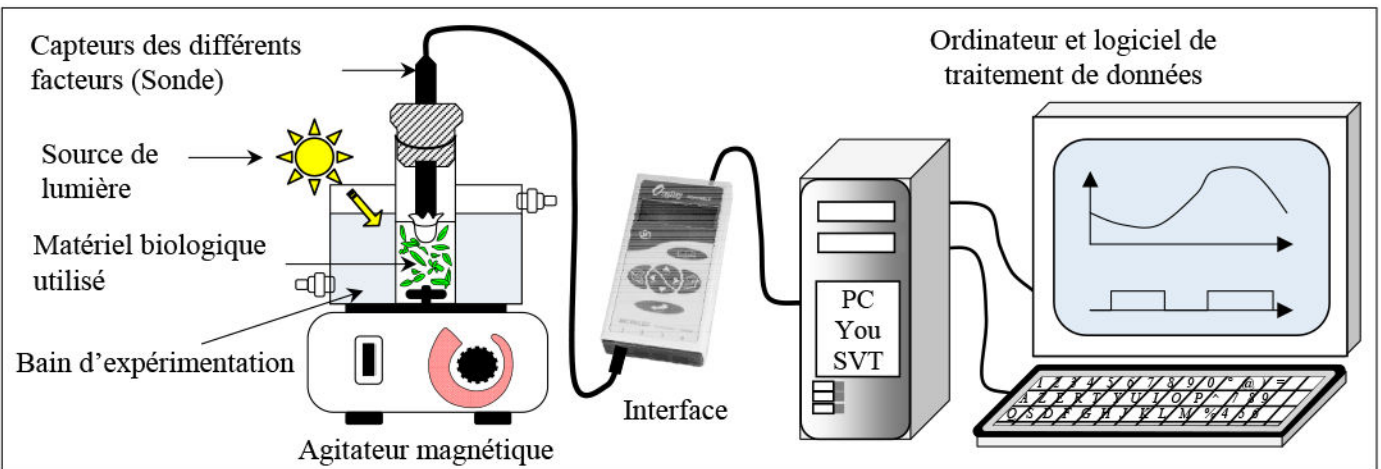
Pour obtenir les échanges gazeux réels (bruts) liés à la photosynthèse, il faut prendre en compte les échanges respiratoires.

II – Les facteurs agissant sur les échanges gazeux chlorophylliens:

① Expérience assisté par ordinateur (ExAO): (Voir le document 3)

Document 3: Expérience assisté par ordinateur (ExAO):

L'Expérimentation assistée par ordinateur (ExAO) est un environnement d'apprentissage constitué principalement d'un ordinateur associé à une interface d'acquisition, d'un logiciel spécialisé et de capteurs (figure ci-dessous).



Le matériel ExAO permet de mesurer en temps réel des variations de divers paramètres sur des individus, des cellules ou des organites cellulaires.

Lors d'une expérience, les capteurs mesurent la variation des grandeurs physiques. Le signal est envoyé à l'interface d'acquisition qui convertit le signal pour le transmettre à l'ordinateur. Un logiciel traite le signal et affiche les mesures à l'écran notamment sous forme de graphiques.

En exploitant les données de ce document, donnez les principaux avantages de l'ExAO.

L'incorporation de l'ordinateur dans une chaîne de mesure apporte de nombreux avantages. C'est un outil qui apporte une grande motivation et permet la réalisation de documents concrets.

L'acquisition des données peut être automatisée, les résultats des mesures peuvent être sauvegardés aisément et traités par divers outils logiciels. De plus, la présentation des résultats sous forme graphique est considérablement simplifiée ce qui en facilite l'analyse et l'exploitation pédagogique.

② Influence de quelques facteurs : (Voir le document 4)

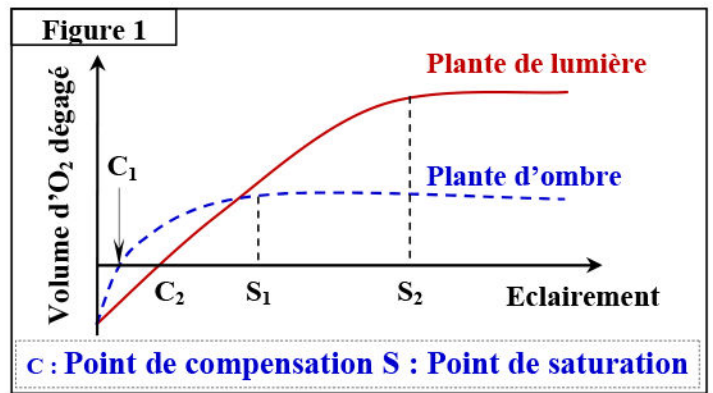
Document 4: Influence de quelques facteurs sur les échanges chlorophylliens:

Les échanges chlorophylliens sont influencés par plusieurs facteurs de l'environnement. Pour étudier ces influences, on mesure soit le dégagement du dioxygène (O₂) soit la consommation du gaz carbonique (CO₂). Ces mesures sont réalisées par le matériel ExAO, doté d'une sonde oxymétrique qui détecte la teneur en O₂ dans le milieu.

Document 4: (Suite):

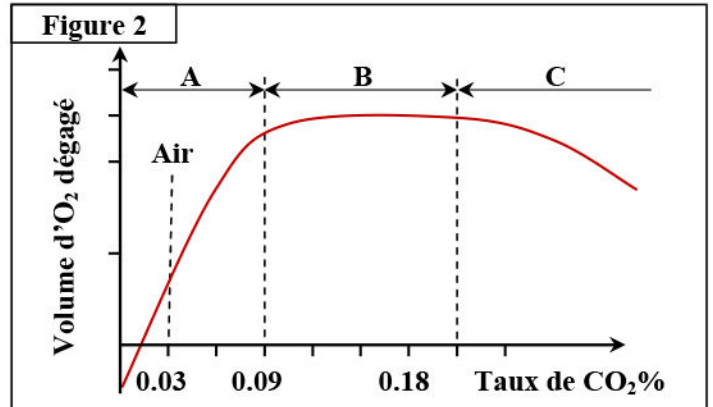
- **Expérience 1** : Influence de l'intensité de l'éclairement :

En gardant la température et la concentration en CO_2 constantes, on fait varier l'intensité de l'éclairement en déplaçant la source de lumière puis on mesure le volume d' O_2 dégagé pour chaque intensité de l'éclairement. Les résultats obtenus sont présentés par la figure 1.



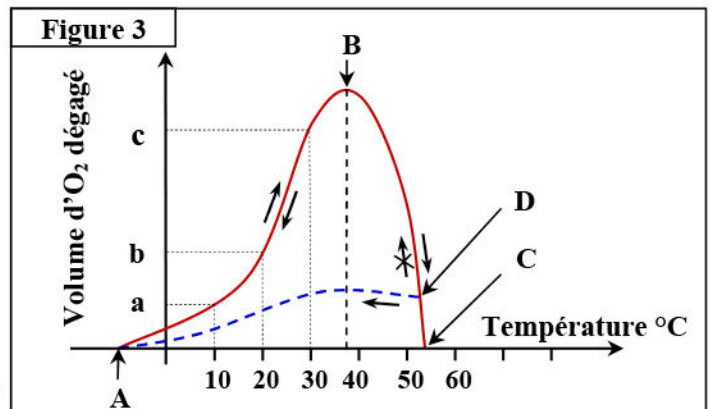
- **Expérience 2** : Influence de la concentration de CO_2 :

En gardant la température et l'intensité de l'éclairement constantes, on ajoute successivement des solutions d'hydrogénocarbonate de potassium (KHCO_3) de concentrations croissantes (KHCO_3 libère le CO_2 sous forme dissoute). On mesure le volume d' O_2 dégagé pour chaque concentration en CO_2 . Les résultats obtenus sont présentés par la figure 2.



- **Expérience 3** : Influence de la température :

En gardant la concentration en CO_2 et l'intensité de l'éclairement constantes, on augmente progressivement la température du milieu. On mesure le volume d' O_2 dégagé pour chaque température. Les résultats obtenus sont présentés par la figure 3.



Analysez les résultats de mesures obtenus pour chacun des facteurs étudiés et déterminez comment agissent sur le phénomène étudié.

Sur une plante chlorophyllienne, les échanges gazeux sont influencés par les facteurs de l'environnement : la lumière (source d'énergie), le CO_2 (source de carbone) et la température (qui affecte l'ensemble des réactions biochimiques).

a) Influence de l'intensité de l'éclairement : (Expérience 1)

Les points de compensation lumineux (C_1 et C_2) représentent la valeur de l'éclairement pour laquelle la photosynthèse nette est nulle : la production de dioxygène par photosynthèse compense sa consommation par respiration de plante.

L'éclairement saturant ou optimal (S_1 et S_2): c'est l'éclairement pour lequel la courbe atteint un plateau. Au-delà de cette valeur, la capacité d'absorption des photons dépasse la capacité de leur utilisation. Les échanges gazeux présentent une intensité maximale.

A un éclairement très faible moins que la valeur (C_1 ou C_2), il n'y a pas de dégagement de dioxygène, la plante consomme l' O_2 par respiration. Au-delà de cette valeur, le volume de dioxygène rejeté

augmente avec l'augmentation de l'éclairement, et atteint une valeur maximale à un faible éclairement (S_1) pour la plante d'ombre et à fort éclairement (S_2) pour la plante du soleil; cela constitue une adaptation des plantes au milieu de vie. Au-delà des valeurs (S_1 ou S_2), le rejet de dioxygène reste presque constant malgré l'élévation de l'intensité de l'éclairement, les plantes atteignent leurs capacités maximales de photosynthèse.

b) Influence de la concentration de CO_2 : (Expérience 2)

Les plantes aériennes assimilent le CO_2 atmosphérique (0,03 % de CO_2) tandis que les plantes aquatiques absorbent soit le CO_2 dissous, soit les ions bicarbonate HCO_3^- .

La courbe présente une première partie pseudo linéaire (A) pour laquelle le Taux d' O_2 dégagé par la plante augmente avec l'augmentation du taux de CO_2 dans le milieu, et une seconde partie qui correspond à un plateau pour lequel le dégagement d' O_2 est maximal. Dans ces conditions l'intensité de la photosynthèse est maximum.

Le taux de CO_2 dans l'air est de l'ordre de 0.03%. Si ce taux dépasse une valeur de 2%, il devient toxique (C).

c) Influence de la température : (Expérience 3)

Le dégagement d' O_2 début au point (A) à $-10^\circ C$. Elle augmente avec l'augmentation de la température et atteint son maximum (B) à $37^\circ C$. C'est la température optimale pour la photosynthèse.

Quand la température dépasse $37^\circ C$, Le dégagement d' O_2 diminue et s'annule au-delà de $50^\circ C$.

Si on diminue progressivement la température à partir du point D, on constate que le volume de dioxygène dégagé diminue sans atteindre la valeur B enregistré dans la température optimale. Donc lorsque la température dépasse la valeur de $50^\circ C$, le dégagement d' O_2 devient irréversible.

③ Conclusion :

Les échanges gazeux chlorophylliens sont affectés de manière différente par les facteurs de l'environnement et le phénomène global obéit à la loi dite des « facteurs limitant » que l'on peut énoncer de la façon suivante:

Lorsqu'un processus est contrôlé par plusieurs facteurs agissant indépendamment, son intensité est limitée par le facteur qui présente la valeur minimum. Le facteur est alors limitant et la vitesse du processus est proportionnelle à la valeur de ce facteur.

III – Les structures responsables des échanges chlorophylliens :

① Mise en évidence de l'existence des stomates : (Voir le document 5)

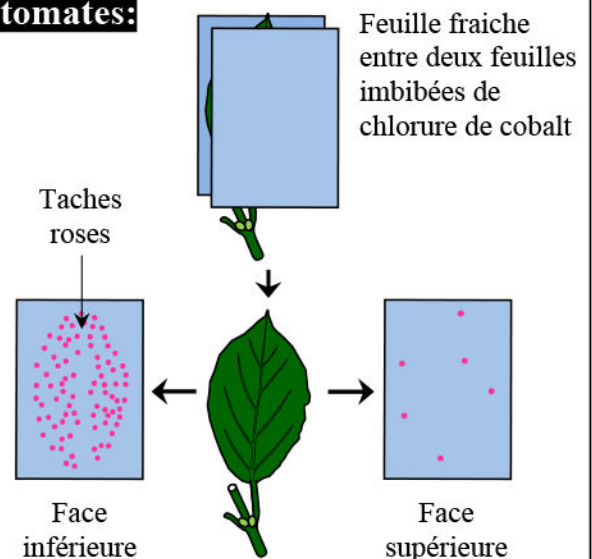
Document 5: Mise en évidence de l'existence des stomates:

Pour mettre en évidence les structures de la feuille responsables des échanges gazeux chlorophylliens, on réalise la manipulation suivante :

Certains sels métalliques peuvent changer de couleur selon qu'ils sont anhydres (secs) ou hydratés (humides). Par exemple le chlorure de cobalt est rose en présence d'eau et bleu lorsqu'il est sec.

Une feuille fraîchement coupée est fixée entre deux papiers imbibés de solution de chlorure de cobalt déshydratés (couleur bleu). Le résultat est observé une demi-heure après (Figure ci-contre).

Analysez les résultats de ce document et proposez une explication.



L'apparition de taches roses sur le papier imbibé de chlorure de cobalt peut être expliquée par le dégagement de l'eau sous forme de vapeur à travers des pores au niveau de la feuille. Ces pores sont des structures épidermiques appelés stomates.

Donc les échanges gazeux chlorophylliens se font au niveau des stomates.

Le nombre de taches est beaucoup plus important sur la face inférieure que la face supérieure. Donc la face inférieure de la feuille qui est responsables de ces échanges.

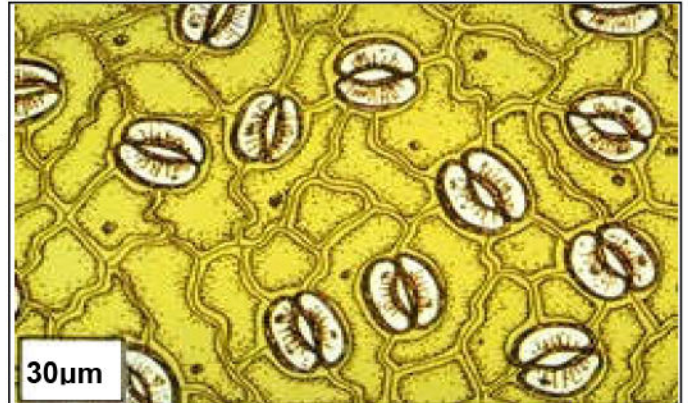
② Observation microscopique des stomates: (Voir le document 6)

Document 6: Observation microscopique des stomates:

Pour observer des stomates :

- ★ On prend des feuilles fraîches d'une plantes chlorophyllienne.
- ★ On prélève un fragment d'épiderme (2 à 3 mm de côté) à l'aide des pinces au niveau de la face inférieure.
- ★ On place le fragment dans une goutte d'eau entre lame et lamelle puis on l'observe sur un microscope optique.

Les résultats de cette observation sont présentés par la figure ci-contre



- 1) Décrire la structure observée.

Le tableau suivant donne le nombre de stomates chez différentes espèces :

Espèce	Blé	Maïs	Choux	Pommier	Chêne	Peuplier
Face inférieure	14	68	230	300	346	115
Face supérieure	33	52	140	00	00	20

- 2) Comparez la distribution des stomates sur les deux faces foliaires chez ces espèces.

- 1) La feuille est constituée d'un épiderme supérieur et inférieur (recouverts d'une cuticule imperméable) qui entourent le parenchyme chlorophyllien. Cet épiderme porte des ouvertures appelées stomates.

Les stomates sont situés sur l'épiderme inférieur, ils sont constitués de deux cellules: les cellules de garde qui délimitent un pore appelé ostiole.

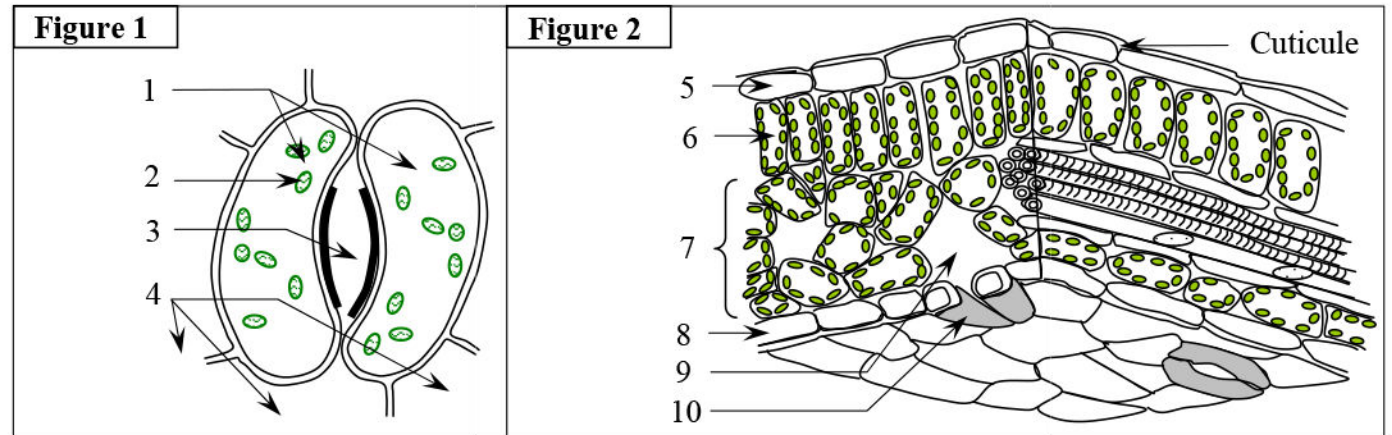
- 2) La densité des stomates est souvent très différente sur la face supérieure et la face inférieure des feuilles, avec, chez de nombreuses plantes, une absence totale de stomates sur la face supérieure. Mais le cas inverse existe aussi, comme chez les les nénuphars (aquatique), où seule la face supérieure de la feuille est au contact de l'air ambiant. De même, la densité des stomates peut être équivalente sur les deux côtés, par exemple pour des feuilles verticales.

La densité est également très différente selon les espèces : importante chez les plantes de milieu humide, beaucoup plus faible chez les plantes adaptées à un climat aride, voire totalement absente pour les feuilles immergées.

③ Structure des stomates: (Voir le document 7)

Document 7: Structure des stomates:

La figure 1 représente le schéma d'un stomate réalisé à partir d'une observation microscopique. La figure 2 représente un schéma d'interprétation d'une coupe transversale de la feuille.



Annotez ces schémas puis dégager de ces observations quelques caractéristiques des stomates.

★ Annotation des schémas :

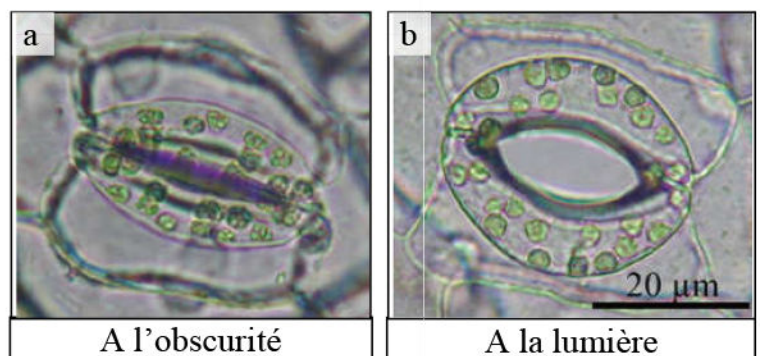
- ✓ Schéma de la figure 1 : 1 = cellules stomatiques ; 2 = Chloroplaste ; 3 = Ostiole ; 4 = Cellules de l'épiderme.
- ✓ Schéma de la figure 2 : 5 = Epiderme supérieur ; 6 = Parenchyme palissadique ; 7 = parenchyme lacuneux ; 8 = Epiderme inférieur ; 9 = Chambre sous-stomatique ; 10 = Stomate.

★ Les stomates sont des structures constituées de deux cellules différenciées de l'épiderme, en forme de haricot (réniforme), appelées cellules de garde. Celles-ci délimitent une ouverture appelée ostiole, permettent à l'air extérieur de passer la barrière de l'épiderme et d'entrer directement en contact avec les cellules parenchymateuses. En effet, on trouve le plus généralement, sous un stomate, un espace ouvert appelé chambre sous-stomatique.

④ Rôle des stomates dans les échanges gazeux: (Voir le document 8)

Document 8: Rôle des stomates dans les échanges gazeux:

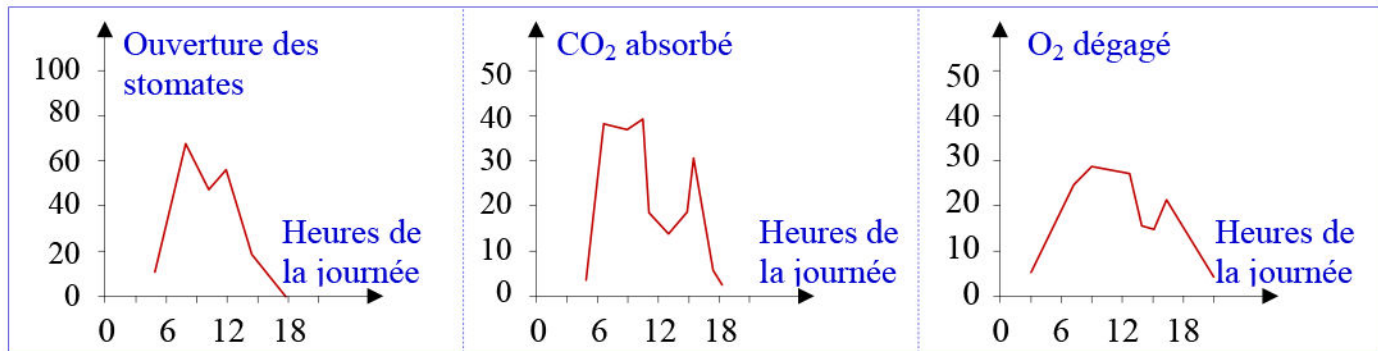
★ Pour mettre en évidence l'effet de l'éclairement sur l'état et la forme des stomates, on met une feuille de Géranium dans l'obscurité et on expose une autre à la lumière. Après avoir enlevé l'épiderme de la face inférieure, on met ce dernier sous microscope et on observe. Le résultat est représenté dans la figure ci-contre :



1) Comparez les deux états des stomates et proposez une explication de la différence observée.

★ On mesure l'ouverture des ostioles stomatiques et les échanges gazeux chlorophylliens pendant une journée d'été. Les résultats de cette expérience sont présentés par les graphes ci-dessous :

Document 8: (Suite):



1) Que peut-on déduire de l'analyse de ces graphes ?

- 1) L'ouverture et la fermeture de l'ostiole se fait en fonction des conditions du milieu comme la luminosité. En général, à l'obscurité, les ostioles sont fermés, il n'y a donc pas de transpiration. Par contre à la lumière, les ostioles sont ouvertes, donc il y a transpiration.
- 2) On constate un parallélisme entre l'ouverture des stomates et l'évolution des échanges gazeux au cours des heures de la journée pour atteindre le maximum d'ouverture et d'échanges gazeux entre 10 h et midi.
Entre midi et 14 h l'ouverture des stomates diminue ainsi que les échanges gazeux pour réduire la transpiration.
Le soir l'ouverture des stomates diminue et les stomates se ferment ainsi que les échanges gazeux s'affaiblissent progressivement.

Conclusion:

L'ouverture des stomates varie selon la luminosité et influe sur les échanges gazeux, les stomates sont les responsables des échanges gazeux.

L'ouverture des stomates permet l'absorption du CO₂ et le dégagement de dioxygène.

Les stomates sont le lieu où se fait la transpiration, phénomène au cours duquel la plante chlorophyllienne perd de l'eau.

La perte d'eau par les stomates provoque un appel d'eau vers les feuilles. C'est l'aspiration foliaire qui permet la montée de la sève brute: on dit que les stomates jouent le rôle de pompes ou de ventouses, ce sont les moteurs de la circulation de la sève brute.

⑤ Les facteurs qui influencent l'ouverture stomatique: (Voir le document 9)

Document 9: Les facteurs qui influencent l'ouverture stomatique:

Plusieurs facteurs extrinsèques agissent sur l'ouverture des stomates et influent sur les échanges gazeux, surtout la transpiration:

- ✓ L'état du sol: Tout ce qui conduit à réduire l'absorption racinaire (diminution de l'humidité du sol, sa teneur en ion, diminution de sa température...) aboutit à un déficit hydrique et, par conséquent, à la fermeture des stomates.
- ✓ Vent et agitation de l'air: Le vent favorise la transpiration en renouvelant l'air au contact des tissus. Ainsi, ils ne peuvent pas s'humidifier; les stomates restent ouverts; la perte d'eau est plus importante. L'air sec exerce une forte succion sur l'eau.
- ✓ La figure 1 présente l'influence de la température sur l'ouverture des stomates.
- ✓ La figure 2 présente l'ouverture des stomates selon l'heure de la journée et les conditions climatiques.

Document 9: (Suite):

Figure 1

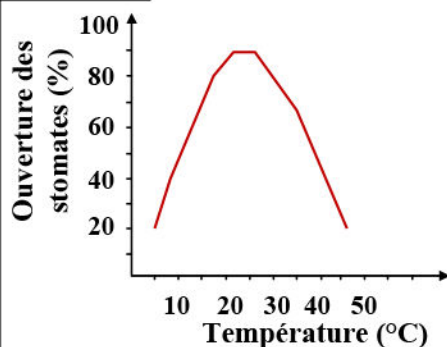
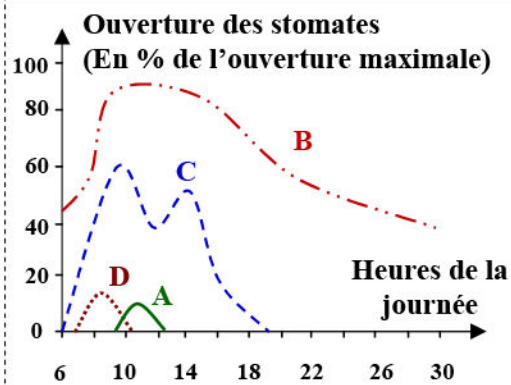


Figure 2

- A : Journée d'automne froide et pluvieuse
- - B : Journée d'été chaude et pluvieuse
- - C : Journée d'été chaude et sèche
- ... D : Journée d'été très sèche



A partir de l'analyse des données de ce document, déduisez les facteurs agissant sur l'ouverture des stomates.

L'ouverture et la fermeture des stomates sont liés à plusieurs facteurs qui agissent de façon combinée, à savoir l'état du sol, de l'air ambiant, l'humidité, l'éclairement et la température.

★ Température : (Figure 1)

La température : La température agit également sur l'évaporation de l'eau cellulaire. En effet, son augmentation entraîne de la même manière une augmentation de l'ouverture des stomates et donc de la transpiration. De plus, lorsque la température dépasse un certain seuil (environ 30°C), elle provoque la fermeture des stomates et donc une diminution de la transpiration.

★ Périodicité annuelle et journalière : (Figure 2)

Dans les mêmes conditions de lumière et de température, les stomates sont plus ouverts si la température et l'humidité de l'atmosphère sont élevées (B), tandis que le pourcentage d'ouverture des stomates diminue si l'atmosphère est chaude et sèche (C). Nous en concluons que la plante en cas de sécheresse ferme les stomates afin de ne pas perdre une grande quantité d'eau pendant le processus de transpiration.

La comparaison des courbes A et D montre que l'ouverture des stomates est brève dans certaines circonstances :

- ✓ Dans les premières heures de la matinée pendant les jours d'été très secs (D), c'est-à-dire lorsque la température et l'humidité sont appropriées.
- ✓ Au milieu de la journée pendant les jours d'automne froids et pluvieux (A), c'est-à-dire lorsque l'intensité de la lumière et de la température sont appropriées.

⑥ Mécanisme d'ouverture et de fermeture des stomates: (Voir le document 10)

Document 10: Mécanisme d'ouverture et de fermeture des stomates:

Pour mettre en évidence l'action de la lumière sur l'ouverture des stomates ; on considère les données suivantes :

★ On mesure la pression osmotique des cellules stomatiques et des cellules avoisinantes, avant et après éclairage, et on obtient les résultats du tableau 1:

Tableau 1	Avant éclairage	Après éclairage
pression osmotique des cellules stomatiques	12 barres	18 barres
pression osmotique des cellules avoisinantes	15 barres	12 barres

1) Que peut-on conclure de l'analyse de ces résultats ?

Document 10: (Suite):

★ Pour comprendre le phénomène observé ci-dessus, on a déterminé la concentration des ions K^+ dans le milieu intracellulaire des cellules stomatiques et dans le milieu intracellulaire des cellules avoisinantes avant et après éclairage, et on a obtenu les résultats du tableau 2:

Tableau 2	Taux de K^+ dans le milieu intracellulaire	
	Avant éclairage	Après éclairage
Cellules stomatiques	+++	++++
Cellules avoisinantes	+++	+

2) Que peut-on conclure de l'analyse de ces résultats ?

L'acide abscissique est une hormone végétale qui inhibe l'activité des protéines intégrées dans la membrane cytoplasmique de la cellule, le traitement des cellules stomatiques par cette hormone provoque la répartition isotonique des ions K^+ entre les cellules stomatiques et les cellules avoisinantes malgré l'éclairage. On constate le même résultat si les cellules stomatiques sont traitées par une substance qui inhibe l'hydrolyse de l'ATP source de l'énergie utilisée par la cellule.

3) Que peut-on conclure ?

1) Avant l'éclairage les cellules stomatiques sont hypotoniques alors que les cellules avoisinantes sont hypertoniques

Après éclairages la tension s'inverse, les cellules stomatiques deviennent hypertoniques alors que les cellules avoisinantes deviennent hypotoniques.

L'éclairage augmente la pression osmotique des cellules stomatiques

2) Avant éclairage la répartition des ions K^+ est isotonique dans le milieu intracellulaire des cellules stomatiques et des cellules avoisinantes. Après éclairage la concentration des ions K^+ augmente dans les cellules stomatiques et diminue dans les cellules avoisinantes.

La lumière provoque donc le passage des ions K^+ des cellules avoisinantes vers les cellules stomatiques.

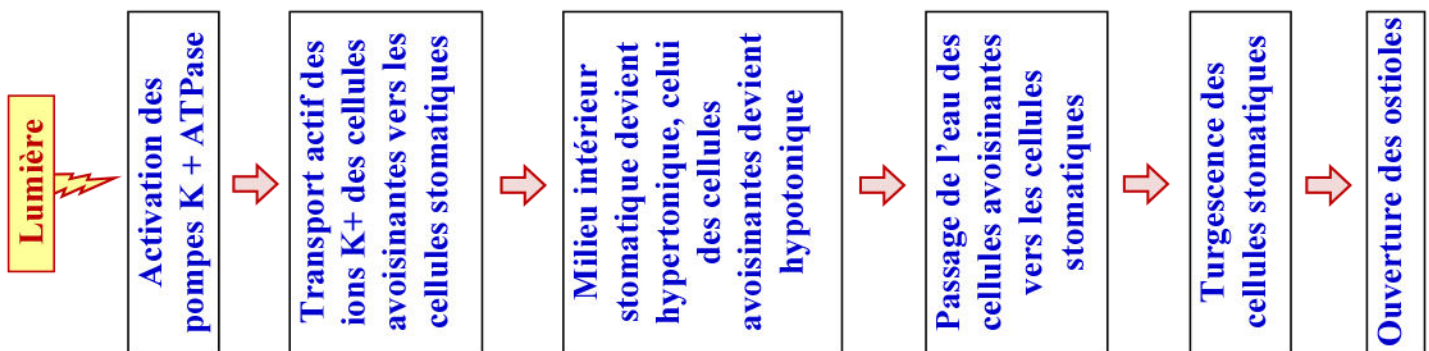
3) Le passage des ions K^+ des cellules avoisinantes vers les cellules stomatiques à l'éclairage est due à des protéines intégrées dans les membranes plasmiques des cellules.

Le transport des ions K^+ des cellules avoisinantes vers les cellules stomatiques est un transport actif qui nécessite l'énergie.

Conclusion:

Les stomates s'ouvrent ou se ferment selon les forces osmotiques qui correspondent aux variations de la concentration de potassium intracellulaire. La turgescence des cellules stomatiques entraîne une déformation qui va ouvrir l'ostiole, alors que la plasmolyse de ces cellules va entraîner la fermeture de l'ostiole.

Schéma suivant résume le mécanisme de l'ouverture des stomates après éclairage :



IV – Production de la matière organique par les plantes chlorophylliennes:

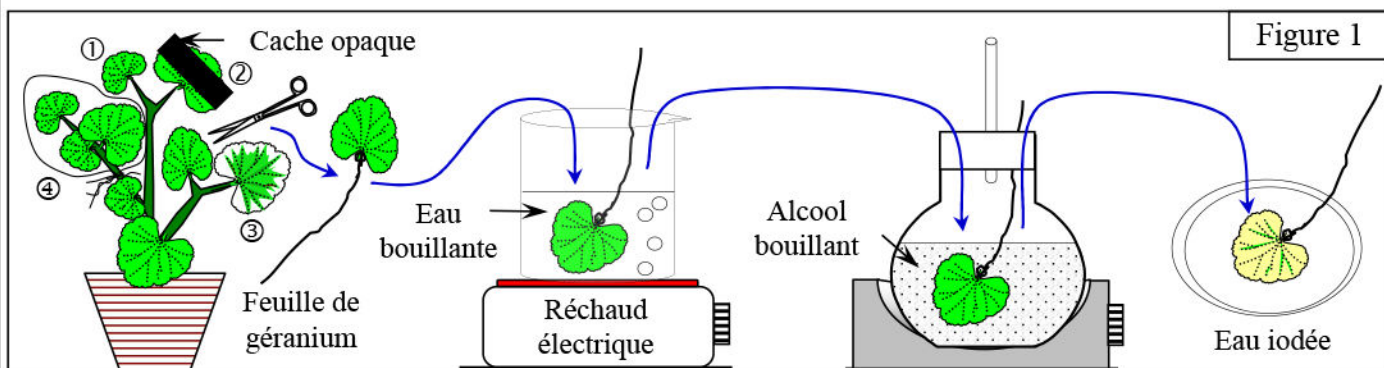
① Les conditions nécessaires à la synthèse de l'amidon: (Voir le document 11)

Document 11: Les conditions nécessaires à la synthèse de l'amidon:

Pour déterminer les conditions nécessaires à la synthèse de l'amidon (Matière organique) chez une plante chlorophyllienne comme le géranium ou le pélargonium, on met une plante à l'obscurité pendant 48 heures puis on prépare 4 feuilles selon les conditions bien déterminées et on expose la plante à la lumière pendant plusieurs heures:

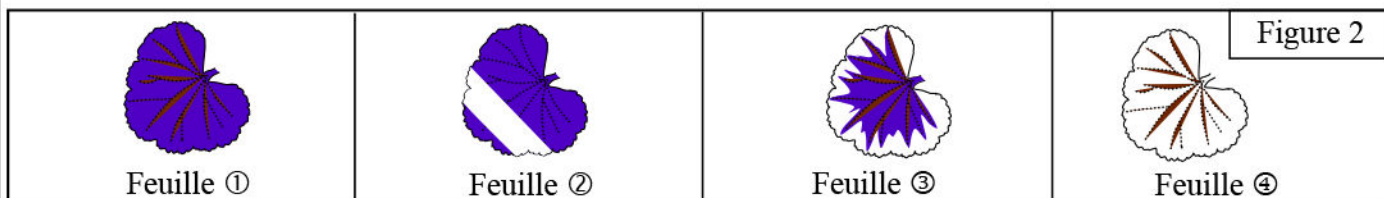
- ✓ La feuille ① : exposée d'une façon normale à la lumière (témoin).
- ✓ La feuille ② : est recouverte partiellement avec un cache opaque.
- ✓ La feuille ③ : est une feuille panachée présentant des zones dépourvues de chlorophylle, est exposée d'une façon normale à la lumière.
- ✓ La feuille ④ : mise dans un sac transparent sans dioxyde de carbone.

On prélève les quatre feuilles qui vont subir les traitements présentés par la figure 1 :



- On trempe la feuille dans l'eau bouillante pour la tuer.
- On la plonge dans l'alcool bouillant pour la décolorer (la feuille perd sa couleur verte).
- On rince à l'eau froide puis on plonge la feuille dans l'eau iodée (Colorant qui colore spécifiquement l'amidon en bleu-foncé).

Les résultats du traitement des feuilles sont présentés par la figure 2 :



Réalisez les expériences décrites dans ce document puis déduisez les conditions nécessaires à la synthèse de l'amidon par les plantes chlorophylliennes.

Les plantes chlorophylliennes jouent le rôle de producteur dans toutes les chaînes alimentaires, elles sont capables de produire la matière organique de nature variée surtout l'amidon qu'on va mettre en évidence.

Analyse des résultats:

- ✓ La feuille ①, éclairée totalement, prend en entier la coloration bleu violet après traitement à l'eau iodée.
- ✓ La feuille ②, éclairée partiellement, la couleur bleu violet apparaît uniquement dans les zones éclairées après traitement à l'eau iodée.
- ✓ La feuille ③, panachée, seules les régions vertes sont colorées en bleu-noir, après traitement à l'eau iodée.

- ✓ La feuille ④, isolée du dioxyde de carbone par un sac transparent, reste jaune après traitement à l'eau iodée.

Conclusion:

Les plantes chlorophylliennes produisent des substances organiques comme l'amidon (Polymère de glucose) au niveau des feuilles. Cette synthèse ne s'effectue qu'à des conditions bien déterminées, qui sont, en plus de l'eau et des sels minéraux, la présence de la chlorophylle, la lumière et du CO_2 . Le phénomène permettant de transformer l'énergie lumineuse en composés organiques est la photosynthèse.

② Nature chimique de la matière organique produite:

Les molécules organiques ou biomolécules sont spécifiques de la matière vivante. Elles appartiennent à trois grandes familles : les glucides, les lipides, les protéines, les vitamines et les acides nucléiques. Ces molécules contiennent des atomes de carbone associés à des atomes d'hydrogène, d'oxygène et, pour les protéines, des atomes d'azote.

a) Les glucides :

Les glucides sont des corps ternaires, composés essentiellement de trois éléments : le carbone (C), l'hydrogène (H), et l'oxygène (O).

★ Les oses :

Les oses appelés aussi monosaccharides, sont les unités de base qui constituent tous les glucides. Leur formule globale est $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n$ avec $3 \leq n \leq 7$. (Voir le document 12)

Document 12 : La nature chimique des glucides : Les Oses.				
Les Oses (monosaccharides) : Formule chimique globale ($\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_n$)				
Exemple	Glucose $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	Galactose $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	Fructose $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	Ribose $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$
Formule chimique développée cyclique				
Formule chimique développée Linéaire	<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">Glucose</div> $\begin{array}{ccccccc} & \text{H} & \text{H} & \text{OH} & \text{H} & & \\ & & & & & & \\ \text{HO} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & \text{H} \\ & & & & & & \\ & \text{OH} & \text{OH} & \text{H} & \text{OH} & \text{O} & \end{array}$	<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">Fructose</div> $\begin{array}{ccccccc} & \text{H} & \text{H} & \text{OH} & & & \\ & & & & & & \\ \text{HO} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & \text{H} \\ & & & & & & \\ & \text{OH} & \text{OH} & \text{H} & \text{O} & \text{OH} & \end{array}$		

n	3	4	5	6	7
Formule de l'ose	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_4$	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	$\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_7$
Nom de l'ose	Triose	Tétrade	Pentose	Hexose	Heptose

- ✓ Pour la mise en évidence de l'existence du glucose dans une solution, on utilise la liqueur de Fehling qui donne un précipité rouge brique en chauffant.

★ **Les osides :**

Les osides sont des glucides formés, par la combinaison soit de deux molécules d'oses et on parle de diholosides ou diholosides, soit de plusieurs molécules d'oses et on parle de polyholosides ou polysaccharides.

⇒ **Les diholosides :** (Voir le document 13)

Document 13: La nature chimique des glucides : Les Diholosides:		
Les diholosides (Disaccharides) : Formule chimique globale $(C_{2n}(H_2O)_{2n-1})$		
Exemples	Saccharose $(C_{12}H_{22}O_{11})$	Maltose $(C_{12}H_{22}O_{11})$
Formule chimique développée cyclique	<p style="text-align: center;">Glucose Fructose</p>	<p style="text-align: center;">Glucose Glucose</p>

Les diholosides sont des glucides résultant de la condensation de deux molécules d'oses unies par une liaison osidique.

⇒ **Les polyholosides :** (Voir le document 14)

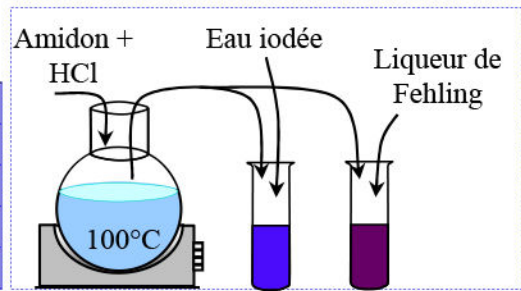
Document 14: La nature chimique des glucides : Les Polyholosides:	
Les polyholosides (Polysaccharides) : Formule chimique globale $(C_6H_{10}O_5)_n$	
Exemple 1	Amidon $(C_6H_{10}O_5)_n$
Formule chimique développée cyclique	<p style="text-align: right;">Glucose</p>
Exemple 2	Cellulose $(C_6H_{10}O_5)_n$
Formule chimique développée cyclique	<p style="text-align: right;">Glucose</p>

Document 14: (Suite):

Hydrolyse de l'amidon dans un milieu acide :

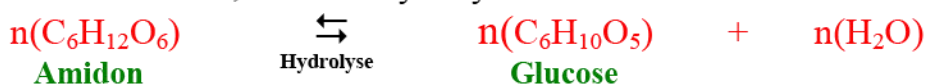
L'hydrolyse de l'amidon se fait en plusieurs étapes. On prépare le montage décrit dans le schéma ci-dessous. On effectue un prélèvement de 5mL dans le ballon toutes les 5 min et on teste à l'eau iodée et à la liqueur de Fehling. On obtient les résultats suivants :

	Eau iodée	Liquor. F	Composé
5 min	Bleu violet	Bleu	Amidon
10 min	Violet	Bleu	Dextrines
15 min	Rouge	Rouge brique	Maltose
20 min	Jaune	Rouge brique	Glucose



Les polyholosides sont des polymères constitués de plusieurs oses liés entre eux par des liaisons osidiques. Les plus répandus du règne végétal sont la cellulose et l'amidon, tous deux polymères du glucose.

L'amidon n'est pas un sucre réducteur, mais son hydrolyse conduit à la formation d'un sucre réducteur qui est le glucose :



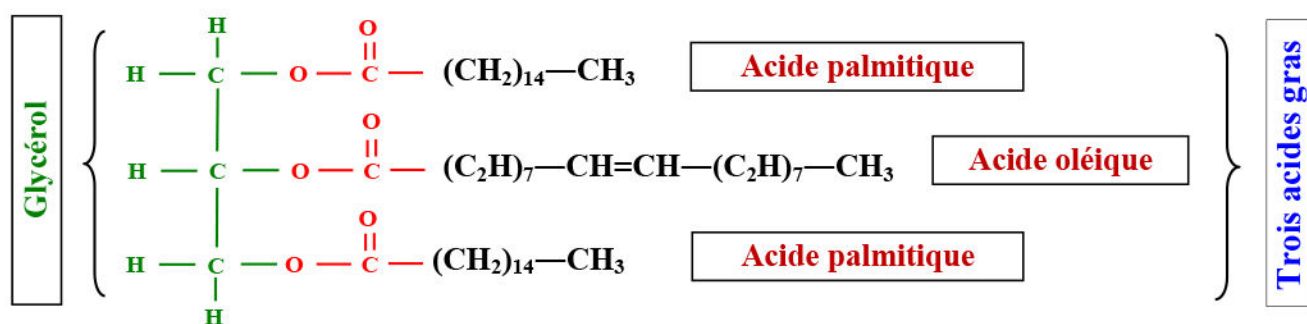
b) Les lipides : (Voir le document 15)

Document 15: La nature chimique des lipides:

- ★ Les lipides sont des composés ternaires formés de carbone, d'oxygène et d'hydrogène (Lipides simples). Certains contiennent également du phosphore et l'azote (Lipides complexes).
- ★ Les lipides sont insolubles dans l'eau, mais sont solubles dans des solvants organiques comme l'alcool et l'éther.
- ★ L'hydrolyse des lipides libère des acides gras et des alcools. Ils sont donc formés de l'association de ces deux composés.
- ★ L'alcool est une molécule organique possédant une fonction hydroxyle (OH). On le désigne par la formule $\text{R}_1\text{-OH}$ où R_1 représente le radical organique.
- ★ L'acide gras est un hydrocarbure possédant la fonction carboxyle -COOH . Chaque acide gras est désigné par la formule $\text{R}_2\text{-COOH}$ où R_2 représente le radical organique.

Les lipides : La structure chimique

Le glycérol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$)	Acide palmitique ($\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$)
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} - \text{C} - \text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{HO} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{H} \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$ <p style="text-align: center;"> Fonction carboxyle Radical organique </p>
Acide oléique ($\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$) = acide gras insaturé	
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{HO} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} = \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{C} - \text{H} \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	

Document 15 : (Suite):**L'huile d'olive = Triglycéride****Mise en évidence des lipides**

- ★ Test du papier : En frottant énergiquement la substance à tester sur une feuille de papier, l'apparition d'une tache translucide atteste la présence de lipides.
- ★ Coloration au Rouge Soudan : Mettre la substance à tester en solution dans un verre de montre. Ajouter quelques gouttes de rouge Soudan. Monter éventuellement entre lame et lamelle pour une observation au microscope. Le rouge Soudan met en évidence les lipides par une coloration rouge.

Les lipides sont des substances qui résultent de la réaction entre un acide gras et un alcool (réaction d'estérification) avec production d'une molécule d'eau.



Les glycérides sont les lipides les plus communs. Ils résultent de l'estérification du glycérol par une, deux ou trois molécules d'acides gras.

L'huile d'olive est un triglycéride formé de l'estérification du glycérol, de deux molécules d'acide palmitique et d'une molécule d'acide oléique.

On peut classer les lipides en :

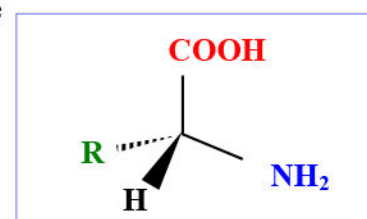
- ★ Lipides simples : Esters d'acides gras et de divers alcools. Ils sont répartis en deux catégories : les glycérides (l'alcool est le glycérol), et les stérides (l'alcool est le stérol).
- ★ Lipides complexes : La molécule contient, en plus de l'acide gras et de l'alcool, des groupements non lipidiques. Exemple les phospholipides qui possèdent une fonction phosphate à leur extrémité.

c) **Les protides :** (Voir le document 16)

Document 16: La nature chimique des protides:

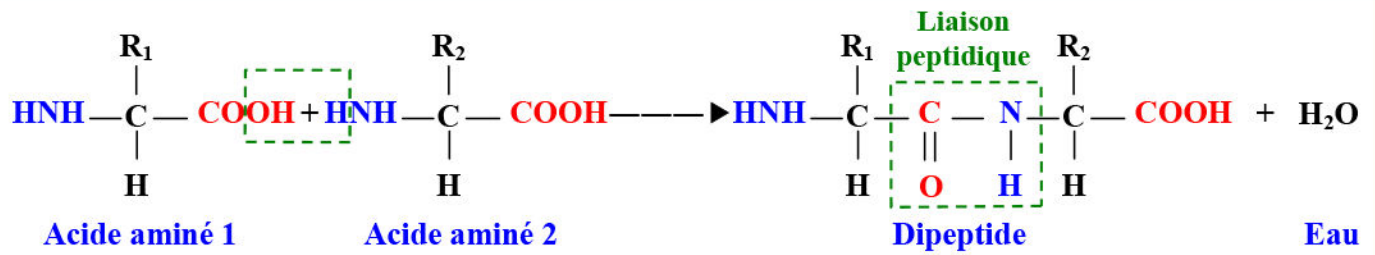
- ★ L'hydrolyse des protides donne des acides aminés : unités de base qui constituent tous les protides.
- ★ Un acide aminé possède quatre groupements portés sur le même carbone : un groupement carboxyle ($-\text{COOH}$), un groupement amine ($-\text{NH}_2$), un atome d'hydrogène (H) et un radical (R).
- ★ Les acides aminés diffèrent entre eux par le radical (R). Leur nombre dans la nature se limite à 20 acides aminés.

Si $\text{R} = \text{H}$: la glycine, si $\text{R} = -\text{CH}_3$: l'alanine, si $\text{R} = \text{CH}_2\text{OH}$: la sérine.

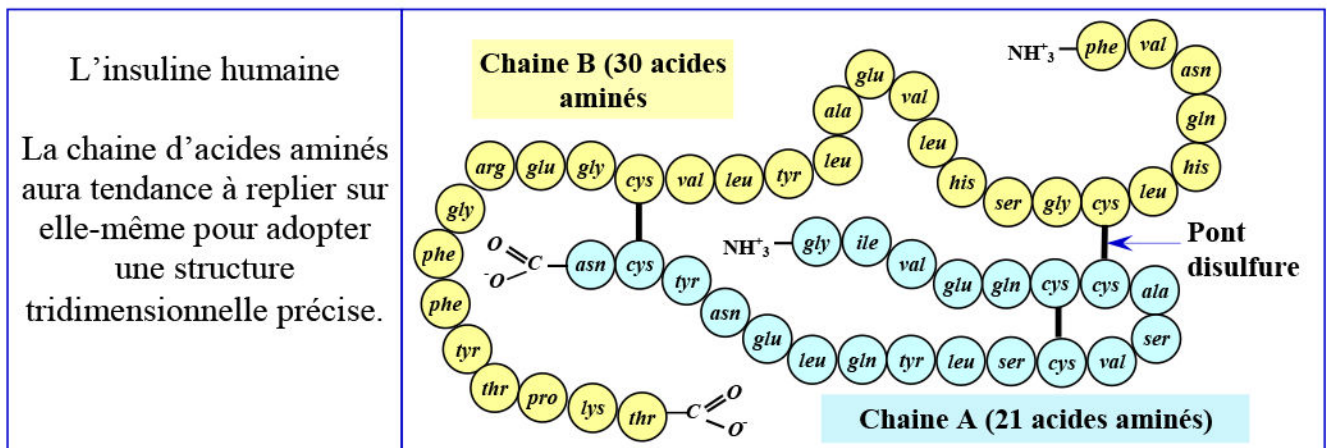


Document 16: (Suite):

- ★ Les acides aminés peuvent se lier les uns aux autres par une liaison peptidique. C'est une liaison covalente qui s'établit entre la fonction carboxyle, portée par un acide aminé, et la fonction amine, portée par l'acide aminé suivant dans la chaîne peptidique. La formation d'une peptidique s'accompagne de la libération d'une molécule d'eau.



- ★ L'enchainement de plusieurs acides aminés, liés par des liaisons peptidiques, forme un polypeptide.
- ★ Généralement on parle de polypeptide lorsque le nombre d'acides aminés ne dépasse pas 100. Au delà de 100 acides aminés, on parle de protéine.
- ★ Exemple de protéine : l'insuline humaine (Figure ci-dessous)



- ★ La structure primaire d'une protéine, est la séquence d'acides aminés du début à la fin de la molécule. Autrement dit, la structure primaire identifie le nombre exact des acides aminés, leurs natures, et leur enchainement.
- ★ La structure secondaire et tertiaire d'une protéine, sont le résultat du repliement spontané de la chaîne polypeptidique pour donner une structure à trois dimensions.
- ★ La structure quaternaire résulte généralement de l'agencement de plusieurs chaînes polypeptidiques, pour donner à la protéine sa structure finale, qui lui permet d'accomplir sa fonction biologique.
- ★ Les protéines se divisent en deux groupes : les protéines simples (Holoprotéines) composées uniquement d'acides aminés et les protéines complexes (Hétéroprotéines) composées d'acides aminés et des corps non protidiques.

Les protides sont des corps quaternaires car ils contiennent toujours quatre éléments chimiques : C, H, O et l'azote N. Certains protides contiennent également le soufre (S) et le phosphore (P).

Un protide est une molécule composée d'un assemblage complexe d'acides aminés. Elle est dite polypeptide si elle contient un nombre inférieur à 100 acides aminés, et protéine si ce nombre est supérieur à 100.

Chapitre 3:

Conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique et synthèse de la matière organique

INTRODUCTION:

Les plantes chlorophylliennes se caractérisent par la capacité de synthétiser les substances organiques à partir de substances minérales (eau, sels minéraux et CO_2) en utilisant l'énergie lumineuse. C'est la photosynthèse, phénomène, qui nécessite la présence de la chlorophylle (pigments vert).

- Quels sont les pigments constituant la chlorophylle ?
- Quels est le rôle et les caractéristiques de ces pigments ?
- Où sont localisés ces pigments dans la cellule végétale ?
- Comment les végétaux chlorophylliens utilisent-ils l'énergie lumineuse pour produire la matière organique ?

I – Les pigments chlorophylliens et leur localisation dans la cellule:

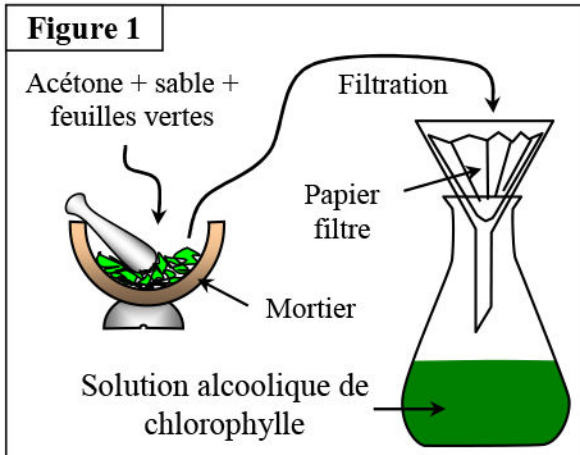
① Extraction et séparation des pigments chlorophylliens:

a) Manipulations : (Voir le document 1)

Document 1: Extraction et séparation des pigments chlorophylliens:

★ Extraction des pigments chlorophylliens des feuilles d'une plante chlorophyllienne (Figure 1):

- On découpe en morceaux quelques feuilles bien vertes, puis on broie ces morceaux dans un mortier avec un peu de sable afin d'écraser les cellules.
- On ajoute peu à peu 10ml d'alcool 90° et on continue à broyer pour solubiliser les pigments.
- On filtre le contenu du mortier sur un papier filtre : la solution obtenue est la chlorophylle brute.

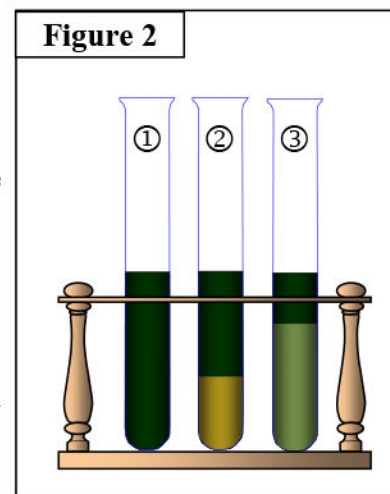


★ Séparation des pigments chlorophylliens par la technique de solubilité différentielle (Figure 2):

On peut séparer les constituants solubles d'un mélange par solubilité différentielle :

On ajoute au mélange des solutions non miscibles entre elles. Chaque substance dissoute sera, alors, entraînée avec la solution où sa solubilité est élevée:

- On verse 5 cm^3 de la solution de chlorophylle brute dans un tube à essai (Tube ①).
- On ajoute 5 cm^3 d'éther de pétrole puis des gouttes d'eau, et on laisse reposer. On obtient un mélange composé d'un pigment vert et un pigment jaune (tube ②).
- On conserve seulement le pigment vert au quel on ajoute le méthanol (Tube ③).



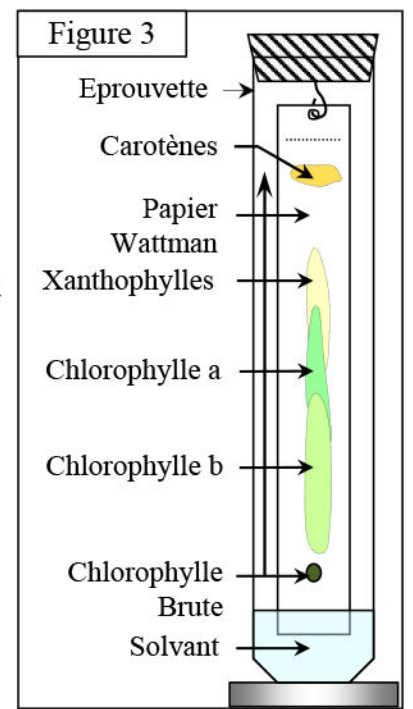
Document 1: (Suite):

★ Séparation des pigments chlorophylliens par la technique de chromatographie (Figure 3):

Un solvant (alcool, acétone, benzène...) peut progresser par infiltration capillaire à travers différents milieux (papier filtre, papier Wattman...) tout en entraînant des substances qui y sont solubles.

- On dépose, sur une bande de papier Wattman à environ 2 cm du bas, une goutte de la solution de chlorophylle brute.
- On suspend la bande du papier Wattman dans une éprouvette graduée contenant 5 ml de solvant organique (Ether de pétrole (85%) + acétone (10%) + benzène (5%).
- On ferme l'éprouvette en évitant que la bande du papier Wattman touche les parois de l'éprouvette.
- On place l'éprouvette à l'obscurité pendant une demi-heure.

Réalisez les manipulations décrites dans ce document. Identifiez les différents pigments chlorophylliens et déduisez leurs caractéristiques.



b) Analyse et interprétation des résultats:

Une feuille verte broyée dans un solvant organique comme l'alcool ou l'acétone permet d'extraire la chlorophylle brute.

Il est possible de séparer les différents pigments de la chlorophylle brute par plusieurs techniques. La méthode simple, essentiellement qualitative, peut être réalisée par une chromatographie sur papier.

La chlorophylle brute est un mélange de quatre pigments : la chlorophylle a de couleur vert bleuté, la chlorophylle b de couleur vert jaunâtre, les xanthophylles de couleur jaune et le carotène de couleur orange.

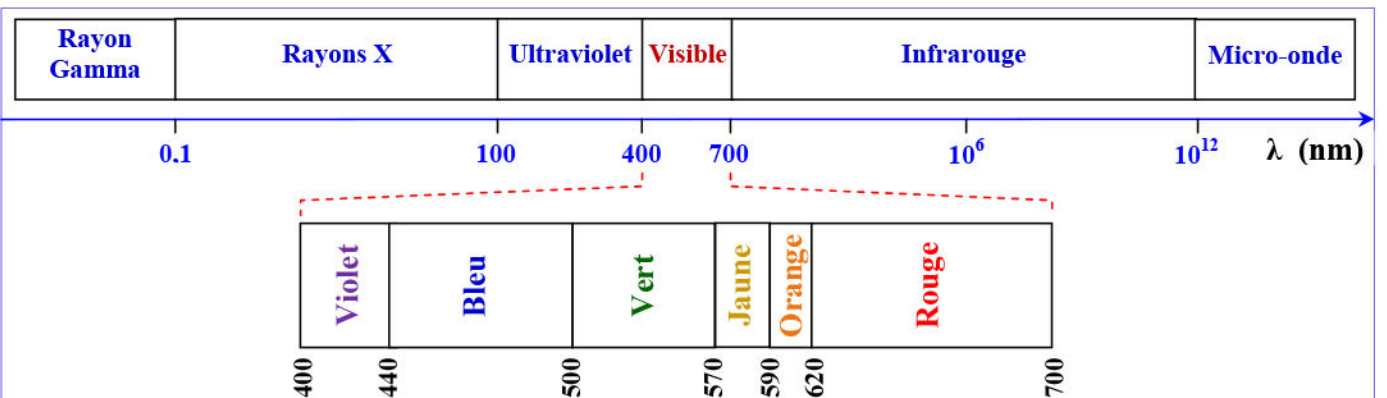
② Propriétés des pigments chlorophylliens:

a) Absorption des radiations lumineuses par la chlorophylle :

1-1 Spectre d'absorption de la chlorophylle : (Voir le document 2)

Document 2: Spectre d'absorption de la chlorophylle:

★ La lumière blanche est un faisceau d'ondes électromagnétiques qui diffèrent par leurs longueur d'onde. En envoyant un rayon de lumière blanche sur la surface d'un prisme, il se décompose donnant un spectre visuel, ensemble d'ondes lumineuses visibles par l'œil humain (Figure ci-dessous).

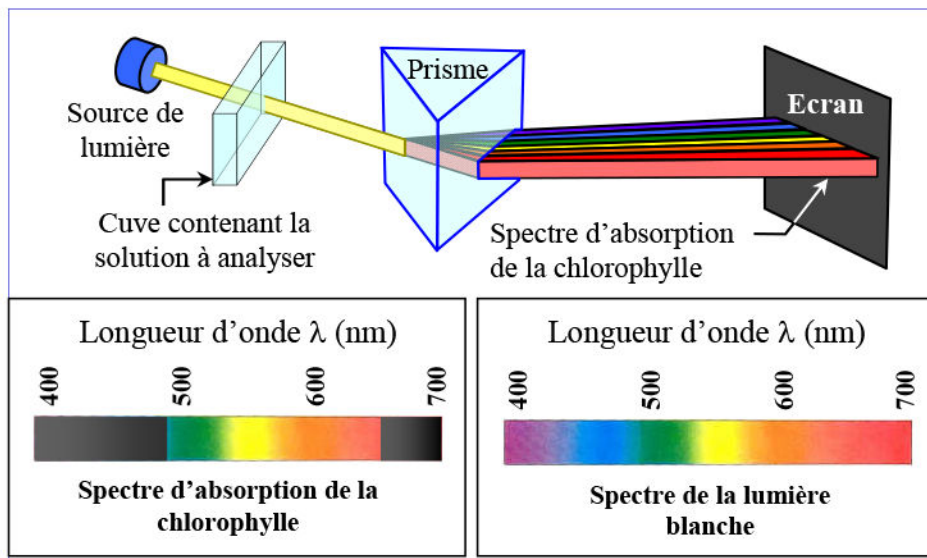


Document 2: (Suite):

★ Pour mettre en évidence les propriétés lumineuses de la chlorophylle brute, on compare le spectre d'absorption de la chlorophylle brute avec le spectre de la lumière blanche.

Pour cela on interpose sur le trajet d'un faisceau de lumière blanche une cuve transparente contenant une solution alcoolique de chlorophylle brute (Figure ci-contre). Les rayons qui émergent de la cuve sont ensuite dirigés sur un prisme de façon à décomposer la lumière.

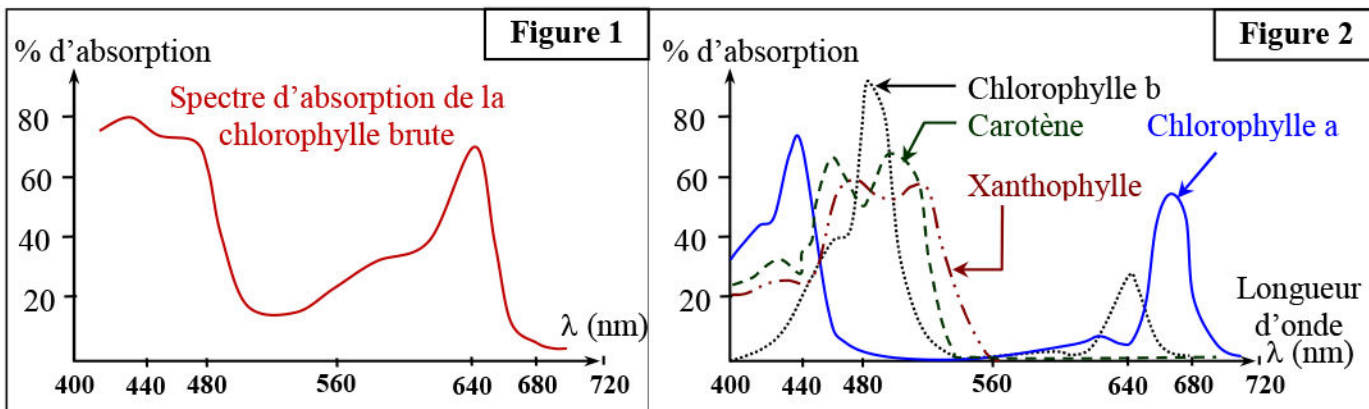
On peut également utiliser un spectroscope à main en plaçant dans le tube une solution de chlorophylle.



★ Des mesures plus précises utilisant des lumières monochromatiques permettent de déterminer pour chaque longueur d'onde, le pourcentage d'énergie lumineuse absorbée.

Les résultats obtenus sont traduits sous forme de courbes constituant les spectres d'absorption :

- ✓ De la chlorophylle brute (La figure 1) ;
- ✓ De chacun des différents pigments chlorophylliens (Figure 2).



- 1) Comparez le spectre d'absorption de la chlorophylle brute au spectre d'émission de la lumière blanche et déduisez quelle sont les radiations absorbées par la chlorophylle brute ?
- 2) Donnez une explication à la couleur verte de la solution de chlorophylle.

- 1) Lorsque la lumière blanche traverse la solution alcoolique de chlorophylle. Puis passe à travers un prisme qui va la décomposer. On observe alors le spectre d'absorption de la chlorophylle. Les raies ou bandes noires observées se trouvent dans les gammes de longueurs d'ondes qui ont été absorbées.

On constate que les couleurs violet, bleu et rouge disparaissent du spectre visible, elles sont donc absorbées par la chlorophylle brute. Les longueurs d'ondes allant de 500 à 660 nm c'est-à-dire les radiations vertes, ne sont pas absorbées par la chlorophylle brute.

On constate que les pics d'absorption des pigments bruts correspondent aux pics d'absorption de la chlorophylle brute.

On en déduit que les pigments chlorophylliens et principalement la chlorophylle a, absorbent l'énergie de certaines radiations de la lumière visible pour réaliser la photosynthèse.

2) La chlorophylle brute absorbe dans les bandes rouges et bleues et réfléchit la lumière verte. Ce qui explique la couleur verte des feuilles des plantes chlorophylliennes.

1-2 Influence des radiations lumineuses sur l'efficacité de la photosynthèse : (Voir doc 3)

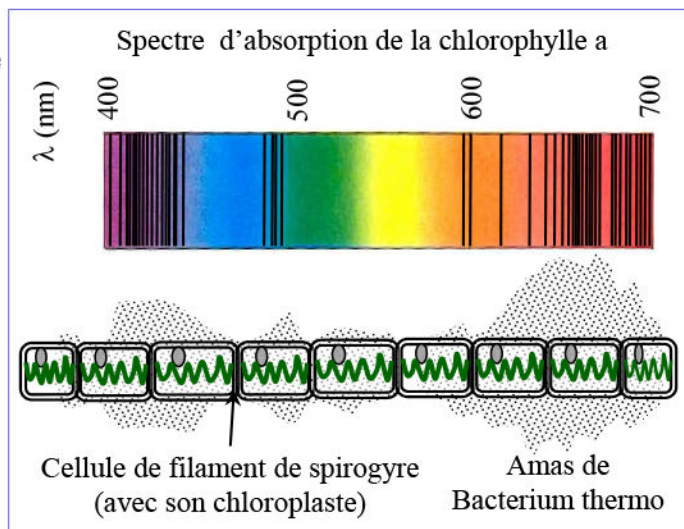
Document 3: Influence des radiations lumineuses sur l'intensité de la photosynthèse:

Afin de montrer l'influence des différentes radiations lumineuses absorbées sur l'intensité de la photosynthèse, on propose données suivantes :

★ Expérience d'Engelmann (1882) :

Engelmann a utilisé une algue filamenteuse, la Spirogyre, pourvue sur toute sa longueur d'un ou plusieurs chloroplastes spiralés. Il la place dans un milieu contenant une suspension de bactéries, le Bacterium thermo doté d'un chimiotactisme positif pour l'oxygène. Il l'éclaire par un spectre de la lumière blanche.

La figure ci-contre présente la répartition des bactéries après quelques minutes.



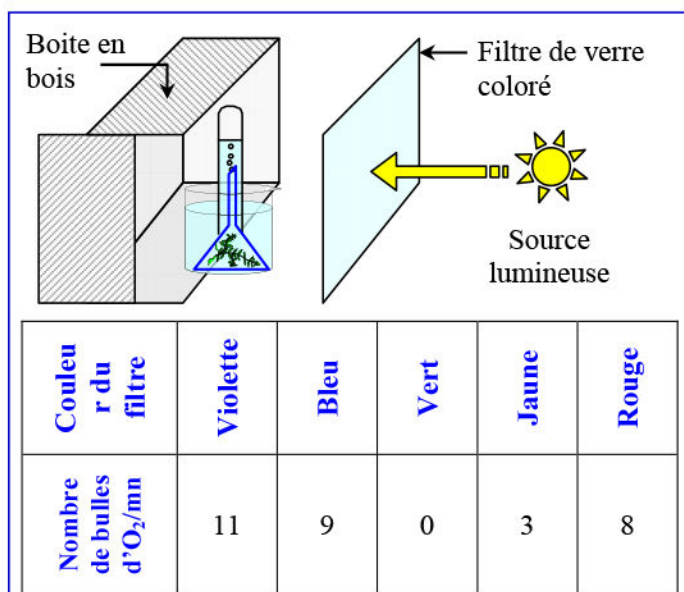
1) Que déduisez-vous de l'analyse de ces résultats ?

★ On utilise la lumière blanche avec des filtres monochromatiques. Chaque filtre ne laisse passer qu'une seule radiation.

On place le dispositif expérimental à l'intérieur d'une boîte en bois dans laquelle on a remplacé la face latérale du côté de la source lumineuse par un filtre coloré.

On mesure l'intensité de la photosynthèse par la quantité du dioxygène dégagé pour chaque radiation monochromatique.

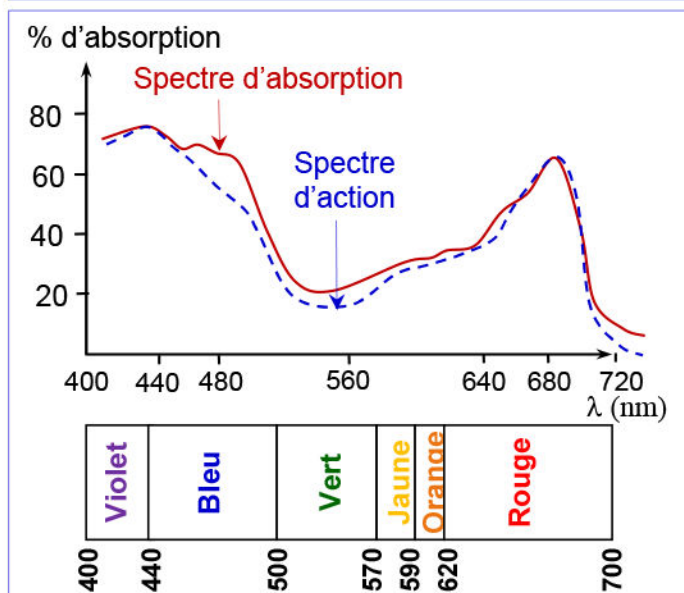
Le dispositif expérimental et les résultats sont présentés par la figure ci-contre.



2) Décrivez les résultats de cette expérience. Formulez une hypothèse pour expliquer les résultats obtenus.

★ On met dans un tube une suspension de chlorelles (algue unicellulaire). Un appareil spécial permet de suivre les variations du niveau d'absorption des radiations et l'intensité de la photosynthèse (Volume d'oxygène dégagé par unité de temps) pour chaque longueur d'onde absorbée.

On établit ainsi le spectre d'action photosynthétique d'un végétal (figure ci-contre) c'est-à-dire les longueurs d'ondes qui lui permettent de réaliser les réactions photosynthétiques.



3) Comparez le spectre d'action au spectre d'absorption de la chlorophylle brute (figure ci-contre). Que suggère cette comparaison ?

- 1) Si l'on éclaire la préparation au travers d'un prisme qui décompose la lumière, les bactéries se rassemblent contre l'algue mais essentiellement dans les régions soumises à des radiations bleues ou rouges. On en déduit que ce sont ces radiations qui sont les plus efficaces pour la production d'oxygène donc pour la photosynthèse.
Cette expérience établit donc le spectre d'action de la lumière sur la photosynthèse.
- 2) La quantité de dioxygène rejeté (ou de dioxyde de carbone absorbé) permet de mesurer indirectement l'intensité de la photosynthèse chez une plante chlorophyllienne.
On constate que l'intensité photosynthétique varie selon le type de radiation lumineuse absorbé. L'intensité photosynthétique est maximale dans les radiations rouges et bleues, faible dans le jaune et nulle dans le vert.

Hypothèse : La photosynthèse nécessite l'absorption de certaines longueurs d'ondes grâce aux pigments chlorophylliens.

- 3) L'établissement du spectre d'action, de la photosynthèse correspond à l'efficacité photosynthétique en fonction des longueurs d'ondes.

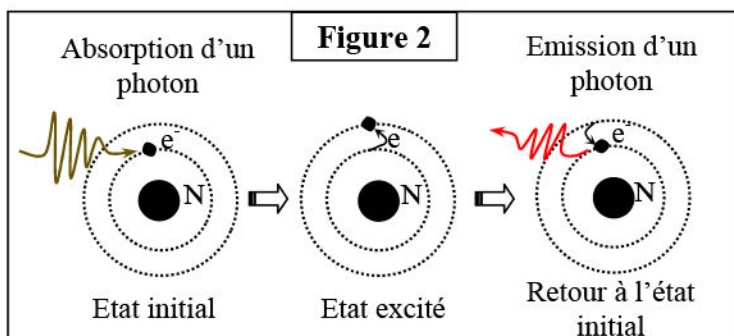
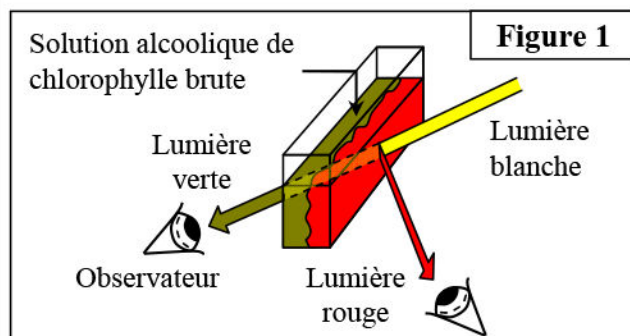
On constate que le spectre d'action de la chlorophylle et son spectre d'absorption se concordent parfaitement. Cela signifie que les radiations lumineuses les plus absorbées par la chlorophylle sont les radiations les plus efficaces pour la photosynthèse.

b) Rôle des pigments chlorophylliens dans la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique: (Voir le document 4)

Document 4: Rôle des pigments chlorophylliens dans la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique:

★ Lorsqu'on projette la lumière blanche sur une solution de chlorophylle brute, elle apparaît rouge du côté de projection de la lumière, et verte du côté opposé au côté de projection de la lumière (Figure 1): la chlorophylle émet des radiations rouges, on parle de fluorescence.

★ La chlorophylle est composée de pigments photosynthétiques qui peuvent être excités par les radiations lumineuses (Figure 2). L'arrivée d'un photon fait passer un électron délocalisé d'un état fondamental (non excité) à un état excité. La chlorophylle, une fois excitée, retourne à son état fondamental, plus stable thermodynamiquement. Ceci peut se faire de plusieurs manières, et en particulier en émettant de la lumière (c'est la fluorescence constatée dans une solution de chlorophylle brute) ou en perdant un électron.



★ Les pigments chlorophylliens s'organisent en groupes appelés photosystèmes qui sont de deux types : PS_I et PS_{II} (Figure 3).

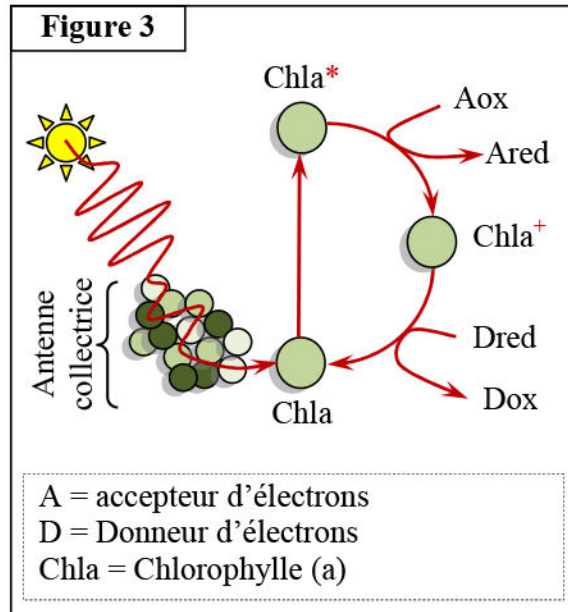
Chaque photosystème est constitué d'un centre réactionnel formé d'un dimère de chlorophylle (a), en plus d'une antenne collectrice formée d'un mélange de pigments chlorophylliens différents. La chlorophylle (a), centre réactionnel, en absorbant l'énergie passe à un état excité puis s'oxyde en cédant des électrons à un accepteur d'électrons.

Document 4: (Suite) :

La chlorophylle (a), oxydée, doit récupérer des électrons pour restaurer son état initial et continuer à fonctionner ; ces électrons lui sont fournis par un donneur d'électrons réduit.

En exploitant les données de ce document :

- 1) Expliquer le phénomène de la fluorescence observé chez la chlorophylle brute éclairée.
- 2) Sachant que la fluorescence disparaîtra si on ajoute un accepteur d'électron à la solution de chlorophylle, expliquez l'absence de la fluorescence lorsque la chlorophylle se trouve dans les conditions naturelles.
- 3) Expliquez le rôle des photosystèmes dans la transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique.



- 1) Lorsqu'un photon est absorbé par la chlorophylle brute, un de ses électrons passe à une orbitale plus élevée. L'électron ne peut pas rester longtemps dans un état excité qui est instable. Il regagne son niveau énergétique inférieur en libérant une énergie sous forme de chaleur et de lumière rouge, c'est la fluorescence.
- 2) In vivo, dans les cellules chlorophylliennes, le phénomène de fluorescence est trop faible pour être décelé. Cela suppose que l'énergie lumineuse captée par les pigments chlorophylliens dans ces conditions, est transmise à d'autres molécules intervenant dans la photosynthèse.
- 3) Dans chaque photosystème, l'énergie lumineuse est collectée par les pigments chlorophylliens situés dans l'antenne collectrice. Cette énergie est transmise au centre réactionnel formé de la chlorophylle (a) qui devient excité et cède un électron à un accepteur d'électrons. La chlorophylle (a) oxydée, est capable d'accepter un électron provenant d'un donneur d'électrons, et récupérer son état initial.

Les réactions d'oxydoréduction sont donc des réactions chimiques qui impliquent des échanges d'électrons et de protons.

③ Les structures cellulaires renfermant la chlorophylle:

a) **Siège de synthèse de la matière organique :** (Voir le document 5)

Document 5: Siège de synthèse de la matière organique:

Pour mettre en évidence les structures cellulaires renfermant la chlorophylle, on réalise les expériences décrites dans le tableau ci-dessous.

La recherche de la matière organique produite par l'élodée se fait, par une coloration à l'eau iodée: une coloration noirâtre révèle la présence d'amidon et donc d'une photosynthèse.

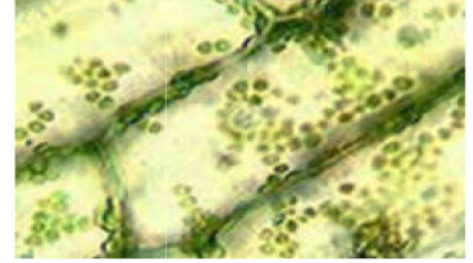
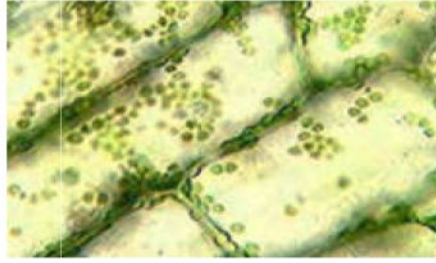
Comment expliquer la différence d'aspect des cellules dans les deux expériences ? que déduit-on à propos du lieu de synthèse de l'amidon au niveau de la cellule ?

Document 5: (Suite):

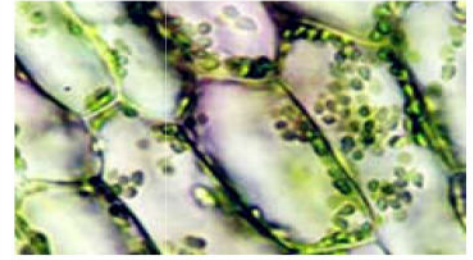
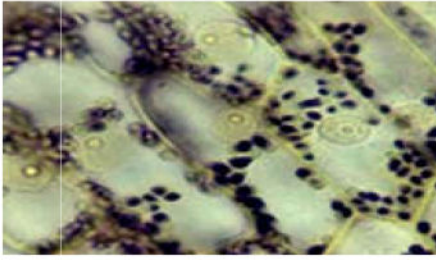
Elodées placées à la lumière et dans une eau riche en dioxyde de carbone

Elodées placées à la lumière et dans une eau appauvrie en dioxyde de carbone

Observations au microscope des feuilles d'élodée au début de l'expérimentation après coloration à l'eau iodée



Observations au microscope des feuilles d'élodée à la fin de l'expérimentation après coloration à l'eau iodée



Les cellules chlorophylliennes sont caractérisées par la présence d'organites spéciaux dits : Chloroplastes.

Les chloroplastes apparaissent, au microscope, sous forme de lentilles dont la taille varie de 4 à 10 μm . Ils nagent autour de la vacuole.

Les chloroplastes apparaissent colorés en noir dans un milieu présentant les conditions favorable à la photosynthèse.

On en déduit que le chloroplaste est l'organe de la cellule végétale où se réalise la synthèse d'amidon. Donc le chloroplaste siège de la photosynthèse, renferme les pigments chlorophylliens.

b) Structure et ultrastructure du chloroplaste : (Voir le document 6)

Document 6: Structure et ultrastructure du chloroplaste:

★ La figure 1 : C'est une observation au microscope optique d'une cellule de la feuille d'élodée présentant des chloroplastes.

★ La figure 2 est une photographie au microscope électronique d'un chloroplaste le soir, on y voit beaucoup d'amidon sous formes de grains d'amidon.

★ La figure 3 : Schéma d'interprétation de la structure du chloroplaste.

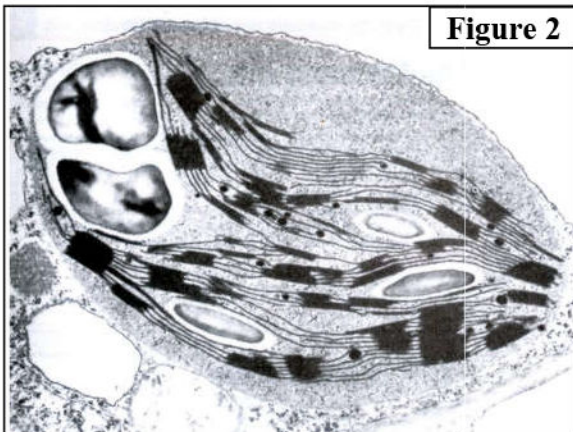


Figure 2

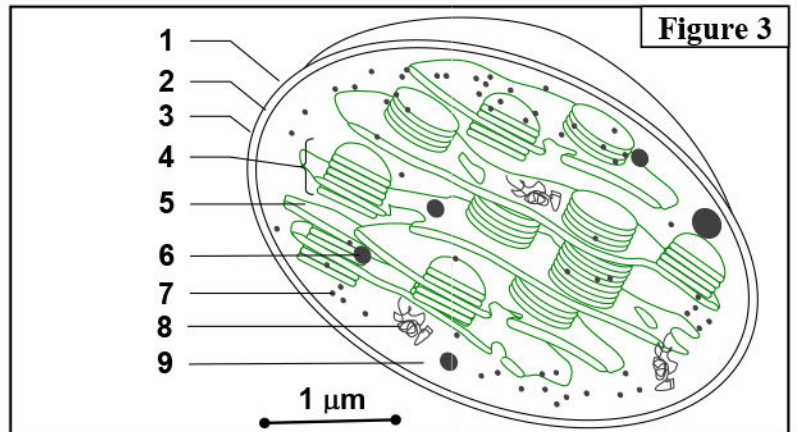
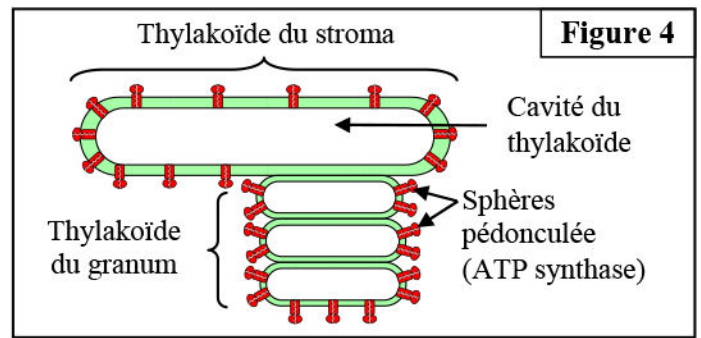


Figure 3

Document 6: (Suite):

★ La figure 4 : Schéma d'interprétation de l'ultrastructure des thylakoïde.

- 1) Annoter la figure 3 schématisant les différentes structures du chloroplaste.
- 2) En se basant sur les données de ce document, décrire la structure et l'ultrastructure du chloroplaste.



- 1) Légende de la figure 3 : 1 = membrane externe ; 2 = membrane interne ; 3 = espace intermembranaire ; 4 = granum ; 5 = thylakoïde ; 6 = plastoglobule ; 7 = plastoribosome ; 8 = ADN chloroplastique ; 9 = stroma.

- 2) Les chloroplastes sont des organites présents dans le cytoplasme des cellules végétales eucaryotes. Ils sont caractérisés par leurs pigments chlorophylliens qui assurent l'absorption de l'énergie lumineuse qu'ils transforment en énergie chimique au cours de la photosynthèse.

L'observation microscopique montre que le chloroplaste contient une substance non structurée appelée stroma, délimité par une double membrane, et des sacs aplatis appelés thylakoïdes. Les thylakoïdes s'empilent formant des structures appelées grana (granum au singulier).

Le chloroplaste est donc constitué de deux compartiments séparés par la membrane des thylakoïdes: l'espace interne (ou lumen) et le stroma.

Les membranes des thylakoïdes contiennent les éléments nécessaires à la capture de l'énergie lumineuse : les photosystèmes PSI et PSII, des enzymes comme l'ATP synthase (Sphères pédonculées), des protéines transporteurs de protons et d'électrons.

II – Les principales réactions de la photosynthèse:

① Mise en évidence des phases de la photosynthèse:

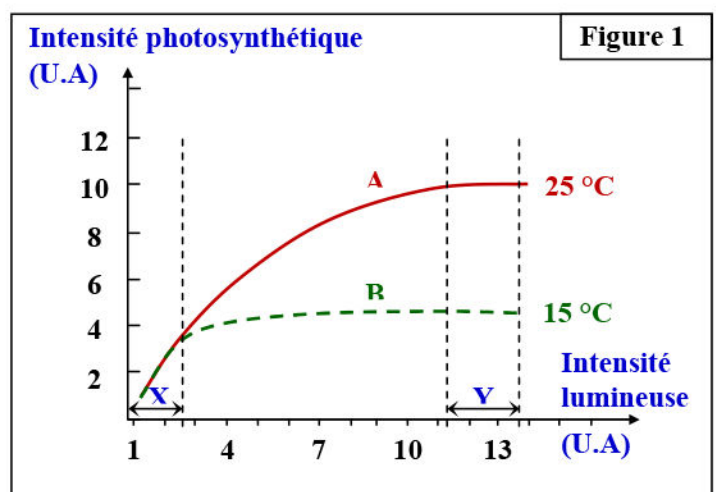
a) Expérience d'Emerson et Arnold (1932): (Voir le document 7)

Document 7: Expérience d'Emerson et Arnold:

★ Dès 1905, Blackmann avait remarqué que la photosynthèse dépend à la fois de la lumière et de la température alors que les réactions chimiques dépendent de l'une ou de l'autre selon leur nature (photochimique ou thermochimique). Cette observation le conduisit à l'hypothèse que la photosynthèse devait résulter de 2 types de réactions chimiques différentes, photochimiques et thermochimiques.

Pour mettre en évidence les deux phases, Blackmann cultiva des plantes en faisant varier l'intensité lumineuse et la température et enregistra l'impact de ces paramètres sur l'activité photosynthétique. La figure 1 représente les résultats de cette expérience.

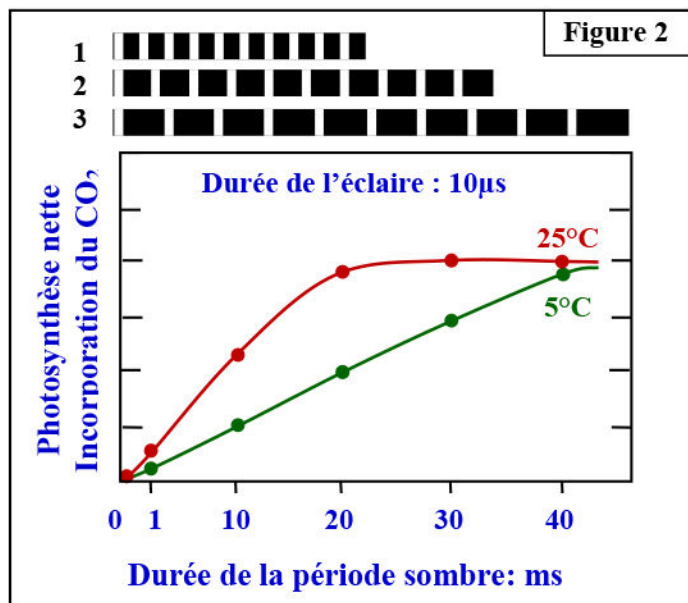
- 1) A partir de l'analyse de ces résultats, mettez en évidence l'hypothèse de Blackmann.



Document 7 : (Suite):

★ La confirmation expérimentale en fut apportée en 1932 par R. Emerson et W. Arnold. Éclairant une suspension de Chlorelles (algues vertes) avec des éclairs très brefs (10 μ s), séparés par des intervalles d'obscurité de durées croissantes (entre 1 et 40 ms), il mesura leur activité photosynthétique en déterminant l'intensité d'incorporation du CO₂. Les résultats sont retranscrits sous forme de graphiques (Figure 2).

2) Expliquez en quoi les résultats de cette expérience prouvent l'existence de deux phases dans les réactions de la photosynthèse.



b) Analyse et interprétation des résultats:

1) A partir des données de la figure 1, on constate que:

L'activité photosynthétique augmente proportionnellement à l'éclairement pour les intensités lumineuses faibles et moyennes. Mais qu'elle n'augmente plus au-delà d'une certaine intensité lumineuse. Ce seuil correspond à une activité photosynthétique maximale qui varie avec la température. Il est plus élevé aux hautes températures.

Pendant la période X, l'intensité photosynthétique est indépendante de la température mais dépend de l'intensité lumineuse.

Pendant la période Y, l'intensité photosynthétique est indépendante de l'intensité lumineuse, mais dépend de la température.

La photosynthèse se déroule en deux phases:

- ✓ Une phase dépendante de la lumière, appelée phase claire ou photochimique.
- ✓ Une phase dépendante de la température, appelée phase sombre ou thermochimique.

2) A partir des données de la figure 1, on constate que:

- A 25 °C : une période sombre totale d'environ 20 ms (2000 fois plus importante) pour obtenir une photosynthèse nette maximum.
- A 5°C, la durée de la période sombre augmente, mais la photosynthèse nette maximale est la même.

Conclusion:

Dans les conditions de cette expérience (éclairage total bref et saturant), il faut une période sombre importante pour obtenir une photosynthèse maximale.

Ceci suggère que des intermédiaires sont formés à la lumière rapidement (de manière quasi insensible à la température) = réactions photochimiques, et qu'ils sont utilisés beaucoup plus lentement par des réactions chimiques (sensibles à la température) = réactions biochimiques d'assimilation du CO₂.

Remarque :

On parle de façon abusive de réactions dites "claires" et "sombres, mais, dans les conditions normales (lumière continue), ces deux groupes de se déroulent conjointement à la lumière. Donc, il faut préférer les termes de "réactions photochimiques" et de "réactions biochimiques d'assimilation du CO₂" respectivement.

② Les principales réactions de la photosynthèse:

a) Les réactions de la phase photochimique « claire »:

⇒ La photolyse de l'eau :

Grâce à l'énergie lumineuse, les cellules chlorophylliennes produisent de l'O₂ et des molécules organiques à partir de l'eau et du CO₂. L'équation globale de la photosynthèse s'écrit donc : $6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \text{-----} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$

Comme hypothèse on peut dire que le dioxygène dégagé par la plante peut provenir soit du CO₂, ou de H₂O. (Voir le document 8)

Document 8: Mise évidence de la photolyse de l'eau:

Expérience de Ruben et Kamen : Pour déterminer l'origine du dioxygène (O₂) rejeté au cours de la photosynthèse, Ruben et Kamen ont mis en culture des chlorelles dans deux milieux différents:

- ✓ Milieu 1 : approvisionné en eau contenant l'oxygène normal H₂O¹⁶ et du dioxyde de carbone marqué par l'oxygène radioactif CO₂¹⁸.
- ✓ Milieu 2 : approvisionné en eau marqué par l'oxygène radioactif H₂O¹⁸ et du dioxyde de carbone contenant l'oxygène normal CO₂¹⁶.

Dans chaque milieu, les deux chercheurs ont analysé le dioxygène (O₂) rejeté. Les résultats figurent sur le tableau suivant:

Milieu	Contenu du milieu	La nature du dioxygène (O ₂) rejeté
1	CO ₂ ¹⁸ + H ₂ O ¹⁶	O ₂ ¹⁶
2	CO ₂ ¹⁶ + H ₂ O ¹⁸	O ₂ ¹⁸

A partir de l'analyse de ces résultats, déterminez l'origine du dioxygène dégagé au cours de la photosynthèse. Ecrivez la réaction responsable, sachant que l'émission d'une molécule d'O₂ demande l'oxydation de deux molécules de H₂O.

Si l'on fournit à la plante du CO₂ dont l'oxygène est de l'oxygène lourd O¹⁸, l'oxygène dégagé au cours de la photosynthèse est de l'oxygène léger O¹⁶.

Si l'on fournit à la plante de l'eau dont l'oxygène est de l'oxygène lourd O¹⁸, l'oxygène dégagé au cours de la photosynthèse est de l'oxygène lourd O¹⁸.

Cette expérience montre que le dioxygène rejeté au cours de la photosynthèse est issu de l'eau et non du dioxyde de carbone.

En présence de la lumière, la molécule d'eau se dissocie et libère le dioxygène (O₂), selon la réaction suivante: $2\text{H}_2\text{O} \text{-----} \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- + \text{O}_2$

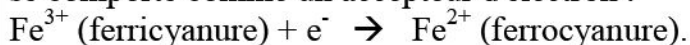
Cette réaction, est une oxydation de l'eau, appelée photolyse de l'eau.

⇒ La photolyse de l'eau nécessite un accepteur d'électrons :

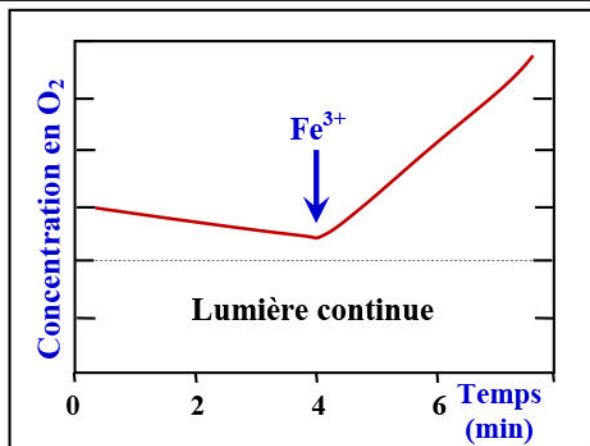
Sachant que l'oxydation correspond à une perte d'électrons, la production d'O₂ au cours de la photosynthèse nécessite un accepteur d'électrons (Voir document 9).

Document 9: Expérience de Hill:

Hill utilise une suspension de chloroplastes isolés dans un tampon sans CO₂. Il mesure les variations de dioxygène à l'aide d'une électrode à oxygène. Il ajoute à la préparation un accepteur artificiel d'électrons, le ferricyanure de potassium, K₃Fe³⁺(CN)₆ (réactif de Hill) et travaille en lumière continue. Le réactif de Hill se comporte comme un accepteur d'électron :

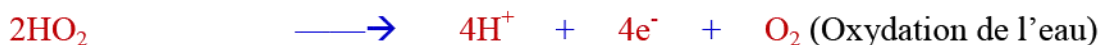


Les résultats de cette expérience figurent sur le graphe ci-contre.



Analysez ces résultats et précisez les conditions nécessaires au dégagement d'oxygène.

- En lumière continue, les chloroplastes isolés en suspension dans un tampon produisent du dioxygène, à condition que le milieu contienne une substance chimique capable de fixer des électrons (Fe³⁺).



- La réaction de Hill montre que la production de dioxygène et donc la photosynthèse ne se fait qu'en présence de lumière et d'un accepteur d'électrons et de protons.
- Dans les conditions naturelles de la photosynthèse, ce rôle d'accepteur d'électron est rempli par une molécule appelée nicotinamide adénine dinucléotide (NADP⁺) présente dans le stroma des chloroplastes et qui peut accepter des électrons et des protons (H⁺) suivant la réaction:



⇒ Destiné des électrons perdus par la chlorophylle (a) : (Voir document 10).

Document 10: Destiné des électrons perdus par la chlorophylle (a):

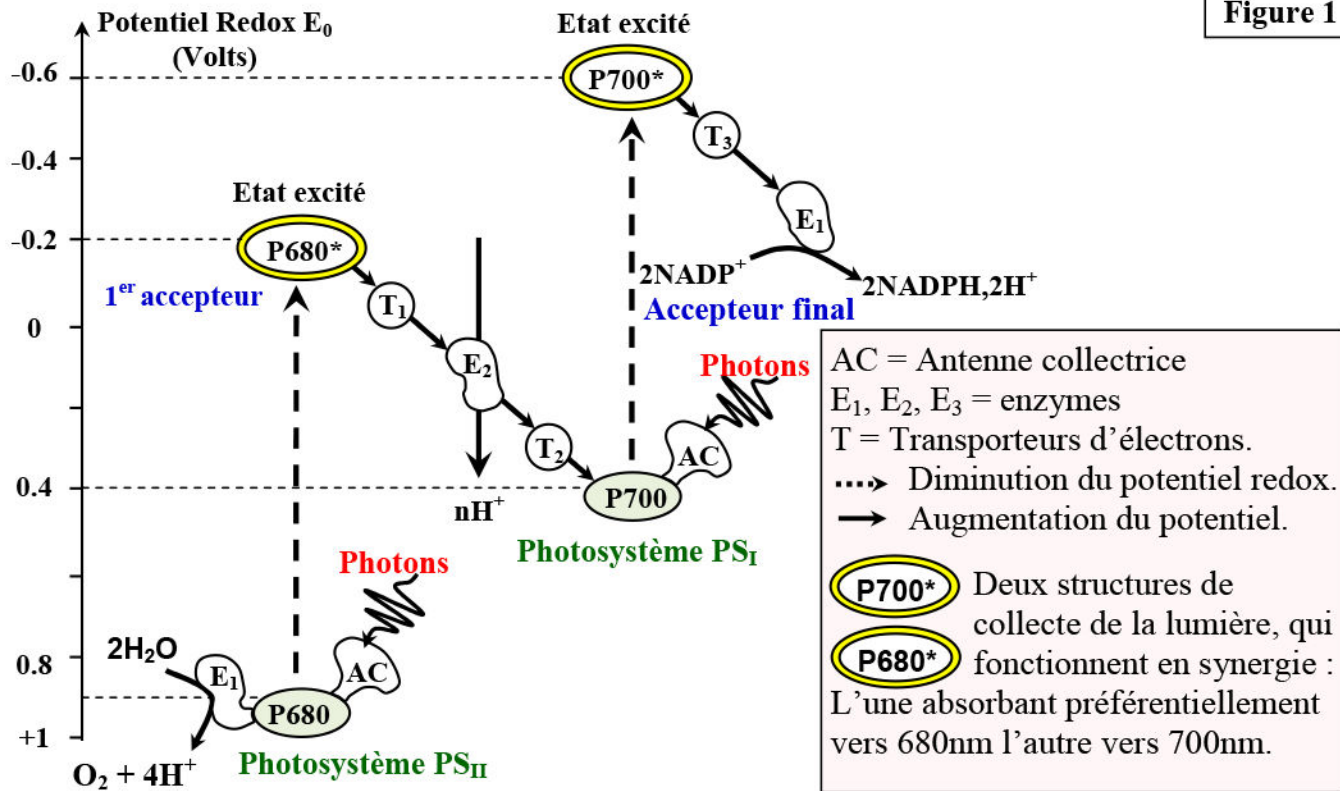
Une réaction d'oxydoréduction (réaction redox) est une réaction chimique au cours de laquelle se produit un échange d'électrons. L'espèce chimique qui capte les électrons est appelée « oxydant »; celle qui les cède, « réducteur ».

Chaque couple « redox » se caractérise par son potentiel d'oxydoréduction (E₀) qui exprime sa capacité de réduction. Les électrons se déplacent spontanément du couple « redox » qui a le potentiel d'oxydoréduction faible vers celui qui a le potentiel d'oxydoréduction plus élevé.

Les deux types de photosystèmes qui existent dans la membrane des thylakoïdes sont reliés par un complexe de transporteurs d'électrons. L'ensemble constitue une chaîne photosynthétique.

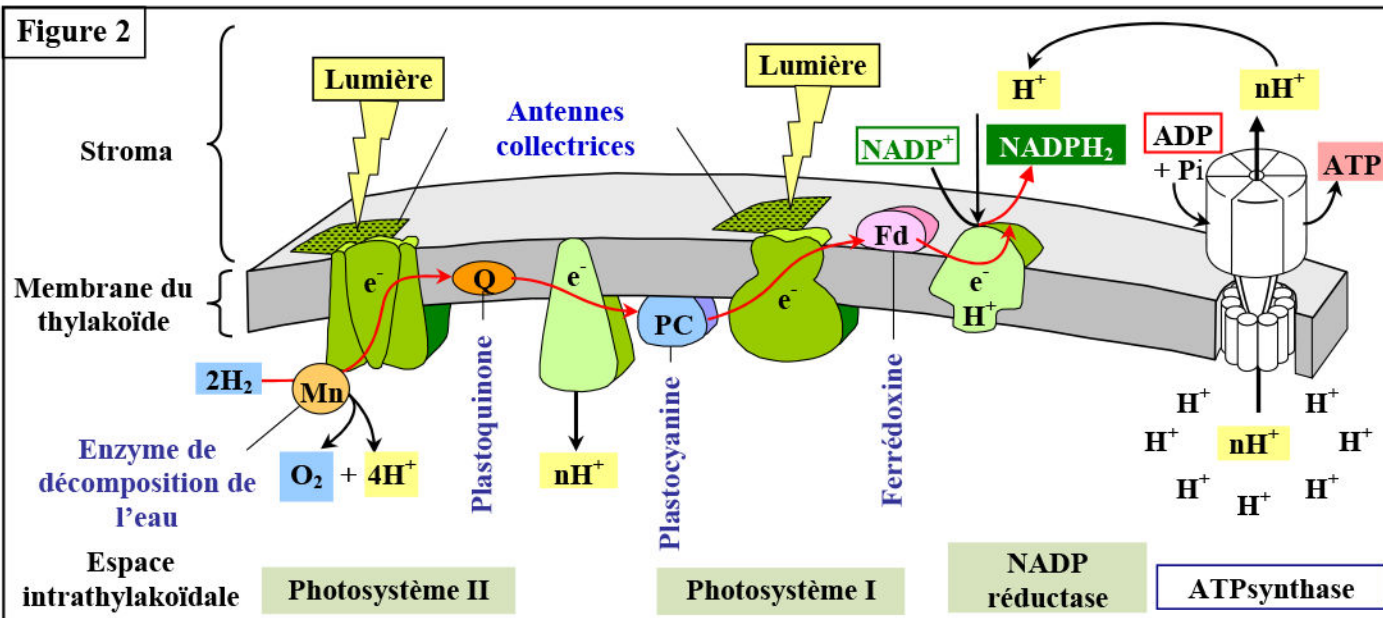
★ Le schéma de la figure 1, montre comment les électrons sont transférés depuis la molécule d'eau jusqu'au NADP⁺, à travers PSII, PSI, les enzymes et les transporteurs d'électrons. Ce schéma, dit schéma en Z, représente chaque élément selon son potentiel redox (exprimé en mV).

Figure 1



★ Les transporteurs d'électrons de la membrane des thylakoïdes; s'organisent en deux chaînes, chacune débute par un photosystème PSII et PSI, l'ensemble forme une chaîne photosynthétique (Figure 2).

Figure 2



1) A partir des données de la figure 1, déterminez comment les électrons libérés par la chlorophylle (a) sont transférés du photosystème PS_{II} jusqu'à l'accepteur final NADP⁺, sachant que le transfert d'électrons ne s'effectue spontanément que dans le sens des potentiels redox croissant.

★ Relation entre la synthèse d'ATP et l'activité photosynthétique:

Pour déterminer la relation entre la synthèse d'ATP et l'activité photosynthétique, le chercheur ARNON et ses collaborateurs ont réalisés une expérience qui consiste à compter le nombre de moles d'ATP synthétisées en fonction de la quantité de dioxygène rejeté.

Document 10: (Suite):

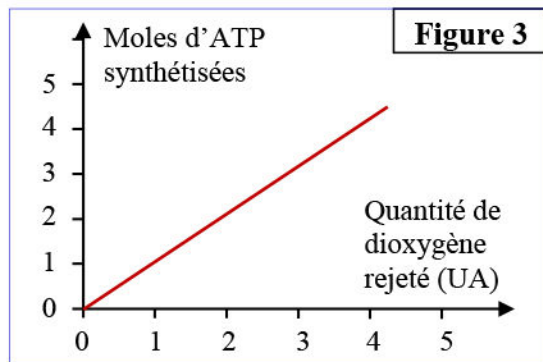
Les résultats sont représentés par le graphe de la figure 3:

2) Que peut-on conclure de l'analyse de ces résultats ?

L'ATP (L'adénosine triphosphate) est un ribonucléotide formé de l'adénosine (ribose + d'adénine) et de trois groupements phosphate. Sachant que:

- ✓ L'ATP est un composé phosphorylé riche en énergie ;
- ✓ L'hydrolyse d'une molécule d'ATP, catalysée par l'enzyme ATPase, produit une quantité d'énergie avec production d'une molécule d'adénosine diphosphate (ADP) et d'une molécule de phosphate inorganique (Pi) ;
- ✓ La synthèse de l'ATP par phosphorylation de l'ADP, est catalysée par l'enzyme ATPsynthase, composée des sphères pédonculées. Cette réaction nécessite de l'énergie (réaction dite endergonique).

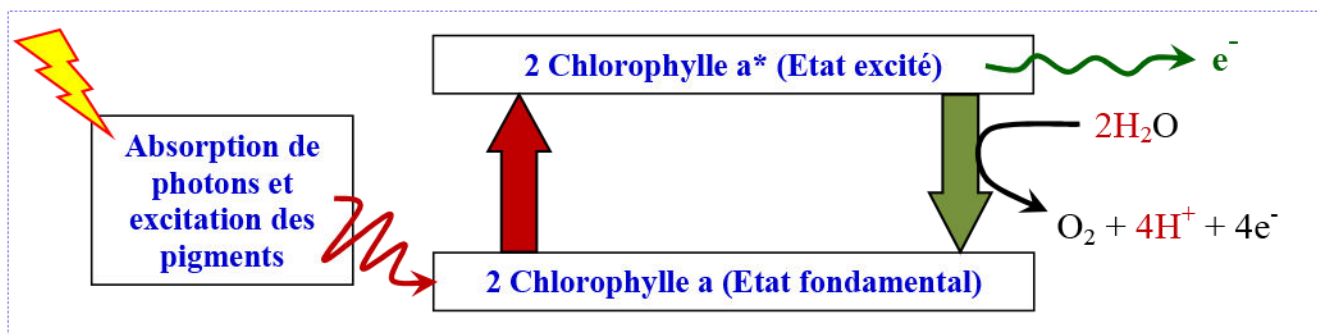
3) Proposez une hypothèse sur l'origine de l'énergie nécessaire à la synthèse d'ATP.



1) Les électrons se déplacent spontanément d'un composant à faible potentiel redox, vers un autre à fort potentiel redox; Il y a libération d'énergie. En revanche les électrons ne peuvent pas se déplacer dans le sens inverse, sans apport externe d'énergie.

L'énergie lumineuse absorbée par l'antenne collectrice du photosystème (PS_{II}) est transmise à la chlorophylle (a) ce qui provoque une diminution de son potentiel redox ; autrement dit, l'augmentation de sa capacité à céder des électrons.

Une fois excitée, la chlorophylle (a) devient très oxydante et accepte les électrons issus de la photolyse de l'eau pour récupérer son état initial.



Il existe en fait une série de couples redox qui transfèrent successivement les électrons depuis la chlorophylle (a) du photosystème (PS_{II}), jusqu'à l'accepteur final d'électrons qui est le NADP⁺ :



- 2) On constate que le nombre de moles synthétisés augmente proportionnellement avec l'augmentation de l'activité photosynthétique. On peut en conclure que l'activité photosynthétique s'accompagne de la production d'un composé énergétique appelé ATP.
- 3) Lorsque les électrons se déplacent de PS_{II} ou P680 vers PS_I ou P700, l'enzyme E₂ exploite une partie de l'énergie libérée pour pomper les protons H⁺ du stroma vers la cavité du thylakoïde, ce qui crée une différence de concentration de H⁺ et une différence de pH entre le stroma et le

lumen du thylakoïde, car la membrane du thylakoïde est imperméable aux protons. Cette différence de concentration de H^+ est appelée gradient de H^+ .

Poussés par le gradient électrochimique, les ions H^+ rejoignent le stroma en traversant les sphères pédonculées qui sont de l'ATP synthase.

On peut donc penser que le flux de protons de la cavité du thylakoïde vers le stroma, à travers les sphères pédonculées, qui libère l'énergie utilisée pour la synthèse d'ATP.

⇒ Conditions de synthèse de l'ATP:

Pour déterminer le rôle du gradient H^+ dans la phosphorylation de l'ADP en ATP, on réalise les expériences présentées par le document 11 :

Document 11: Les conditions de synthèse de l'ATP:

Pour déterminer les conditions et les éléments nécessaires à la synthèse des molécules d'ATP au niveau des chloroplastes, on réalise l'expérience dont les conditions et les résultats figurent sur le tableau suivant :

Expériences	Concentration H^+ (mol/l)		Sphères pédonculée	ADP et Pi	Résultats
	Stroma	Thylakoïde			
1	10^{-8} (pH=8)	10^{-4} (pH=4)	Présence	Présence	Synthèse d'ATP
2	10^{-7} (pH=7)	10^{-7} (pH=7)	Présence	Présence	Pas de synthèse d'ATP
3	10^{-8} (pH=8)	10^{-4} (pH=4)	Absence	Présence	Pas de synthèse d'ATP
4	10^{-8} (pH=8)	10^{-4} (pH=4)	Présence	Absence	Pas de synthèse d'ATP

En exploitant les données de ce document, vérifiez l'hypothèse suivante :

«Le flux de protons de la cavité du thylakoïde vers le stroma, à travers les sphères pédonculées, qui libère l'énergie utilisée pour la synthèse d'ATP».

On constate que la synthèse de l'ATP ne se fait que dans le milieu 1, où il y'a présence des sphères pédonculés et l'ADP + Pi et où la concentration en H^+ est élevée dans le milieu intérieur des thylacoïde par rapport au stroma.

Le gradient de protons H^+ crée un flux de protons qui s'effectue de la cavité du thylakoïde vers le stroma à travers les sphères pédonculées. Ce flux entraîne la libération d'une énergie (Energie potentielle du gradient) et l'activation des sphères pédonculées qui sont des ATPsynthase et qui utilisent l'énergie libérée pour la photophosphorylation de l'ADP en ATP.

Ainsi, au cours de la phase claire de la photosynthèse, l'énergie lumineuse est convertie en énergie chimique (ATP et NADPH, H^+).

b) Les réactions de la phase biochimique « sombre »:

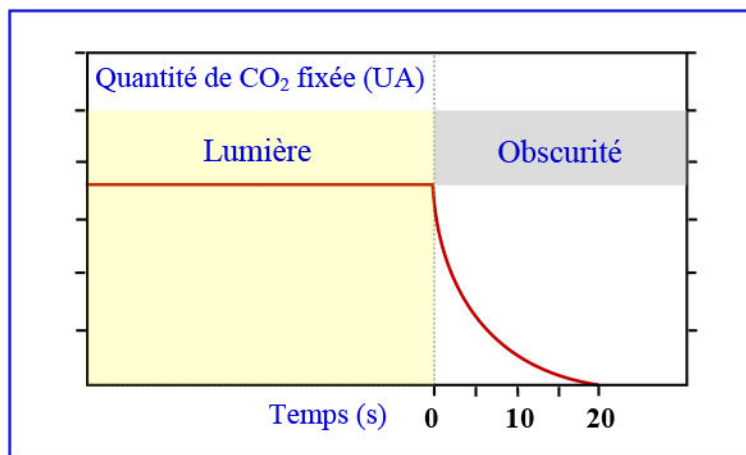
⇒ Dépendance des deux phases de la photosynthèse: (Voir document 12).

Document 12: Dépendance des deux phases de la photosynthèse:

★ Expérience de Gaffron, 1951 :

Du dioxyde de carbone radioactif ($^{14}\text{CO}_2$) est fourni à une suspension d'algues verte unicellulaires (chlorelles) fortement éclairée pendant au moins 20 min puis mise à l'obscurité. On mesure la quantité de molécules organiques élaborées à partir du $^{14}\text{CO}_2$ par les algues au cours de l'expérience.

Le résultat de cette expérience est présenté par la figure ci-contre.



★ Expérience d'Arnon, 1958 :

Les expériences sont réalisées sur des fragments de chloroplastes séparés en deux fractions:

- ✓ Une fraction constituée uniquement de thylakoïdes exposés à la lumière,
- ✓ Une fraction liquide provenant du stroma et laissée à l'obscurité.

On mesure la quantité de CO_2 fixée dans le stroma en coups/min. Le résultat de cette expérience est présenté par le tableau ci-dessous :

Conditions expérimentales	Radioactivité (en coups/min)
Stroma laissé à l'obscurité en présence de CO_2 radioactif	4 000
Thylakoïdes laissés à la lumière, puis mis à l'obscurité en présence de stroma toujours laissé à l'obscurité, avec du CO_2 radioactif	96 000
Stroma laissé à l'obscurité en présence de CO_2 radioactif, d'ATP et de NADPH, H^+ .	97 000

A partir de l'exploitation des données de ce document, montrez que la fixation du CO_2 dans des molécules organiques lors de la photosynthèse ne dépend pas directement, mais indirectement, de l'utilisation de la lumière.

★ Expérience de Gaffron :

La fixation de CO_2 dans des molécules organiques :

- Diminue puis cesse au bout de 20 secondes à l'obscurité : elle dépend de la lumière ;
- Elle se maintient durant 20 secondes : la dépendance à la lumière n'est pas directe.

★ Expérience d'Arnon :

- Dans le stroma à l'obscurité la fixation de CO_2 est réduite ;
- Dans le stroma à l'obscurité + thylakoïdes ayant été éclairés la fixation de CO_2 est importante : les thylakoïdes éclairés fournissent au stroma des éléments permettant la fixation du CO_2 ;
- Dans le stroma à l'obscurité + ATP et NADPH, H^+ , la fixation de CO_2 est importante: les éléments fournis par les thylakoïdes peuvent être ATP et NADPH, H^+ .

La fixation du CO_2 dans des molécules organiques se fait dans le stroma à partir d'ATP et de NADPH, H^+ (phase biochimique) produits par les thylakoïdes éclairés (phase photochimique). Elle dépend donc de la lumière, mais indirectement.

⇒ Devenir du CO₂ absorbé par les plantes chlorophylliennes :

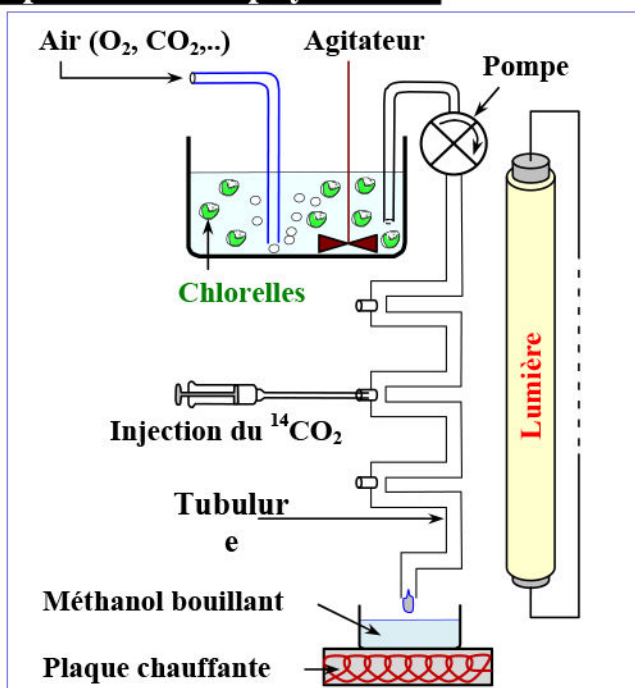
Pour connaître la nature des premiers composés organiques fabriqués au cours de la photosynthèse, Calvin et ses collaborateurs ont réalisés les expériences présentées par le document 13 :

Document 13: Devenir du CO₂ absorbé par les plantes chlorophylliennes:

★ Expérience de Calvin et Benson, 1962 :

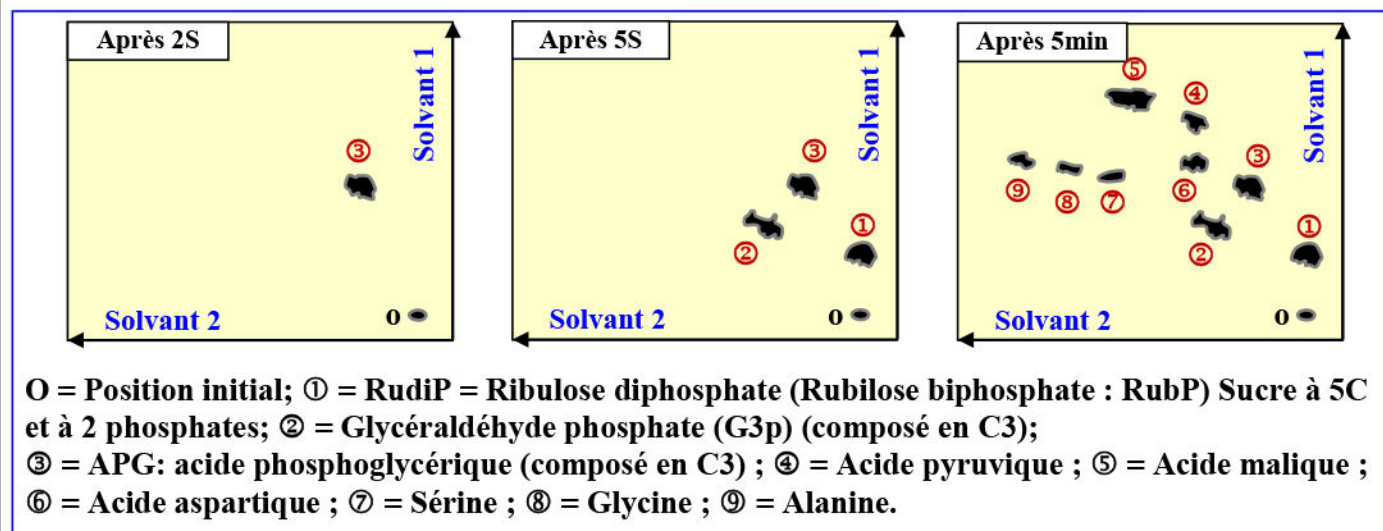
On met des chlorelles dans un milieu riche en CO₂, et bien éclairé. Une pompe permet de propulser la suspension dans un tube fin. Dans ce tube, on peut injecter à chaque moment, et en des points différents, du CO₂ radioactif marqué au ¹⁴C. Après avoir traversé le tube, les chlorelles finissent dans de l'éthanol bouillant; ce qui va stopper toutes les réactions métaboliques. En effet, la chaleur dénature les enzymes. Le choix du point d'injection du ¹⁴C, et la force de la pompe, déterminent la durée d'exposition des cellules au ¹⁴C. Cette durée varie entre 1s et plusieurs minutes (Figure ci-contre).

Les chlorelles fixent le CO₂ radioactif de la même manière que le CO₂ ordinaire. Les molécules organiques synthétisées seront aussi radioactives.



Après l'exposition au CO₂ radioactif, les cellules sont tuées. On procède ensuite à l'extraction des substances organiques contenues dans ces cellules. Le mélange des substances organiques subit la technique de la chromatographie bidimensionnelle. A la fin, le papier chromatographique est traité par autoradiographie. Chaque substance est représentée par une tâche qui se caractérise par sa position sur le film photographique. On répète l'expérience plusieurs fois en variant la durée d'exposition des chlorelles au ¹⁴C: 2s; 5s et 5min.

Les résultats de cette expérience sont présentés par les chromatogrammes suivants :



- 1) Pour séparer les pigments chlorophylliens, on procède à la chromatographie simple; mais dans l'expérience de Calvin, on avait recours à la chromatographie bidimensionnelle. Pouvez-vous justifier cette différence?
- 2) A partir des données de ce document, indiquez la première substance qui résulte de la fixation du CO₂ puis donnez la succession des produits qui apparaissent.

- 1) La chromatographie bidimensionnelle permet de séparer les espèces moléculaires qui constituent un mélange donné. Elle résulte du couplage de deux séparations chromatographiques de nature différente dans le but de séparer des mélanges complexes de substances similaires. Ainsi, le but principal de la chromatographie bidimensionnelle est l'augmentation de la capacité de séparation.
- 2) Après 2 secondes au contact de CO_2 radioactif, on n'observe que de l'APG (acide phosphoglycérique) dans la chromatographie bidimensionnelle. L'APG, composé en C3, est donc la première molécule organique formée à partir de la fixation du CO_2 .

Les plantes dont le premier produit carboné de la photosynthèse est l'APG sont appelées plantes C3.

Après l'APG apparaissent successivement :

- ✓ Le Glycéraldéhyde phosphate (G3p), le plus petit sucre simple à 3 carbones, il résulte de la réduction de l'APG.
- ✓ Le rubulose diphosphate (RudP) : un sucre du stroma à 5 carbones.
- ✓ Différents types de produits organiques, sucres, des acides organiques (acide malique), différents acides aminés.

Donc Toutes les molécules organiques produites par la photosynthèse dérivent de l'APG

Comme de nouveaux produits sont apparus et que la surface de la tache de PGA n'a pas changé, il s'agit sans doute d'un intermédiaire central du métabolisme du carbone.

⇒ **Mécanismes d'incorporation du CO_2 dans les substances organiques:**

(Voir document 14).

Document 14: Expériences de Bassham et Calvin:

Des chlorelles sont cultivées dans un milieu où l'influence de deux paramètres est testée : la lumière et la présence de CO_2 . On barbote de l'air enrichi en CO_2 radioactif puis on mesure au cours du temps la concentration en APG et en C_5P_2 (RuBP). Les concentrations sont déduites de la radioactivité mesurée.

★ Expérience 1 : Des chlorelles sont cultivées dans un milieu éclairé en permanence. On suit la radioactivité de deux composés (RuBP et APG), en présence de CO_2 (1% de CO_2), puis en l'absence de CO_2 (0% de CO_2). La figure 1, présente les résultats de cette expérience.

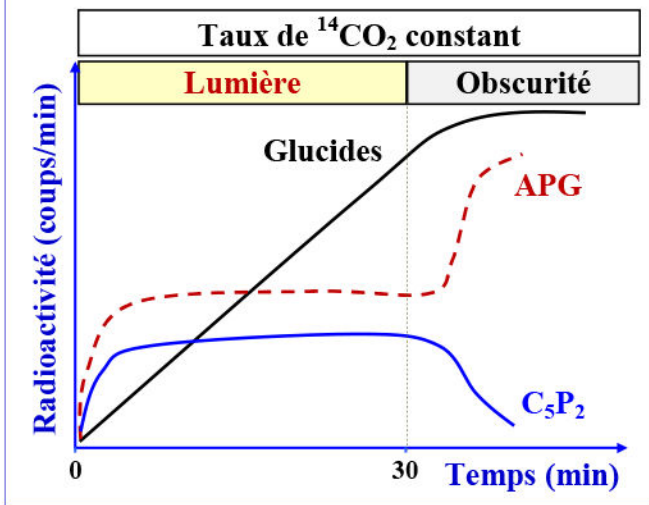
★ Expérience 2 : Des chlorelles sont cultivées dans un milieu où barbote de l'air enrichi en $^{14}\text{CO}_2$ d'une façon constante. La culture normalement éclairée pendant 30 minutes est ensuite transférée à l'obscurité. En plus de la RuBP et APG, on mesure également la concentration en hexoses. La figure 2, présente les résultats de cette expérience.

En exploitant les résultats de l'expérience 1 et l'expérience 2 et de vos connaissances :

- 1) Expliquez comment et où s'effectue la fixation du CO_2 au cours de la photosynthèse.
- 2) Expliquez comment ces expériences conduisent à l'idée d'un couplage entre la phase photochimique, génératrice d'énergie, et la phase chimique utilisatrice d'énergie.

Document 14: (Suite):

Figure 1 : Expérience 1



★ Expérience 1 : La Rubis CO (Ribulose biphosphate carboxylase oxygénase) est une enzyme qui catalyse certaines réactions chimiques spécifiques des végétaux chlorophylliens.

Des chlorelles, sont cultivées dans un milieu où barbote de l'air enrichi en CO_2 radioactif, la culture est éclairée en présence ou en absence de la Rubis CO.

On mesure au cours du temps les concentrations en APG et en RuBP. Les concentrations sont déduites de la radioactivité mesurée. La figure 3, présente les résultats de cette expérience.

3) Analysez ces résultats et déduisez le rôle de la Rubis CO.

Figure 2 : Expérience 2

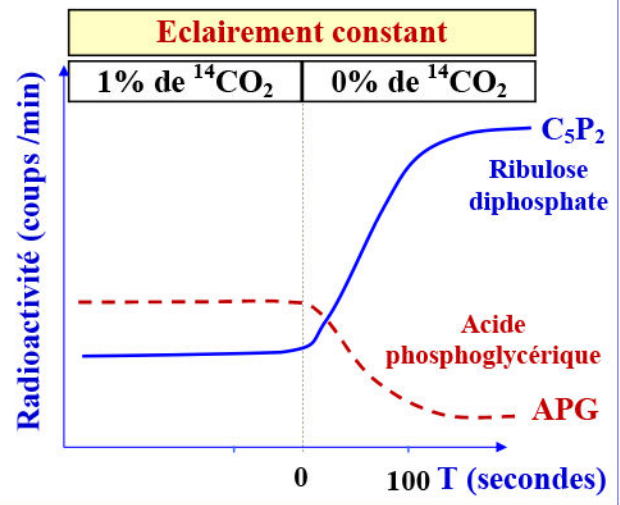
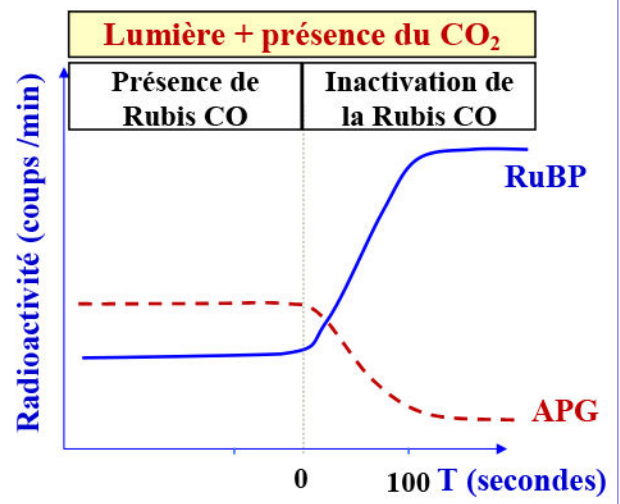


Figure 3 : Expérience 3



1) Où s'effectue la fixation du CO_2 au cours de la photosynthèse ?

★ Expérience 1 (figure 1) : En présence de lumière et CO_2 , les quantités de C_5P_2 et d'APG sont stables et la quantité d'hexoses augmente.

A l'obscurité et toujours en présence de CO_2 , le rubilose diphosphate (RuBP) disparaît progressivement et l'acide phosphoglycérique (APG) s'accumule. De plus, la synthèse des hexoses cesse.

On déduit de ces résultats que la formation du rubilose diphosphate et la synthèse des hexoses s'effectue à partir de l'acide phosphoglycérique et nécessite la présence du CO_2 et la lumière.

★ Expérience 2 (figure 2) : En absence de CO_2 (et en présence de lumière), l'acide phosphoglycérique disparaît progressivement et le rubilose diphosphate s'accumule.

On déduit de ces résultats que l'acide phosphorique est formé à partir de la fixation de CO_2 sur le rubilose diphosphate.

2) Le renouvellement du rubulose diphosphate et la synthèse des hexoses s'effectue à partir de l'acide phosphoglycérique et nécessite la présence de molécules produites lors de la phase photochimique. Il s'agit de l'ATP et de NADPH, H⁺.

Une molécule de rubulose diphosphate (possédant 5 atomes de carbone) et une molécule de CO₂ donnent deux molécules d'acide phosphoglycérique (3 atomes de carbone).

Les 2 réactions de la photosynthèse sont donc bien couplées :

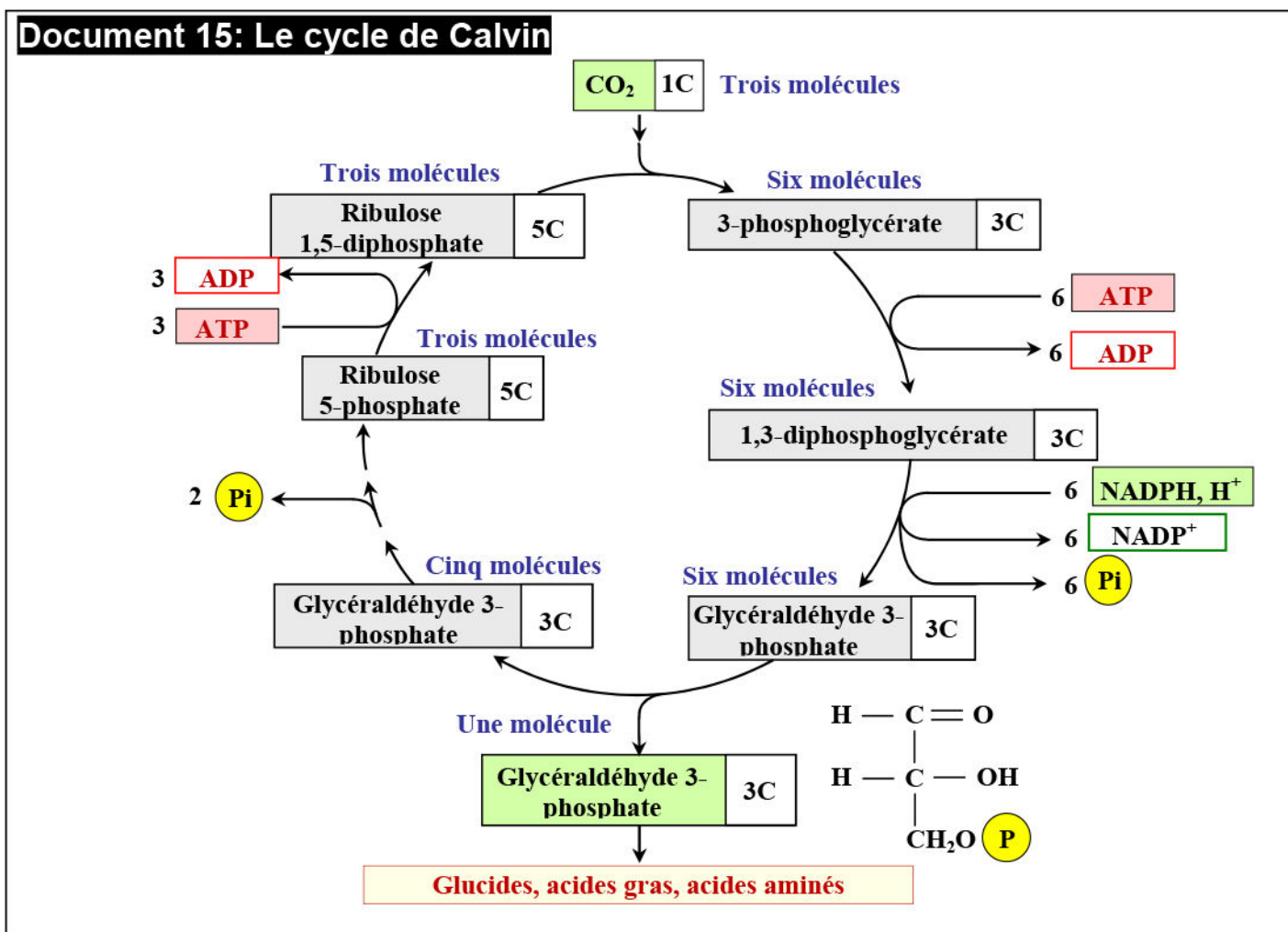
- ✓ La phase photochimique produit de l'ATP et un transporteur réduit (NADPH, H⁺).
- ✓ La phase biochimique utilise ces intermédiaires (ATP + NADPH, H⁺) pour fixer le CO₂.

3) Expérience 3 (figure 3) : En inactivant la Rubis CO, l'acide phosphoglycérique disparaît progressivement et le rubulose diphosphate s'accumule.

On déduit de ces résultats que la Rubis CO est l'enzyme qui intervient dans la fixation de CO₂ sur le rubulose diphosphate pour donner l'acide phosphorique.

⇒ Réactions de la phase biochimique (Sombre):

Au niveau du stroma se trouve le RuBP sucre phosphaté à C₅, et un enzyme : la Rubis CO qui catalyse la réaction de carboxylation du RuBP par le CO₂. Ainsi se fait la fixation du CO₂ pour la synthèse de la matière organique, indépendamment de la lumière, en une série de réactions constituant le cycle de Calvin (Voir document 15).



Document 15: (Suite):

Le cycle de Calvin peut être divisé en trois étapes essentielles (Voir figure ci-contre):

★ **L'incorporation du CO₂ dans le RuBP (①):**

Cette réaction est catalysée par la Rubis CO qui incorpore une molécule de CO₂ dans un composé en C5 (RuBP) pour donner deux molécules d'un composé en C3, l'acide phosphoglycérique (APG).

★ **La réduction de l'APG en triose phosphate (G3P) (②):**

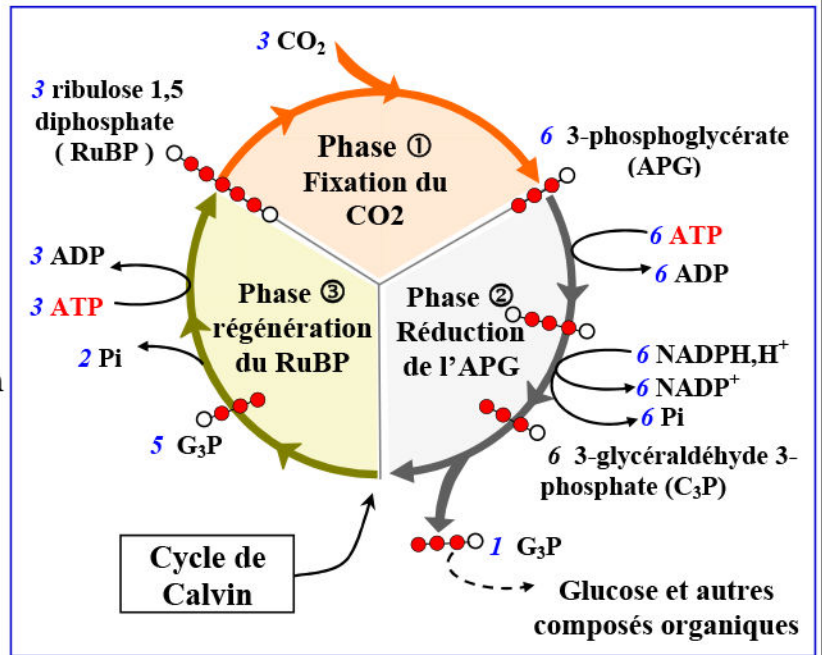
La formation de 2 molécules de trioses nécessite deux molécules d'ATP et 2 molécules de NADPH, H⁺.

★ **La régénération du RuBP (③):**

Le G3P formé peut avoir différentes destinées, un sixième de celui-ci sera utilisé par la cellule comme composant glucidique et les cinq sixièmes restant seront utilisés pour régénérer la RuBP et poursuivre le cycle de Calvin.

La régénération du RuBP nécessite une molécule d'ATP supplémentaire par molécule de CO₂ fixé.

En se basant sur les données de ce document, écrire la réaction globale de la synthèse du glucose C₆H₁₂O₆.

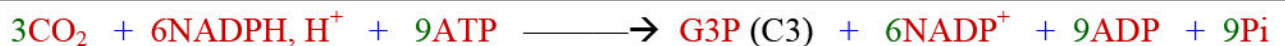


★ **Bilan de la phase photochimique :**



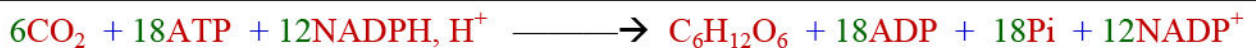
★ **Bilan de la phase biochimique :**

A chaque tour de cycle de Calvin, l'assimilation d'une molécule de CO₂ exige la consommation de 3 ATP et 2 molécules de NADPH, H⁺ :



★ **La réaction globale de la synthèse d'une molécule de glucose est :**

La production d'une molécule de glucose C₆H₁₂O₆ nécessite la fixation de 6 molécules de CO₂, soit 6 tours de cycle, elle consomme donc 18 molécules d'ATP et 12 NADPH, H⁺ :



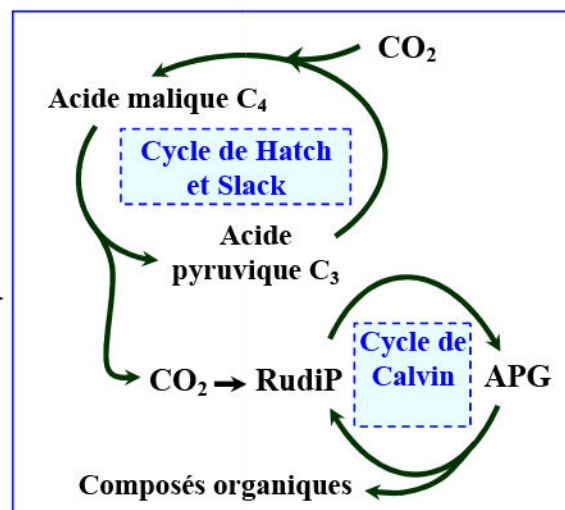
Remarque : (Voir document 16)

Document 16: Incorporation du CO₂ chez les plantes en C4:

Les crassulacées constituent une famille de plantes adaptées à la vie dans les zones sèches et chaudes. Chez les crassulacées et les plantes en C4, comme le maïs et la canne à sucre, les stomates ne peuvent s'ouvrir que la nuit pour éviter la perte d'eau; ainsi, ces plantes absorbent le CO₂ la nuit. Ce CO₂ réagit avec l'acide pyruvique à 3C pour donner l'acide malique à 4C qui s'accumule, ainsi le premier produit de l'incorporation du CO₂ est à 4C d'où le nom de plantes en C4 (Figure ci-contre).

Pendant le jour, la réaction inverse se produit, le CO₂ libéré entre dans le cycle de Calvin en présence des produits de la phase claire.

En se basant sur ces données, dégagez les caractéristiques des plantes en C4.



En plus des plantes en C3, il existe des plantes nommées plantes en C4, ce sont des plantes des zones arides très chaudes le jour. Elles sont caractérisées par leur capacité à retenir une quantité importante d'eau.

Chez les crassulacées et les plantes en C4, après avoir fixé le CO₂, le premier produit organique de la photosynthèse est un composé constitué de 4 atomes de carbones, d'où le nom de plante en C4.

Le jour, le CO₂ est libéré des composés en C4 formés la nuit et rejoint le cycle de Calvin qui aboutit à la synthèse des différentes substances organiques.

III – Diversité des sources de la matière et de l'énergie utilisées par les êtres vivants:

① La chimiosynthèse : (Voir le document 17)

Document 17: La chimiosynthèse:

Dans les grands fonds marins, au voisinage des dorsales océaniques, des chercheurs ont découvert l'existence de vie animale aux alentours des sources hydrothermales, en absence de la lumière. Comme exemple, *Riftia pachyptila* (Figure 1), c'est un ver géant qui peut atteindre plus de 2 mètres. Il vit dans un tube de chitine qu'il sécrète. Ce ver vit en symbiose obligatoire avec des bactéries chimiosynthétiques qui utilisent l'énergie chimique contenue dans les fluides hydrothermaux que leur transmet le ver via son système sanguin. Il s'agit de bactéries Sulfo-oxydantes qui utilisent les molécules de sulfure d'hydrogène (H₂S), le dioxyde de carbone (CO₂), et de dioxygène (O₂) pour synthétiser des sucres que le ver peut assimiler.

La bactérie nitrosomonas est un genre de bactérie chimiotrophe qui se rencontre dans le sol, les eaux usées, tout particulièrement dans les zones polluées qui contiennent de hauts niveaux de composés azotés (La figure 2).

Cette bactérie oxyde des substances minérales (NH₄⁺) pour tirer de l'énergie qui lui permet de synthétiser de la matière organique:



La bactérie nitrosomonas utilise les électrons issus de l'oxydation d'ammoniac pour produire l'énergie.

Figure 1 : *Riftia pachyptila*

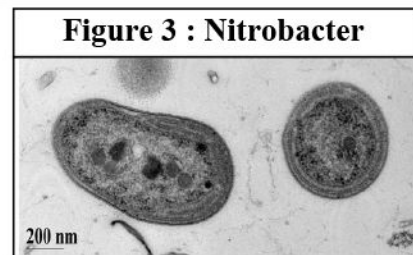


Figure 2 : Nitrosomonas



Document 17: (Suite):

Nitrobacter est un genre de bactérie, chimioautotrophe, qui se rencontre principalement dans les sols et les eaux usées. Elle joue un rôle important dans le cycle de l'azote en oxydant le nitrite (NO₂⁻) en nitrate (NO₃⁻) dans le sol (La figure 3).

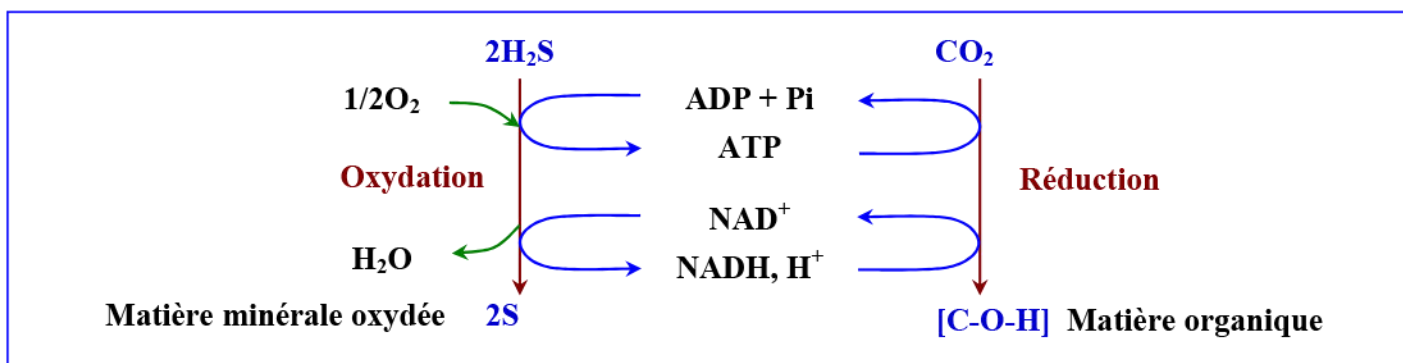


Les Nitrobacter utilisent l'énergie venant de l'oxydation des ions nitrite, en ions nitrate, pour répondre à leurs exigences en carbone.

En exploitant les données de ce document, déduire la source d'énergie utilisée par les bactéries vivants dans les dorsales océaniques, les Nitrosomonas et les nitrobacters.

On constate que les animaux présentés par ce document élaborent leur matière organique en utilisant la matière minérale uniquement, on parle de chimiosynthèse.

Exemple chez la bactérie Sulfo-oxydante qui vit en symbiose avec Riftia pachytila :



② Diversité des sources de la matière et de l'énergie:

Selon le mode de nutrition, les organismes vivants peuvent être répartis en différents types trophiques :

Source d'énergie / Source de matière	PHOTOTROPHES Energie lumineuse	CHIMIOTROPHES Energie chimique
AUTOTROPHES Matière minérale	PHOTOLITHOTROPHES Organismes chlorophylliens	CHIMIO-LITHOTROPHES Bactérie nitrifiantes et sulfureuses
HÉTÉROTROPHES Matière organique	PHOTOORGANOTROPHES certaines bactéries chlorophylliennes	CHIMIOORGANOTROPHES Animaux, champignons, bactéries

Unité 3:

Les communications hormonales et nerveuses

INTRODUCTION

Le corps est constitué d'organes, chaque organe est spécialisé dans une fonction précise. pour maintenir son équilibre et contrôler les différentes fonctions, le corps doit disposer de système de communication et de corrélation entre les différents organes.

Le corps dispose de deux systèmes de communications :

- ✓ La communication hormonale
- ✓ La communication nerveuse

Dans certaines fonctions il y a intégrations des deux types de communications, on parle alors de la communication neurohormonale.

Quelles sont donc les mécanismes de ces différents types de communications ?

Chapitre 1:

Communication hormonale

INTRODUCTION:

Malgré la variation en intensité des activités de l'organisme, et malgré l'apport irrégulier de glucose par l'alimentation, et une utilisation variable au cours d'une journée par les cellules, son taux reste à peu près constant : 1g/L chez une personne en bonne santé.

Le taux de glucose dans le sang ou la glycémie est donc un paramètre biologique contrôlé par l'organisme. Cette particularité des organismes vivants est appelée homéostasie.

- **Comment déterminer la valeur de la glycémie chez une personne ?**
- **Quels sont les organes intervenant pour maintenir la constance de la glycémie?**
- **Comment ces organes communiquent-ils pour répondre aux besoins de l'organisme, suite à la variation de ses activités.**
- **Quelles sont les mécanismes de la régulation du taux de glucose dans le sang ?**
- **Comment les cellules cibles réagissent elles au message hormonal ?**

I – La glycémie : Une constante physiologique.

Le glucose $C_6H_{12}O_6$ est un nutriment d'une importance capitale. Il passe avec les autres nutriments de l'intestin vers le sang, au cours de l'absorption intestinale. Le glucose est une source principale d'énergie pour la cellule. Il doit donc être présent dans le sang en permanence.

- ✓ Comment varie la concentration du glucose dans le sang; c'est-à-dire la glycémie ?
- ✓ Quelle est la signification de cette variation ?

① Mise en évidence de la présence du glucose dans le sang : (Voir document 1)

Document 1 : Mise en évidence de la présence de glucose dans le sang.

Actuellement, la méthode la plus courante pour vérifier la glycémie chez les diabétiques est de se servir d'un glucomètre (Figure 1).

Pour mesurer la glycémie, le glucomètre a besoin d'une goutte de sang obtenue par une piqûre du bout du doigt à l'aide du stylo autopiqueur (Fig 2).

La goutte de sang est déposée sur une bandelette réactive, puis insérée dans le glucomètre.

Utilisé correctement, l'appareil fournit une lecture rapide. La valeur affichée sur l'écran est exprimée en mg par dl. Pour obtenir la valeur en $g.L^{-1}$, il suffit donc de diviser par 100 le nombre affiché.

A l'aide de cette technique, réalisez le test de votre glycémie et de vos camarades de classe. Qu'est ce que vous en déduisez ?



Figure 1



Figure 2

La glycémie est une constante physiologique dont la valeur normale oscille faiblement autour de $1g.l^{-1}$ ($5.5 mmol/l$) dans le plasma à jeun.

② Mise en évidence d'une régulation de la glycémie chez un sujet normal : (Voir document 2)

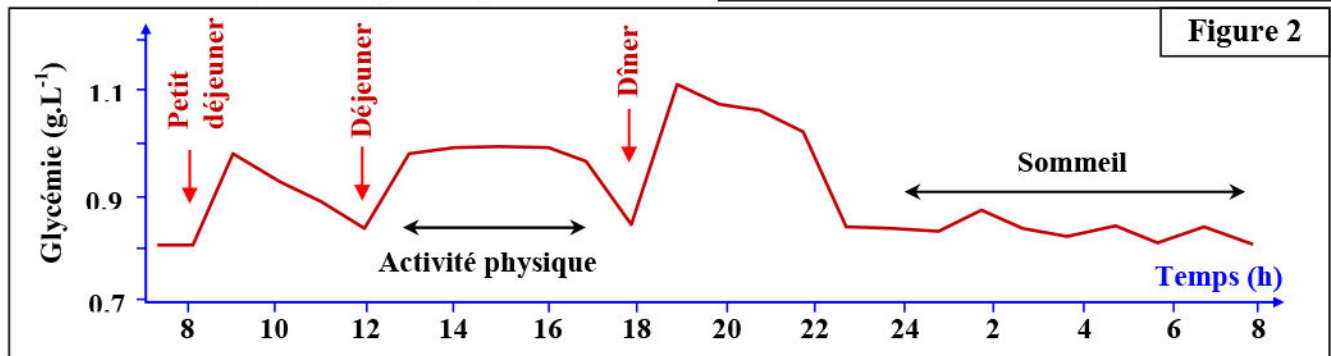
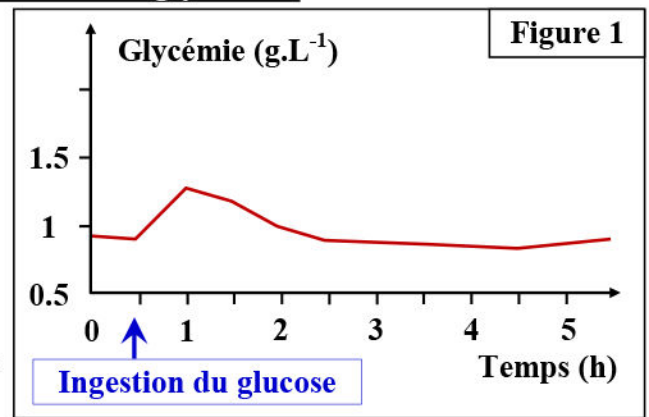
Document 2 : Mise en évidence d'une régulation de la glycémie.

★ Epreuve de l'hyperglycémie provoquée :

On mesure les variations de la glycémie à jeun et après une prise d'une solution glucosée chez une personne saine (non diabétique). La figure 1, présente le résultat de cet examen.

★ Variation de la glycémie au cours de la journée :

Des mesures de la glycémie à jeun ont été effectuées chez une personne au cours d'une journée. Les résultats de ces mesures sont présentés par la figure 2 :



A partir de l'analyse des données de ce document, montrez que la glycémie est une constante physiologique et que cette constante est sous l'effet d'une régulation physiologique.

- ★ **La figure 1 :** Avant l'ingestion du glucose, la glycémie est 0.9 g/l. Juste après l'ingestion du glucose, la glycémie augmente à 1.4 g/l. On parle d'hyperglycémie provoquée. Après l'hyperglycémie, la glycémie revient progressivement à sa valeur initiale.
- ★ **La figure 2 :** Dans les conditions normales du corps, après chaque repas la glycémie augmente puis revient progressivement à sa valeur normale.
- ★ **Conclusion :** Malgré l'influence de plusieurs facteurs (hyperglycémie, repas, activités...) la glycémie retrouve sa valeur normale. Cela indique que la glycémie est une constante physiologique et qu'il y'a dans le corps un mécanisme régulateur de cette glycémie.

II – Les organes effecteurs de la régulation de la glycémie :

① Mise en évidence du rôle du foie dans le maintien de la glycémie :

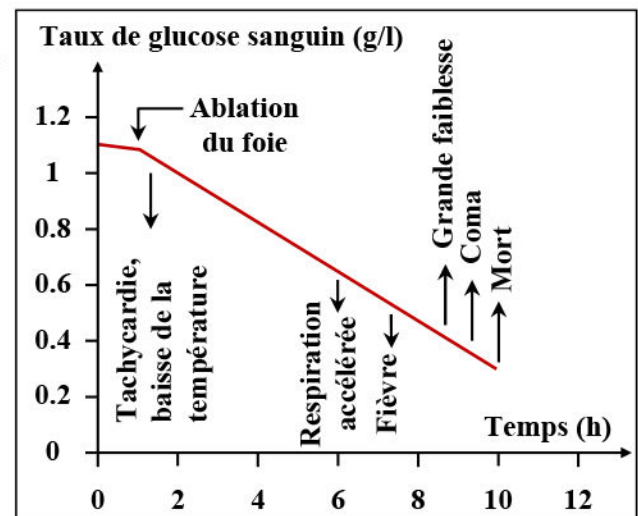
a) Expérience de l'ablation du foie : (Voir document 3)

Document 3 : Conséquences de l'ablation du foie.

Un chien ayant subi l'ablation du foie ne survit que quelques heures. Parmi les troubles qui précèdent la mort, on note que l'animal tombe en coma : c'est la conséquence d'une souffrance des cellules nerveuses cérébrales qui ne sont plus alimentées suffisamment en glucose, car la glycémie « s'effondre » (hypoglycémie) ». Si on pratique alors une perfusion de glucose, l'animal sort du coma en quelques minutes, et retrouve un pouls et une respiration normale.

Ce rétablissement n'est que temporaire, et la survie ne peut être ainsi prolongée que de 18 à 24 heures car le foie assure en effet d'autres fonctions vitales.

A partir de l'analyse des données de ce document, déterminer l'effet de l'ablation du foie sur la glycémie.



On constate que l'ablation du foie (hépatectomie) chez un chien provoque une chute rapide de la glycémie qui s'accompagnait de troubles fonctionnels importants (tachycardie, baisse de la température, hypertension) conduisant au coma puis à la mort de l'animal au bout de quelques heures. Donc le foie est un organe vital.

b) Expérience du foie lavé (Claude Bernard 1855) : (Voir document 4)

Document 4 : Expérience du foie lavé (Claude Bernard 1855).

En 1855, Claude Bernard réalise une expérience dite du foie lavé; il l'a décrit cette en ces termes :

« J'ai choisi un chien adulte, vigoureux et bien portant qui depuis plusieurs jours était nourri de viande; je le sacrifiai 7 heures après un repas copieux de tripes (abondant, abats).

Aussitôt, le foie fut enlevé, et cet organe fut soumis à un lavage continu par la veine porte...

...Je laissai ce foie soumis à ce lavage continu pendant 40 minutes; j'avais constaté au début de l'expérience que l'eau colorée en rouge qui jaillissait par les veines hépatiques était sucrée; je constatai en fin d'expérience que l'eau, parfaitement incolore qui sortait, ne renfermait plus aucune trace de sucre.

... J'abandonnai dans un vase ce foie à température ambiante et, revenu 24 heures après, je constatai que cet organe que j'avais laissé la veille complètement vide de sucre s'en trouvait pourvu très abondamment ».

Claude Bernard Conclut ainsi :

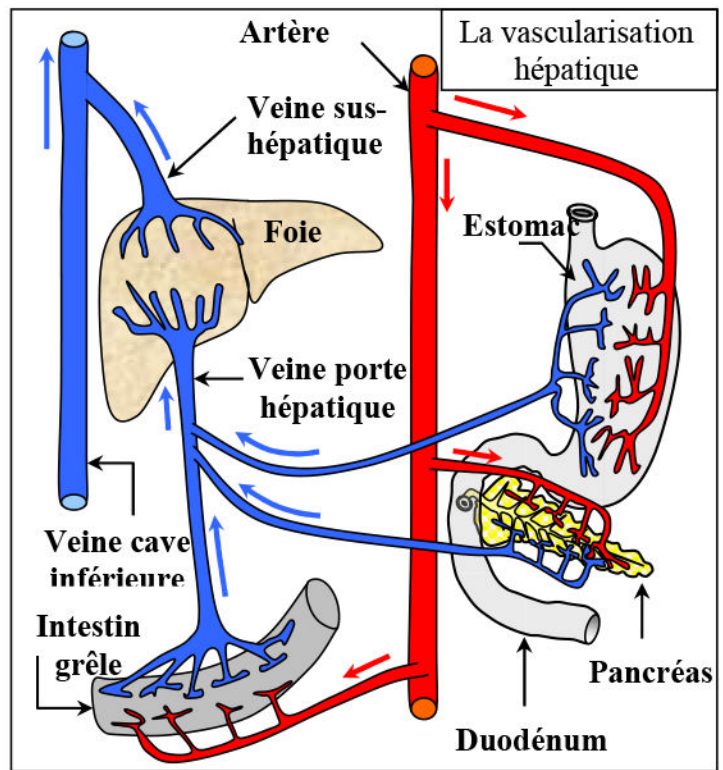
« Cette expérience prouve que dans un foie frais à l'état physiologique, c'est-à-dire en fonction, il y a deux substances :

- ✓ Le sucre, très soluble dans l'eau, emporté par lavage ;
- ✓ Une autre matière, assez peu soluble dans l'eau ; c'est cette dernière substance qui, dans le foie abandonné à lui-même, se change peu à peu en sucre ».

Claude Bernard appelle cette substance : glycogène.

On mesure la glycémie dans les veines portes hépatique et sus-hépatiques après un repas et après une période de jeûne.

Les résultats de ces mesures sont représentés sur le tableau suivant :



	Glycémie (en g/l)	
	Dans la veine porte hépatique	Dans la veine sus-hépatique
Après un repas	2.5 ou plus	1 à 1.2
Après une période de jeûne de quelques heures	0.8	0.95 à 1.05

En vous appuyant sur l'analyse des données de ce document, expliquez le rôle du foie dans la régulation de la glycémie.

L'expérience du foie lavé prouve clairement, que dans un foie frais à l'état physiologique, c'est-à-dire en fonction, il y a deux substances :

Un sucre très soluble dans l'eau et qui est emporté avec le sang par le lavage;

Une autre matière assez peu soluble dans l'eau pour qu'elle soit restée fixée au tissu hépatique après un lavage de quarante minutes. C'est cette dernière substance qui, dans le foie abandonné à lui-même, se change peu à peu en sucre soluble.

Donc Le foie stocke le glucose ($C_6H_{12}O_6$) sous forme de glycogène ($(C_6H_{10}O_5)_n$). La glycogène peut être hydrolysé et libéré du foie sous forme de glucose.

La mesure de la glycémie du sang de la veine porte et de la veine sus-hépatique montre que:

- ✓ Après le repas, la glycémie augmente dans la veine porte, et après elle devient normale dans la veine sus-hépatique. Cela peut être expliqué par le fait que les cellules hépatiques absorbent le glucose du sang hyper glycémique et le stocke sous forme de glycogène, selon la réaction suivante (La glycogénogenèse) :



- ✓ Après une période de jeun, il y'a une hypoglycémie au niveau de la veine porte, et après le passage du sang dans le foie la glycémie devient normale dans la veine sus hépatique. Cela peut être expliqué par le fait que les cellules hépatiques font l'hydrolyse du glycogène hépatique ce qui libère le glucose dans le sang et augmente la glycémie, selon la réaction suivante (La glycogénolyse) :



Le foie, par ces deux fonctions opposées (stockage et libération), occupe une place essentielle dans le maintien de l'homéostat glycémique : c'est le principal organe effecteur de la régulation de la glycémie

Remarque :

En plus du foie, il y'a d'autres niveaux de stockage du glucose, comme le tissu adipeux (Les adipocytes) et les cellules musculaires. Mais seules les hépatocytes (cellules du foie) sont capables de restituer du glucose au sang.

② Rôle du pancréas dans la régulation de la glycémie :

Le diabète sucré est surtout une maladie des adultes ; mais il peut apparaître chez certains enfants. Le diagnostic de la maladie chez ces jeunes, montre une activité normale du foie, mais au niveau du pancréas on trouve des zones détruites par des cellules immunitaires. Comment donc cette glande intervient elle pour contrôler la glycémie ?

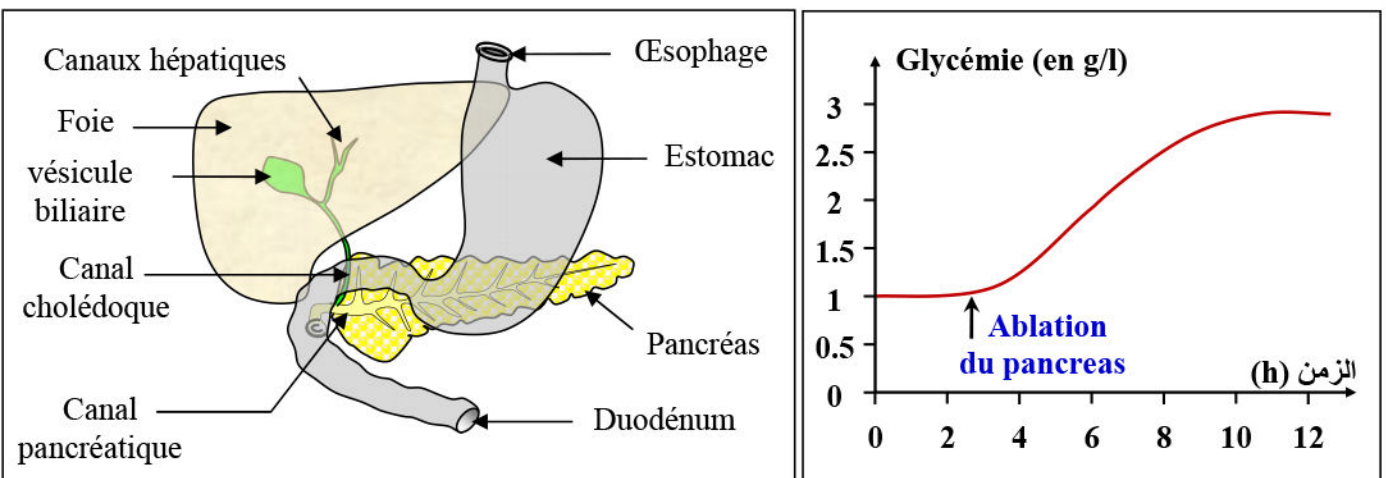
a) Le rôle du pancréas dans l'abaissement de la glycémie : (Voir document 5)

Document 5 : Le rôle du pancréas dans l'abaissement de la glycémie.

Au siècle dernier, des physiologistes ont réalisé des expériences d'ablation du pancréas chez le chien (Figure ci-dessous). Ils ont constaté l'apparition de deux types de troubles :

- Des troubles digestifs dus à l'absence du suc pancréatique.
- Une élévation rapide et importante de la glycémie.

En l'absence de traitement, la survie de l'animal opéré n'excède pas quelques semaines.



Décrire l'évolution de la glycémie avant et après l'ablation du pancréas puis déduire ?

Le pancréas est relié au tube digestif par le canal pancréatique, qui déverse le suc pancréatique dans une région de l'intestin grêle appelée duodénum. Le pancréas est donc une glande digestive.

Avant l'ablation du pancréas la glycémie est stable à 1 g/l

Après l'ablation du pancréas la glycémie augmente progressivement.

Donc le pancréas sain intervient dans la régulation de la glycémie.

Le pancréas est un organe vital de l'organisme. Cet organe joue un rôle primordial dans la régulation de la glycémie, dans le cas d'une hyperglycémie.

b) Comment intervient le pancréas dans la régulation de la glycémie ?

(Voir document 6)

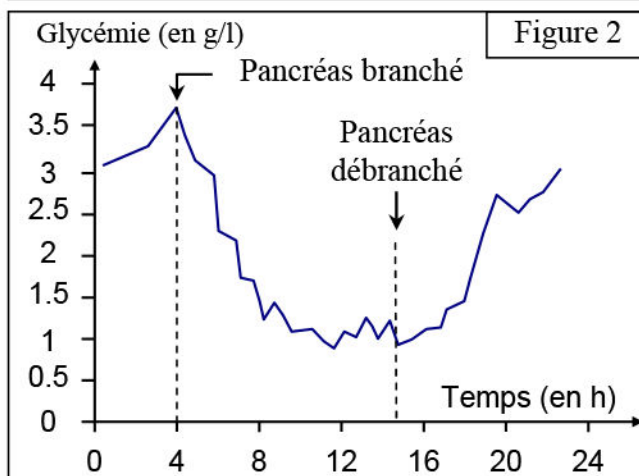
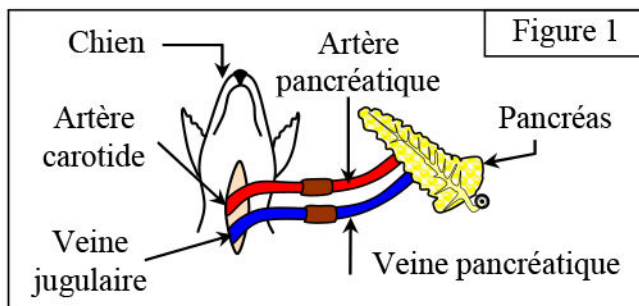
Document 6 : Comment intervient le pancréas dans la régulation de la glycémie.

Chez un chien pancréatectomisé depuis quelques heures, on « installe » un pancréas en le raccordant à la circulation sanguine de la région du cou : on relie l'artère pancréatique à l'artère carotide et la veine pancréatique à la veine jugulaire pour établir un courant sanguin entre le corps de l'animal et le pancréas (Fig 1).

Ainsi opéré, des prélèvements sanguins répétés permettent de suivre l'évolution de la glycémie pendant toute la durée de l'expérience et après débranchement du pancréas. Les résultats de cette expérience sont présentés par la figure 2.

En 1921, deux chercheurs canadiens, Banting et Best, constatent que des extraits pancréatiques injectés dans le sang d'un animal diabétique font rapidement chuter la glycémie.

Analyser les résultats expérimentaux et déterminer par quel type de mécanisme le pancréas peut intervenir dans la régulation de la glycémie.



Après ablation du pancréas et augmentation de la glycémie, le branchement d'un pancréas sain ramène la glycémie à la valeur normale. Mais le débranchement de ce pancréas sain, entraîne l'élévation de la glycémie.

Le pancréas intervient donc dans la régulation de la glycémie par l'intermédiaire d'une substance sécrétée dans la circulation sanguine et véhiculée par le sang pour agir sur des cellules cibles.

Cette substance produite par les cellules d'une glande endocrine dans le plasma sanguin et qui agit sur des cellules cibles, possédant des récepteurs spécifiques, constitue une hormone.

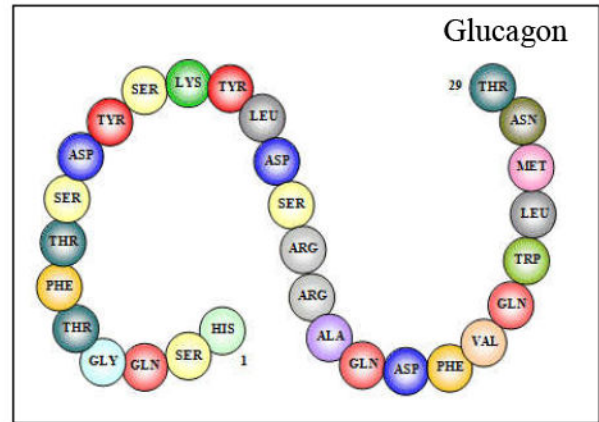
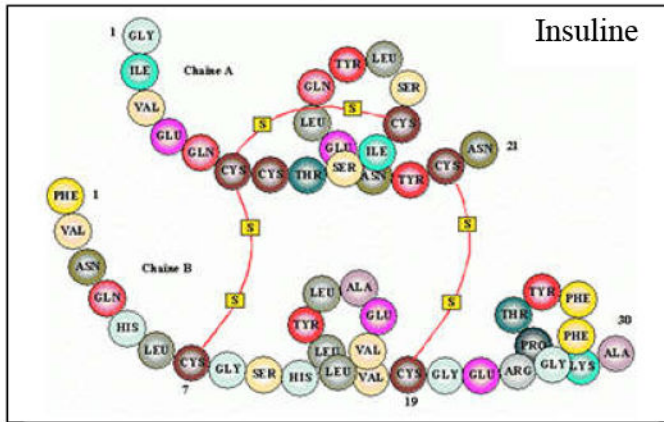
c) Rôle des extraits pancréatiques : (Voir document 7)

Document 7 : Rôle des extraits pancréatiques sur la régulation de la glycémie.

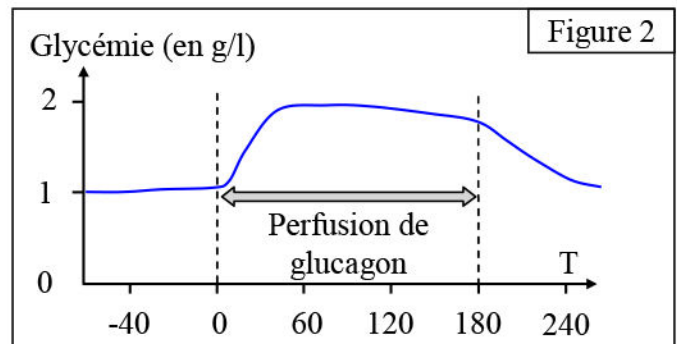
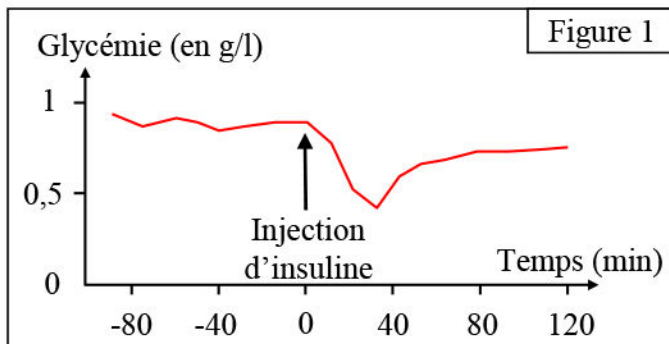
L'analyse du sang de la veine pancréatique a mis en évidence la présence de deux polypeptides (protéines) :

- L'insuline, découverte en 1921 par Banting et Best, est constituée de deux chaînes peptidiques (21 et 30 acides aminés).
- Le glucagon, découvert en 1923 par Murlin et Kimball, est constitué d'une chaîne peptidique (29 acides aminés).

Document 7 : (Suite).



Afin d'étudier les effets de l'insuline et du glucagon, on réalise une série d'expériences sur un chien à jeun : On mesure la variation de la glycémie chez cet animal, suite à une injection de l'insuline et à une perfusion de Glucagon. Les résultats de ces mesures sont présentés respectivement par les courbes de la figure 1 et la figure 2.



Analyser ces résultats expérimentaux et déterminer le rôle de chaque hormone étudiée.

Figure 1 : Avant l'injection d'insuline, la glycémie du chien est normale. L'injection d'insuline provoque une baisse brutale de la glycémie, qui passe en 30 minutes de $0,95$ à $0,45 \text{ g.L}^{-1}$. L'insuline a donc un effet hypoglycémiant. Au bout de 30 minutes, son action est terminée et la glycémie retrouve progressivement sa valeur normale.

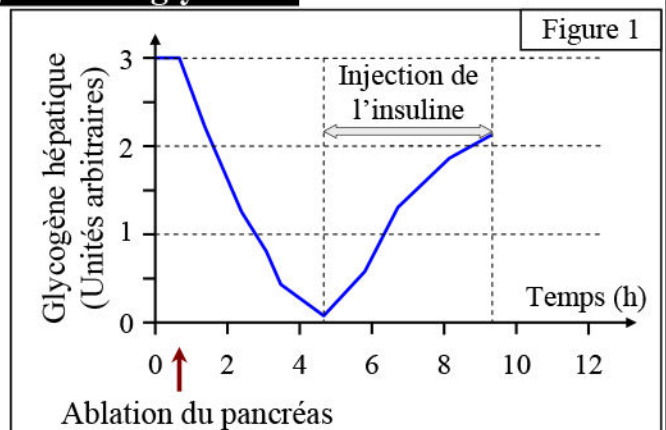
Figure 2 : Avant l'injection du Glucagon, la glycémie du chien est normale. La perfusion de glucagon provoque une augmentation brutale de la glycémie, qui passe de 1 à g.L^{-1} . L'action du glucagon est donc hyperglycémiant. A la fin de la perfusion, la glycémie retrouve progressivement sa valeur normale.

d) Effet de l'insuline et du glucagon sur la glycémie: (Voir document 8)

Document 8 : Effet de l'insuline et du glucagon sur la glycémie.

- ★ Chez un chien, on réalise la mesure du taux du glycogène à la suite de l'ablation du pancréas et à la suite de l'injection de l'insuline.
- ★ Chez un chien soumis à jeun, on dose la glycémie et le taux du glycogène hépatique avant et après l'injection du glucagon.

Les résultats de ces mesures sont présentés respectivement par la figure 1 et la figure 2.



Document 8 : (Suite).

★ Un muscle est déposé dans un milieu nutritif convenable contenant de l'insuline, puis dans un milieu identique mais sans insuline. Après, on mesure le taux du glucose consommé par le muscle et la quantité du glycogène dans le muscle. Les résultats sont présentés par le tableau de la figure 3 :

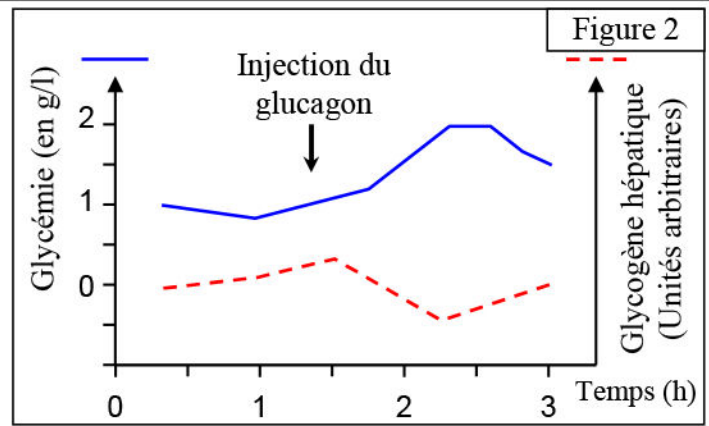


Figure 3	Milieu nutritif contenant l'insuline (en mg/g du muscle)	Milieu nutritif sans l'insuline (en mg/g du muscle)
Glucose consommé	1.88	1.43
Glycogène musculaire	2.85	2.45

★ Une consommation excessive de sucre conduit à l'obésité. C'est-à-dire à un développement excessif du tissu adipeux.

★ Chez un animal, l'injection de glucose marqué par un carbone radioactif est suivie de stockage de lipides radioactifs dans le tissu adipeux et d'un stockage de glycogène radioactif dans le foie et les muscles.

A partir de l'analyse des données de ce document, déterminer les organes intervenant dans la régulation de la glycémie et l'effet de l'insuline et du glucagon sur ces organes cibles.

★ L'ablation du pancréas diminue le taux de glycogène hépatique, mais l'injection d'insuline rétablit le stock de glycogène hépatique. On en déduit que l'insuline fait baisser la glycémie en agissant sur :

- ✓ Les cellules hépatiques pour emmagasiner le glucose sous forme de glycogène.
- ✓ Les cellules musculaires en y augmentant le flux d'entrée du glucose et la glycogénogenèse.
- ✓ Les cellules adipeuses qui emmagasinent le glucose sous forme de molécules lipidiques.

★ L'injection de glucagon augmente la glycémie et diminue le taux de glycogène hépatique. On en déduit que le glucagon fait augmenter la glycémie en agissant sur :

- ✓ Les cellules hépatiques en activant la glycogénolyse pour transformer le glycogène en glucose.
- ✓ Les cellules adipeuses en facilitant la libération des acides gras qui seront transformés en glucose par néo-glycogénogenèse.

L'insuline et le glucagon ont des actions antagonistes (qui ont des rôles opposés).

Conclusion :

Le foie, les muscles et le tissu adipeux sont les effecteurs de la régulation de la glycémie.

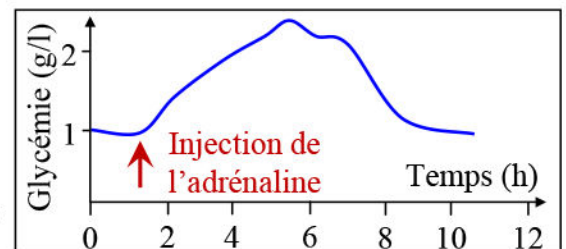
Cependant, le foie, par ces deux fonctions opposées (stockage et libération), occupe une place essentielle dans le maintien de l'homéostat glycémique : c'est le principal organe effecteur de la régulation de la glycémie.

Remarques : (Voir document 9)

Document 9 : Autres hormones hyperglycémiantes.

Dans le corps seul l'insuline est l'hormone hypoglycémiant, toute sécrétion anormale par les cellules β conduit au diabète, alors que les hormones

- hyperglycémiantes sont nombreux, en plus du glucagon on trouve par exemple l'adrénaline et le cortisol.
- Dans le corps on trouve plusieurs glandes endocrines qui sécrètent plusieurs dizaines d'hormones dans le sang qui les transportent vers les cellules cibles sans aucune erreur, les hormones sont spécifiques.



L'adrénaline est une hormone sécrétée par la glande médullosurrénale. Elle active la glycogénolyse et dont la sécrétion est induite par un message nerveux d'origines différentes ; tels que la diminution rapide de la glycémie, le stress ou la nervosité...

Le cortisol est une hormone sécrétée par la corticosurrénale. Elle active la néo-glycogénèse et diminue l'utilisation du glucose au niveau des cellules.

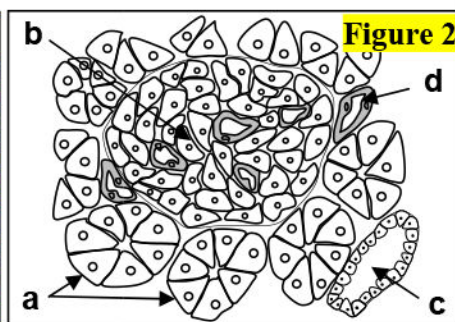
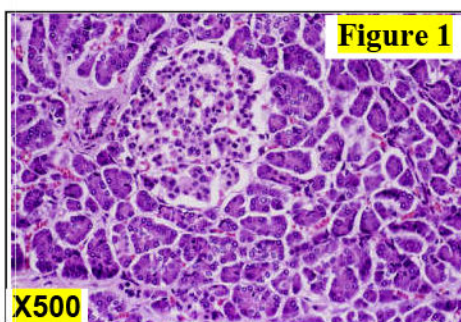
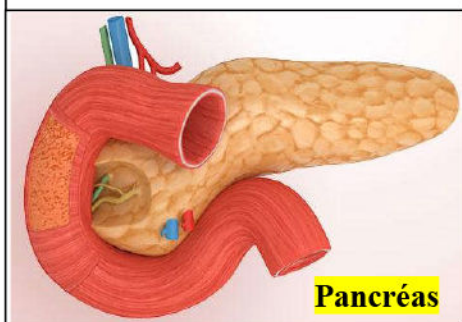
e) Les structures responsables de la sécrétion des hormones pancréatiques :

(Voir document 10)

Document 10 : Structures responsables de la sécrétion des hormones pancréatique.

Le pancréas est une glande de forme foliaire allongée, située derrière l'estomac et se compose de deux ensembles cellulaires (Figure 1) :

- ✓ L'essentiel de sa masse (99%) est constitué par des cellules regroupées en nombreuses petites sphères ou acinus (a - Figure 2), pourvue chacune d'un petit canal qui se jette dans le canal pancréatique (b - Figure 2).
- ✓ Le reste du pancréas est constitué d'amas cellulaires dispersés entre les acini : les îlots de Langerhans (c - Figure 2). Ces îlots sont dépourvus de canaux mais irrigués par des capillaires sanguins (d - Figure 2).



Expérience 1 : Diabète alloxanique.

En 1943, Dunn et ses collaborateurs ont montré que l'alloxane (produit dérivé de l'urée) injecté à un lapin, provoque un diabète sévère.

L'observation microscopique du pancréas des animaux traités à l'alloxane révèle qu'une petite partie seulement du pancréas est détruite : ce sont les cellules constituant les îlots de Langerhans qui sont nécrosées, les autres cellules du pancréas restent intactes.

Les troubles du diabète alloxanique sont comparables à ceux constatés à la suite d'une pancréatectomie à une différence importante près : Il n'y a pas de troubles digestifs, alors qu'ils apparaissent lors d'une pancréatectomie totale.

Expérience 2 : Ligature du canal pancréatique.

La pose d'une ligature obturant le canal pancréatique, interrompt la sécrétion du suc pancréatique dans le duodénum. Des troubles digestifs sévères se manifestent alors.

On observe par ailleurs une dégénérescence des cellules constituant les acini pancréatiques. En revanche, aucun signe de diabète n'apparaît et les îlots sont intacts.

Expérience 3 : Coloration avec la technique d'immunofluorescence (Figure 3) :

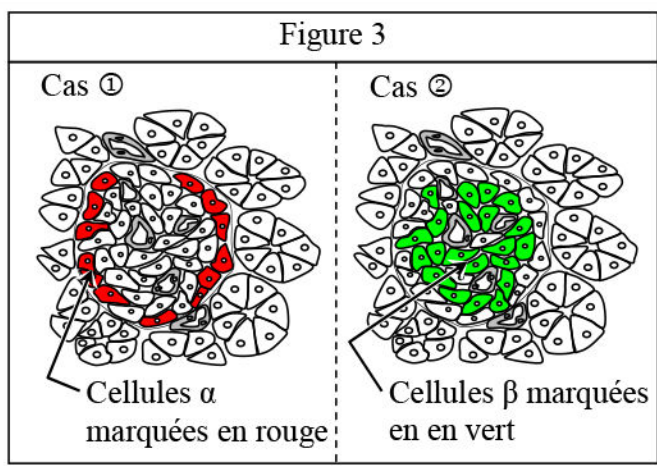
La technique d'immunofluorescence, consiste à localiser une molécule donnée dans un tissu en plaçant ce dernier en présence de molécules d'anticorps capable de se lier spécifiquement à cette molécule.

Pour pouvoir localiser ces anticorps dans le tissu, on leur attache un pigment fluorescent qui s'illumine lorsqu'il est correctement éclairé. Ici on a utilisé deux sortes d'anticorps : des anticorps anti-insuline liés à un pigment vert, et des anticorps anti-glucagon liés à un pigment rouge.

Document 10 : Suite.

A partir de l'analyse et l'interprétation de ces données expérimentales :

- 1) Décrire la structure du pancréas.
- 2) Déterminer les fonctions des acini et des îlots de Langerhans, puis déduisez pourquoi on dit que le pancréas est une glande mixte ?
- 3) Identifier les cellules sécrétrices de l'insuline et du glucagon.



- 1) L'observation d'une coupe dans le pancréas montre deux types de tissus : Des acini formés de cellules sécrétrices du suc pancréatique digestif, et des îlots de Langerhans formés de cellules sécrétrices d'hormones : α pariétales et β centrales.
 - 2) Le pancréas est un organe de l'appareil digestif qui assure deux fonctions :
 - ✓ C'est une glande digestive qui déverse dans le duodénum des enzymes digestives sécrétées par des cellules glandulaires groupées en acinus. On dit donc que c'est une glande exocrine (sécrète des substances destinées à être expulsées à l'extérieur).
 - ✓ C'est une glande hormonale qui sécrète dans le sang des hormones susceptibles de faire varier la glycémie. On dit donc que c'est une glande endocrine (sécrète des hormones dans le milieu intérieur).
- Puisque le pancréas est à la fois une glande endocrine et une glande exocrine, on dit que c'est une glande mixte.
- 3) Les hormones pancréatiques sont produites par des cellules des îlots de Langerhans. L'observation précise de ces îlots révèle l'existence de deux populations cellulaires :
 - ✓ Les cellules α à la périphérie des îlots, elles sécrètent le glucagon.
 - ✓ Les cellules β au centre des îlots, elles sécrètent l'insuline.

III – La régulation de la glycémie : un système autorégulé.

Deux hormones pancréatiques ont des effets opposés sur la glycémie. L'insuline hypoglycémiant, et le glucagon hyperglycémiant. La stabilité de la glycémie dépend donc d'un équilibre hormonal bien contrôlé, ce qui suppose que les cellules hormonales adaptent leur activité aux variations de la glycémie.

Comment les cellules sécrétrices d'hormones sont-elles informées des variations de la glycémie ?

① Réponse des cellules pancréatiques aux variations de la glycémie:

(Voir document 11)

Document 11 : Réponse des cellules pancréatiques aux variations de la glycémie.

Des sujets normaux, à jeun depuis 12 heures, et maintenus au repos pendant les 4 heures de l'expérience reçoivent, par voie orale, un repas riche en glucide.

On dose le taux d'insuline et de glucagon dans le sang (figure 1).

Des îlots de Langerhans ont été isolés à partir du pancréas d'une souris, puis ils ont été placés dans des milieux de concentrations du glucose différentes.

On dose les variations de la libération d'insuline et de glucagon par ces îlots isolés, en fonction de la concentration en glucose du liquide dans lequel ils sont plongés (figure 2).

Document 11 : Suite.

Dans le pancréas d'un chien, la circulation sanguine a été remplacée par l'injection d'une solution physiologique permettant la survie des cellules du pancréas. Ainsi, on peut agir sur la variation de la concentration du glucose dans le liquide de perfusion (figure 3).

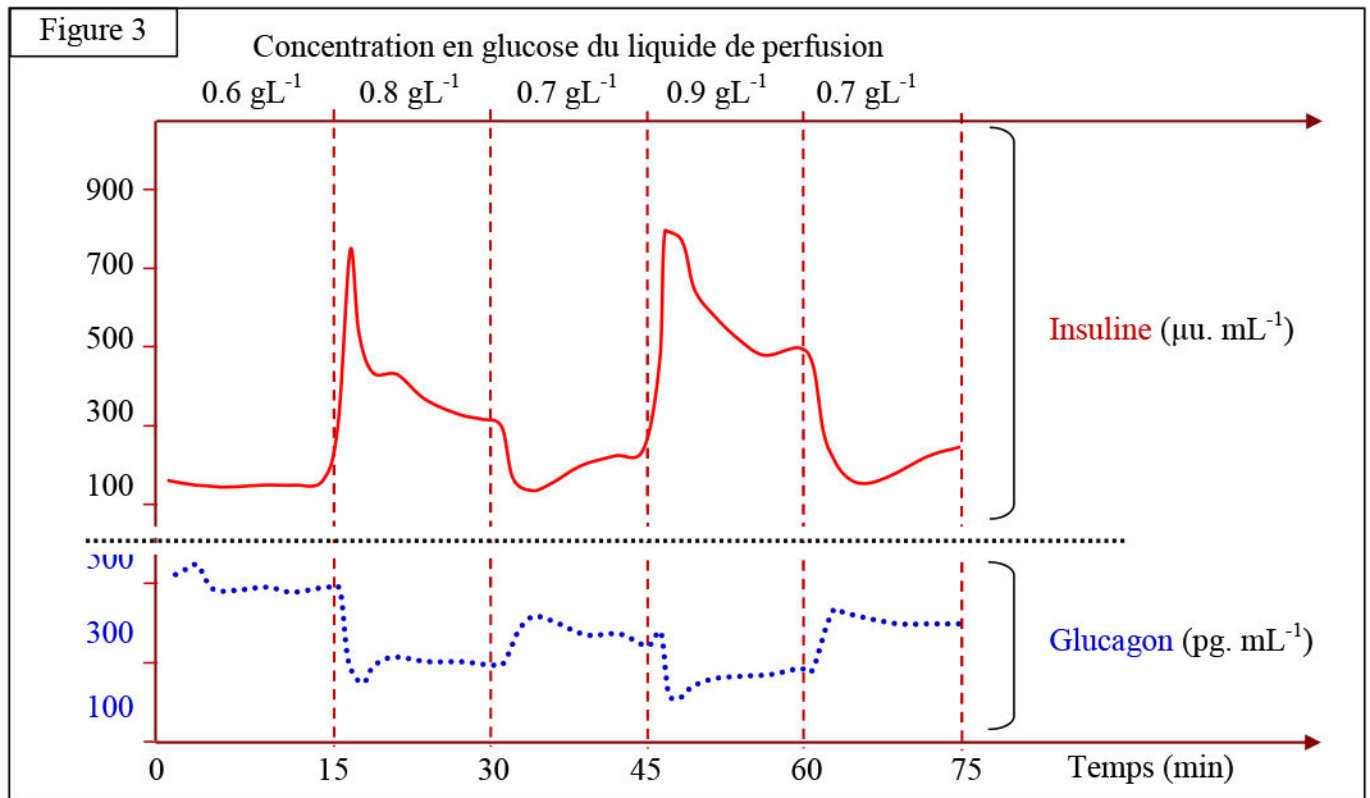
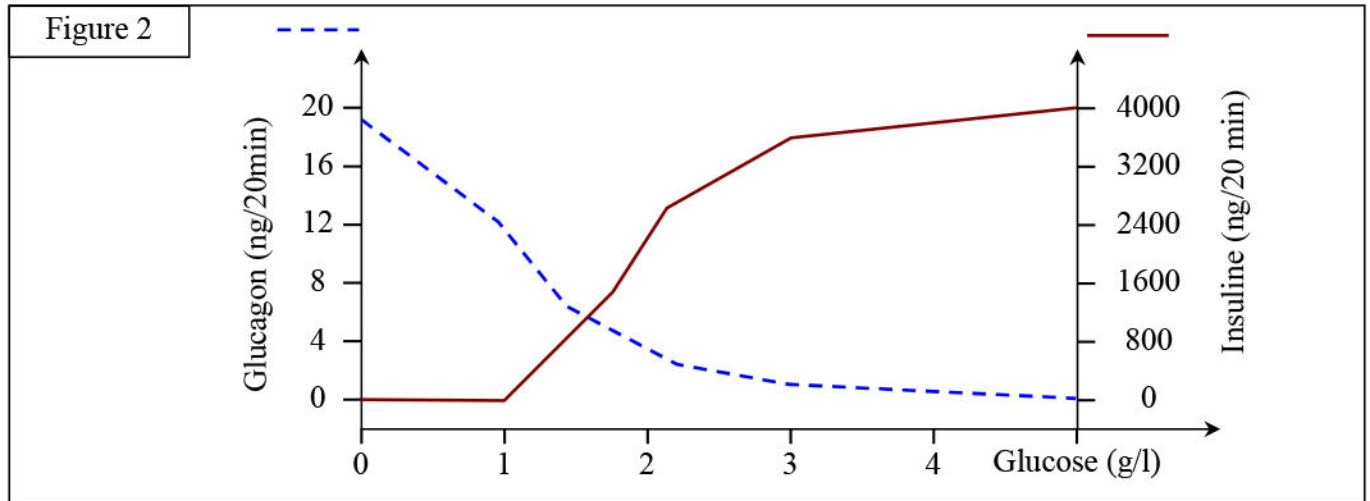
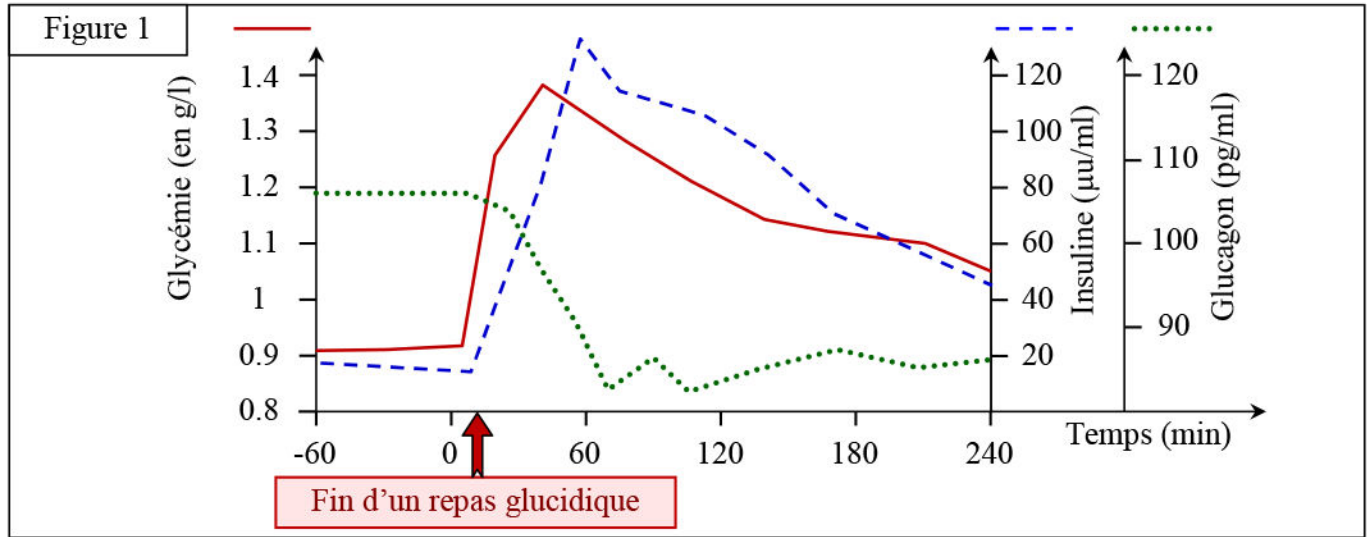


Figure 1 :

Avant l'ingestion de glucose la glycémie est stable ; l'insuline est stable en faible quantité, le glucagon est sécrété en quantité stable d'environ 1.2 g/l.

L'ingestion de glucose provoque l'élévation de la glycémie, une grande sécrétion de l'insuline et une diminution de la sécrétion de glucagon.

Après 60 mn, on commence à regagner les valeurs normales : la sécrétion de l'insuline diminue progressivement pour revenir, et la sécrétion du glucagon augmente la valeur.

Les cellules α et β des îlots de Langerhans sont donc sensibles aux variations de la glycémie et constituent donc le système de commande de la régulation en adaptant leur sécrétion hormonale à la situation.

Figure 2 :

Quand la concentration en glucose dans le liquide perfusé augmente de 0 jusqu'à 1 g/l, le taux de glucagon diminue rapidement de 20 ng/20min jusqu'à 12 ng/20min, par contre le taux d'insuline reste constant de 0 ng/20min.

Quand la concentration en glucose continue à augmenter jusqu'à 3 g/l, le taux de glucagon continue à diminuer rapidement jusqu'à 1 ng/20min, par contre le taux de l'insuline augmente rapidement de 0 jusqu'à 3600 ng/20min.

Quand la concentration en glucose continue à augmenter jusqu'à 5 g/l, le taux de glucagon continue à diminuer mais faiblement jusqu'à 0 ng/20min par contre le taux de l'insuline continue à augmenter mais faiblement jusqu'à 4000 ng/20min.

Cela montre que la sécrétion de l'insuline varie dans le même sens que la concentration de glucose à partir de 1 g/l, alors que la sécrétion du glucagon varie dans le sens inverse. Les cellules α et β des îlots de Langerhans détectent donc la variation du glucose et leur sensibilité varie en fonction de sa concentration.

Figure 3 :

Au cours de la perfusion, pour un taux élevé de glucose on constate une augmentation du taux d'insuline et une diminution synchronique du taux de glucagon. Mais c'est l'inverse qui a lieu pour les taux faibles de glucose.

La sécrétion d'insuline et du glucagon varie donc selon la concentration du glucose : En cas d'hypoglycémie, les cellules β diminuent leur libération d'insuline et les cellules α augmentent leur sécrétion de glucagon. Mais en cas d'hyperglycémie, c'est l'inverse qui a lieu.

Conclusion :

Les cellules α et β des îlots de Langerhans jouent le rôle de capteurs de la variation de la glycémie. Lorsque celle-ci varie, en vue de la réguler les capteurs envoient des messages chimiques sous forme d'hormones pour agir sur les cellules cibles.

Ce système de contrôle constitue une boucle de rétroaction qui assure une autorégulation permanente du paramètre réglé.

② Mode d'action de l'insuline et le glucagon sur les cellules cibles: (Voir document 12)

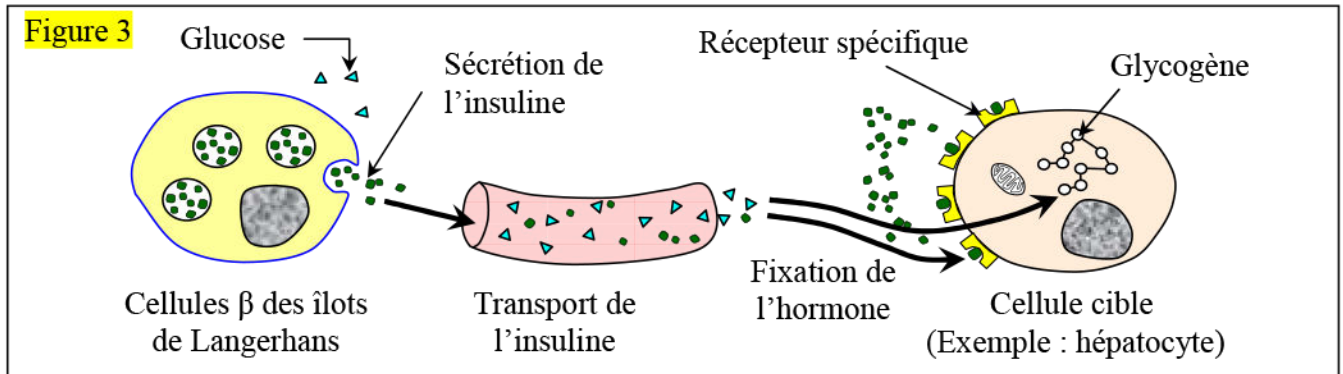
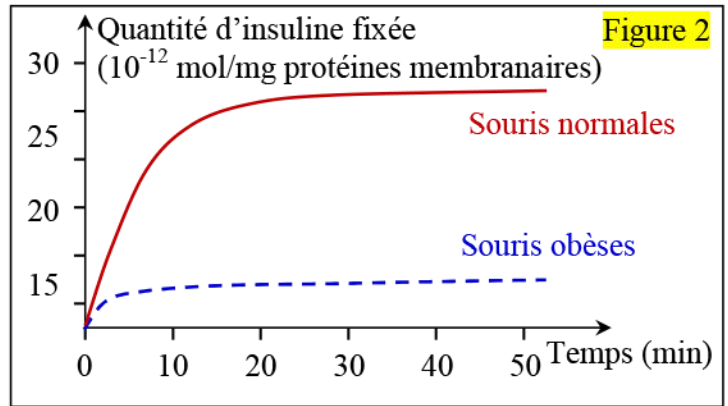
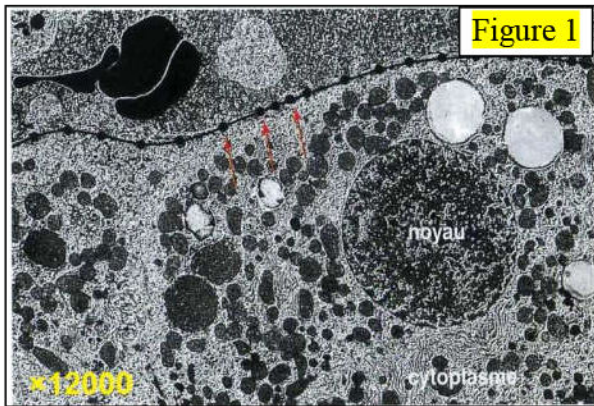
Document 12 : Mode d'action de l'insuline et du glucagon sur les cellules cibles.

- ★ L'autoradiographie est une technique qui permet de localiser les molécules radioactives dans les membranes plasmiques.

La photographie de la figure 1 est une autoradiographie de cellule hépatique mise en présence du glucagon marqué par un isotope radioactif. Un résultat comparable serait obtenu avec de l'insuline radioactive. Les points noirs repérés par des flèches localisent l'hormone marquée, c'est-à-dire indiquent l'endroit où elle est fixée par la cellule.

Document 12 : Suite.

- ★ On connaît des souris mutantes qui présentent les caractéristiques suivantes : obésité ; hyperglycémie chronique et relative insensibilité à l'injection d'insuline (qui n'abaisse que peu leur glycémie). On prélève des cellules hépatiques de souris normales et de souris « obèse », puis on purifie les membranes plasmiques de ces cellules. On met alors ces membranes en présence d'insuline et on mesure, dans chaque cas la quantité d'insuline susceptible de se lier à une même quantité de membrane. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 2.



A partir de l'exploitation des données de ce document :

- 1) Quelle hypothèse pouvez-vous faire pour expliquer la relative insensibilité des souris obèses à l'insuline ?
- 2) Quelle semble être alors la première étape de l'action de l'insuline sur une cellule cible ? que peut-on en déduire ?
- 3) Étant donné l'effet de l'insuline sur la glycémie ; quelle réaction des cellules hépatiques prévoyez-vous lorsqu'elles fixent cette hormone ? Et lorsqu'elles fixent du glucagon ?

- 1) L'autoradiographie de la figure 1 montre que le glucagon ou l'insuline, ne diffusent pas à travers la membrane plasmique de la cellule cible. Ces hormones reconnaissent des récepteurs membranaires spécifiques et viennent se fixer au-dessus.

La figure 2 montre que la quantité d'insuline fixée par les membranes des souris normales est plus importante que celle des souris obèses.

On peut donc supposer qu'il existe des anomalies des récepteurs d'hormones chez les souris obèses insensibles à l'insuline.

- 2) La première étape de l'action de l'insuline sur une cellule cible c'est la fixation de cette hormone sur les récepteurs membranaires spécifiques.

On déduit donc qu'une hormone ne peut agir sur une cellule qu'à la condition d'être détectée par cette dernière ; pour cela une cellule cible d'une hormone doit posséder des récepteurs capables de se lier spécifiquement à cette hormone.

3) L'insuline et le glucagon agissent sur les cellules-cibles en se fixant sur les récepteurs membranaires qui leur sont spécifiques, ce qui permet l'activation de ces cellules :

- Sous l'action de l'insuline :
 - ✓ Les cellules hépatiques stockent le glucose sous forme de glycogène et de triglycérides.
 - ✓ Les cellules musculaires stockent le glucose sous forme de glycogène.
 - ✓ Les adipocytes stockent le glucose sous forme de triglycérides.
- Sous l'action du glucagon, les cellules hépatiques libèrent du glucose dans le sang.

Conclusion :

La spécificité des hormones est due à des récepteurs spécifiques de l'hormone qui n'existent que sur les cellules cibles, la reconnaissance entre l'hormone et son récepteur est due à une complémentarité entre la structure spatiale de l'hormone et de son récepteur.

L'union entre l'hormone et le récepteur membranaire permet l'activation d'une protéine membranaire la protéine G (premier message).

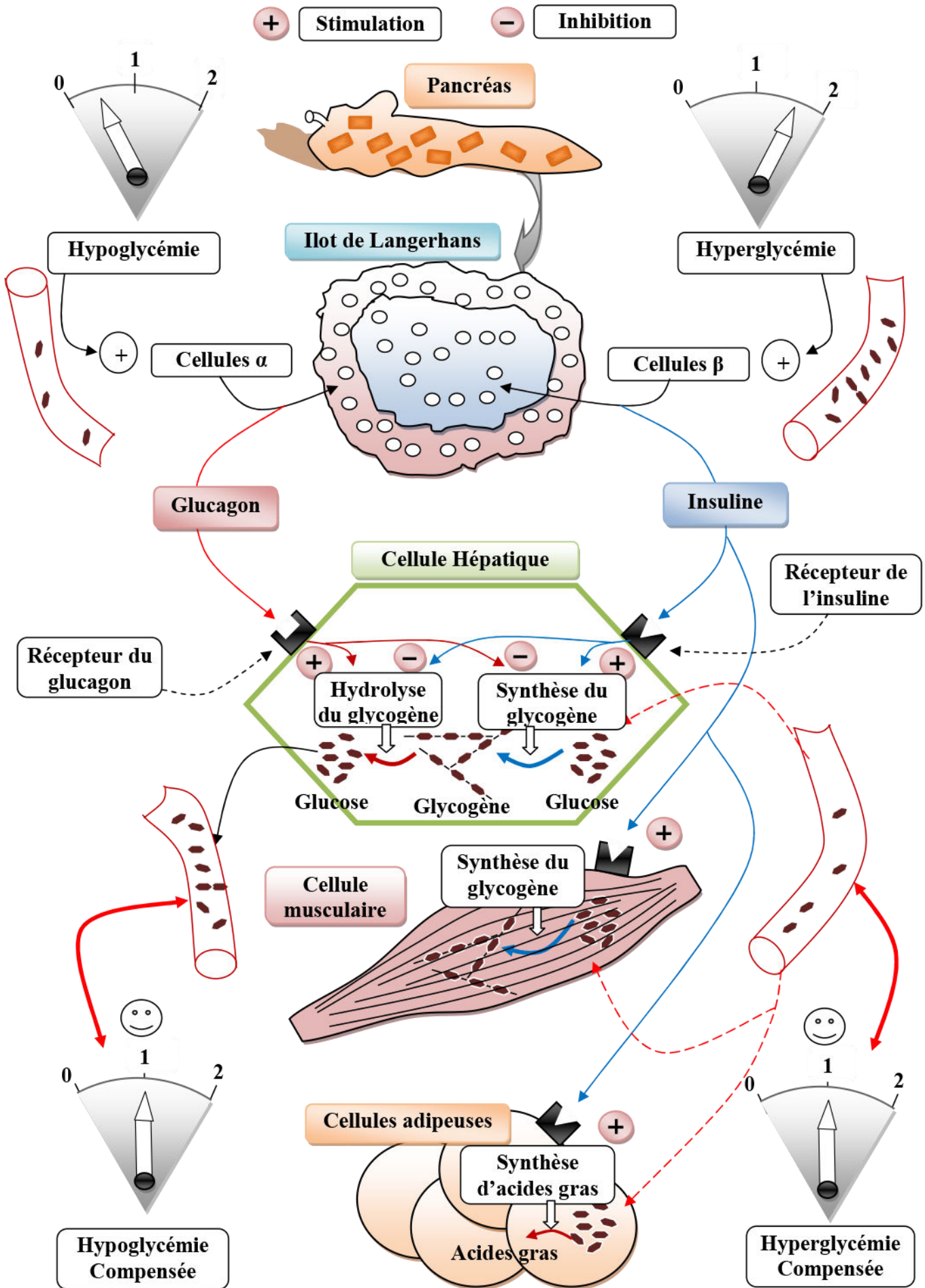
La protéine G active une enzyme l'adénylate cyclase qui transforme l'ATP en AMP cyclique considéré comme le deuxième messenger dans la cellule cible, celui-ci induit les réactions de la cellule cible à l'hormone par production d'enzymes et changement de perméabilité.

IV – Schéma bilan de la régulation de la glycémie.

Dans l'organisme, outre la glycémie, de nombreux paramètres physiologiques sont contrôlé en permanence : leurs valeurs respectives fluctuent faiblement autour d'une valeur de référence ou valeur de consigne. Une telle stabilité est obtenue grâce à l'intervention de mécanismes autorégulés.

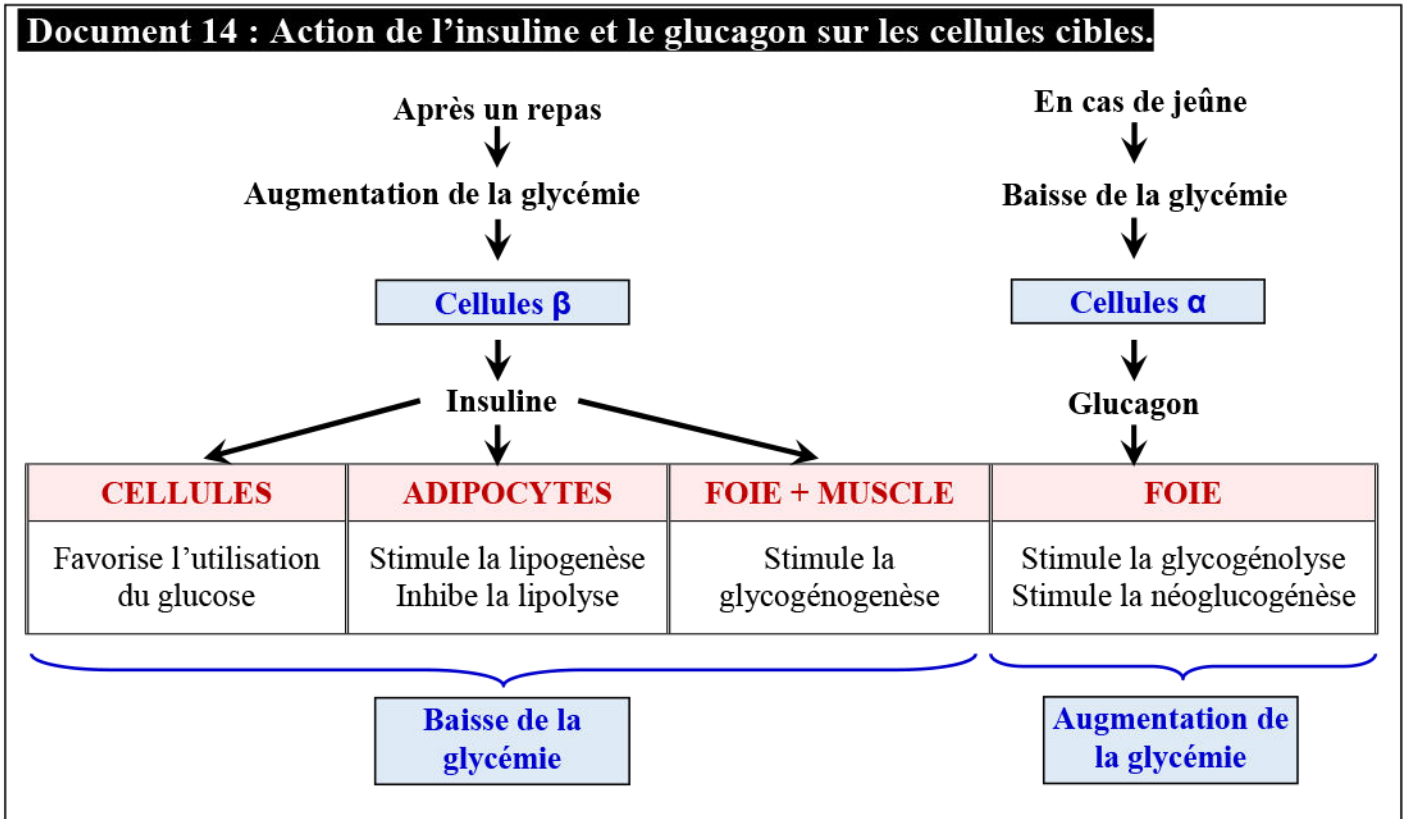
Le document 13 représente un schéma bilan montrant les mécanismes de la régulation de la glycémie.

Document 13 : Schéma bilan de la régulation de la glycémie.



La communication entre les cellules α et β des îlots de Langerhans et les cellules cibles via les hormones pancréatiques, permettent la constante de la glycémie autour de 1g/l.

Les hormones pancréatiques (insuline et glucagon) sont sécrétées selon la variation de la glycémie (Voir document 14):



- ✓ Une hyperglycémie déclenche une augmentation de la sécrétion de l'insuline, associée à une baisse du taux de glucagon. Il s'ensuit une augmentation du prélèvement de glucose sanguin par de nombreuses cellules, ce qui assure le retour à la valeur référentielle de la glycémie.
- ✓ Une hypoglycémie, déclenche la sécrétion du glucagon qui mobilise les réserves de glycogène hépatique en activant essentiellement la glycogénolyse dans les hépatocytes.

La valeur de 1 g.L^{-1} n'est donc maintenue que grâce à l'intervention active de mécanismes physiologiques permettant le stockage et le déstockage du glucose. Cela révèle l'importance de la communication hormonale dans le corps.

Chapitre 2:

Communication nerveuse

INTRODUCTION:

La communication nerveuse est une communication entre les différents organes du corps et les centres nerveux, pour permettre la sensibilité consciente, la motricité volontaire et les différents reflexes. Cette communication est assurée par le système nerveux, qui a pour fonction de produire, conduire et traiter des signaux nerveux provenant du milieu extérieur et intérieur.

- Quelles sont les caractéristiques du nerf ?
- Quelle est la nature du message nerveux et comment se transmet-il à l'intérieur de notre corps ?
- Comment se forment les influx nerveux et comment sont transférés à travers les nerfs ?

I – Les propriétés du nerf.

① Mise en évidence de l'excitabilité et de la conductibilité:

a) **Expérience :** (Voir document 1)

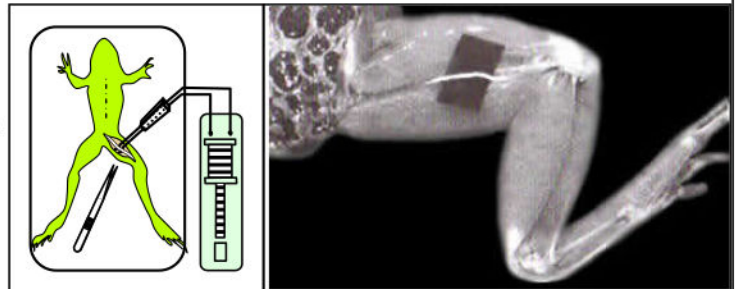
Document 1 : Mise en évidence des propriétés du nerf.

A fin de déterminer les caractéristiques du nerf, on isole par dissection le nerf sciatique de la patte postérieure d'une grenouille décérébrée et démyélinisée (Empêcher la sensibilité consciente, la motricité volontaire et involontaire). Puis on porte sur le nerf des excitations électriques efficaces:

★ Expérience 1 : lorsque le nerf de la grenouille est excité, celle-ci plie la patte contenant le nerf.

★ Expérience 2 : lorsqu'on coupe le nerf sciatique et on porte une excitation de ce nerf, du côté du corps de la grenouille, on n'observe aucune réaction de la grenouille.

Analyser ces résultats puis déterminer les propriétés mises en évidence par ces expériences.



b) **Analyse et déduction:**

- ✓ On constate dans la première expérience que lorsque le nerf sciatique de la grenouille est excité, la patte se plie.
- ✓ Dans la deuxième expérience, on constate que lorsque le nerf sciatique est coupé, la patte ne répond plus à l'excitation.

L'application d'une stimulation efficace (Mécanique, électrique, chimique ou thermique) sur un nerf provoque un influx nerveux qui se propage le long de ce dernier. On en déduit que le nerf est excitable et conductible.

② **Etude des propriétés du nerf:**

a) **Le dispositif expérimental:** (Voir document 2)

Document 2 : Le dispositif expérimental utilisé pour étudier les propriétés du nerf.

Pour étudier les propriétés du nerf on utilise :

- ★ Un dispositif utilisant l'oscilloscope cathodique (Voir figure 1) : L'oscilloscope est un appareil électronique qui permet de visualiser une tension ainsi que son évolution au cours du temps. Donc il permet d'enregistrer les phénomènes électriques du nerf.
- ★ Un dispositif d'expérimentation assisté par ordinateur (ExAO) (Voir figure 2) : permet la réalisation des expériences et facilite l'acquisition des données et le traitement des résultats.
 - ① = Nerf ; ② = Cuve à nerf ; ③ = Electrode excitatrices ; ④ = Electrodes réceptrices ;
 - ⑤ = interface et adaptateur ; ⑥ = Unité centrale d'un ordinateur.

Document 2 : Suite.

Figure 1

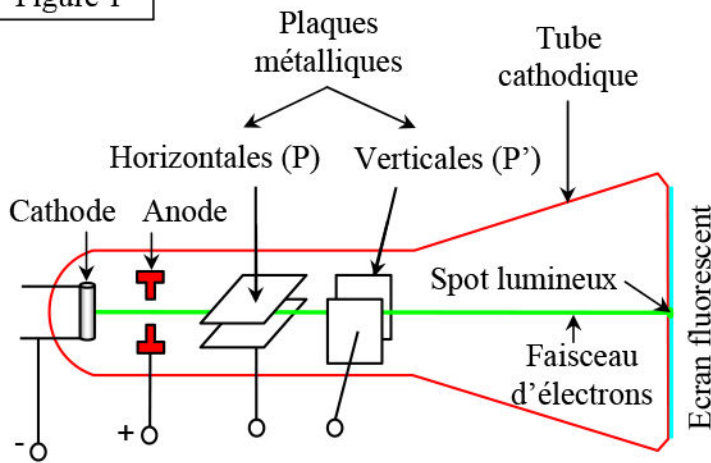
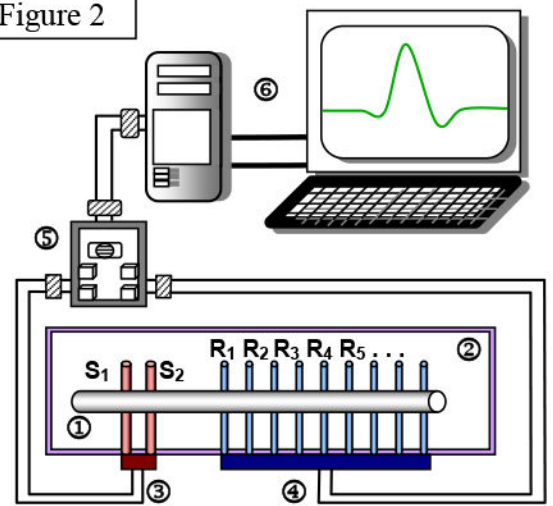


Figure 2



★ L'oscilloscope est formé essentiellement :

- ✓ D'un tube cathodique qui donne naissance à un faisceau d'électrons par chauffage d'un fil appelé cathode. Ces électrons tombent sur un écran fluorescent en marquant un spot lumineux.
- ✓ Deux plaques verticales avec une ddp entre elle, qui déplace le spot lumineux horizontalement de gauche à la droite.
- ✓ Deux plaques horizontales, chacune est reliée à une électrode réceptrice. Ces plaques permettent le balayage vertical du spot lumineux.

Les deux plaques fonctionnent en même temps, et donnent sur l'écran de l'oscilloscope, une courbe traduisant les variations des phénomènes électriques du nerf.

★ Le dispositif (ExAO) fonctionne avec un logiciel et assure l'excitation du nerf et l'enregistrement de son activité électrique. Les résultats apparaissent sur l'écran du dispositif, ou l'écran d'un ordinateur.

b) Etude de l'excitabilité du nerf:

b₁) Détermination des conditions d'excitabilité efficace : (Voir document 3)

Document 3 : Détermination des conditions d'excitabilité efficace.

Pour déterminer les conditions d'excitabilité efficace du nerf, on prépare le dispositif expérimental, puis sur le nerf sciatique de la grenouille, on réalise les expériences suivantes :

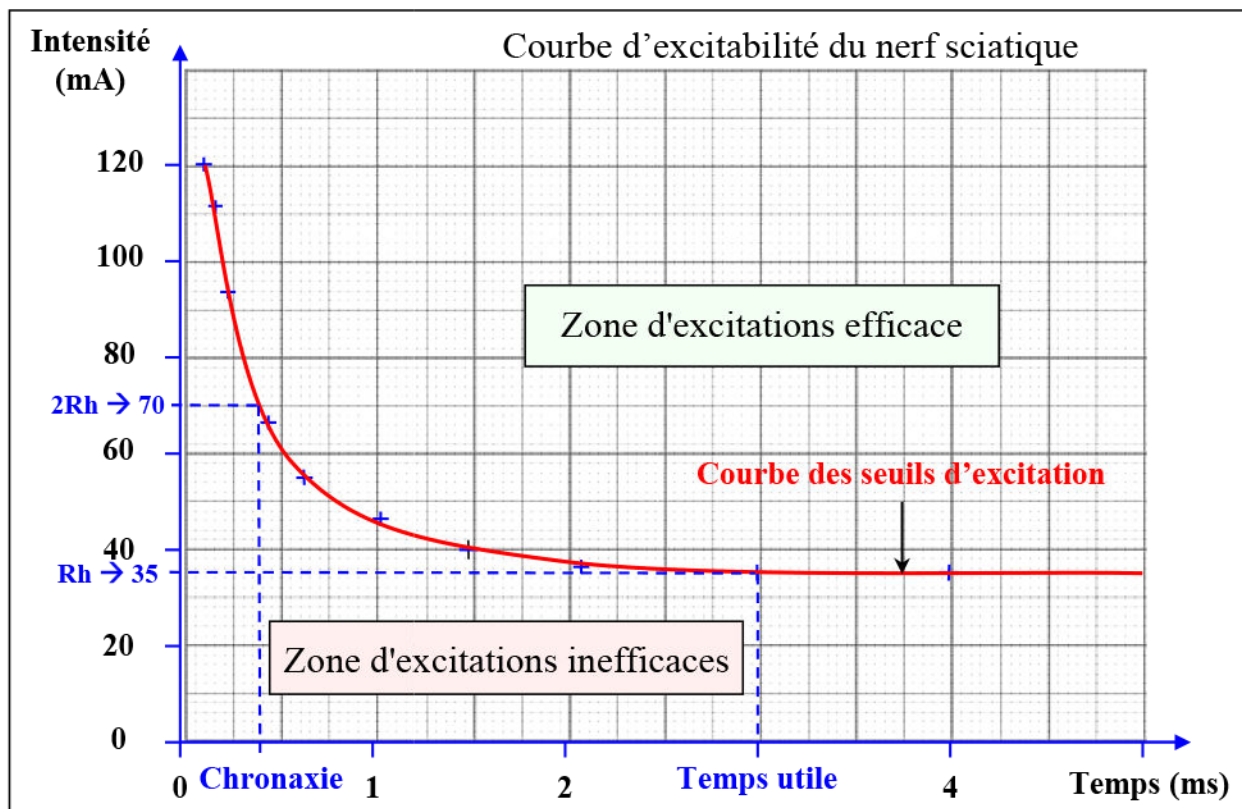
- ★ On fixe une intensité d'excitation donnée et on varie plusieurs fois sa durée, jusqu'à obtenir une réponse. Puis on répète les mêmes mesures pour d'autres valeurs d'intensité d'excitation.
- ★ On fixe la durée de l'excitation et on varie plusieurs fois son intensité, jusqu'à obtenir une réponse. On répète les mêmes mesures pour d'autres valeurs de la durée d'excitation.

Les résultats obtenus sont présentés par le tableau suivant. Celui-ci montre les intensités d'excitation et les durées correspondantes (pour des excitations efficaces).

Intensités d'excitation (mV)	120	112	94	65.5	55	47	40	37	35	35
Durée (ms)	0.10	0.15	0.2	0.45	0.65	1.05	1.5	2.15	3	4

- 1) Sur un repère orthonormé, établir la courbe d'excitabilité du nerf : $I = f(t)$ (Variation de l'intensité d'excitation I en fonction de la durée t : $1 \text{ cm} \rightarrow 20 \text{ mV}$ et $1 \text{ cm} \rightarrow 0.5 \text{ ms}$)
- 2) Sachant qu'une excitation efficace a les caractéristiques suivantes (40 mV, 1.5 ms), quelle relation lie ces deux valeurs ?
- 3) Déterminer graphiquement les caractéristiques de l'excitabilité de ce nerf ?

1) Réalisation de la courbe d'excitabilité du nerf :



La courbe obtenue représente les seuils d'excitation du nerf, et délimite deux zones : la zone des excitations efficaces et la zone des excitations inefficaces.

2) Pour qu'une excitation d'intensité de 40 mV soit efficace, il faut que sa durée soit supérieure ou égale à 1.5ms, ce temps représente le seuil relatif de la durée.

Pour qu'une excitation de durée de 1.5 ms soit efficace, il faut que son intensité soit supérieure ou égale à 40mV, cette valeur représente le seuil relatif de l'intensité.

3) Détermination des caractéristiques d'excitabilité du nerf :

- ✓ La plus faible intensité qui peut engendrer une réponse est 35 mV. Cette valeur est appelée rhéobase (Rh) et elle est considérée comme un seuil absolu d'excitation.
- ✓ Le temps nécessaire pour obtenir la réponse à une excitation d'intensité égale à la rhéobase (Rh) est appelé temps utile.
- ✓ Le temps nécessaire pour obtenir la réponse du nerf à une excitation d'intensité double de la rhéobase (2Rh) est appelé la chronaxie.

b₂) Réponse du nerf à une excitation isolée et efficace : (Voir document 4)

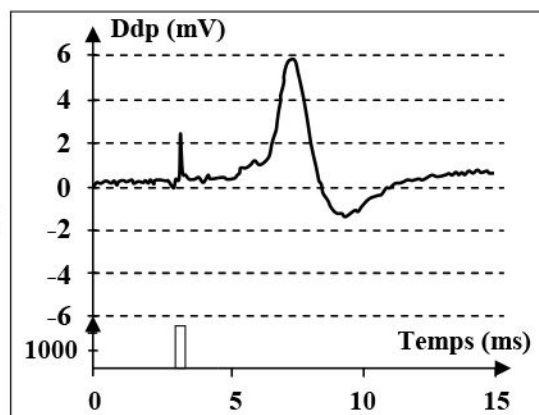
Document 4 : Réponse du nerf à une excitation isolée et efficace.

Lorsqu'un nerf est en activité, il est parcouru par des messages nerveux se traduisant par une activité électrique globale qu'il est possible d'enregistrer après l'avoir amplifiée.

Une fois le nerf sciatique d'une grenouille disséqué, isolé et placé sur les électrodes d'une cuve à nerf, les réponses à divers types de stimulations électriques peuvent être visualisées sur un écran d'oscilloscope ou avec un système d'ExAO.

Le document ci-contre représente l'enregistrement électro-nerveux général résultant d'une excitation isolée et efficace.

Décrire cet enregistrement qui correspond à la réponse du nerf à une excitation isolée efficace.

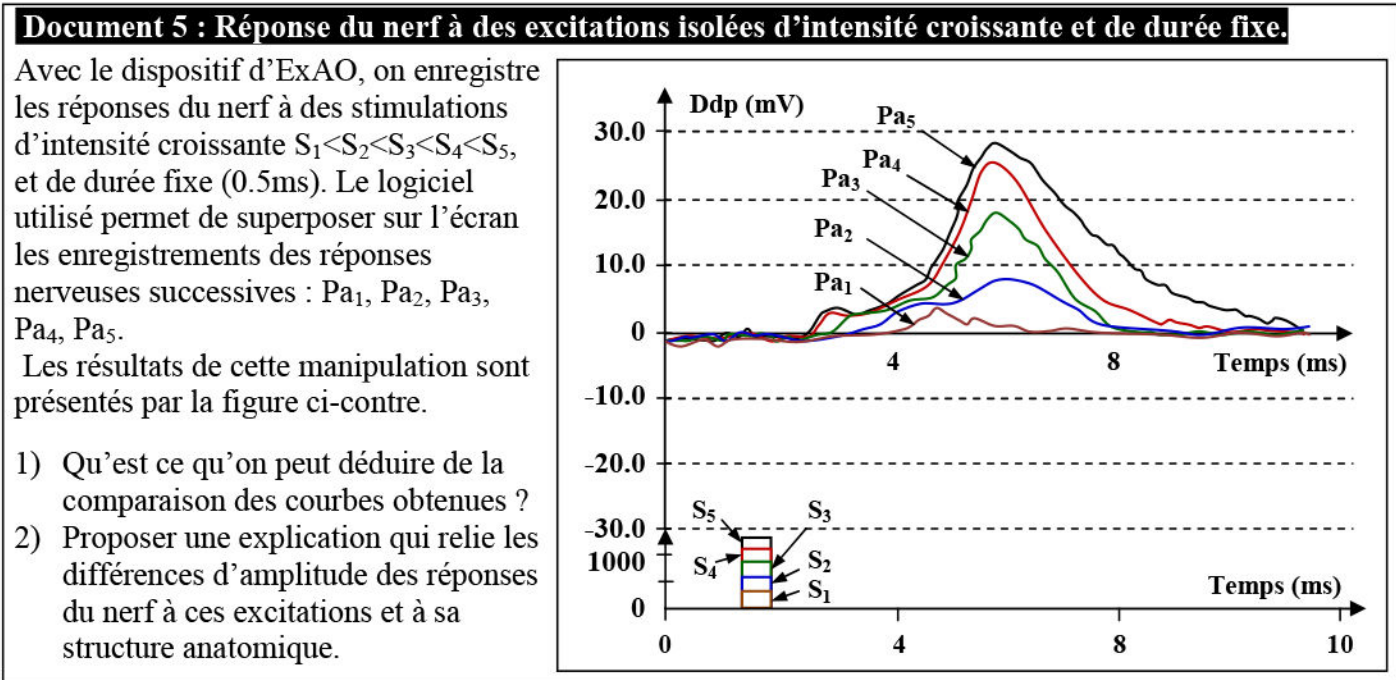


L'application d'une excitation efficace (électrique, chimique, mécanique ou thermique) sur un nerf isolé provoque la naissance et la propagation d'un événement court durant lequel le potentiel électrique du nerf change rapidement.

L'enregistrement obtenu traduit donc les modifications de l'état électrique du nerf suite à l'excitation. C'est un potentiel d'action diphasique qui présente :

- ✓ Le potentiel de repos : c'est le potentiel de départ (avant l'excitation).
- ✓ L'artefact de stimulation : phénomène électrique enregistré par les électrodes réceptrices, indiquant le moment de stimulation ;
- ✓ La dépolarisation : le potentiel augmente très rapidement (phase ascendante) pour atteindre un pic.
- ✓ La repolarisation : Après le pic, le potentiel diminue pour se rapprocher du potentiel de repos.
- ✓ L'hyperpolarisation : Le potentiel devient inférieur au potentiel de repos.

b₃) Réponse du nerf à des excitations isolées d'intensité croissante et de durée fixe :
(Voir document 5)



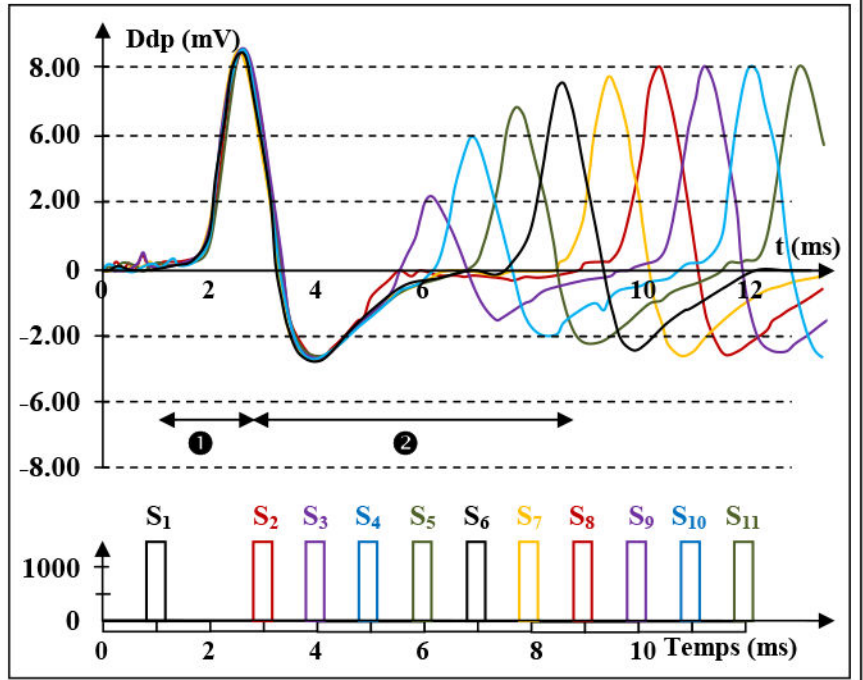
- 1) Qu'est ce qu'on peut déduire de la comparaison des courbes obtenues ?
 - 2) Proposer une explication qui relie les différences d'amplitude des réponses du nerf à ces excitations et à sa structure anatomique.
- 1) La stimulation du nerf avec des intensités croissantes $S_1 < S_2 < S_3 < S_4 < S_5$, donne des potentiels globaux Pa₁, Pa₂, Pa₃, Pa₄, Pa₅, dont l'amplitude augmente avec l'augmentation de l'intensité.
- On en déduit que l'amplitude de la réponse du nerf à des excitations, dépend de sa structure en groupe de fibres nerveuses et à l'intensité de l'excitation.
- 2) Lors de la faible stimulation S₁, le seuil de dépolarisation de quelques fibres est atteint. La somme des potentiels d'actions émis donne le potentiel global Pa₁.
- Pour des stimulations plus importantes S₂, S₃, S₄ et S₅, l'amplitude du potentiel global augmente avec l'augmentation de l'intensité, jusqu'au maximum. En effet de plus en plus de fibres sont recrutées (ou stimulées), la somme de leurs potentiels d'action est donc de plus en plus importante.
- Cette caractéristique du nerf est à mettre en relation avec sa composition: un ensemble de fibres nerveuses ne répondant donc pas toutes en même temps. Quand on augmente l'intensité de la stimulation, l'augmentation de l'amplitude du potentiel global obtenue est due à un recrutement progressif des fibres nerveuses du nerf, ayant des seuils de dépolarisation différents. On dit que le nerf obéit à la loi de recrutement.

b₄) Réponse du nerf à deux excitations d'intensité et de durée constantes mais rapprochées de plus en plus : (Voir document 6)

Document 6 : Réponse du nerf à deux excitations d'intensité et de durée constantes mais rapprochées de plus en plus :

On a enregistré sur un nerf isolé, les réponses à deux stimulations successives à 11ms d'intervalle (Le premier enregistrement vert en partant de la droite). Puis on a envoyé deux nouvelles stimulations en diminuant l'intervalle de temps d'une milliseconde et on a superposé les enregistrements (enregistrement bleu clair). Et ainsi de suite jusqu'à ce que l'intervalle de temps entre les deux stimulations ne soit plus que de deux millisecondes.

Montrer l'effet du rapprochement, de plus en plus, des deux excitations successives sur la réponse du nerf. Proposer une explication à cet effet.



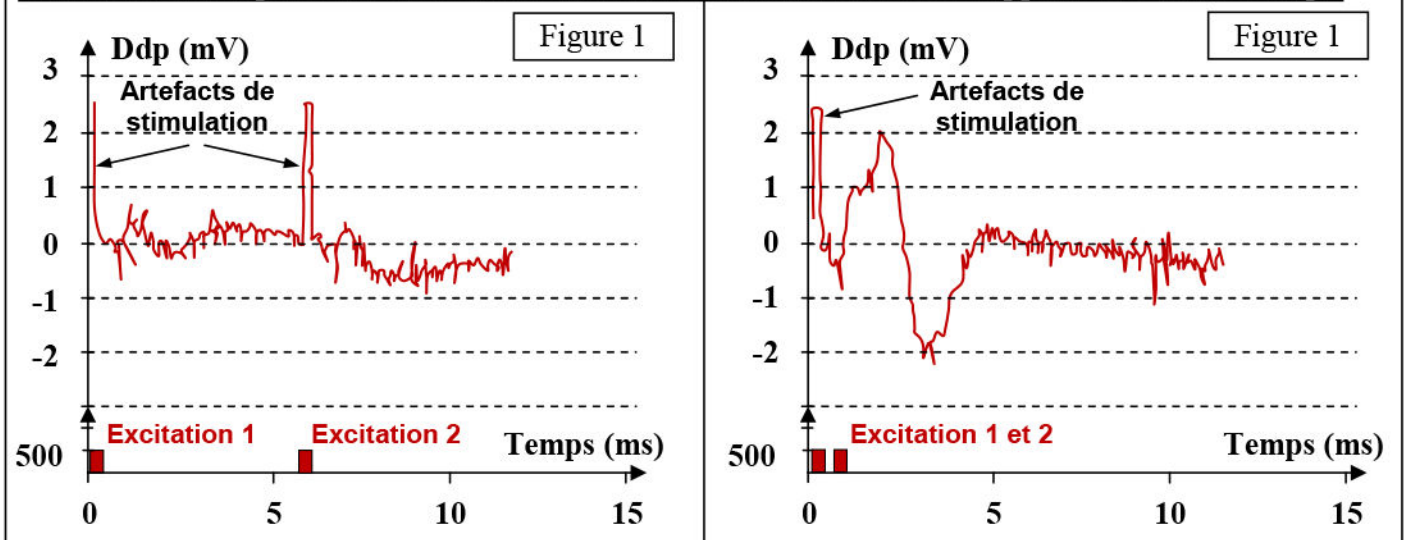
- Quand le temps qui sépare deux excitations successives est inférieur ou égale à 2 ms, la deuxième excitation ne produit aucun potentiel d'action.
- Quand le temps qui sépare deux excitations successives est supérieur à 2 ms, la deuxième excitation produit un potentiel d'action d'amplitude croissante (S₁, S₂, S₃, S₄, S₅, S₆, S₇).
- A partir de S₈, le potentiel d'action enregistré pour la première excitation a la même amplitude que le potentiel provoqué par la première excitation.
- ✓ Après une excitation, la fibre nerveuse devient inexcitable pendant 2 ms, ce temps est appelé période réfractaire absolue (❶).
- ✓ Après la période réfractaire absolue, la fibre nerveuse répond avec un potentiel d'action d'amplitude anormale pendant 6 ms, ce temps est appelé période réfractaire relative (❷).

La période réfractaire est donc une période durant laquelle l'état de polarisation de la cellule la rend incapable d'émettre un nouveau signal électrique.

b₄) Réponse du nerf à deux excitations inefficace mais très rapprochées dans le temps:

(Voir document 7)

Document 7 : Réponse du nerf à deux excitations inefficace mais très rapprochées dans le temps.



La figure 1 : enregistrement électro-nerveux résultant de deux excitations inefficace et éloignées dans le temps.
 La figure 2 : enregistrement électro-nerveux résultant de deux excitations inefficace, mais très rapprochées dans le temps.

Qu'est ce qu'on peut déduire de la comparaison de ces deux enregistrements ?

Les deux excitations inefficaces éloignées, n'engendrent aucun potentiel d'action.

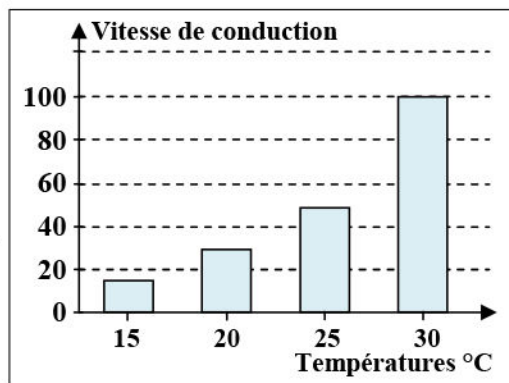
Les deux excitations inefficaces mais rapprochées, aboutissent à l'apparition d'une réponse du nerf. On parle du phénomène de sommation temporelle qui résulte de la sommation de l'effet des deux excitations infraliminaires.

c) Etude de la conductibilité du nerf:

c1) Les conditions de la conductibilité : (Voir document 8)

Document 8 : Les conditions de la conductibilité.

- ★ La figure ci-contre montre l'effet de la température sur la vitesse de conduction de l'influx nerveux.
- ★ La section du nerf sciatique chez l'homme, suite à un accident, entraîne la paralysie du membre inférieur innervé par ce nerf.
- ★ Dans certains cas, les vertèbres compriment le nerf sciatique à la sortie de la colonne vertébrale. Ce qui provoque la raideur des muscles des membres inférieurs et la difficulté de la marche à cause de la perturbation de la conduction des influx nerveux provenant des centres nerveux.
- ★ Le recours à l'anesthésie pendant les opérations chirurgicales permet d'éviter la douleur en bloquant la conduction de l'influx nerveux vers les centres nerveux.



Certains facteurs agissent sur l'excitabilité et la conductibilité du nerf. Ils peuvent être soit physiques comme la température et la pression, soit chimique comme les substances anesthésiantes, par exemple l'éther.

c2) Calcule de la vitesse de conduction : (Voir document 9)

Document 9 : Calcule de la vitesse de conduction.

Pour calculer la vitesse de conduction du nerf aux messages nerveux, on le soumet à deux excitations successives de même intensité et de même durée.

Soit d_1 , la distance entre les électrodes excitatrices S_1S_2 et l'électrode réceptrice R_1 .

Soit d_2 , la distance entre les électrodes excitatrices S_1S_2 et l'électrode réceptrice R_2 .

Lorsqu'on juxtapose, dans le temps, les artéfacts de stimulations, on observe un décalage entre les deux enregistrements électro nerveux obtenus (Pa_1 et Pa_2).

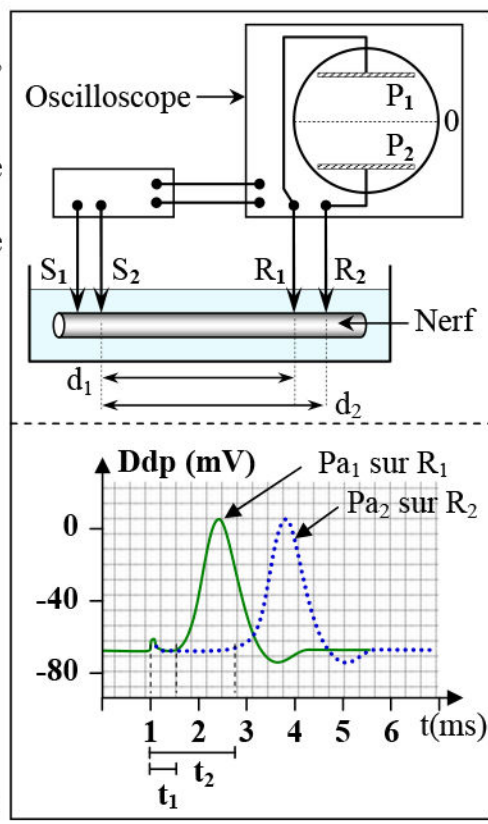
Si on suppose que : Δt ($\Delta t = t_2 - t_1$) est la durée que fait le message nerveux pour parcourir la distance Δd ($\Delta d = d_2 - d_1$) :

La vitesse de conduction du nerf est V : $V = \Delta d \text{ (mm)} / \Delta t \text{ (ms)}$

Deux stimulations successives sont portées sur le nerf sciatique d'une grenouille en S_1S_2 . Les résultats de cette expérience sont portés dans le tableau ci-dessous :

Température du milieu	18 °C	28 °C
Δt (ms)	1	0.5

Sachant que $\Delta d = 12 \text{ mm}$, calculer la vitesse de conduction du nerf sciatique dans les deux cas de température. Que peut-on en déduire ?



Calcul de la vitesse de conduction de l'influx nerveux :

- ✓ Dans une température de 18 °C : $V_1 = \Delta d / \Delta t = 6 / 1 = 6 \text{ mm/ms}$
- ✓ Dans une température de 28 °C : $V_2 = \Delta d / \Delta t = 6 / 0.5 = 12 \text{ mm/ms}$

On constate que la vitesse de conduction de l'influx sur le nerf est très inférieure à la vitesse du courant électrique (300 000 km/s), le message nerveux n'est donc pas un courant électrique.

Certain facteurs, comme la température, agissent sur la conductibilité du nerf.

II – Nature et naissance du message nerveux.

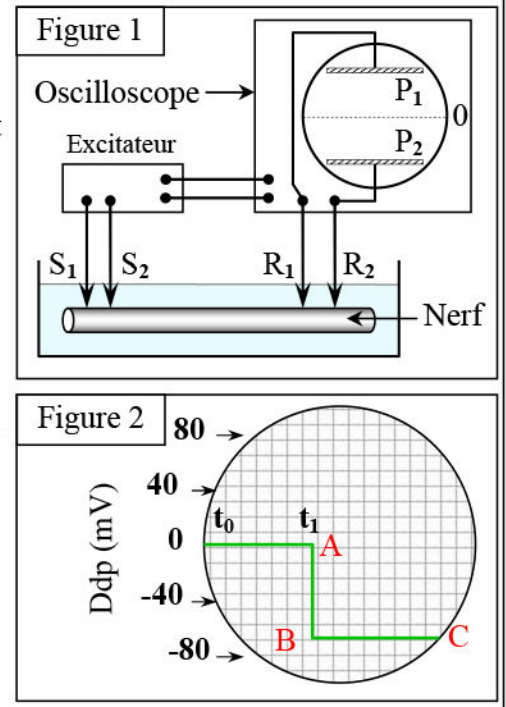
① Mise en évidence du potentiel de repos: (Voir document 10)

Document 10 : Mise en évidence du potentiel de repos.

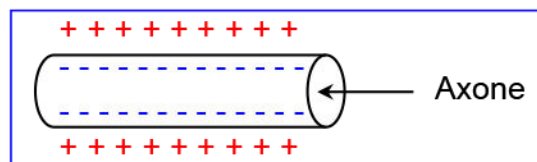
Pour mettre en évidence l'activité électrique du nerf au repos, on utilise des techniques d'expérimentations récentes, un support vivant favorable tel que des fibres nerveuses géantes de calmar, dont le diamètre de l'axone atteint 1mm (Figure 1) et une cuve contenant un liquide nutritif isotonique.

En absence de toute excitation, on réalise les deux expériences suivantes :

- Au début, on place les deux microélectrodes R_1 et R_2 à la surface de l'axone, on observe sur l'écran la ligne 0A représenté sur la figure 2.
- Au temps t_2 , on introduit, progressivement, la microélectrode R_1 à l'intérieur de l'axone (R_2 reste à la surface), on obtient la partie ABC, sur le même enregistrement de la figure 2.
 - 1) Que peut-on déduire de l'analyse de ces résultats ?
 - 2) Déterminer la valeur du potentiel de repos, puis déduire la polarité de la membrane plasmique du nerf au repos.
 - 3) Réaliser le schéma de l'axone montrant la répartition des charges de part et d'autres de sa membrane.



- 1) Le nerf (ou la fibre nerveuse) à l'état de repos, est caractérisé par une différence de potentiel permanente de part et d'autre de sa membrane. C'est le potentiel de repos ou potentiel membranaire.
- 2) En absence de toute stimulation, le potentiel de repos est de -70 Mv. Il caractérise toutes les cellules vivantes et il est due à une polarité électrique entre l'intérieur et l'extérieur de ces cellules : la surface porte des charges positives et l'intérieur des charges négatives.
- 3) Schéma d'un axone :



② Mise en évidence du potentiel d'action: (Voir document 11)

Document 11 : Mise en évidence du potentiel d'action.

En utilisant le même montage que celui utilisé pour mesurer le potentiel de repos, on peut enregistrer l'activité électrique du nerf (ou la fibre nerveuse) à la suite d'une excitation efficace et isolée (Figure 1). La forme des enregistrements obtenus varie selon l'emplacement des électrodes réceptrices (R_1 et R_2) :

- ✓ Expérience 1 : Au temps t_0 l'électrode R_1 est introduite à l'intérieur de l'axone et R_2 une électrode de référence. Au temps t_1 on applique une excitation efficace. On obtient le tracé de la figure 2.
- ✓ Expérience 2 : Au temps t_0 les électrodes R_1 et R_2 sont à la surface de l'axone. Au temps t_1 on applique une excitation efficace. On obtient l'enregistrement de la figure 3.

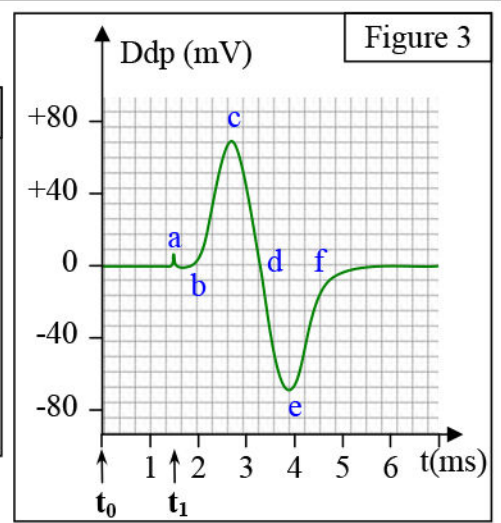
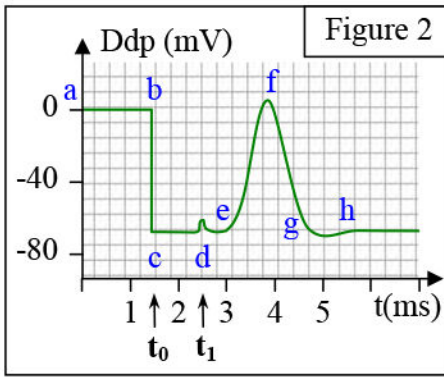
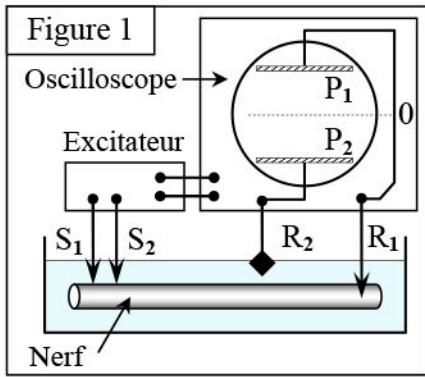
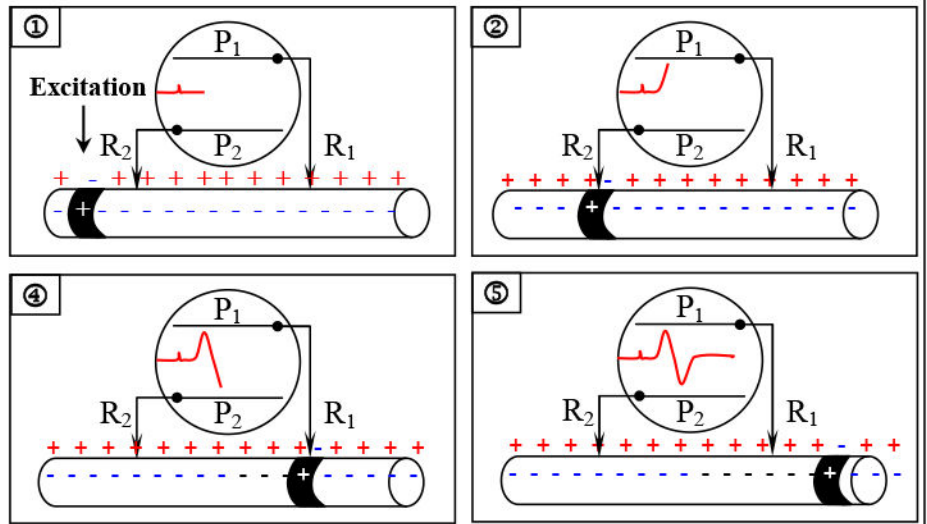


Figure 4
Schémas expliquant les variations de la polarisation membranaire au moment des phases du potentiel d'action.



- 1) Comparer les deux enregistrements de la figure 2 et la figure 3. Dédire une définition du potentiel d'action.
- 2) En se basant sur les schémas de la figure 4, expliquer les différentes phases du potentiel d'action.

1) La stimulation supraliminaire du nerf ou la fibre nerveuse en un point précis, provoque une variation transitoire du potentiel, c'est le potentiel d'action. Selon l'emplacement des électrodes réceptrices (R_1 et R_2), le potentiel d'action peut être soit :

- ✓ Un potentiel d'action monophasique (Figure 2).
- ✓ Un potentiel d'action diphasique (Figure 3).

2) L'excitation efficace du nerf ou la fibre nerveuse en un point précis, provoque une inversion temporaire de la différence de potentiel, de part et d'autre de la membrane cellulaire, appelée potentiel d'action, qui se propage sous forme d'une onde de négativité formant le message nerveux (Figure 4).

Lorsque cette onde arrive à l'électrode réceptrice elle crée une dépolarisation de cette électrode.

Lorsque cette onde quitte l'électrode réceptrice, il y'a rétablissement du potentiel membranaire de repos. Cette étape est appelée phase de repolarisation de l'électrode réceptrice.

✓ Le potentiel d'action monophasique (Figure 2) est constitué des phases suivantes :

- L'artefact de stimulation (d).
- La phase de latence ((d - e).
- La dépolarisation au niveau de R_1 (e - f).
- La repolarisation au niveau de R_1 (f - g).
- La phase d'hyperpolarisation (g - h).

✓ Le potentiel d'action diphasique (Figure 3) est constitué des phases suivantes :

- L'artefact de stimulation (a).
- La phase de latence ((a – b).
- La dépolarisation au niveau de R_2 (b – c).
- La repolarisation au niveau de R_2 (c – d).
- La dépolarisation au niveau de R_1 (d – e).
- La repolarisation au niveau de R_1 (e – f).

③ Les phénomènes ioniques à l'origine du potentiel de repos:

a) **Origine du potentiel de repos:** (Voir document 12)

Document 12 : Origine du potentiel de repos.

Pour connaître l'origine du potentiel de repos, on réalise les expériences suivantes :

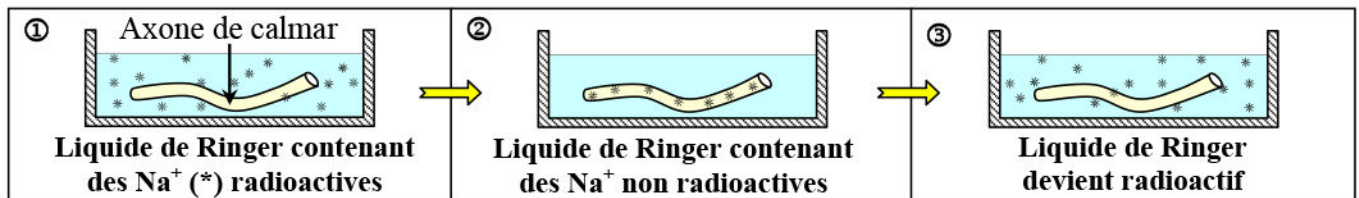
Expérience 1 : On mesure la répartition des ions Na^+ et K^+ de part et d'autre de la membrane cytoplasmique de l'axone. Les résultats de cette étude sont présentés par le tableau suivant :

Ions	Intérieur de l'axone en $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	Extérieur de l'axone en $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$
Na^+	50	440
K^+	410	22

1) Comparer les données du tableau et proposer une explication de l'origine du potentiel de repos.

Expérience 2 : Un axone amyélinique géant de calmar est plongé dans le liquide de Ringer (Maintient en vie un organe animal isolé) contenant le sodium radioactif ($^{24}\text{Na}^+$). Après quelques heures dans ce milieu, on replonge cet axone dans du liquide contenant des ions Na^+ non radioactifs.

Les résultats de cette expérience sont présentés par la figure suivante :



2) Que peut-on déduire de l'analyse de ces résultats ?

1) La répartition des ions de part et d'autre de la membrane de la fibre nerveuse est inégale. Le milieu externe est riche en ion Na^+ et pauvre en ions K^+ , et le milieu intérieur est riche en ions K^+ et pauvre en ions Na^+ .

L'existence d'un gradient de concentration d'une espèce ionique de part et d'autre de la membrane entraîne l'existence d'un gradient électrique.

Le potentiel de repos peut-être expliqué par la répartition dissymétrique des ions de part et d'autre de la membrane, donc de la perméabilité sélective de la membrane aux ions.

2) Analyse des résultats de l'expérience 2 :

- ✓ Phase ① : La solution extérieure contient le Na^+ radioactif. Passage du Na^+ radioactif du milieu extérieur vers le milieu intérieur de l'axone.
- ✓ Phase ② : Le milieu extérieur contient le Na^+ normal. L'axone contient le Na^+ radioactif.
- ✓ Phase ③ : Passage de Na^+ radioactif de l'intérieur de l'axone vers le milieu extérieur.

Les ions tendent à diffuser selon leur gradient de concentration.

Si les échanges des ions se font uniquement par transport passif suivant le gradient de concentration, le potentiel de repos tend à disparaître progressivement. Donc il existe un autre mécanisme qui agit pour conserver la différence de concentration des ions de part et d'autre de la membrane de la fibre nerveuse.

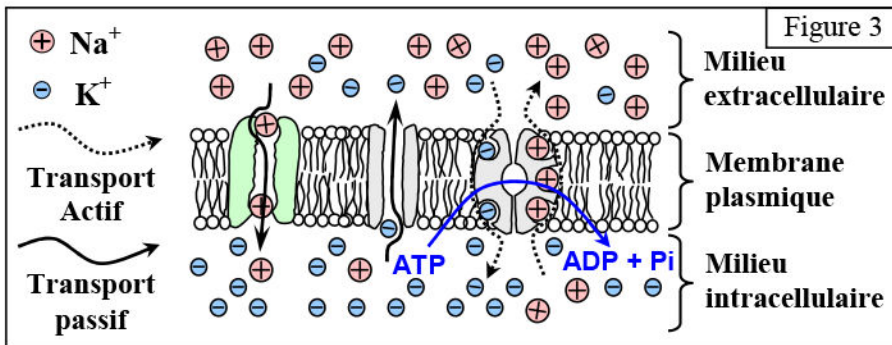
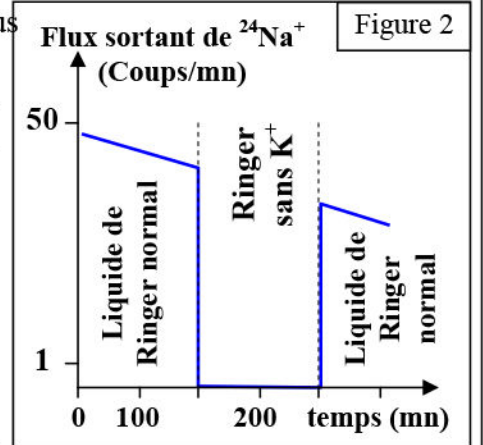
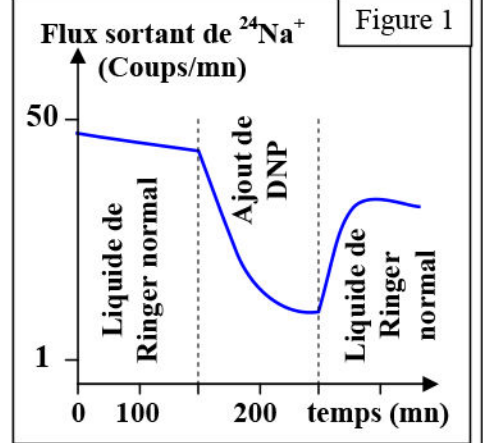
Document 13 : Transport actif et maintien du potentiel de repos.

✓ On mesure la sortie de sodium radioactif d'un axone géant de calmar en fonction du temps, en conditions normales, puis en ajoutant un inhibiteur de la synthèse d'ATP : le dinitrophénol (DNP). La figure 1, présente les résultats de cette expérience.

- 1) Pourquoi utilise-t-on du sodium radioactif ?
- 2) Quel est l'effet du DNP et comment l'expliquez-vous ?

✓ On mesure la sortie de sodium radioactif d'un axone géant de calmar en fonction du temps, en conditions normales, puis en ajoutant les ions K^+ . La figure 2, présente les résultats de cette expérience.

- 3) En exploitant les données de la figure 1, 2 et 3, que pouvez-vous conclure quant au mécanisme régulant la sortie de sodium ?



- 1) On utilise le sodium radioactif, pour pouvoir le détecter et donc savoir ce qu'il devient une fois introduit dans l'axone.
- 2) Au début de l'expérience, on s'aperçoit que le flux sortant de sodium radioactif diminue régulièrement avec le temps. Cela montre que le $^{24}Na^+$ introduit dans l'axone est progressivement évacué de la cellule. Après l'ajout de DNP, on constate une nette diminution de ce flux qui n'est que temporaire puisqu'une fois le DNP retiré du milieu, le flux sortant de sodium retrouve sa pente initiale. C'est donc qu'en conditions normales le sodium sort de la cellule et que cette sortie nécessite de l'ATP.
- 3) On constate que le flux sortant de sodium radioactif s'arrête brusquement, une fois le K^+ retiré du milieu. Cela montre que la sortie des ions Na^+ nécessite la présence des ions K^+ .

La sortie de sodium nécessitant de l'ATP et la présence des ions K^+ , il s'agit donc d'un mécanisme de transport actif et on peut penser qu'il s'agit de la pompe Na^+/K^+ .

c) Conclusion:

Le potentiel de repos résulte d'une inégale répartition des ions Na^+ et K^+ entre le milieu extérieur, du nerf et le milieu intérieur. Cette différence de concentration s'explique par des échanges ioniques qui se font à travers la membrane cellulaire sous l'effet de deux types de transport :

- ✓ Un transport passif, qui se fait selon le gradient décroissant de la concentration.
- ✓ Un transport actif, qui se fait contre le gradient de concentration, par des protéines membranaires spécifiques connues sous le nom de pompe à Na^+/K^+ , qui nécessite de l'énergie.

Au moment de chaque cycle fonctionnel de la membrane plasmique, la pompe à Na^+/K^+ fait sortir 3 ions Na^+ pour entrer 2 ions K^+ , avec l'hydrolyse d'une molécule d'ATP selon la réaction :



④ Les phénomènes ioniques à l'origine du potentiel d'action:

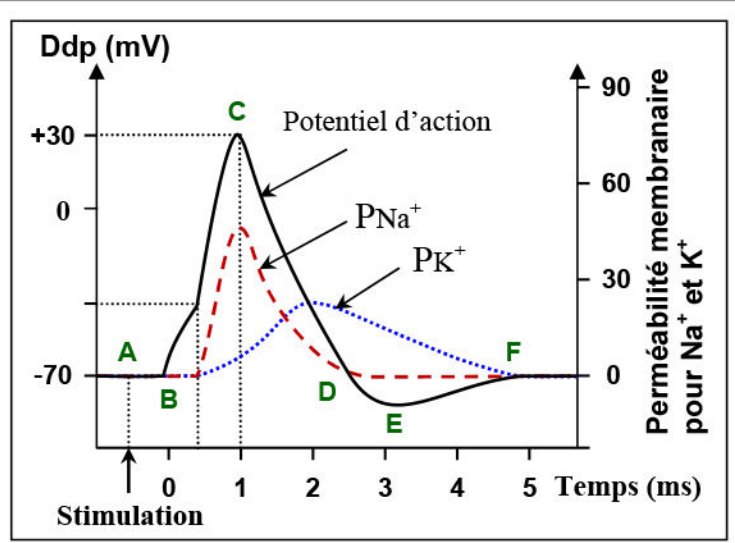
a) Origine du potentiel d'action: (Voir document 14)

Document 14 : Origine du potentiel d'action.

Pour déterminer l'origine du potentiel d'action, on porte une stimulation efficace sur l'axone et on mesure en fonction du temps la variation de la perméabilité membranaire aux ions Na^+ et K^+ .

Les résultats de cette expérience sont présentés sur la figure ci-contre.

En se basant sur les données de ce document, établir la relation entre la variation de la perméabilité membranaire aux ions Na^+ et K^+ et les différentes phases du potentiel d'action.



Analysons l'effet de l'excitation sur la perméabilité membranaire de la fibre nerveuse aux ions Na^+ (PNa^+) et aux ions K^+ (PK^+):

- (A – B) : Au repos la perméabilité membranaire aux ions sodium et potassium est très faible car la plupart des canaux ioniques sont fermés. Or, ces canaux étant sensibles au potentiel de membrane (on dit qu'ils sont électrodépendants ou voltage-dépendants), une légère dépolarisation suffit à provoquer leur ouverture.
- (B – C) : L'excitation de la membrane cytoplasmique provoque instantanément et localement une augmentation de la perméabilité de la membrane cytoplasmique aux ions Na^+ par ouverture locale des canaux de Na^+ . Les ions sodium rentrent alors massivement dans la cellule en raison de leur gradient de concentration et de leur gradient électrique ce qui augmente la dépolarisation et finit par inverser le potentiel de membrane qui atteint une valeur d'environ + 30 mV.
- (C – D) : Cette forte dépolarisation finit par inactiver les canaux au sodium mais induit l'ouverture de canaux au potassium, également électrodépendants, ce qui a pour effet d'augmenter la perméabilité aux ions potassium. Les ions potassium, beaucoup plus nombreux à l'intérieur qu'à l'extérieur, quittent alors la cellule en masse et permettent au potentiel de membrane de retrouver sa valeur initiale.
- (D – E – F) : Toutefois les canaux au potassium n'étant pas immédiatement inactivés au moment où la fibre retrouve son potentiel de repos, les ions potassium continuent à quitter la cellule et provoquent ainsi une légère hyperpolarisation, le temps que la perméabilité au potassium retrouve sa valeur de repos. Dans le même temps, la pompe Na^+/K^+ s'active, en consommant de l'énergie, fait sortir Na^+ , et fait entrer K^+ contre leurs gradient de concentration.

Ce sont en effet des mouvements de sodium et de potassium qui sont à l'origine des différentes phases du potentiel d'action.

b) Les structures membranaires responsables des échanges ioniques :

(Voir figure 3, document 14)

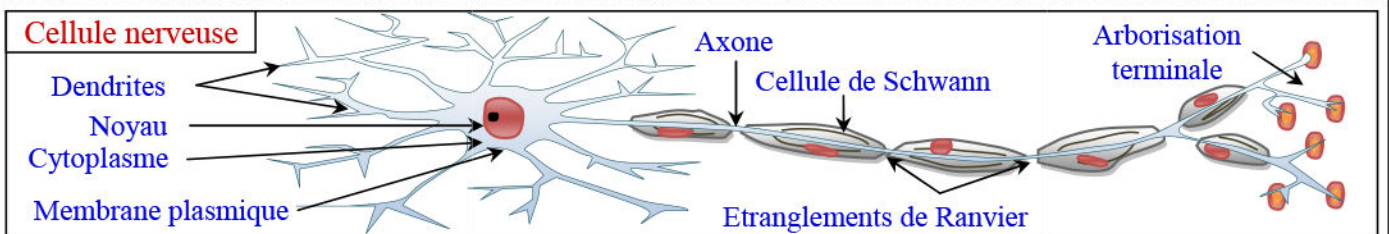
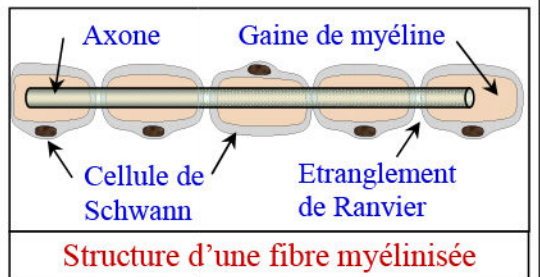
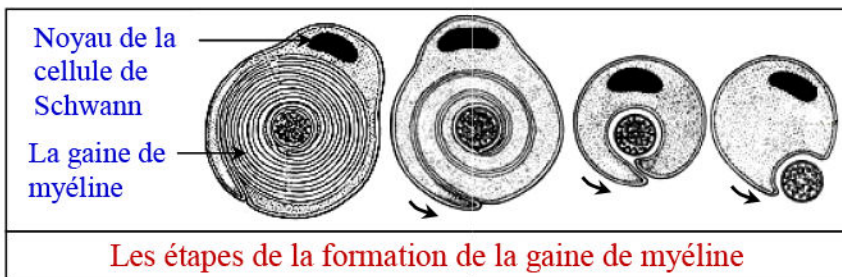
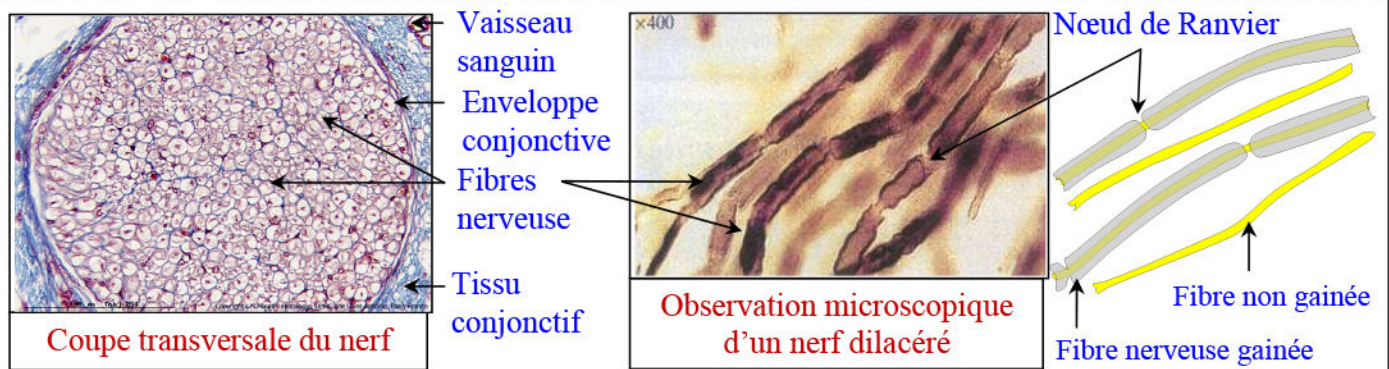
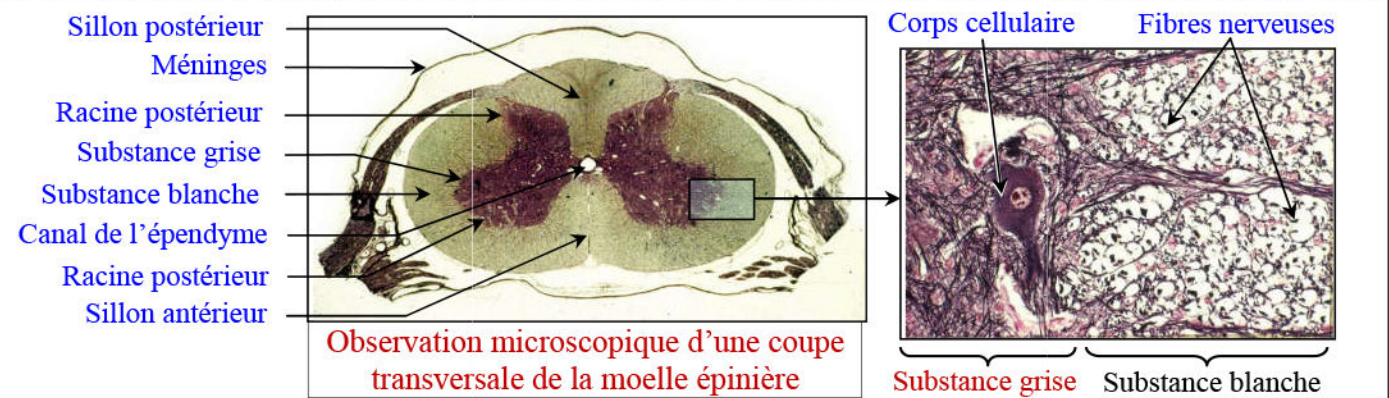
Les structures membranaires responsables de la variation de répartition des ions à travers la membrane cellulaire au moment du potentiel d'action sont des protéines membranaires spécifiques responsables de la variation de la perméabilité membranaire vis à vis des ions Na^+ et K^+ qui fonctionnent sous l'action de la différence de potentiel électrique membranaire locale provoquée par l'excitation. On les appelle canaux voltage-dépendants.

III – Propriétés de la fibre nerveuse.

① L'histologie nerveuse: (Voir document 15)

Document 15 : Structures histologique de la moelle épinière et du nerf.

La moelle épinière est le centre nerveux auquel sont rattachés les nerfs rachidiens. Pour rappeler l'organisation au microscope de la moelle épinière et celle d'un nerf rachidien puis déterminer les relations anatomiques entre ces deux structures, on exploite les données suivantes :



Document 15 : Suite.

A partir de l'analyse de ces documents, décrire la structure de la fibre nerveuse puis réaliser un schéma de la fibre nerveuse avec légende et titre.

Étude de la moelle épinière À faible grossissement (40X) permet de distinguer entièrement la coupe de la moelle épinière :

- ✓ On observe la méninge qui recouvre le système nerveux central.
- ✓ Sur la face antérieure (côté abdominal) on distingue le sillon médian antérieur, plus large et plus prononcé que son vis-à-vis, le sillon médian postérieur (côté dorsal).
- ✓ Antérieurement, on peut distinguer l'émergence des racines antérieures des nerfs rachidiens.
- ✓ Dorsalement, on peut distinguer l'émergence des racines postérieures des nerfs rachidiens.
- ✓ Au centre de la moelle épinière se trouve un canal, le canal épendymaire, où va circuler le liquide céphalo-rachidien.

- ✓ On distingue la substance blanche, qui va entourer la substance grise en forme de papillon :
 - Les ailes du papillon sont plus courtes et plus épaisses au niveau antérieur (côté abdominal), ce sont les cornes antérieures. Elles renferment les corps cellulaires de neurones contenant un noyau, et se prolonge par des dendrites et un axone.
Au niveau postérieur (côté dorsal), les ailes du papillon sont plus étroites, ce sont les cornes postérieures. Elles renferment aussi des corps cellulaires de neurones.
 - La substance blanche est constituée d'axones entourées d'une substance appelée myéline sous forme d'une gaine.
- ✓ Il y a une continuité entre la substance grise et la substance blanche, l'axone qui part du corps cellulaire dans la substance grise se prolonge dans la substance blanche et s'entoure d'une gaine de myéline.
- ✓ L'observation d'une coupe transversale du nerf montre qu'il est composé de faisceaux de fibres nerveuses. Chaque fibre nerveuse est composée d'un axone entouré d'une gaine de myéline, le nerf est donc une prolongation de la substance blanche.
- ✓ L'observation microscopique d'un nerf dilacéré montre principalement deux types de fibres nerveuses, les fibres myélinisées (Fibres nerveuses gainées) et les fibres amyélinisées (Fibres nerveuses non gainées). La myéline sur les fibres nerveuses myélinisées est discontinue, elle est absente au niveau des nœuds de Ranvier ((Etranglements de Ranvier).
La myéline qui entoure les axones est synthétisée par la cellule de Schwann.

Conclusion :

On constate une continuité structurale entre la substance grise, la substance blanche et le nerf. Le corps cellulaire qui renferme le noyau se prolonge par l'axone qui s'entoure de myéline dans la substance blanche et dans le nerf pour donner la fibre nerveuse, formant ainsi l'unité structurale du tissu nerveux la cellule nerveuse ou neurone qui se ramifie au niveau des organes en arborisation terminale.

Remarque :

Les neurones, ont une morphologie très variable. Ils se distinguent entre autres par la forme de leur corps cellulaire, l'organisation et la morphologie des prolongements (Dendrites et axone)

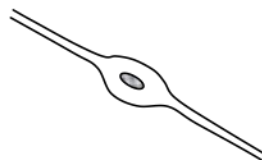
Voici schématiquement quelques types de neurones que l'on trouve dans le système nerveux :



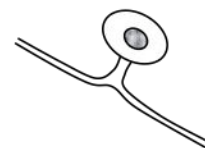
Neurone pyramidal



Neurone multipolaire



Neurone bipolaire



Neurone unipolaire

② Propriétés en relation avec l'excitabilité de la fibre nerveuse:

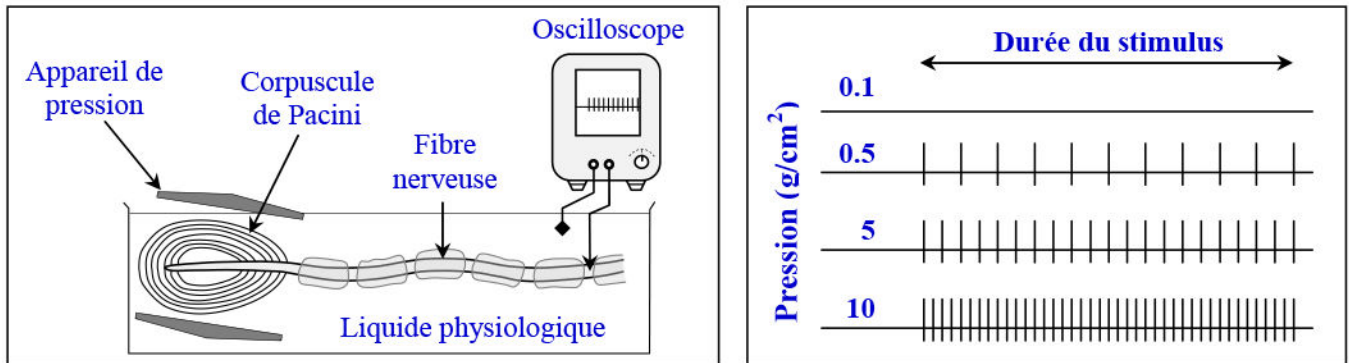
a) Codage du message nerveux dans la fibre nerveuse : (Voir document 16)

Document 16 : Codage du message nerveux dans la fibre nerveuse.

On cherche à comprendre l'origine du message nerveux sensoriel, en s'appuyant sur l'étude du fonctionnement d'un type de récepteur: les corpuscules de Pacini qui sont des mécanorécepteurs (sensible à la pression) localisés dans le derme.

Un corpuscule de Pacini est isolé avec son afférence in vitro et soumis à des pressions croissantes. Une microélectrode implantée dans la fibre permet d'enregistrer les messages sensoriels qui en sont issus.

Les résultats de cette expérience sont présentés par les figures ci-dessous (un trait vertical représente un potentiel d'action) :



Comparer les enregistrements et en déduire le mode de codage de l'influx nerveux dans la fibre nerveuse.

Analyse :

Les enregistrements obtenus correspondent à des potentiels d'action enregistrés au niveau d'un nœud de Ranvier situé sur la fibre nerveuse myélinisée issue du corpuscule de Pacini. Dans les cas des stimulations de 0.1 g/cm², il n'y a pas de potentiels d'actions véhiculés le long de la fibre.

Pour les stimulations de 0.5 jusqu'à 10 g/cm², nous remarquons que la fréquence des potentiels d'action s'élève avec l'augmentation de l'intensité du stimulus (augmentation de la pression).

Interprétation :

L'amplitude du potentiel d'action ne pouvant varier au niveau de la fibre nerveuse, toute stimulation supraliminaire déclenche une série de potentiel d'action dont la fréquence est d'autant plus élevée que l'intensité de la stimulation est forte.

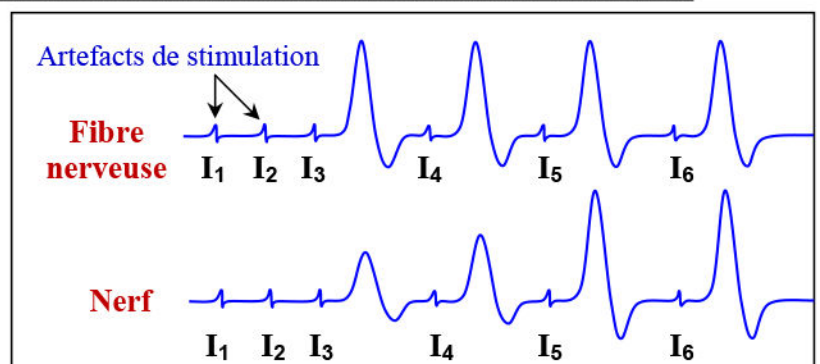
Donc au sein de la fibre nerveuse, le message nerveux est codé en fréquence de potentiel (= nombre de PA en fonction du temps; exprimée en Hertz (Hz = s⁻¹)) et varie ainsi en fonction de l'intensité et de la durée du stimulus.

b) Réponse de la fibre nerveuse à des excitations isolées d'intensité croissante et de durée fixe: (Voir document 17)

Document 17 : Réponse de la fibre nerveuse à des excitations isolées d'intensité croissante.

On soumet un nerf et une fibre nerveuse à des excitations isolées d'intensité croissante (I₁ à I₆) et de durée fixe. Les résultats obtenus sont représentés par les enregistrements ci-contre:

Comparer les réponses de la fibre nerveuse et celle du nerf. Qu'est ce qu'on peut en déduire ?



Chez la fibre nerveuse:

- ✓ I_1 et I_2 , ne produisent que l'artefact de stimulation, ce sont des excitations inefficaces leurs intensités sont inférieures à la rhéobase.
- ✓ De I_3 à I_6 , bien que l'intensité de l'excitation augmente on enregistre un potentiel d'action d'amplitude constante.

La fibre nerveuse est donc soit excitable si l'intensité de l'excitation est supérieure ou égale au seuil d'excitation, soit inexcitable si l'intensité de l'excitation est inférieure au seuil de l'excitation. Cette caractéristique de la fibre nerveuse est appelée **la loi de tout ou rien**.

Chez le nerf:

- ✓ I_1 et I_2 , ne produisent que l'artefact de stimulation, ce sont des excitations inefficaces leurs intensités sont inférieures à la rhéobase.
- ✓ De I_3 à I_5 l'augmentation de l'intensité de l'excitation provoque une augmentation de l'amplitude du potentiel d'action.

Ce phénomène caractérisant le nerf est appelé **la loi de recrutement**, il est due à la structure du nerf formé de plusieurs fibres nerveuses, ainsi, plus l'intensité de l'excitation augmente plus le nombre de fibres nerveuses excitées est important et plus l'amplitude du potentiel d'action augmente.

- ✓ Après I_5 , bien que l'intensité de l'excitation augmente on enregistre un potentiel d'action d'amplitude constante maximale, car toutes les fibres nerveuses constitutives du nerf sont excitées.

③ Propriétés en relation avec la conductibilité de la fibre nerveuse:

a) **Etude de données expérimentales :** (Voir document 18)

Document 18 : Propriétés en relation avec la conductibilité de la fibre nerveuse.

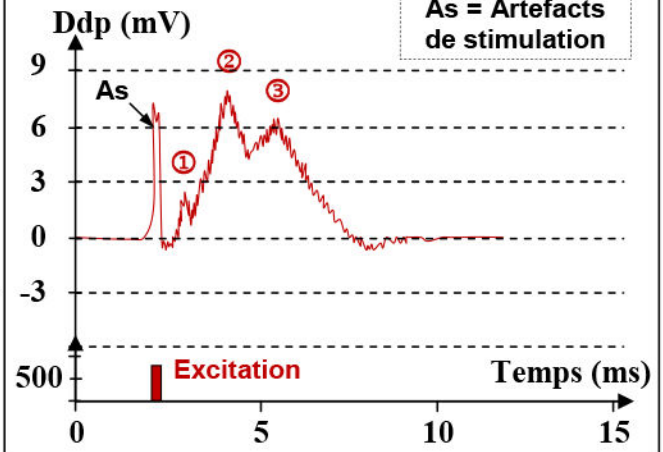
Pour dégager certaines caractéristiques de la conduction de l'influx nerveux, liées aux propriétés des groupes de fibres nerveuses qui le constituent, on propose d'exploiter le document ci-contre, qui représente un enregistrement électro-nerveux du nerf de crabe, obtenu lors d'une seule excitation isolée et efficace

En exploitant les données de ce document :

- 1) Décrire la courbe de potentiel d'action et expliquer sa forme en trois pics.
- 2) Calculer la vitesse de conduction du message nerveux au niveau de ce nerf, sachant que la distance entre les électrodes excitatrices et l'électrode réceptrice R_1 est 5mm. Qu'est ce qu'on peut en déduire ?

Pour établir la relation entre la vitesse de conduction nerveuse et le diamètre des fibres nerveuse, des études statistiques ont été faites pour classer ces fibres, dont les résultats sont présentés par le tableau Ci-contre.

- 3) Que peut-on déduire de ces résultats, concernant la relation entre structure de la fibre et conductibilité ?



Type de fibres	Diamètre	Vitesse
Fibre myélinisées de mammifères	10 μm	60 m/s
	20 μm	120 m/s
Fibre myélinisée du crabe	25 μm	4 m/s
	8 μm	1.6 m/s
Fibre non myélinisée du crabe	1.5 μm	0.9 m/s

- 1) On constate qu'une seule excitation isolée et efficace a permis d'enregistrer un potentiel d'action présentant 3 pics: ①, ② et ③.

La présence de 3 phases s'explique par le fait que ce nerf est composé de 3 types de fibres nerveuses, qui diffèrent selon la vitesse de conduction de l'influx nerveux.

- 2) Calcule de la vitesse (V) de conduction du message nerveux dans ce nerf : $V = \Delta d \text{ (mm)} / \Delta t \text{ (ms)}$.

Puisque ce nerf est composé de trois types de fibres, la vitesse est donc :

- ✓ $V_1 = \Delta d \text{ (mm)} / \Delta t_1 \text{ (ms)} = 5 / (3 - 2.25) = 6.67 \text{ mm/s}$
- ✓ $V_2 = \Delta d \text{ (mm)} / \Delta t_2 \text{ (ms)} = 5 / (4 - 2.25) = 2.86 \text{ mm/s}$
- ✓ $V_3 = \Delta d \text{ (mm)} / \Delta t_3 \text{ (ms)} = 5 / (5.5 - 2.25) = 1.54 \text{ mm/s}$

Dans ce nerf la conduction du message nerveux se fait avec trois vitesses différentes, ce qui montre qu'il est composé de trois types de fibres nerveuses.

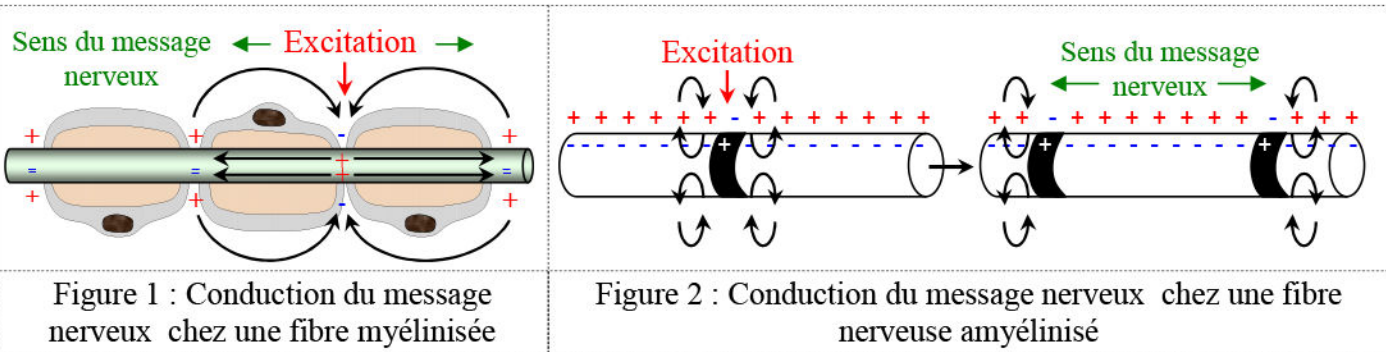
3) La vitesse de conduction des fibres nerveuses varie selon :

- ✓ L'espèce animale : élevée chez les Mammifères a sang chaud, faible chez les invertébrés.
- ✓ Le diamètre des fibres : dans le même type, plus le diamètre de la fibre est grand plus la conduction est rapide.
- ✓ Le type de fibre : les fibres myélinisées sont plus rapides que les fibres amyélinisées.

b) Relation entre la structure de la fibre nerveuse et sa conductibilité : (Voir document 19)

Document 19 : Relation entre la structure de la fibre nerveuse et sa conductibilité.

Les figures suivantes présentent des schémas d'explication de la conduction du message nerveux chez les fibres nerveuse myélinisées (Figure 1) et les fibres nerveuses non myélinisées (Figure 2) :



En se basant sur les données de ce document, décrire les modes de conduction de l'influx nerveux en fonction des propriétés structurales de la fibre nerveuse.

La différence de vitesse de conduction aux niveaux des fibres nerveuses myélinisées et non myélinisées, est due au fait que la myéline joue le rôle d'un isolant électrique qui empêche les échanges ioniques de part et d'autre de la membrane de la fibre myélinisée.

- ✓ **Pour les fibres nerveuses myélinisées**, le potentiel membranaire n'apparaît qu'au niveau des étranglements de Ranvier, où il y a absence de myéline et abondance de canaux ioniques à Na^+ et K^+ voltage dépendants. L'onde de dépolarisation saute d'un étranglement de Ranvier à un autre, par l'intermédiaire de courants électriques naissant entre ces étranglements. C'est la **conduction saltatoire**, où la propagation du message nerveux est rapide.
- ✓ **Pour les fibres nerveuses non myélinisées**, la naissance d'un potentiel d'action à un point précis de la fibre nerveuse, permet d'apparaître des courants locaux qui entraînent la dépolarisation du point voisin et ouverture des canaux ioniques à Na^+ et K^+ voltage dépendants, d'où la naissance d'un nouveau potentiel d'action. Dans ce cas la conduction du message nerveux est dite par **courants locaux de proche en proche**, où la propagation du message nerveux est lente.

Remarque :

- Pour la fibre nerveuse isolée, la propagation de l'influx nerveux se fait dans les deux sens à partir du point d'excitation.
- Les étranglements de Ranvier s'éloignent davantage entre eux avec l'augmentation du diamètre des fibres nerveuse myélinisées, ce qui explique l'augmentation de la vitesse de conduction tout au long de ces dernières.

IV – Points de connexions entre neurones : notion de synapse.

① Mise en évidence de la synapse: (Voir document 20)

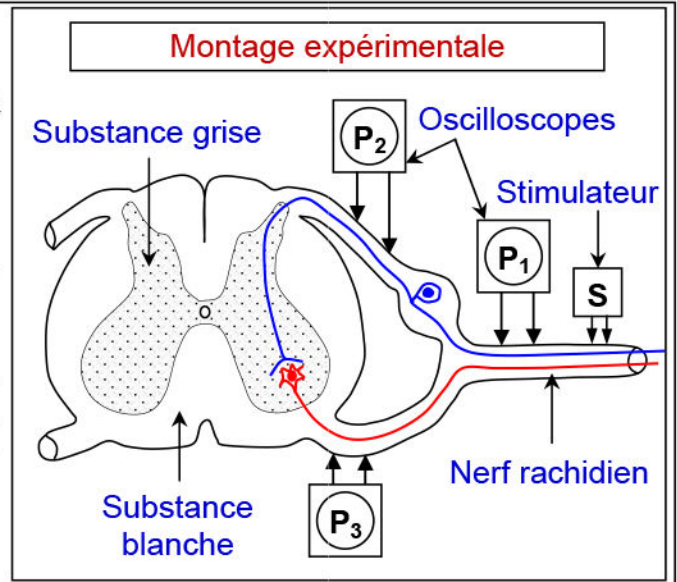
Document 20 : Mise en évidence de la synapse.

On applique une excitation sur un nerf rachidien d'une grenouille au point S et on enregistre simultanément la durée mise par l'influx nerveux lors de son passage de P₁ à P₂ et de P₂ à P₃.

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

	Distance en mm	Durée mise par l'influx nerveux en ms
Entre P ₁ et P ₂	4	0.2
Entre P ₂ et P ₃	2	0.25

Calculer la vitesse de propagation de l'influx nerveux entre P₁ et P₂ et entre P₂ et P₃. Proposer une explication de la différence observée.



Calculons la vitesse de propagation de l'influx nerveux :

- ✓ Entre P₁ à P₂ : $V_1 = \Delta d \text{ (mm)} / \Delta t \text{ (ms)} = 4 \cdot 10^{-3} / 0.2 \cdot 10^{-3} = 20 \text{ m/s}$
- ✓ Entre P₂ à P₃ : $V_2 = \Delta d \text{ (mm)} / \Delta t \text{ (ms)} = 2 \cdot 10^{-3} / 0.25 \cdot 10^{-3} = 8 \text{ m/s}$

On constate que la vitesse de propagation de l'influx nerveux entre P₁ et P₂, est plus grande que la vitesse de propagation entre P₂ et P₃, ce qui signifie qu'il y a un retard dans la transmission de l'influx nerveux au niveau de la moelle épinière. Ce retard est appelé délai synaptique, et s'explique par l'existence dans la substance grise, de points de connexion entre les neurones ou synapse.

Le délai synaptique est le temps nécessaire pour la conduction d'un signal à travers une synapse. Calculons donc la valeur du délai synaptique dans le cas précédent:

En présence de la synapse, la durée mise par l'influx nerveux pour traverser la distance P₂ – P₃ est $t_1 = 0.25 \text{ ms}$.

Si on suppose qu'il n'y a pas de synapse entre P₂ et P₃, la durée mise par l'influx nerveux pour traverser la distance P₂ – P₃ est t_2 .

La vitesse de l'influx nerveux en absence de synapses est $V_2 = \Delta d / t_2$. Donc $t_2 = \Delta d / V_2 = 2 / 20 = 0.1 \text{ ms}$

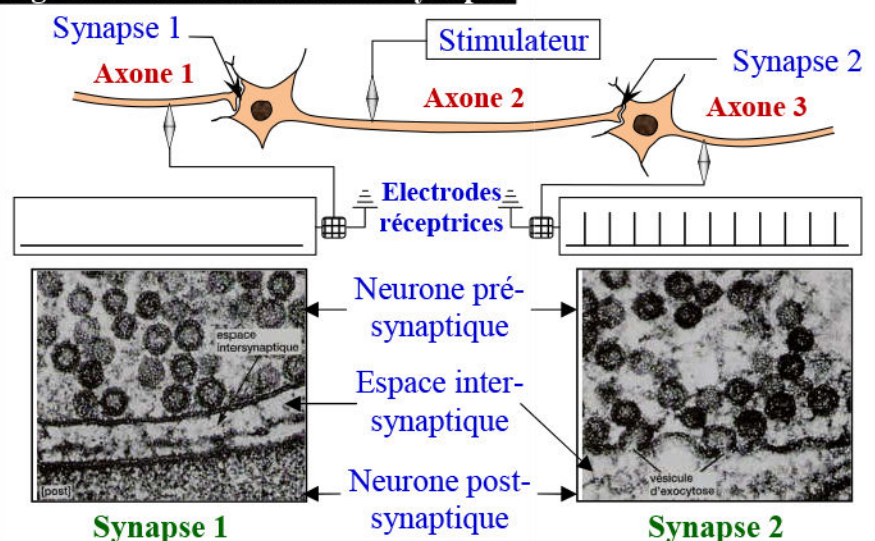
Le délai synaptique est $T = t_1 - t_2 = 0.25 - 0.1 = 0.15 \text{ ms}$.

② Transmission du message nerveux au niveau de la synapse: (Voir document 21)

Document 21 : Transmission du message nerveux au niveau de la synapse.

Sur un circuit de 3 neurones; on porte des excitations efficaces et successives sur l'axone 2 du neurone 2, et on enregistre l'activité électro-nerveuse au niveau des axones des neurones 1 et 3. On obtient les enregistrements représentés sur les figures ci-contre:

En exploitant ces données, déterminer le sens de propagation de l'influx nerveux des axones 1, 2 et 3. Puis déduire la relation entre les enregistrements obtenus et l'ultra-structure des synapses 1 et 2.



L'excitation de l'axone 2 a permis d'enregistrer des potentiels d'actions sur l'axone 3, et n'a donné aucun potentiel d'action sur l'axone 1.

Les potentiels d'action se propagent donc de l'arborisation terminale Du neurone 2 au corps cellulaire du neurone 3, et ne peuvent être transmis du corps cellulaire du neurone 2 vers l'arborisation terminale du neurone 1. Donc le message nerveux se transmet d'un neurone à l'autre, à travers les synapses, et ceci dans un seul sens : de l'arborisation terminale d'un neurone vers le corps cellulaire du neurone suivant.

Les synapses sont donc unidirectionnelles.

Pourquoi la transmission synaptique est unidirectionnelle ?

Pour répondre à cette question on étudie l'ultrastructure de la synapse :

Entre les deux neurones pré-synaptique et poste-synaptique on trouve un espace inter-synaptique qui sépare la membrane pré-synaptique de la membrane poste-synaptique;

Le cytoplasme pré-synaptique porte des vésicules synaptique contenant des substances appelées médiateurs chimiques, alors que le cytoplasme poste synaptique ne porte aucune vésicules synaptiques.

Quand le potentiel d'action pré-synaptique atteint la membrane pré-synaptique, il provoque :

- L'exocytose du médiateur chimique ou neurotransmetteur dans l'espace synaptique
- La fixation du neurotransmetteur à des récepteurs spécifiques sur la membrane poste-synaptique.
- La naissance du potentiel d'action poste-synaptique qui se propage le long du neurone poste-synaptique.

Ainsi, la transmission synaptique est unidirectionnelle, les vésicules synaptiques ne se trouvent que dans le cytoplasme pré-synaptique, et les récepteurs du neurotransmetteur ne se trouvent que sur la membrane poste synaptique.

③ Les types de synapses: (Voir document 22)

Document 22 : Les types de synapse.

En exploitant les données de ce document, décrire les différents types de synapses.

Figure 1 : Electronographie d'un point de connexion nerveuse.



Figure 5 : Schéma d'une synapse neuro-glandulaire.

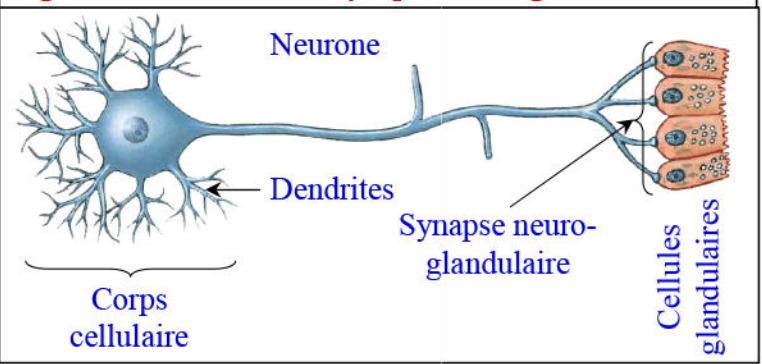


Figure 2 : Electronographie d'une synapse électrique (⊕).

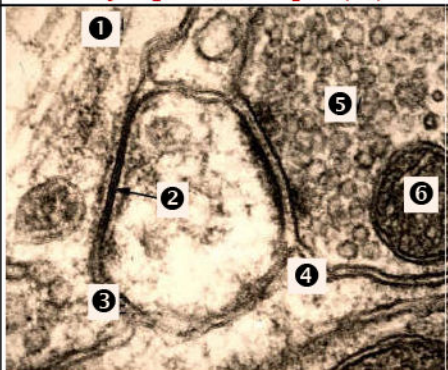


Figure 3 : Les synapses inter-neuroniques

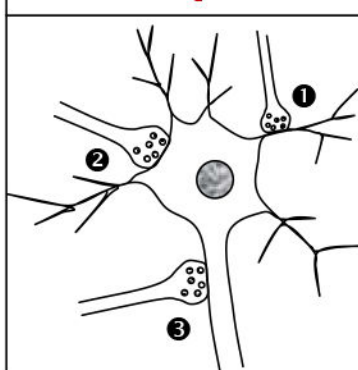
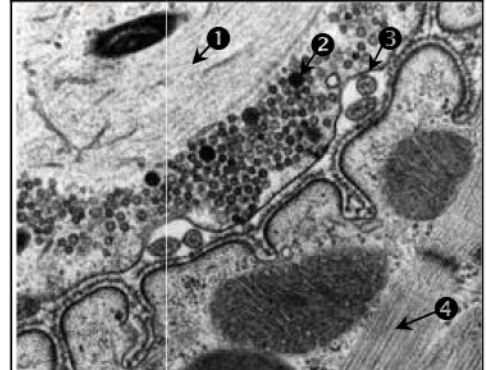


Figure 4 : Electronographie d'une synapse neuromusculaire.



On peut classer les synapses suivant deux critères principaux qui sont :

- ✓ La nature de la transmission, du message nerveux au niveau de la synapse :
 - Transmission par l'intermédiaire d'un médiateur chimique : la synapse est dite synapse à médiation chimique : (Figure 1 : ❶ = Neurone pré-synaptique ; ❷ = Vésicule synaptique ; ❸ = membrane pré-synaptique ; ❹ = espace inter-synaptique ; ❺ = membrane post-synaptique ; ❻ = neurone post-synaptique).
 - Transmission par onde de dépolarisation : la synapse est dite synapse à médiation électrique. (Figure 2 : ❶ = Neurone ; ❷ = jonction ; ❸ = synapse électrique ; ❹ = synapse chimique ; ❺ = Vésicules ; ❻ = mitochondrie).
- ✓ Le type de cellule post-synaptique qui peut être:
 - Synapse inter-neuronique (Figure 3 : Axo-dendritique ❶ ; Axo-somatique ❷ ; Axo-axonique ❸).
 - Synapse neuromusculaire appelée aussi plaque motrice (Figure 4 : ❶ = Neurone pré-synaptique ; ❷ = Vésicules remplies de neuromédiateur ; ❸ = espace synaptique ; ❹ = cellule musculaire post-synaptique).
 - Synapse neuro-glandulaire, qui relie la fibre nerveuse à des cellules glandulaires.

④ Mécanisme de la transmission synaptique:

a) **Transmission du message nerveux au niveau de la synapse:** (Voir document 23)

Document 23 : Transmission du message nerveux au niveau de la synapse.

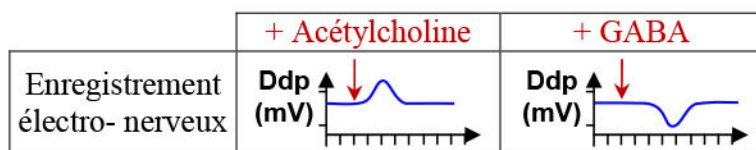
La figure 1, ci-contre, représente un montage expérimental qui permet d'enregistrer l'activité électrique du neurone D, lié par des synapses à trois axones (A), (B) et (C).

A l'aide d'électrodes excitatrices S_1S_2 , on pratique des excitations efficaces, soit sur un seul axone : A, B ou C. Ou bien des excitations en même temps sur deux axones à la fois (A + B) ou (A + C).

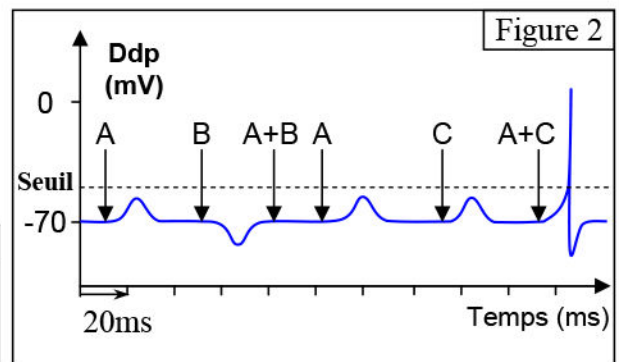
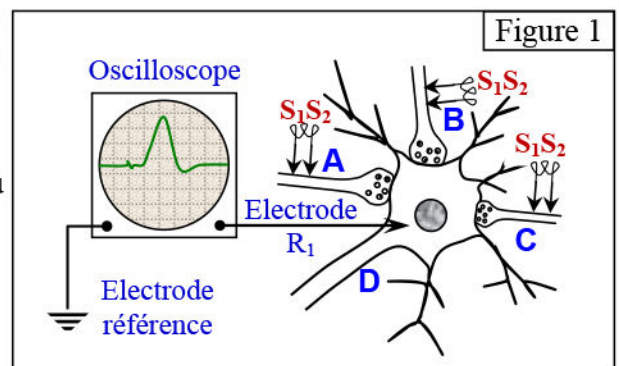
Les résultats obtenus sont représentés par l'enregistrement électro-nerveux de la figure 2.

2) Que peut-on déduire de l'analyse de cet enregistrement ?

Par l'intermédiaire d'une micropipette on ajoute, de manière séparée, deux substances qui sont l'acétylcholine et l'acide gamma-amino butyrique (GABA) au niveau des synapses A et B. on obtient les résultats suivants :



1) Déduire l'action de l'acétylcholine et du GABA sur les deux types de synapses (A) et (B).



1) Au niveau d'une synapse axo-somatique, le corps cellulaire du neurone post-synaptique (D) peut recevoir les influx nerveux de plusieurs dizaines de neurones pré-synaptiques (A, B et C).

Les influx provenant de ces neurones provoquent au niveau du corps cellulaire du neurone post-synaptique et selon le récepteur considéré, soit :

- ✓ Des dépolarisations locales (Synapse A), on parle de potentiel post-synaptique excitateur (PPSE).
- ✓ soit des hyperpolarisations (Synapse B), on parle de potentiel post-synaptique inhibiteur (PPSI).

La valeur du potentiel de membrane du neurone post-synaptique dépend de la résultante de ces influences.

Le corps cellulaire du neurone fait la somme de ces différents messages. Il en résulte soit une dépolarisation globale si les PPSE l'emportent sur les PPSI soit une hyperpolarisation dans le cas contraire.

- 2) On constate que l'acétylcholine produit une dépolarisation au niveau du neurone post-synaptique, alors que le GABA produit une hyperpolarisation à ce niveau.
Le message nerveux électrique pré-synaptique, est généralement transféré sous forme de molécules spécifiques variées appelées neuromédiateurs (Neurotransmetteurs) (Voir document 24).

Document 24 : Quelques principaux neurotransmetteurs.

Nom	Effets	Implications	Implication d'un désordre (-) : déficit ; (+) : excès
Acétylcholine	Contraction musculaire, ralentissement du rythme cardiaque. Excrétion de certaines hormones	Eveil, attention, colère, agression, sexualité, soif et mémoire	Maladie d'Alzheimer (-), troubles de la mémoire et de la concentration (-)
Dopamine	Mouvement musculaire Croissance des tissus	Comportement d'exploration, vigilance, contrôle du mouvement et de la posture, humeur.	Maladie de Parkinson (-), dépression (-), agressivité (+)
GABA	Contrôle moteur et vision	Fonctions corticales, anxiété	Insomnie et anxiété (-). Permet de traiter les crises d'épilepsie ou les tremblements dans la maladie de Huntington
Noradrénaline	Libération hormonale, contraction des vaisseaux sanguins et augmentation de la fréquence cardiaque	Fertilité, appétit, attention, apprentissage, sommeil	Dépression (-), acquisition des connaissances (-), comportement social (- et +)
Adrénaline	Active la réponse à un stimulus, contrôle du système nerveux sympathique	Contraction des muscles lisses, réflexion, flux sanguin, capacités respiratoires	Fatigue, insomnie et anxiété (+)
Sérotonine	Inhibition de certaines hormones, contrôle du mouvement	Régulation de la température, humeur, sommeil, douleur	Maladie de Parkinson (+), comportements impulsifs et agressifs (-), suicide (-).

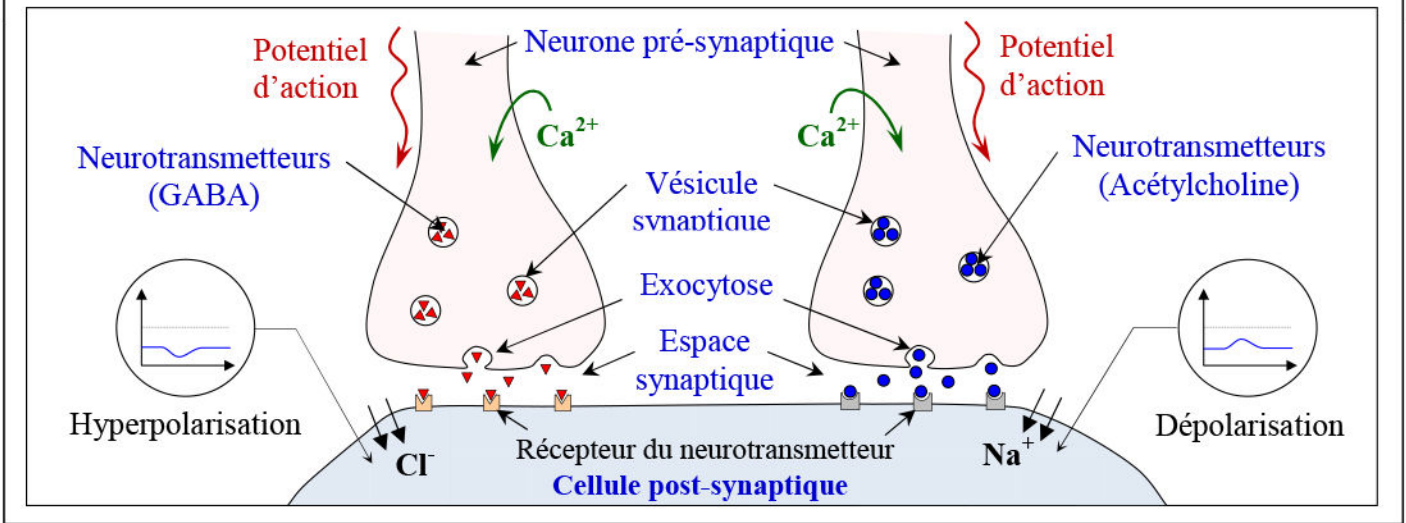
Un neurotransmetteur est une substance chimique, sécrétée par l'organisme et permettant aux cellules nerveuses de transmettre un message nerveux. Ce message peut être destiné à d'autres neurones ou à des cellules de l'organisme (cellules des muscles, des glandes ou des organes).

b) Mode d'action des neurotransmetteurs: (Voir document 25)

Document 25 : Mode d'action des neurotransmetteurs.

La figure ci-dessous est un schéma représentant le mécanisme de transmission du message nerveux par les neurotransmetteurs au niveau de la synapse.

En exploitant les données de ce document, Comparer le mode d'action de la synapse excitatrice et celui de la synapse inhibitrice.



Quelque soit le type de synapse, excitatrice ou inhibitrice, elle fonctionne selon les étapes suivantes :

- ✓ L'arrivée d'un message nerveux dans le neurone pré-synaptique entraîne la migration de vésicules synaptiques. Accompagnée d'un flux de Ca²⁺ à travers la membrane pré-synaptique. Les vésicules synaptiques fusionnent avec la membrane pré-synaptique et y libèrent leur contenu. Les neurotransmetteurs sont délivrés ainsi, par exocytose, dans la fente synaptique.
- ✓ Plus la stimulation pré-synaptique est importante, plus la quantité de neurotransmetteurs libérés augmente. Le message chimique est donc codé par la concentration de neurotransmetteurs.
- ✓ Fixation du neurotransmetteur sur des récepteurs spécifiques intégrés dans la membrane post-synaptique. Ce sont des canaux ioniques qui ne s'ouvrent qu'en présence du médiateur chimique. Ce sont des canaux chimio-dépendants.
- ✓ Séparation du neurotransmetteur des récepteurs membranaire et son hydrolyse par une enzyme spécifique.

Il existe des différences dans le mode d'action de la synapse selon sa nature :

✓ **Cas de la synapse excitatrice :**

Une fois le neurotransmetteur (Exemple : acétylcholine) est fixé sur les récepteurs spécifiques de la membrane post-synaptique, les canaux à Na⁺ et K⁺ s'ouvrent et déclenchent des échanges ioniques donnant naissance à une onde de dépolarisation au niveau du neurone post-synaptique.

✓ **Cas de la synapse inhibitrice :**

Le neurotransmetteur (Exemple : GABA) se fixe sur les récepteurs spécifiques de la membrane post-synaptique, qui sont des canaux ioniques qui acceptent les ions Cl⁻. Cela entraîne l'entrée massive des ions Cl⁻ et l'apparition d'une hyperpolarisation du neurone post-synaptique.

Unité 4 :

L'intégration neuro-hormonale

INTRODUCTION

Pour maintenir son équilibre et contrôler ses différentes fonctions, le corps humain dispose de deux systèmes de communications : hormonale et nerveuse. Ces deux systèmes ne sont pas totalement indépendants l'un de l'autre. Ils interviennent le plus souvent ensemble dans une réponse intégrée.

Parmi les fonctions où se manifeste l'intervention des deux systèmes, nerveux et hormonal, on peut citer : la régulation de la reproduction chez l'Homme, la régulation de la pression artérielle et le maintien de l'équilibre hydro- minéral du milieu intérieur.

- *Comment ces fonctions vitales sont-elles régulées ?*
- *Quelles sont les manifestations de l'intégration fonctionnelle entre la communication nerveuse et la communication hormonale ?*

Chapitre 1 :

Régulation de la reproduction chez l'Homme

INTRODUCTION :

À la puberté, l'appareil génital devient fonctionnel. Chez la femme comme chez l'homme, son fonctionnement est contrôlé par des mécanismes neuro-hormonaux.

Le fonctionnement de l'appareil génital, dont dépendent la production des gamètes et la gestation, est contrôlé par les hormones sexuelles. Leur sécrétion, cyclique chez la femme et continue chez l'homme, dépend de boucles de régulation impliquant le système nerveux.

- *Quels sont les rôles des testicules et des ovaires dans la fonction de la reproduction ?*
- *Quels sont les mécanismes impliqués dans l'activité sexuelle cyclique chez la femme ?*
- *Quel est le rôle de l'intégration neuro-hormonale dans la régulation de la fonction de la reproduction ?*

I – Physiologie de l'appareil génital de l'Homme :

L'appareil génital masculin commence son fonctionnement dès la puberté, la période de la vie où le corps passe de l'état d'enfant à celui d'adulte, capable de se reproduire. A cette période les caractères sexuels secondaires apparaissent : voix plus grave, plus de tissu musculaire, apparition des poils sur le visage, les aisselles et les parties génitales, début d'éjaculation du sperme.

① Rôle des testicules dans la fonction sexuelle chez l'homme : (Voir document 1)

a) Observations et expériences :

Document 1 : Rôle des testicules dans la fonction sexuelle chez l'homme :

★ Observations cliniques :

- ✓ **La puberté** : Chez un homme pubère, il y a production de spermatozoïdes, le taux plasmatique de l'hormone sexuelle mâles (la testostérone) augmente fortement et il y'a apparition des caractères sexuels secondaires.
- ✓ **La cryptorchidie** : est une anomalie qui affecte la descente des testicules de la cavité abdominale vers le scrotum (ou bourses) au cours de la vie fœtale. Lorsque cette descente testiculaire bilatérale n'a pas eu lieu, les individus sont moins féconds, mais les caractères sexuels secondaires sont normaux.
- ✓ **La castration bilatérale** : Les eunuques (Hommes ayant subi l'ablation totale des deux testicules) étaient chargés de la garde des séraïls (Palais du sultan). Ils étaient stériles et présentaient les caractères suivants : musculature peu développée, faible pilosité, tendance à la surcharge pondérale (prise de poids excessive dû à une masse adipeuse (graisseuse) trop importante).

★ Expériences :

Réalisée chez le rat avant la puberté, la castration ne rendait pas seulement stérile, mais perturbait le développement des caractères sexuels secondaires (L'appareil génital restait juvénile, Pas de sécrétion de testostérone, pas de développement des caractères sexuels secondaires).

Si la castration est réalisée après la puberté, elle entraînait une stérilité, une diminution de la concentration plasmatique en testostérone, ainsi qu'une régression des caractères sexuels secondaires.

Mais si, à un animal castré, on greffe des testicules sous la peau au niveau du cou, la stérilité persiste mais les caractères sexuels secondaires réapparaissent.

L'injection d'extraits de testicules à un animal castré a les mêmes effets que l'expérience de greffe de testicules.

A partir de l'analyse des données de ce document, déterminez le rôle des testicules dans la fonction de reproduction chez l'homme.

Etablir la relation entre le taux plasmatique de testostérone et l'apparition des caractères sexuels secondaires.

b) Analyse et conclusion :

- **L'analyse des données du document montre que :**

- ✓ Chez un mâle, à partir de la puberté il y'a production de gamètes mâles, sécrétion d'hormone sexuelle mâle (la testostérone) et apparition des caractères sexuels secondaires.
- ✓ L'absence des testicules entraîne l'infertilité et la régression des caractères sexuels secondaires.
- ✓ La greffe de testicules ou l'injection d'extraits de testicules, entraîne la réapparition des caractères sexuels secondaires alors que la stérilité persiste.

- **Conclusion :**

Le testicule a un rôle essentiel dans la reproduction chez le mâle et présente deux fonctions essentielles :

- ✓ La production des gamètes mâles (Spermatozoïdes) : la spermatogénèse.
- ✓ La production de l'hormone sexuelle mâles (l'androgènes) : la testostérone responsable de l'apparition et de la restauration des caractères sexuels primaires et secondaires.

Donc l'acquisition de la fonctionnalité de l'appareil génital mâle est sous le contrôle d'hormone : la testostérone.

② Structures responsables de la spermatogénèse et la sécrétion de testostérone :

a) Les structures histologiques du testicule : (Voir document 2)

Document 2 : Les structures histologiques du testicule :

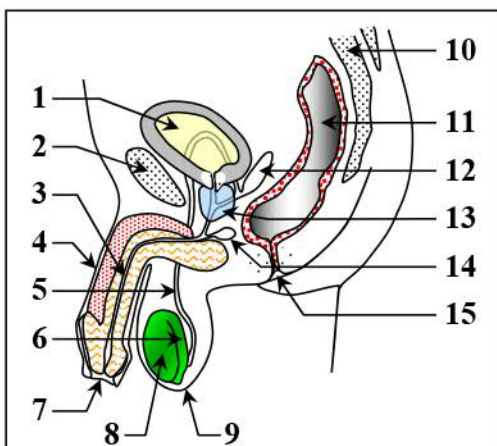


Figure 1 : Coupe sagittale de l'appareil génital masculin

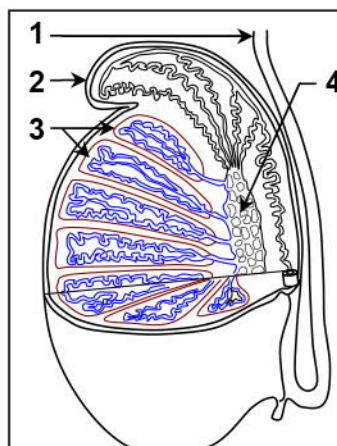
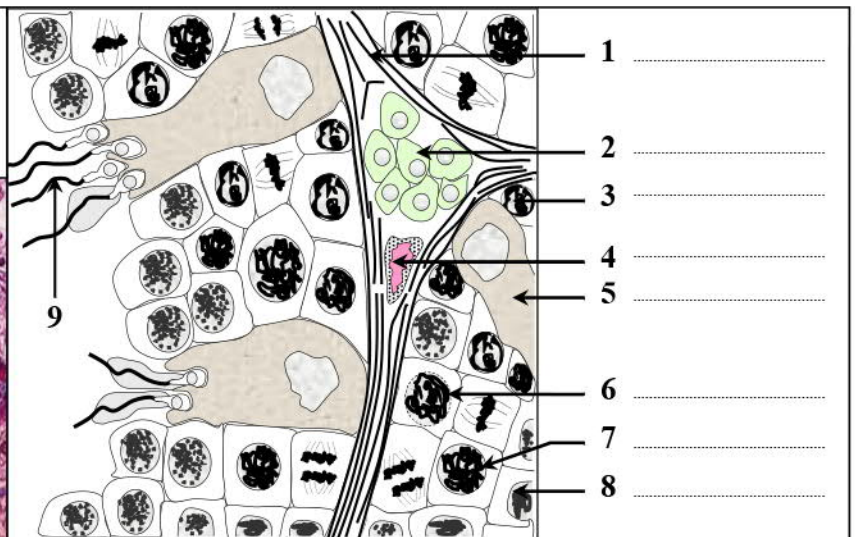
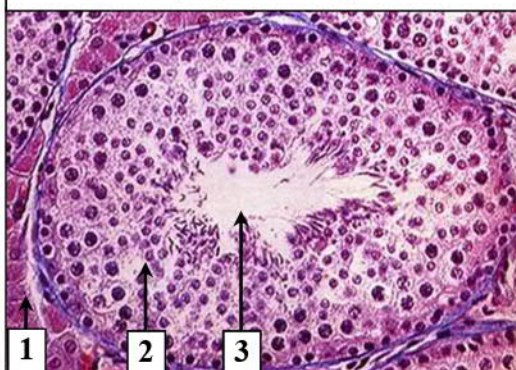


Figure 2 : Schéma d'une coupe d'un testicule



Figure 3 : Coupe transversale du testicule d'un individu fertile, présentant des tubes séminifères

Figure 4 : Coupe transversale d'un tube séminifère (ci-dessous) avec un schéma d'explication d'une partie de cette coupe (ci-contre)



En vous basant sur les données du document 2 et de vos connaissances, donnez les noms des éléments numérotés. Décrivez ensuite les structures responsables de la formation des gamètes chez l'homme.

→ *Les noms des éléments numérotés sur le document :*

★ *Figure 1 : Coupe sagittale de l'appareil génital masculin :*

1= La vessie ; 2= Symphyse pubienne ; 3= Urètre ; 4= Pénis ;
5= Canal déférent ; 6= Ependyme ; 7= Orifice uro-génital ; 8= Testicule ;
9= Scrotum ; 10= Colonne vertébrale ; 11= Rectum ; 12= Vésicules séminales ;
13= Prostate ; 14= Glande de Cowper (Glande bulbo-urétrale) ; 15= Anus.

★ *Figure 2 : Schéma d'une coupe d'un testicule :*

1= Canal déférent ; 2= Epididyme ; 3= Lobules ; 4= Réseau testiculaire.

★ *Figure 3 : Coupe transversale du testicule d'un individu fertile, présentant des tubes séminifères :*

1= Tubes séminifères ; 2= Lumière du tube séminifère ; 3= Paroi du tube séminifère.

★ *Figure 4 : Coupe transversale d'un tube séminifère :*

1= Cellules interstitielles (Cellules de Leydig) ; 2= Paroi du tube ; 4= Lumière du tube.

★ *Figure 4 : Schéma d'explication d'une partie de la coupe transversale du tube séminifère :*

1= Gaine conjonctive ; 2= Cellules de Leydig ; 3= Spermatogonie ; 4= Vaisseau sanguin ;
5= cellule de Sertoli ; 6= Spermatocyte I ; 7= Spermatocyte II ; 8= Spermatide ;
9= Spermatozoïde.

→ *Description des structures responsables de la formation des gamètes chez l'homme :*

★ *L'appareil génital masculin est constitué essentiellement :*

- ✓ Des gonades masculines (Deux testicules) ;
- ✓ Des voies spermatisques. (Canal déférent, Urètre) ;
- ✓ Des glandes annexes (vésicule séminale, prostate, glande de Cowper) ;
- ✓ D'un organe reproducteur (Le pénis).

★ *L'observation de la coupe transversale du testicule montre que :*

- ✓ Le testicule comporte des lobules, chaque lobule est constitué d'un à quatre tubes longs minces enroulés sur eux-mêmes appelés : tubes séminifères, ces tubes se croisent au niveau de l'épididyme pour former le canal déférent. Chaque tube est formé d'une paroi qui entoure une lumière. L'espace entre les tubes est occupé par les cellules de Leydig.

★ *L'observation microscopique montre que le testicule est composé de :*

Au cours de la spermatogénèse, les cellules germinales en voie de différenciation se déplacent entre les cellules de Sertoli en direction de la lumière. Elles passent par les stades suivants :

- ✓ Spermatogonie ;
- ✓ Spermatocyte I (primaire) ;
- ✓ Spermatocyte II (secondaire) ;
- ✓ Spermatide ;
- ✓ Spermatozoïde.

b) Les structures responsables de la sécrétion de testostérone : (Voir document 3)

Document 3 : Les structures responsables de la sécrétion de testostérone :

A partir de l'analyse des résultats des expériences suivantes, déduire les structures responsables de la sécrétion de la testostérone

- La destruction du contenu des tubes séminifères chez des rats adultes par les rayons X orientés, entraîne la stérilité avec maintien des caractères sexuels secondaires.
- La destruction des cellules de Leydig chez des rats adultes par les rayons X orientés, entraîne la stérilité (Arrêt de la gamétogénèse) et la régression des caractères sexuels secondaires. La gamétogénèse reprendra si on injecte ce rat de produits extraits des cellules de Leydig ou de la testostérone.

La destruction des cellules des tubes séminifères, entraîne la stérilité suite à un arrêt de la spermatogenèse. On en déduit que les gamètes mâles se forment dans la paroi des tubes séminifères à partir des spermatogonies (Cellules germinales souches).

La destruction par irradiation des cellules de Leydig est responsable de la diminution du taux de testostérone et perturbation de la spermatogenèse. On en déduit que les tubes séminifères sont responsables de la production des spermatozoïdes assurée par l'intermédiaire de la testostérone sécrétée par les cellules de Leydig et cette hormone détermine aussi l'apparition des caractères sexuels secondaires.

II – Physiologie de l'appareil génital de la femme :

La puberté, chez la fille, commence vers l'âge de 11 à 13 ans et se manifeste par des modifications organiques et un comportement psychique féminin. Ces manifestations constituent les caractères sexuels secondaires, parmi lesquels on peut citer :

- ✓ L'apparition de la pilosité pubienne (sur le pubis = bas du ventre) puis axillaire (sous les aisselles) ;
- ✓ Le développement des seins et l'élargissement des hanches ;
- ✓ L'apparition des 1^{ères} règles (ou menstruation), c'est le cycle menstruel...

① Rôle des ovaires dans la fonction sexuelle chez la femme : (Voir document 4)

a) Observations et expériences :

Document 4 : Rôle des ovaires dans la fonction sexuelle chez la femme :

★ Observations cliniques :

- ✓ Chez des femmes à qui on a dû enlever les ovaires (Ovariectomie), la menstruation (ou règles) ne se produit plus et l'utérus s'atrophie progressivement. Mais un apport approprié d'extrait ovarien par injection établit le développement de l'utérus et de la menstruation.
- ✓ L'analyse d'extraits ovariens montre la présence de deux hormones sexuelles : les œstrogènes dont la plus importante est l'œstradiol et la progestérone.
- ✓ Les femmes touchées par le syndrome de Turner (22AA+X), ne produisent pas suffisamment d'hormones sexuelles féminines. Elles ont des ovaires atrophiés qui restent de petite taille. Elles n'ont pas de règles, leurs seins ne sont pas développés et sont stériles.

★ Expériences :

<i>Expériences</i>	<i>Résultats</i>
Rate pubère normale.	Développement et activité normales des ovaires, des cycles menstruels normaux.
Ablation de l'utérus chez une rate pubère normale.	Aucun effet sur le cycle ovarien.
Ablation des ovaires chez une rate pubère normale.	Stérilité de la rate, atrophie de l'utérus et disparition du cycle menstruel.
Section de tous les nerfs qui innervent l'utérus chez une rate normale.	Activité cyclique de l'utérus normale.
Greffe sous-cutané d'un fragment de l'utérus à une rate pubère normale.	Le fragment greffé subit les mêmes transformations que l'utérus en place.
Greffe sous-cutané d'un fragment de l'utérus à une rate pubère ovariectomisée.	Restauration du cycle utérin et persistance de la stérilité de la rate.
Injection d'extraits ovariens à une rate pubère ovariectomisée.	

A partir de l'analyse des données de ce document déterminez le rôle des ovaires dans la fonction sexuelle chez la femme.

b) Analyse et conclusion :

• L'analyse des données du document montre que :

- ✓ Chez la femme, le fonctionnement de l'appareil génital féminin est cyclique, il débute à la puberté et s'achève à la ménopause. Ce fonctionnement cyclique concerne les ovaires et l'utérus.
- ✓ L'évènement le plus visible de l'activité cyclique de l'appareil génital féminin est la menstruation, marquant le début de chaque cycle.
- ✓ Les ovaires produisent des hormones sexuelles féminines, en particulier la progestérone et les œstrogènes. Celles-ci sont à l'origine du développement des caractères sexuels secondaires : seins, silhouette, voix, pilosité. Elles orchestrent également le cycle menstruel féminin, l'ovulation et les règles, de la puberté jusqu'à la ménopause.
- ✓ D'après les résultats des expériences :
 - ⇒ L'ablation de l'utérus ne modifie pas l'activité cyclique des ovaires par contre l'ovariectomie bilatérale induit à une atrophie de l'utérus et un arrêt de l'activité cyclique de l'utérus.
 - ⇒ Après la section de tous les nerfs qui innervent l'utérus, on constate que l'activité cyclique de l'utérus reste normale et répond à la stimulation ovarienne.
 - ⇒ Après injection d'extraits ovariens à une rate ovariectomisée, on constate une restauration du cycle utérin et persistance de la stérilité de la rate.

• Conclusion :

- ✓ L'activité cyclique des ovaires n'est pas sous le contrôle de l'utérus, mais les ovaires commandent le fonctionnement utérin.
- ✓ Les deux organes : ovaire et utérus, communiquent par voie sanguine c'est à dire le cycle utérin est commandé par les hormones ovariennes.
- ✓ Les ovaires jouent un double rôle : ils produisent des gamètes femelles (Ovocytes) et secrètent les hormones sexuelles féminines (œstrogènes et progestérone).

② Structures responsables de l'ovogénèse et la sécrétion des hormone féminines :

a) Les structures histologiques de l'ovaire : (Voir document 5)

Document 5 : Les structures histologiques de l'ovaire :

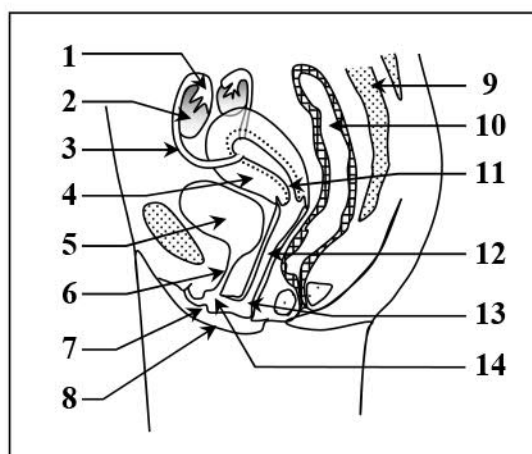


Figure 1 : Coupe sagittale de l'appareil génital féminin

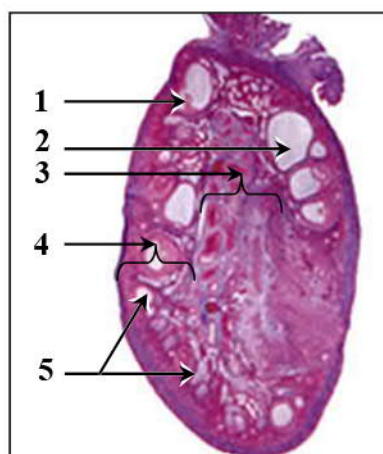


Figure 2 : Coupe transversale d'un ovaire

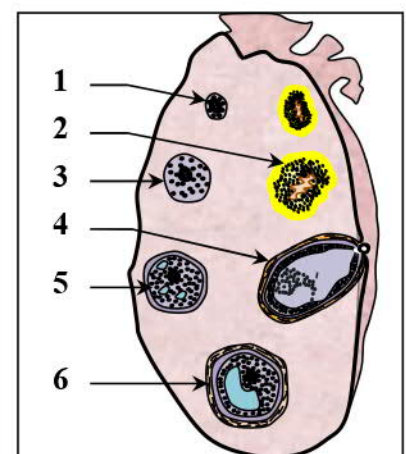


Figure 2 : Schéma de la coupe transversale d'ovaire

En vous basant sur les données de ce document et de vos connaissances, donnez les noms des éléments numérotés. Décrivez ensuite les structures responsables de la formation des gamètes chez la femme.

→ Les noms des éléments numérotés sur le document :

★ Figure 1 : Coupe sagittale de l'appareil génital féminin :

- 1 = Pavillon ; 2 = Ovaire ; 3 = Trompe utérine (Oviducte) ; 4 = Utérus ; 5 = Vessie ;
 6 = Urètre ; 7 = petites lèvres ; 8 = Grandes lèvres ; 9 = Colonne vertébrale ;
 10 = Rectum ; 11 = Col de l'utérus ; 12 = Vagin ; 13 = Orifice du vagin ; 14 = Orifice urinaire.

★ Figure 2 : Coupe transversale d'un ovaire :

- 1 = Follicule mûr (Follicule de De Graaf) ; 2 = Corps jaune ; 3 = Zone médullaire (Médulla) ;
 4 = Zone corticale (Cortex) ; 5 = Follicules.

★ Figure 3 : Schéma de la coupe transversale de l'ovaire :

- 1 = Follicule primordial ; 2 = Corps jaune ; 3 = Follicule primaire ; 4 = Follicule mûr ;
 5 = Follicule secondaire ; 6 = Follicule tertiaire.

→ Description des structures responsables de la formation des gamètes chez la femme :

★ L'appareil génital féminin est constitué essentiellement :

- ✓ Des gonades féminines (Deux ovaires) ;
- ✓ Des voies génitales : les pavillons, les trompes, l'utérus et le vagin ;
- ✓ D'un organe de reproduction : le vagin qui s'ouvre à l'extérieur par des organes génitaux externes.

★ L'observation de la coupe transversale de l'ovaire montre que :

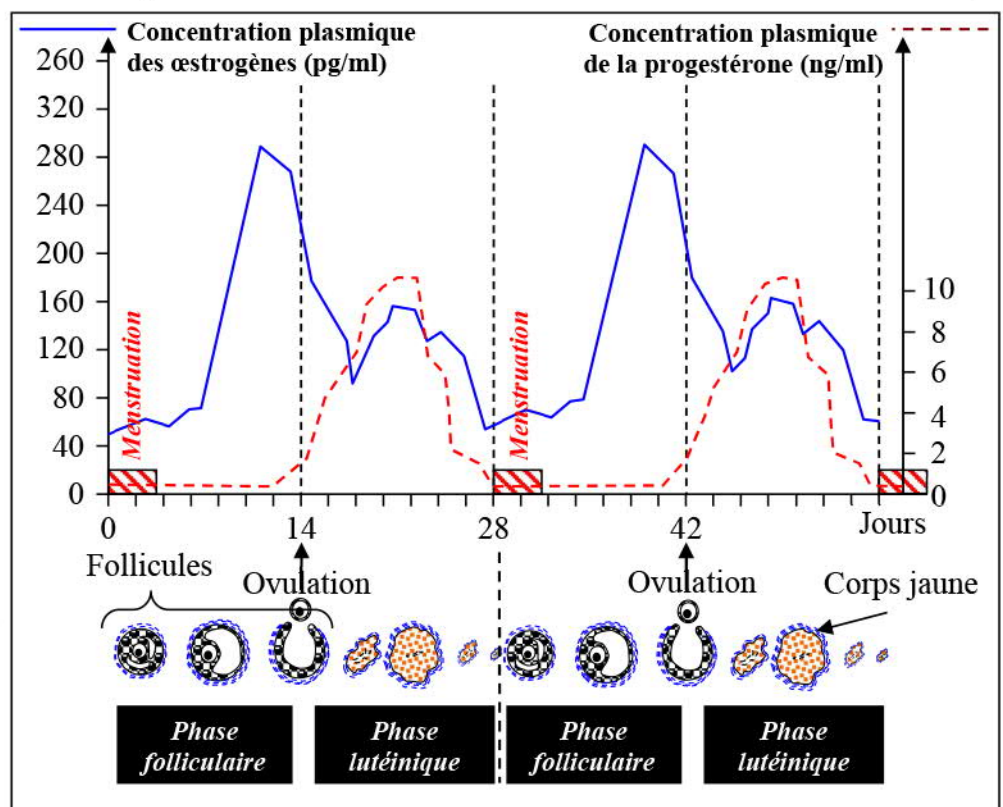
- ✓ L'ovaire présente une partie périphérique : le cortex et une partie centrale : la médulla ;
- ✓ L'ovaire présente des ovocytes qui se trouvent enfermés dans des structures cellulaires, l'ensemble constituant des follicules (Ovocyte entouré de cellules folliculaires).
- ✓ L'ovaire présente des follicules de différentes tailles, ils évoluent à partir d'un stade initial (follicule primordial) vers un follicule mûr, c'est la folliculogénèse.

b) Les structures responsables de la sécrétion des hormones ovariennes :

(Voir document 6)

Document 6 : Les structures responsables de la sécrétion des hormones ovariennes :

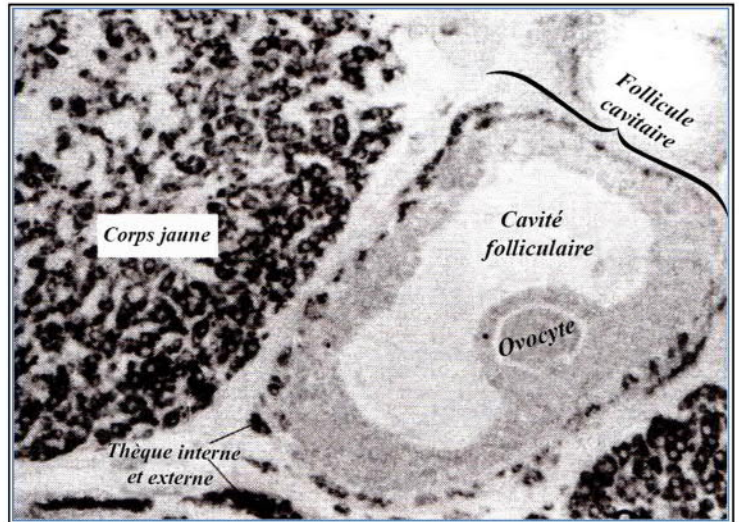
Le graphique ci-contre représente les variations des concentrations plasmatiques d'hormones ovariennes au cours de deux cycles ovariens, Ainsi qu'un schéma montrant les structures caractérisant les phases du cycle ovarien.
 → A partir de ces données :
 ★ Identifier les différentes phases du cycle ovarien.
 ★ Décrire les variations du taux d'œstrogènes et de progestérone au cours du cycle ovarien puis donner une hypothèse qui montre la relation entre l'évolution des structures ovariennes et la variation du taux des hormones ovariennes au cours du cycle ovarien.



Document 6 : Suite :

Les ovaires d'une souris ont subi l'ablation, puis sont imbibés rapidement d'un liquide pour bloquer toutes les réactions métaboliques dans les cellules, ensuite ils sont incubés dans un liquide contenant des anticorps radioactifs qui peuvent se fixer spécifiquement aux enzymes de synthèse des hormones sexuelles féminines. On prépare des coupes de diamètres d'environ 10 µm au niveau des ovaires. Après avoir lavé les coupes pour éliminer l'excès des anticorps (non liés aux enzymes), on détermine les cellules radioactives par autoradiographie.

Les résultats de cette expérience sont représentés sur la figure ci-contre (Les points noirs sur l'image représentent l'endroit où se trouve le radioactivité).



→ A partir de l'analyse de ces données, déterminer les structures tissulaires responsables de la sécrétion d'hormones ovariennes.

→ Exploitation des données du document :

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

- ✓ La phase de développement des follicules = **phase folliculaire** ou phase pré-ovulatoire. Au cours de cette phase un follicule ovarien évolue en follicule mûr.
- ✓ La phase de l'ovulation = **Ovulation** qui se produit généralement au 14^{ème} jour. Le follicule mûr éclate et expulse l'ovocyte vers le pavillon de la trompe.
- ✓ La phase de développement du corps jaune = **phase Lutéinique** = **phase Lutéale** ou phase post ovulatoire, le corps jaune se forme à partir du follicule mûr qui a expulsé l'ovocyte.

★ Les hormones ovariennes sont sécrétées de manière cyclique. Les œstrogènes sont sécrétés tout au long du cycle sexuel, atteignant une valeur maximale pendant la phase folliculaire, 24 à 36 heures, avant l'ovulation. Alors que La progestérone est sécrétée au cours de la deuxième phase de chaque cycle sexuel. Donc les sécrétions ovariennes changent au cours des deux phases du cycle sexuel, la phase pré-ovulation appelée phase folliculaire et la phase post-ovulation appelée phase lutéinique.

L'évolution des follicules entraîne l'élévation de la concentration des œstrogènes pendant la phase folliculaire et l'évolution du corps jaune entraîne l'augmentation de la concentration de la progestérone pendant la phase lutéinique.

→ En se basant sur les résultats de l'expérience, les structures tissulaires responsables de la sécrétion d'hormones ovariennes sont :

- ✓ Les œstrogènes sont sécrétés par la thèque interne et la couche granuleuse des follicules cavitaires et mûrs et aussi par le corps jaune
- ✓ La progestérone est sécrétée par des cellules lutéiniques du corps jaune.

III – Relation fonctionnelle entre les ovaires et l'utérus :

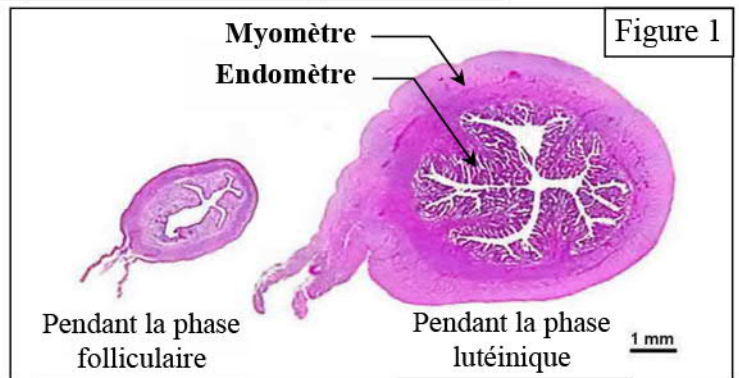
Le sang qui s'écoule du vagin lors de la menstruation et qui marque le début du cycle sexuel provient de l'utérus, on parle du cycle utérin. Les cycles utérin et ovarien se produisent de manière synchrone, cela implique une relation entre les ovaires et l'utérus.

Comment donc peut-on expliquer la synchronisation entre le cycle utérin et le cycle ovarien ?

(Voir document 7)

Document 7 : Synchronisation entre le cycle ovarien et le cycle utérin :

★ La paroi de l'utérus est constituée de deux couches, une externe constituée essentiellement de muscles lisses : myomètre, et une interne constituée d'un tissu conjonctif richement vascularisé revêtu d'un épithélium glandulaire : endomètre (= muqueuse utérine). La figure 1 ci-contre présente des photographies de coupes de l'utérus en différentes phases du cycle sexuel.



★ L'ovaire secrète deux types d'hormones : les œstrogènes et la progestérone. On suit simultanément l'évolution du taux plasmatique de ces hormones au cours d'un cycle menstruel, ainsi que l'évolution des structures ovariennes. Les résultats de cette étude sont présentés sur la figure 2 ci-contre.

★ Le tableau du document 3 ci-dessous, présente des données expérimentales démontrant la relation entre les ovaires et l'utérus.

A partir de l'analyse de ces résultats, mettre en relation la variation du taux plasmatique des hormones ovariennes et l'évolution des structures utérines. Que peut-on en déduire ?

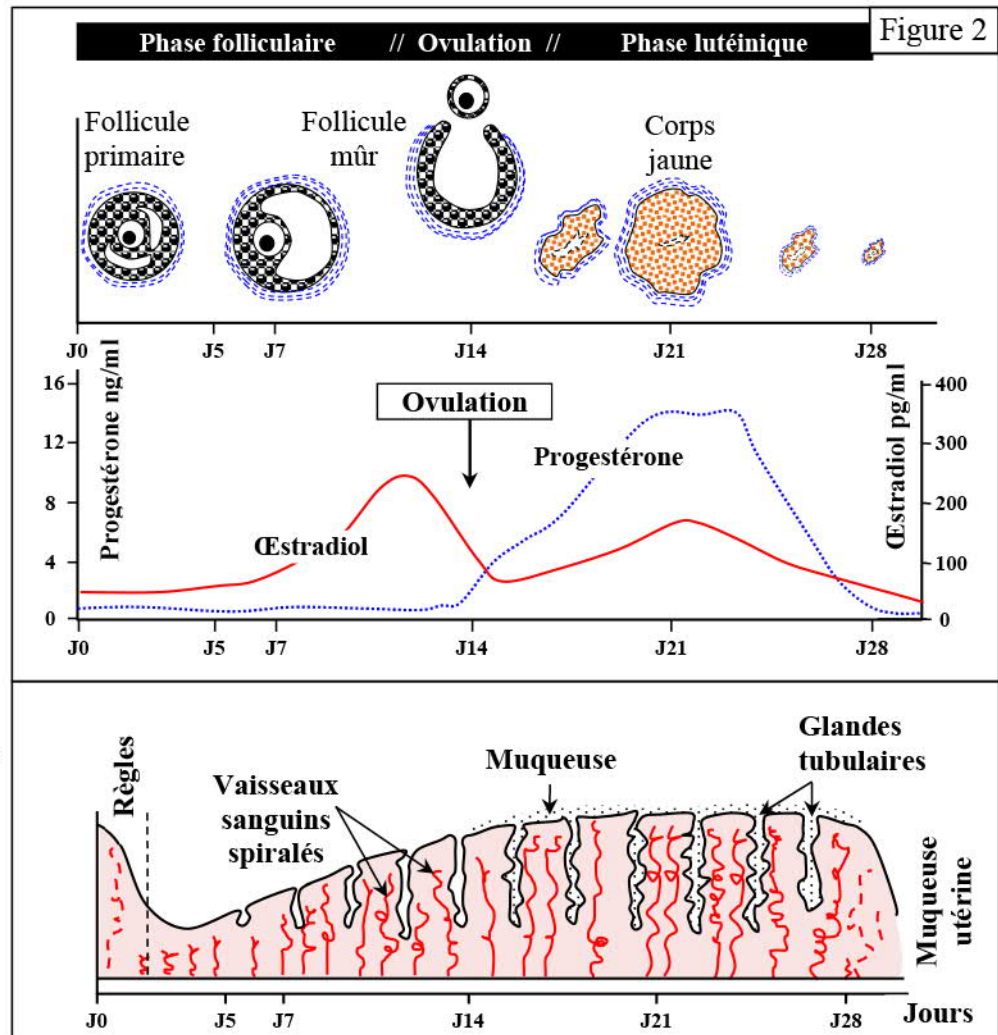


Figure 3	Expérience	Résultats
	1. Ablation de l'utérus chez une rate pubère.	- Aucun effet sur le cycle ovarien.
	2. Ablation des ovaires (ovariectomie) d'une rate pubère.	- Absence des règles ; - Arrêt du cycle utérin et atrophie de l'utérus.
	3. Section de tous les nerfs qui innervent l'utérus.	- Activité cyclique de l'utérus normale.
	4. Greffe sous-cutanée d'un fragment de l'utérus à une rate pubère.	- Le fragment greffé subit les mêmes transformations que l'utérus en place.
	5. Injection d'extraits ovariens à une rate pubère ovariectomisée.	- Développement (prolifération) de l'endomètre sans variation cyclique.

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

- ✓ La phase post menstruelle montre un accroissement de l'épaisseur de la muqueuse, avec prolifération des vaisseaux sanguins et développement des glandes en tubes on parle de phase de prolifération.
- ✓ La phase prémenstruelle est caractérisée par l'épaississement de la muqueuse et l'allongement des glandes qui deviennent sinueuses, donnant à la muqueuse un aspect de dentelle, elles se remplissent de sécrétions, on parle de phase sécrétrice.
- ✓ A la fin du cycle et en absence de la fécondation, la partie supérieure de la muqueuse se nécrose, se fragmente et tombe entraînant des saignements qui durent 4 à 5 jours. C'est la menstruation ou règles.

★ *D'après les résultats des expériences on constate que :*

- ✓ L'ablation de l'utérus ne modifie pas l'activité cyclique des ovaires par contre l'ovariectomie bilatérale induit à une atrophie de la muqueuse utérine c'est à dire un arrêt de l'activité cyclique de l'utérus. Donc l'activité cyclique des ovaires n'est pas sous le contrôle de l'utérus, mais les ovaires commandent le fonctionnement utérin.
- ✓ Après la section de tous les nerfs qui innervent l'utérus, on constate que l'activité cyclique de l'utérus reste normale, et un fragment de muqueuse utérine greffé en un point quelconque du corps répond à la stimulation ovarienne et suit le même cycle de l'utérus déjà en place.

Après injection d'extraits ovariens à une rate ovariectomisée, on constate une prolifération de l'endomètre sans variations cycliques. Donc les deux organes communiquent par voie sanguine c'est à dire le cycle utérin est commandé par les hormones ovariennes.

★ *Conclusions :*

Les cycles ovariens et utérins sont synchrones et coordonnés car l'ovaire commande le cycle utérin par différentes hormones qui sont les œstrogènes et la progestérone.

- ✓ Au cours de la phase folliculaire, sous l'action de l'œstradiol, la muqueuse utérine s'épaissit se vascularise et forme des glandes.
- ✓ Au cours de la phase lutéale, le développement de la muqueuse s'accroît sous l'action combinée des deux hormones ovariennes : l'œstradiol et la progestérone secrétées par le corps jaune.
- ✓ La chute du taux plasmatique de ces hormones à la fin du cycle, suite à la régression du corps jaune, provoque le détachement de la partie supérieure de l'endomètre, ce qui entraîne la menstruation au début du cycle suivant.

IV – Rôle de l'hypophyse et l'hypothalamus dans la régulation de la reproduction chez l'Homme :

Les gonades jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement de l'appareil sexuel à travers les hormones sexuelles, ce qui nécessite une régulation de leur sécrétion.

Comment s'effectue donc la régulation des sécrétions des hormones sexuelles chez l'Homme et chez la femme ?

① **Régulation des sécrétions des hormones sexuelles chez l'homme :**

a) Le complexe hypothalamo-hypophysaire : (Voir document 8)

Document 8 : Le complexe hypothalamo-hypophysaire :

★ Anatomie du complexe hypothalamo-hypophysaire :

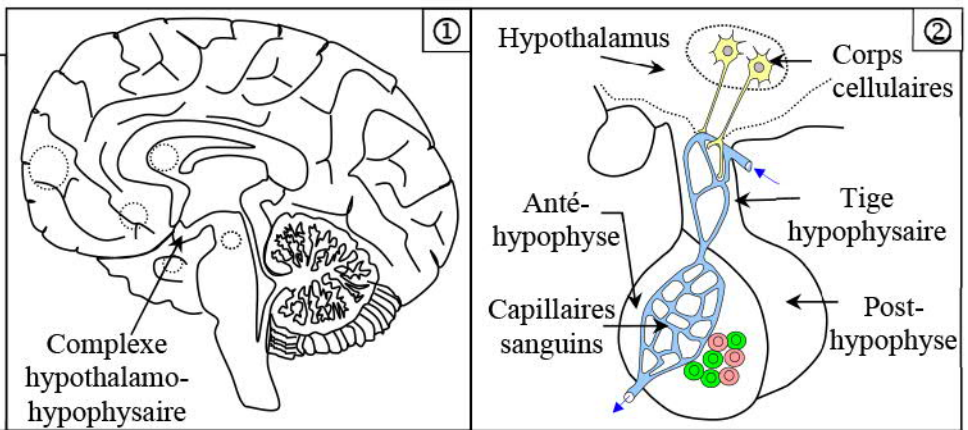
- ✓ L'hypophyse est une glande du système nerveux central, située à la base du cerveau, reliée à l'hypothalamus par la tige pituitaire.
- ✓ L'hypophyse est formée par deux lobes :
 - L'antéhypophyse (adénohypophyse) qui contient des cellules sécrétant des hormones dans le sang : LH : (Luteinising Hormone) et FSH (Follicule Stimulating Hormone).
 - La posthypophyse (neurohypophyse) qui est une excroissance de l'hypothalamus formée d'axones relâchant dans le sang des neurohormones : GnRH (Gonadotrophin-Releasing Hormone).

Document 8 : Suite :

Localisation et anatomie du complexe hypothalamo-hypophysaire :

① : Localisation du complexe hypothalamo-hypophysaire.

② : Schéma représentant le complexe hypothalamo-hypophysaire.



★ Observations cliniques :

- ✓ Des lésions au niveau de l'hypophyse (Voir figure 1) entraînent un arrêt du fonctionnement testiculaire.
- ✓ Certaines lésions de l'hypothalamus provoquent des perturbations du fonctionnement hypophysaire et du fonctionnement testiculaire.
- ✓ L'hypophysectomie des femelles de chimpanzés génère une disparition des cycles ovariens et utérins. Ces perturbations peuvent être corrigés par des injections des extraits de l'hypophyse.

Décrire la liaison anatomique entre l'hypothalamus et l'hypophyse et proposer une hypothèse pour expliquer les observations cliniques.

- L'hypothalamus est une zone à la base de l'encéphale qui contient des amas de neurones. Il est rattaché à l'hypophyse par l'intermédiaire de la tige hypophysaire, riche en capillaires sanguins.
- D'après les observations cliniques, on suppose que le contrôle de l'activité des testicules est réalisé par le complexe hypothalamo-hypophysaire.

b) Rôle de l'hypophyse dans la régulation des sécrétions hormonales testiculaires : (Voir document 9)

Document 9 : Rôle de l'hypophyse dans la régulation des hormones testiculaires :

Pour montrer la relation physiologique entre l'hypophyse et les testicules, on expérimente sur des mammifères. Les résultats de ces expériences sont présentés sur le tableau suivant :

<i>Expériences</i>	<i>Résultats</i>
Ablation de l'hypophyse (Hypophysectomie) chez un rat pubère.	- Atrophie des testicules ; - Régression des tubes séminifères et du tissu interstitiel ; - Arrêt de la production de spermatozoïdes et de la testostérone.
Injection d'extraits hypophysaires au même rat.	Reprise de la spermatogenèse et de la sécrétion de la testostérone.
On injecte à des animaux hypophysectomisés des doses de FSH.	Les tubes séminifères se développent de nouveau (sans rétablissement de la spermatogenèse).
On injecte à des animaux hypophysectomisés des doses de LH.	Les cellules interstitielles se développent de nouveau et deviennent fonctionnelles.
On injecte simultanément la FSH et la LH.	Rétablissement de la spermatogenèse et de la production de la testostérone.
Lésion de certaines zones de l'hypothalamus chez des mammifères.	- Atrophie des testicules bien que l'hypophyse soit intacte. - Arrêt de la spermatogenèse et de la sécrétion de testostérone. - Baisse notable du taux plasmatique de FSH et LH.

A partir de l'analyse des résultats de ces expériences :

- 1) Dégager la nature de la relation entre hypophyse et testicule. Préciser les rôles de la FSH et de la LH.
- 2) Expliquer comment l'hypothalamus contrôle les fonctions testiculaires.

- 1) D'après les résultats de ces expériences on constate que :
- L'ablation de l'hypophyse chez un rat pubère à pour cause, l'arrêt complet du fonctionnement testiculaire. Donc l'hypophyse est responsable de la régulation de l'activité testiculaire.
 - L'injection d'extraits hypophysaires au même rat, montre la reprise du fonctionnement testiculaire, Donc l'hypophyse agit par voie hormonale sur les testicules.

Le mode d'action des hormones hypophysaires FSH et LH :

- La FSH favorise la spermatogénèse ;
 - La LH stimule la production de la testostérone par les cellules de Leydig (Cellules interstitielles).
- 2) La lésion de certaines zones de l'hypothalamus chez des mammifères a causé l'arrêt de la libération de FSH et LH par l'hypophyse antérieure, avec atrophie des testicules et arrêt de leurs activités. Donc l'hypothalamus contrôle et règle l'activité de l'hypophyse antérieure.
- L'extrémité axonique des neurones hypothalamiques, en contact avec les capillaires sanguins, y déverse une hormone : la GnRH qui va être transportée aux cellules de l'antéhypophyse et stimule la production de LH et FSH.

c) Modalité des sécrétions hypothalamiques : (Voir document 10)

Document 10 : Modalité des sécrétions hypothalamiques :

Pour déterminer la modalité des sécrétions hypothalamiques, on pratique des injections de GnRH selon des modalités variables. Les résultats de ces expériences sont présentés dans le tableau suivant :

<i>Expériences</i> <i>Modes d'administration de GnRH</i>	<i>Résultats</i> <i>Taux sanguins des gonadotrophines Hypophysaires</i>
Perfusion continue	Nul
Injection de 6µg toutes les heures	Normal
Injection de 6µg toutes les 3 heures	Très faible
Injection de 6µg toutes les quatre heures	Quasi nul
Injection de 0.6µg toutes les heures	Quasi nul
Injection de 60µg toutes les heures	Pratiquement normal

Analyser le tableau et déterminer les conditions d'efficacité des sécrétions hypothalamiques.

D'après le tableau on constate que le taux sanguin des gonadotrophines hypophysaires est anormal dans toutes les expériences sauf dans le cas où l'injection de GnRH est de 6 µg toutes les heures, ceci montre que, l'activité sécrétoire de l'hypophyse ne peut se faire qu'à la suite de la libération de GnRH d'une façon pulsatile.

d) Contrôle de l'activité de l'antéhypophyse par l'hypothalamus :

(Voir document 11)

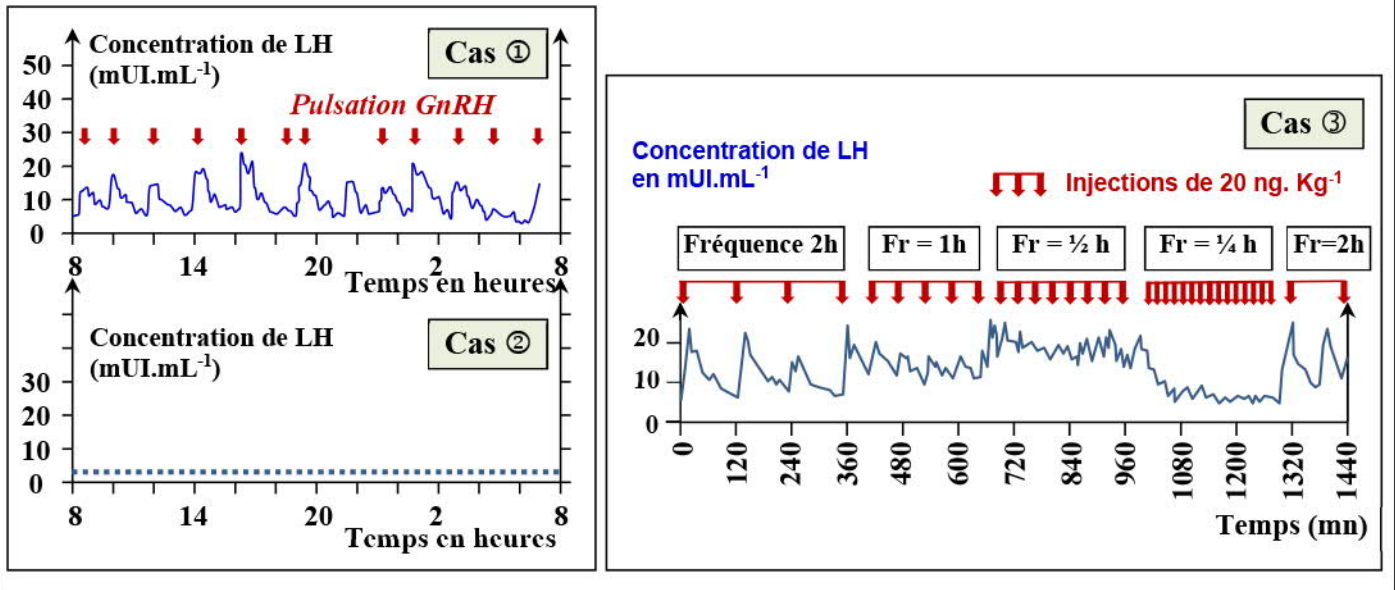
Document 11 : Contrôle de l'activité de l'antéhypophyse par l'hypothalamus :

★ Pour montrer le contrôle de l'activité de l'hypophyse par l'hypothalamus, on réalise chez un animale :

<i>Expériences</i>	On détruit des cellules nerveuses de l'hypothalamus.	Stimulation électrique des mêmes neurones chez un animal normal.	Isolement de l'antéhypophyse de l'hypothalamus à l'aide d'une plaque de téflon.	Prise sanguine à partir de la tige pituitaire et son analyse.
<i>Résultats</i>	Arrêt de la sécrétion de FSH et LH	Sécrétion abondante de FSH et LH par l'antéhypophyse	Arrêt de sécrétion de FSH et LH par l'antéhypophyse	Isolement de GnRH

Document 11 : Suite :

- ★ On réalise le dosage de la concentration plasmatique de LH dans trois cas :
- ✓ Cas ① : Enregistrement de la sécrétion de LH chez un homme normal.
- ✓ Cas ② : Sécrétion de LH chez un homme souffrant d'un arrêt complet de GnRH.
- ✓ Cas ③ : Sécrétion de LH chez un homme souffrant d'un arrêt complet de GnRH, avec injections de GnRH à des fréquences différentes.



- ★ D'après les données expérimentales présentées par le tableau du document on constate que :
- ✓ La destruction de cellules nerveuses de l'hypothalamus entraîne l'arrêt de la sécrétion de LH et FSH par l'hypophyse. Alors que la stimulation de ces cellules chez un individu normal provoque la sécrétion de FSH et LH.
- ✓ L'isolement de l'hypophyse de l'hypothalamus provoque l'arrêt de la sécrétion de FSH et LH par l'hypophyse.
- ✓ L'hypothalamus libère dans le sang porte hypophysaire, la GnRH (ou gonadolibérine), qui stimule les sécrétions hypophysaires.
- ★ Le dosage de la concentration plasmatique de LH dans trois cas montre que :
- ✓ Chez un individu normal, la sécrétion de LH par l'hypophyse est activée par la GnRH sécrétée par l'hypothalamus.
- ✓ Chez un individu souffrant d'un arrêt complet de GnRH, la sécrétion de LH par l'hypophyse ne se fait pas. Cette sécrétion reprend en injectant à cette individu la GnRH.
- ✓ La sécrétion de LH dépend du mode d'injection de la GnRH (fréquence).

Conclusion :

L'hypophyse sécrète une neurohormone grâce aux neurones sécrétrices, la GnRH (Gonadolibérine) qui est libérée de façon pulsatile. Cette hormone active la production des hormones hypophysaires (FSH et LH). Les relations entre l'hypophyse et l'hypothalamus se font par voie nerveuse via les neurones sécrétrices et par voie sanguine via les capillaires sanguins de la tige hypophysaire. On parle donc d'intégration neurohormonale.

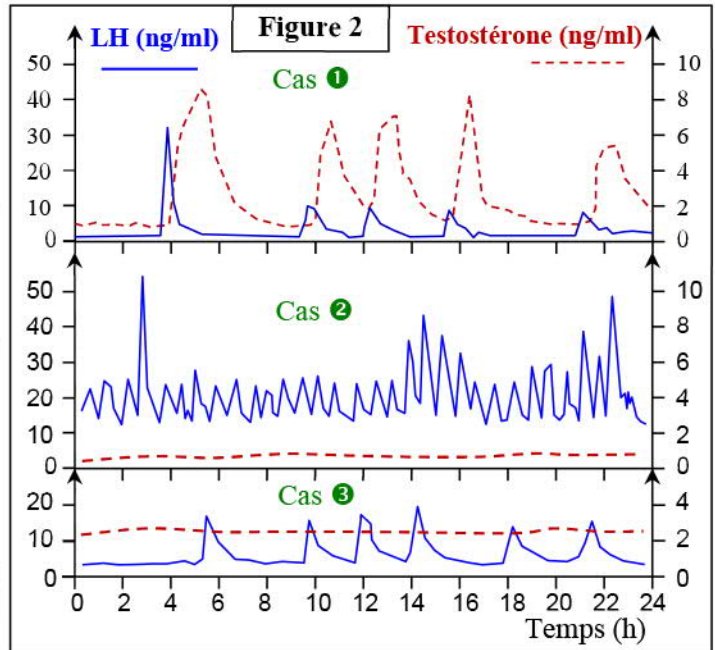
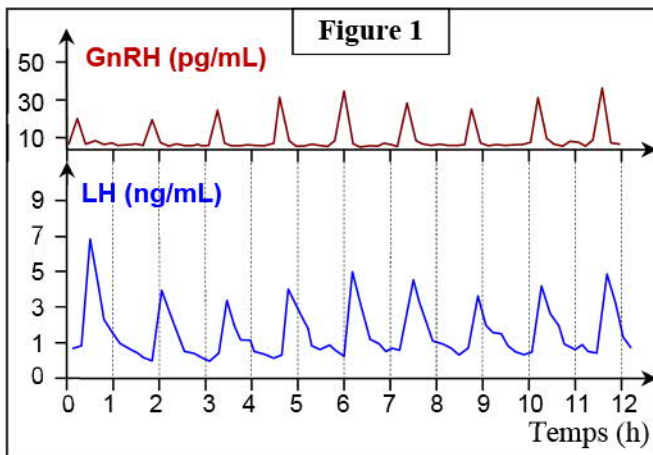
e) Contrôle de l'activité du complexe hypothalamo-hypophysaire :

- ★ **Données expérimentales :** (Voir document 12)

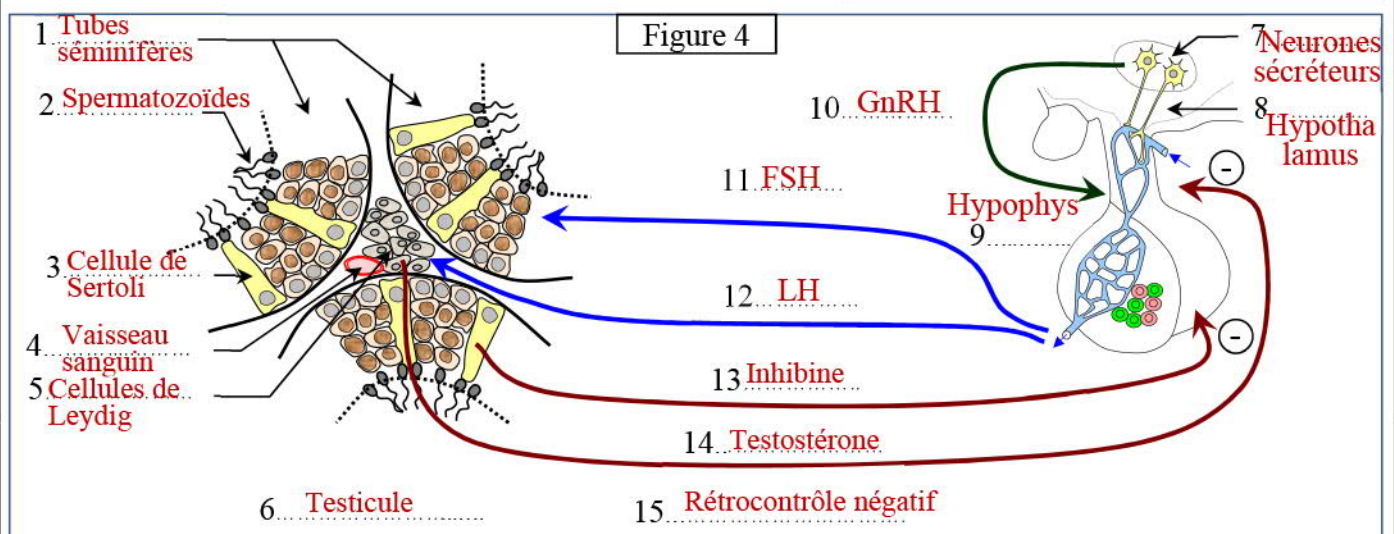
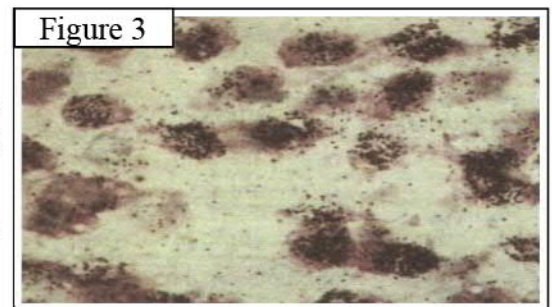
Document 12 : Contrôle de l'activité du complexe hypothalamo-hypophysaire :

Pour déterminer comment s'effectue le contrôle du complexe hypothalamo-hypophysaire, on réalise des expériences sur des béliers :

- ★ L'ablation des testicules d'un bélier entraîne l'élévation de sécrétion de FSH et LH et l'hypertrophie de quelques cellules de l'antéhypophyse.
- ★ La figure 1 présente les variations de la sécrétion de GnRH et de LH chez un bélier castré.
- ★ Le graphique de la figure 2 présente la sécrétion de LH et de testostérone dans trois cas :
 - Cas ❶ : chez un bélier adulte normal, possédant des testicules fonctionnels.
 - Cas ❷ : chez un bélier adulte, 6 semaines après sa castration.
 - Cas ❸ : chez un bélier adulte castré, et porteur d'un implant sous-cutané libérant de la testostérone.



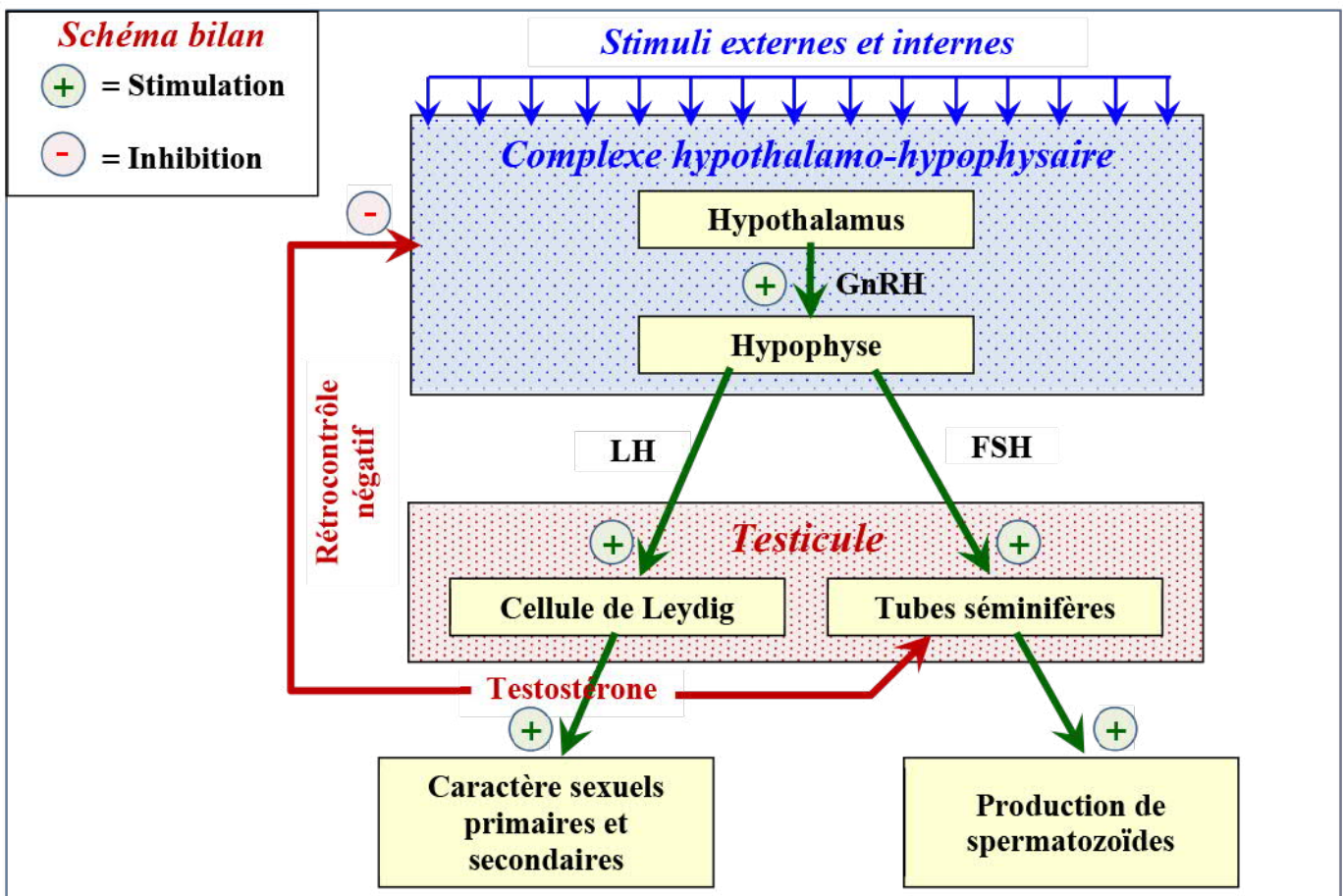
- ★ Chez une souris mâle castrée, on injecte dans la circulation générale de la testostérone marquée par un isotope radioactif. On réalise ensuite une autoradiographie d'une coupe fine d'hypothalamus. Les photographies de la figure 3 ci-contre présentent les résultats obtenus.
- ★ La figure 4 présente un schéma explicatif du rétrocontrôle de l'activité du complexe hypothalamo-hypophysaire par les hormones testiculaires.



En exploitant les données de ce document, décrire le mécanisme du rétrocontrôle du complexe hypothalamo-hypophysaire par les hormones testiculaires et préciser ses niveaux d'action. En se basant sur les données de la figure 4, réaliser un schéma bilan de la régulation de la fonction de reproduction chez l'homme.

★ **Exploitation des données expérimentales :**

- ★ L'ablation des testicules provoque l'absence de testostérone, ce qui entraîne l'élévation de sécrétion de FSH et LH et l'hypertrophie de quelques cellules de l'antéhypophyse. Donc la sécrétion de FSH et LH par certaines cellules de l'antéhypophyse est sous l'effet de la testostérone.
- ★ D'après les données de la figure 1, on constate que la sécrétion de la LH, par l'hypophyse antérieure, suit directement la sécrétion de la GnRH, par l'hypothalamus. On peut dire donc que la sécrétion pulsatile de la GnRH contrôle les sécrétions de l'hypophyse.
- ★ D'après les données de la figure 2, on constate que :
 - ✓ Chez un bélier normal, possédant des testicules fonctionnels (Cas ❶), le taux sanguin de LH est faible et sa sécrétion se fait d'une façon normale pulsatile.
 - ✓ Chez un bélier, 6 semaines après sa castration (Cas ❷), on constate que la sécrétion de LH est importante et périodique.
 - ✓ Chez un bélier castré, qui a reçu un implant délivrant de la testostérone (Cas ❸), on constate que la sécrétion de la LH reste pulsatile normale.
- ★ Réalisation d'un schéma bilan de la régulation de la fonction de reproduction chez l'homme :
 - ⇒ L'hypophyse antérieure sécrète FSH et LH qui agissent sur les testicules :
 - FSH stimule les cellules de Sertoli et active la spermatogenèse dans les tubes séminifères.
 - LH stimule la sécrétion de la testostérone par les cellules interstitielles (de Leydig).
 - ⇒ Si la concentration sanguine de testostérone produite par les testicules est importante, celle-ci exerce à son tour une action sur le complexe hypothalamo-hypophysaire. Cette action est inhibitrice puisqu'elle ralentit l'activité de l'hypothalamus et par suite l'activité de l'hypophyse. On parle de rétrocontrôle négatif.
 - ⇒ Si à l'inverse, la concentration de testostérone est faible, le rétrocontrôle négatif diminue : il y a production accrue de gonadostimulines et de testostérone. Le taux de testostérone est ainsi parfaitement maintenu dans les valeurs de référence.



② Régulation des sécrétions des hormones sexuelles chez la femme :

a) Contrôle du cycle ovarien par l'hypophyse :

★ Mise en évidence de la relation entre l'hypophyse et l'activité ovarienne : (Voir document 13)

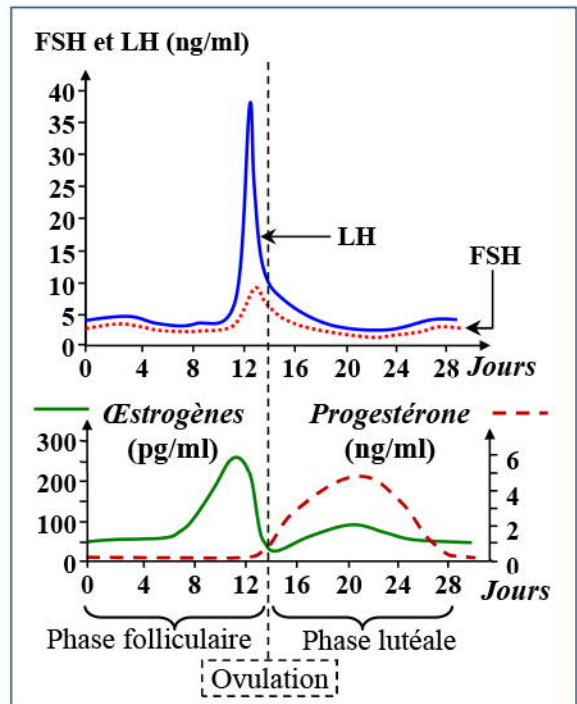
Document 13 : Mise en évidence de la relation entre l'hypophyse et l'ovaire :

★ Observations cliniques :

- ✓ Une tumeur au niveau de l'hypophyse chez la femme peut conduire à des perturbations affectant le fonctionnement de l'appareil reproducteur comme l'arrêt des règles et l'absence de l'ovulation.

★ Expériences :

- ✓ L'hypophysectomie des femelles de chimpanzés génère une disparition des cycles ovariens et utérins. Ces perturbations peuvent être corrigées par des injections répétitives des extraits de l'hypophyse.
- ✓ L'analyse chimique du milieu de culture de l'hypophyse antérieure met en évidence un enrichissement de ce milieu par deux hormones appelées FSH et LH.
- ✓ On suit l'évolution des concentrations plasmatiques des hormones ovariennes et hypophysaires au cours d'un cycle sexuel chez la femme. Les résultats de cette étude sont représentés sur la figure ci-contre.



A partir de l'analyse des données de ce document, déduire l'effet de l'hypophyse sur l'activité ovarienne.

★ Analyse et déduction :

A partir de l'analyse des données du document on constate que :

- ⇒ Une tumeur au niveau de l'hypophyse, ou bien l'ablation de l'hypophyse, entraîne l'atrophie des ovaires et de l'utérus avec arrêt des cycles ovarien et utérin ; alors que l'injection périodique d'extraits hypophysaires dans ces cas, rétablit les cycles ovarien et utérin. On déduit de ces résultats que le fonctionnement de l'ovaire et de l'utérine est sous le contrôle directe (pour les ovaires) ou indirecte (pour l'utérus) des sécrétions hypophysaires.
- ⇒ Le cycle ovarien est contrôlé par deux hormones sécrétées par l'hypophyse (gonadostimulines ou gonadotrophines) :
 - ✓ La FSH (hormone de stimulation folliculaire) : elle est produite avec prédominance pendant la phase folliculaire et plus faiblement pendant la phase lutéinique. Elle stimule le développement des follicules ovariens (folliculogénèse) et par suite la sécrétion de l'œstradiol (œstrogène) par ces follicules.
 - ✓ La LH (hormone lutéinisante) : Elle est produite avec un taux stable et faible pendant presque tout le cycle avec un pic juste avant l'ovulation. Le pic de LH déclenche l'ovulation, transforme le follicule rompu en corps jaune et stimule la sécrétion d'œstradiol et de progestérone par le corps jaune.

b) Rôle de l'hypothalamus dans le contrôle de l'activité de l'hypophyse :

(Voir document 14)

Document 14 : Rôle de l'hypothalamus dans le contrôle de l'activité de l'hypophyse :

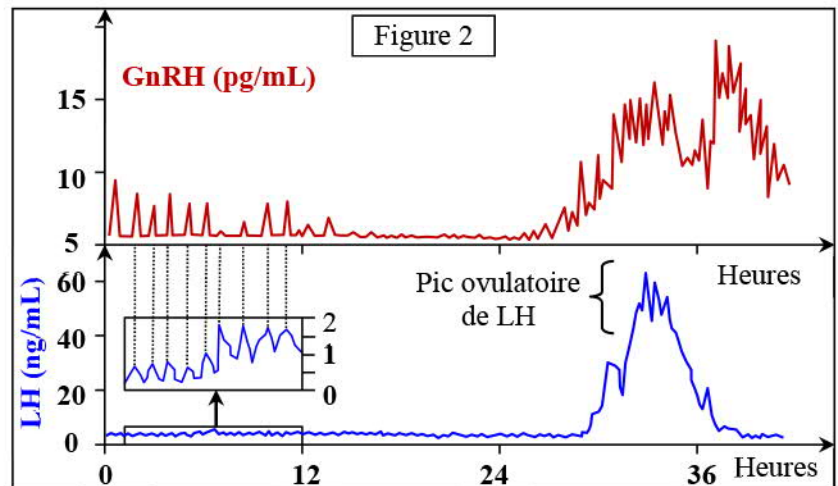
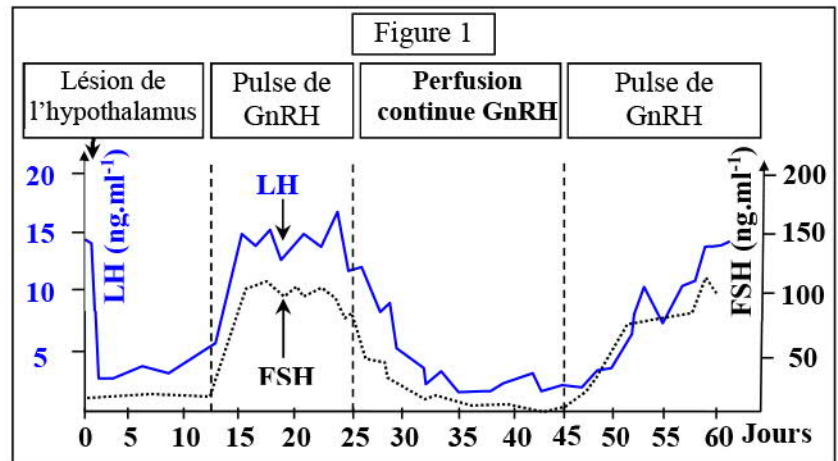
★ Chez la femelle de singe macaque rhésus, on mesure les taux plasmatiques de FSH et LH dans les conditions suivantes :

- Après une lésion localisée de l'hypothalamus ;
 - Après injection, de manière pulsatile, des extraits d'hypothalamus (GnRH) ;
 - Après injection, de manière continue, des extraits d'hypothalamus (GnRH).
- Les résultats de ces expériences sont présentés par les graphiques de la figure 1.

★ Chez une brebis, on détermine l'évolution des taux de GnRH et de LH en phase folliculaire et pendant le pic ovulatoire.

Les résultats de cette étude sont présentés par les graphiques de la figure 2.

A partir de l'analyse de ces données, déterminer le rôle de l'hypothalamus et le mode d'action de GnRH sur les sécrétions de FSH et LH.



★ **Figure 1 :** Chez la femelle du singe, ayant subi une lésion localisée de l'hypothalamus, on observe :

- ✓ Une chute brutale des taux plasmatiques de LH et FSH ;
- ✓ Une sécrétion élevée et pulsatile de FSH et de LH, après injection pulsatile de GnRH ;
- ✓ Une sécrétion faible de FSH et de LH, après injection continue de GnRH.

★ **Figure 2 :** Chez une brebis normale, on constate que :

- ✓ Une sécrétion pulsatile de GnRH stimule la production des gonadostimulines FSH et LH durant tout le cycle menstruel.
- ✓ Un pic de GnRH provoque un pic de LH ou « décharge ovulante » qui va provoquer l'ovulation.

L'hypothalamus agit sur l'hypophyse par l'intermédiaire de l'hormone GnRH, sécrétée par des cellules nerveuses groupées en amas dans l'hypothalamus puis transportée par le sang à l'antéhypophyse, ce qui stimule cette structure qui sécrète FSH et LH.

c) Contrôle du complexe hypothalamo-hypophysaire :

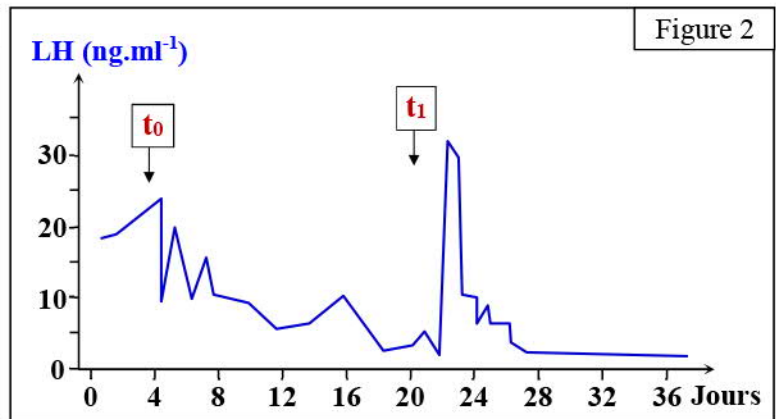
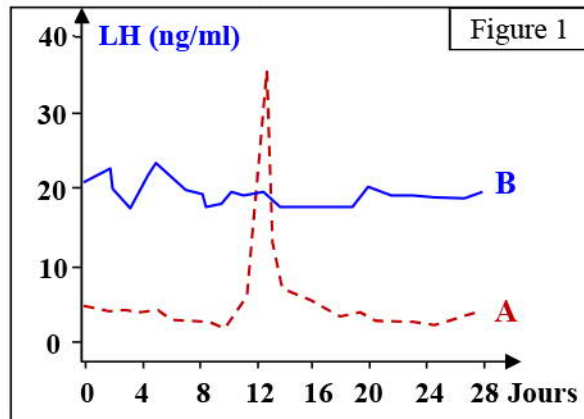
(Voir document 15)

Document 15 : Contrôle du complexe hypothalamo-hypophysaire :

La sécrétion périodique des gonadotrophines FSH et LH par le complexe hypothalamo-hypophysaire indique l'existence d'un mécanisme régulant l'activité de ce complexe. Pour savoir comment est surveillée l'activité du complexe hypothalamo-hypophysaire, nous réalisons les expériences suivantes :

- ★ Chez une guenon (femelle de singe) normale, on a mesuré la concentration plasmatique de LH au cours d'un cycle sexuel. La figure 1 représente les résultats de cette expérience (A = guenon normale, B = guenon ovariectomisée).

Document 15 : (Suite) :



★ Chez une guenon ovariectomisée, des injections d'œstradiol sont réalisées suivant le protocole ci-dessous :

- ✓ Depuis le temps t_0 et jusqu'à la fin de l'expérience, on pratique la perfusion continue d'œstradiol qui maintient le taux plasmatique à une valeur de l'ordre de 60 pg.ml^{-1} qui est une valeur proche de la concentration trouvée dans le sang au début du stade folliculaire ;
- ✓ Au temps t_1 , on injecte une forte dose supplémentaire d'œstradiol qui est similaire à celle trouvée dans le sang à la fin du stade folliculaire.

★ On obtient les résultats représentés sur la figure 2.

Décrire les résultats des expériences figurant sur ce document puis déduire l'effet des hormones ovariennes sur le complexe hypothalamo-hypophysaire.

★ **La figure 1 :** Contrairement au cycle normal chez la guenon A, on constate chez la guenon (B) ovariectomisée (c'est-à-dire l'absence d'hormones ovariennes tel que l'œstradiol), que le taux de LH est élevé, sa sécrétion est continue et n'est pas cyclique.

Donc les hormones ovariennes inhibent la sécrétion d'hormones hypophysaires (LH).

On peut déduire que l'ovaire exerce par l'intermédiaire de ses hormones, une rétroaction (rétrocontrôle ou feed-back) sur le complexe hypothalamo-hypophysaire.

★ **La figure 2 :** Chez la guenon ovariectomisée, l'évolution du taux de LH varie en fonction des conditions d'injection d'hormones ovariennes. On constate que :

- ✓ Avant la perfusion d'œstradiol (avant t_0). Le taux plasmatique de LH atteint 25 pg.ml^{-1} .
- ✓ Entre t_0 et t_1 , la perfusion continue d'œstradiol à faible dose (60 pg.ml^{-1}) est accompagnée par une diminution de taux de LH (de 20 à 2 pg.ml^{-1} en 18 jours) : c'est un rétrocontrôle négatif.
- ✓ Au temps t_1 , l'injection supplémentaire d'une forte dose d'œstradiol est marquée par une augmentation brusque (Pic de LH : 32 pg.ml^{-1}) : c'est un rétrocontrôle positif qui se produit juste avant l'ovulation.

On peut déduire que l'œstradiol à faible dose inhibe l'hypophyse, tandis qu'à forte dose il le stimule.

Conclusion : (Voir document 16)

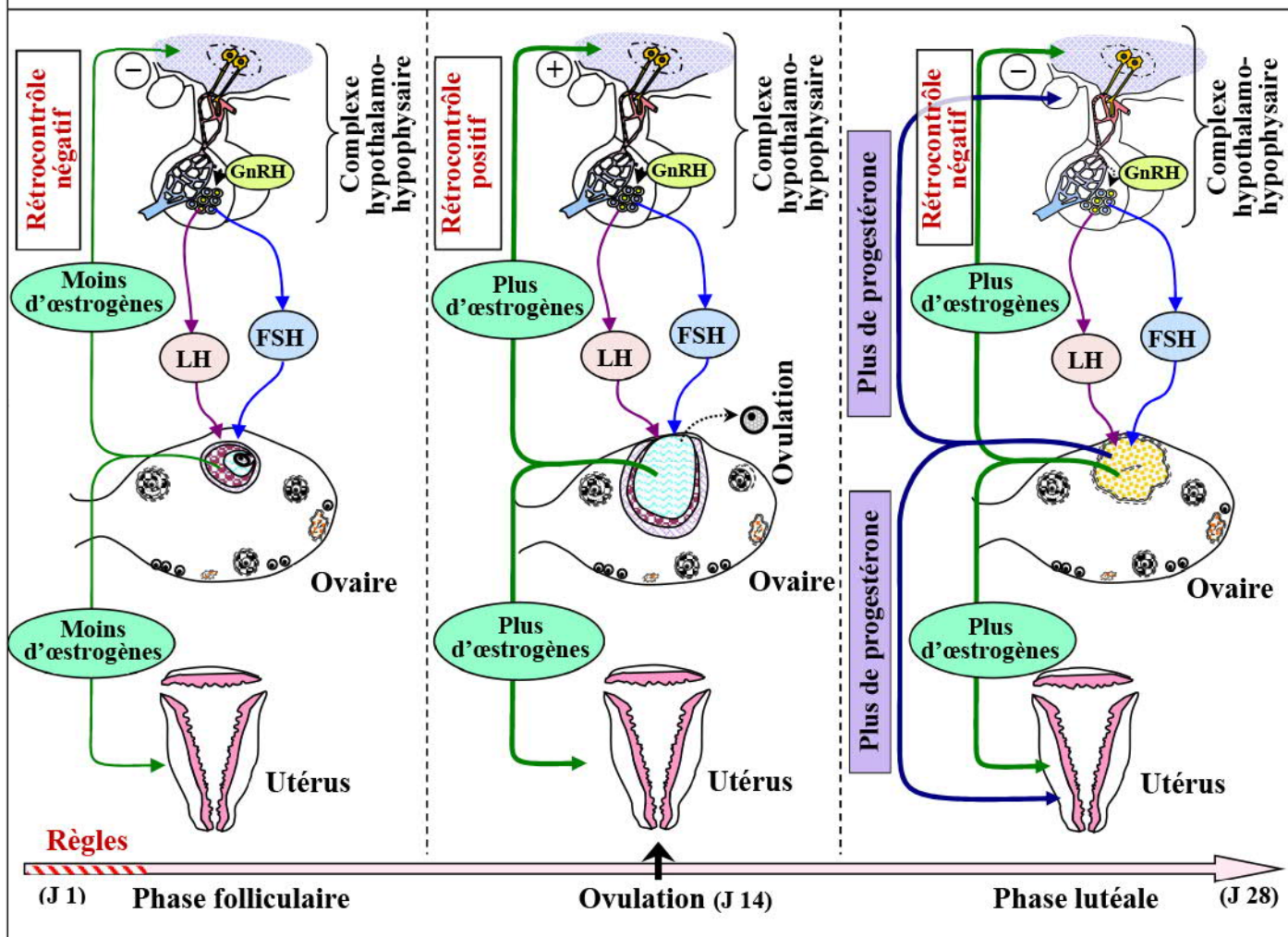
Durant le cycle sexuel, les sécrétions ovariennes (œstrogène et progestérone) exercent sur le complexe hypothalamo-hypophysaire, des rétrocontrôles ou feed-back. Ceci diffère en fonction des phases du cycle :

- ✓ Au début de la phase folliculaire : l'œstrogène, produits par les follicules ovariens à faible concentration, exerce un rétrocontrôle négatif sur la sécrétion de GnRH de FSH et de LH, par le complexe hypothalamo-hypophysaire.
- ✓ A la fin de la phase folliculaire (Phase pré-ovulatoire) : L'œstradiol exerce, à concentration plasmatique élevée, rétrocontrôle positif responsable d'une augmentation brutale de la concentration de FSH et LH. Le pic de LH provoque l'ovulation.

- ✓ Pendant la phase lutéale, les hormones sécrétées par le corps jaune, progestérone et œstrogènes, exercent un rétrocontrôle négatif, sur complexe hypothalamo-hypophysaire, en freinant la sécrétion de GnRH de FSH et de LH.

Document 16 : Contrôle des cycles sexuels chez la femme :

Le graphique ci-dessous représente un schéma simplifié de la régulation hormonale du cycle sexuel chez la femme.



Remarque : Il y a un autre rétrocontrôle négatif exercé par les hormones ovariennes au cours de la phase lutéale. A la fin du cycle, la chute du taux des hormones ovariennes suite à la régression du corps jaune, entraîne une reprise de sécrétion des hormones hypophysaires et un nouveau cycle recommence.

Chapitre 2 : La régulation de la pression artérielle ET

Le maintien de l'équilibre hydrominéral du milieu intérieur

INTRODUCTION :

La pression artérielle est un paramètre biologique constant. Sa valeur, dans le cas normal, oscille entre 9 cmHg et 16 cmHg. La pression artérielle peut varier sous l'effet de plusieurs facteurs.

La pression osmotique du plasma est une constante physiologique. Sa valeur normale est d'environ 300 mOsmol.L⁻¹. Cette valeur est due à un équilibre hydrominéral du milieu intérieur (plasma et lymphe) et elle est nécessaire au bon fonctionnement des cellules de l'organisme.

- *Quels sont les mécanismes hormonaux et nerveux qui régulent la pression artérielle et l'équilibre hydrominéral ?*
- *Quels sont les facteurs influençant la pression artérielle et l'équilibre hydrominéral ?*
- *Quels sont les structures et les facteurs intervenants dans le maintien de la constance de la pression artérielle ?*

I – La pression artérielle, paramètre biologique constant :

Les organes du corps humain nécessitent une irrigation continue par le sang. Cette irrigation est assurée, grâce aux capillaires sanguins, sous l'effet d'une pression exercée par le sang sur la paroi des artères : c'est la pression artérielle.

① Les méthodes de mesure de la pression artérielle :

a) La mesure directe de la pression artérielle :

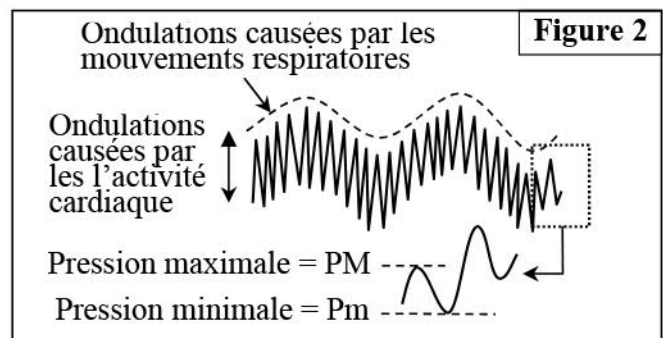
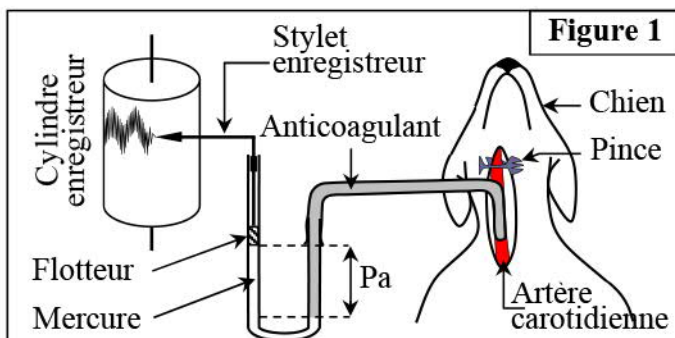
★ **Données expérimentales et observations cliniques :** (Voir document 1)

Document 1 : La mesure directe de la pression artérielle :

★ En 1732, Stephen Hales fit une incision longitudinale sur l'artère d'une jument, couchée au sol. Il y introduisit un tube de cuivre, relié à un tube vertical de 3m de longueur, pour une largeur de 1.2cm. Le sang monta dans ce tube jusqu'à atteindre une hauteur d'environ 2.7m.

Peut-on déduire de ces observations ?

★ La figure 1, représente la technique de mesure directe de la pression artérielle chez un chien à l'aide du manomètre de Ludwig. La figure 2, représente les résultats de cette mesure directe.

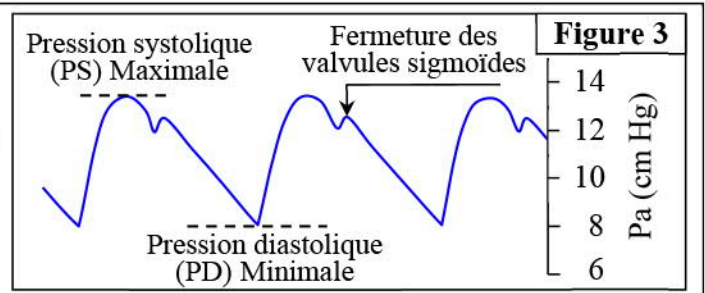


de l'enregistrement obtenu.

La figure 3 représente un schéma d'interprétation de l'enregistrement de la pression artérielle dans l'artère aorte par cathétérisme chez l'Homme.

Document 1 : (Suite)

- 3) Décrire la variation de la pression artérielle dans l'artère aorte au cours du temps chez un sujet normal et déterminer les valeurs des pressions systoliques et diastoliques.



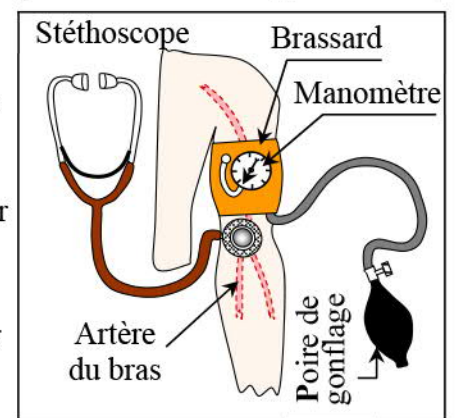
★ Exploitation des résultats :

- 1) On constate que le niveau du sang dans le tube s'élevait jusqu'à 2.7m. on en déduit que le sang se trouve dans les artères sous une pression supérieure à la pression osmotique.
- 2) La mesure directe de la pression artérielle chez un chien à l'aide du manomètre de Ludwig, montre que la pression artérielle enregistrée oscille entre deux valeurs, une valeur minimale (Pm) et une valeur maximale (PM). Ces valeurs sont influencées en partie par l'activité cardiaque et la respiration.
- 3) Au cours d'un battement cardiaque, la pression artérielle oscille entre deux valeurs : la pression maximale ou systolique obtenue au cours de la contraction des ventricules (valeur normale : 12-13 cm Hg) et la pression minimale diastolique obtenue au cours de la diastole (relâchement général du cœur) (valeur normale : 8 cm Hg).

b) La mesure indirecte de la pression artérielle par l'utilisation du brassard gonflable : (Voir document 2)

Document 2 : La mesure indirecte de la pression artérielle par le brassard gonflable :

Chez L'Homme, la mesure indirecte de la pression artérielle s'effectue avec un sphygmomanomètre et un stéthoscope (Figure ci-contre). Le sphygmomanomètre est constitué d'un brassard gonflable relié à une poire et à un manomètre gradué en mm de mercure qui mesure la pression dans le brassard. La poire de gonflage est munie d'une valve permettant à l'air du brassard de s'évacuer. Le stéthoscope sert à détecter le pouls artériel ce qui peut aussi être fait avec le bout des doigts.

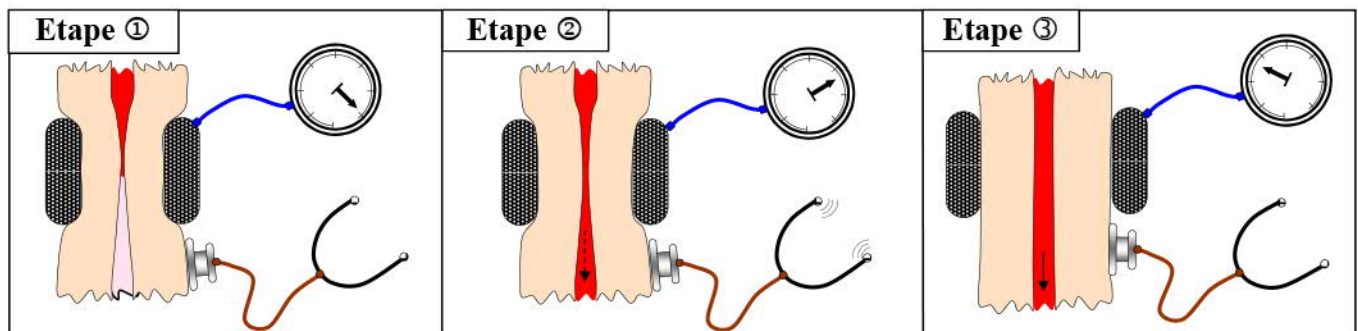


Principe de la mesure : Le schéma ci-dessous montre la relation entre pression artérielle, pression dans le brassard (PB) et bruits de l'artère :

Etape 1 : Amener la pression du brassard à une valeur supérieure à la pression systolique pour bloquer la circulation artérielle dans le bras.

Etape 2 : On laisse la pression du brassard diminuer progressivement jusqu'à la valeur limite à partir de laquelle la pression artérielle est suffisante pour laisser de nouveau passer le sang dans l'artère.

Etape 3 : En poursuivant le dégonflage, on amène la pression du brassard à une valeur à partir de laquelle il n'y a plus d'obstacle au flux artériel même lorsque le cœur est en diastole.

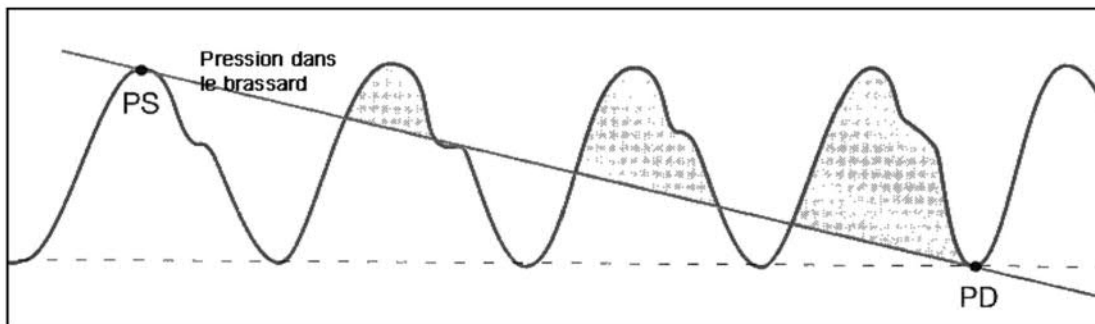


En exploitant les données de ce document, mesurer la pression artérielle chez deux élèves. Conclure.

On mesure généralement la pression dans l'artère brachiale. Pour cela, le brassard est placé autour du bras et le stéthoscope sur la saignée du coude à l'emplacement où le pouls est détectable avec le bout des doigts :

- On gonfle le brassard avec la poire, valve fermée, jusqu'à interrompre la circulation dans l'artère brachiale. A ce moment, on n'entend plus rien sur le stéthoscope, puisque le sang ne passe pas.
- On écoute dans le stéthoscope tout en dévissant légèrement la valve pour faire diminuer lentement la pression du brassard. Dès que le pouls devient audible, on note la valeur de la pression lue sur le manomètre : C'est la pression systolique PS (Pression maximale).
- Le brassard continuant à se dégonfler progressivement, on note la seconde valeur de pression dès que le pouls devient inaudible : C'est la pression diastolique PD (Pression minimale).

Le schéma ci-dessous montre la relation entre pression artérielle, pression dans le brassard et bruits de l'artère :



PB > PS : absence de bruits	PB = PS : apparition des bruits	PD < PB < PS : les bruits augmentent d'intensité puis s'atténuent	PB = PD : disparition des bruits
--------------------------------	------------------------------------	--	-------------------------------------

La pression artérielle s'exprime donc par deux valeurs. Dans le milieu médical, les valeurs de pression artérielle ("tension") sont généralement indiquées en cm de mercure (Hg).

Les valeurs normales de la pression artérielle selon l'âge :

L'âge en années	4 - 8	8 - 12	12 - 16	16 - 30	30-40	40-50	50-60	60 < P
Pression maximale (cmHg)	10.5	11	12	13	14.5	15.5	16.5	17.5
Pression minimale (cmHg)	7	7.5	8	8	9	9.5	10	10.5

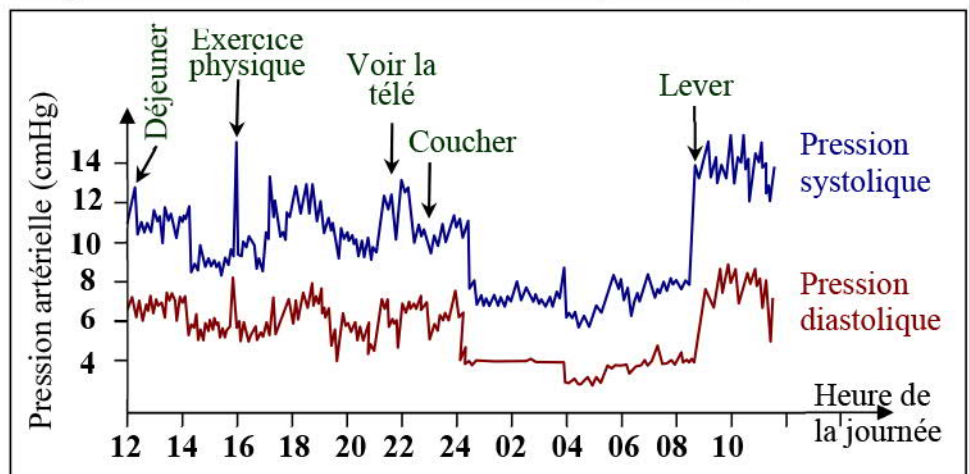
② Les variations de la pression artérielle :

a) La variation de la pression artérielle au cours de la journée : (Voir document 3)

Document 3 : Variation de la pression artérielle au cours de la journée :

Le graphique ci-contre, représente l'évolution de la pression artérielle d'une personne de 35 ans au cours d'une journée.

A partir de l'analyse de ce document, dégager les facteurs influençant la pression artérielle et justifier que la pression artérielle est une constante biologique.



Chez un sujet sain, la pression artérielle est en moyenne 12/8 : signifie que la pression systolique est égale à 12 cm Hg (cm de mercure) et la pression diastolique est égale à 8 cm Hg. Cependant, la pression artérielle est variable au cours d'une journée, mais toutes les perturbations sont rapidement corrigées ce qui confirme la présence d'un système de régulation de la pression artérielle. Donc la pression artérielle est un facteur biologique constant et régulé.

b) Influence de l'activité cardiaque sur la pression artérielle :

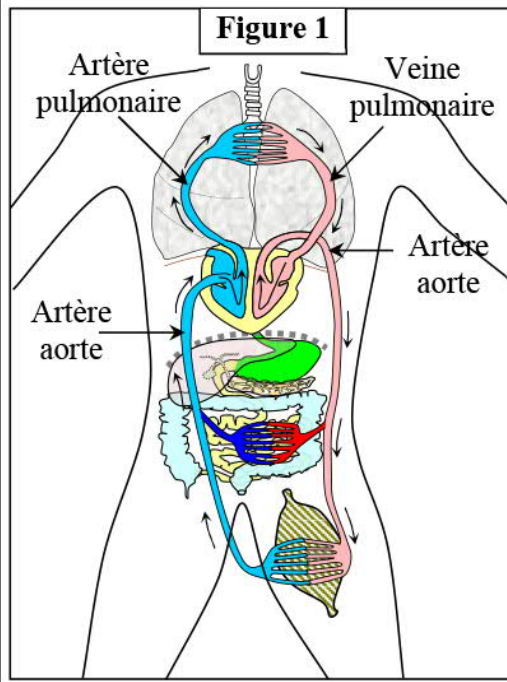
★ **Variation de la pression en fonction de la vitesse de la circulation :**

(Voir document 4)

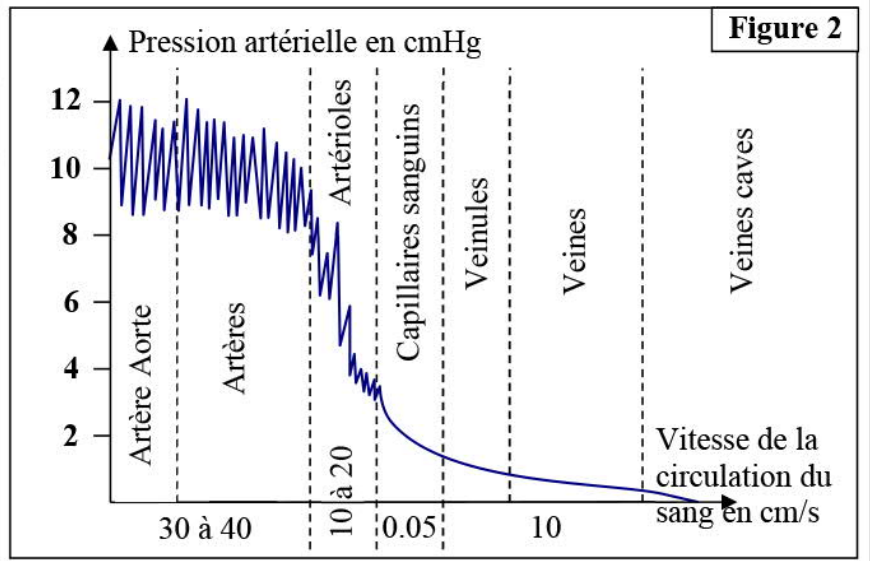
Document 4 : Variation de la pression en fonction de la vitesse de la circulation :

Pour mettre en relation l'activité cardiaque et les valeurs de la pression artérielle, on exploite les données suivantes :

- ★ La figure 1 représente un schéma simplifié des circulations sanguines : la circulation pulmonaire (achemine le sang entre le cœur et les poumons) et la circulation systémique (achemine le sang entre le cœur et le reste du corps).
- ★ Le graphique de la figure 2, représente la variation de la pression du sang dans les différentes parties de l'appareil circulatoire.



A partir de l'analyse des données de ce document, reliez la relation entre l'activité cardiaque et la variation de la pression artérielle.



- ★ Le sang circule dans les vaisseaux sanguins sous une certaine pression. Le sang est libéré périodiquement du cœur pour y revenir après avoir traversé les artères, artérioles, capillaires, et veinules, et ce cycle (majeur et mineur) se répète sans arrêt et dans le même sens.
- ★ Au niveau des artères, la pression est élevée parce que le cœur gauche pompe une grande quantité de sang à haute pression dans l'artère aorte. Plus on s'éloigne du cœur, plus la valeur de la pression artérielle diminue, et atteint près de 0 cmHg à l'arrivée aux veines caves.

On conclut de cette analyse que la variation de la pression artérielle peut être liée à l'activité cardiaque.

★ **Variation de la pression artérielle en fonction de la fréquence et le débit cardiaque :**

(Voir document 5)

Document 5 : Variation de la pression artérielle en fonction de l'activité cardiaque :

Pour connaître l'influence de l'activité cardiaque sur la pression artérielle, on exploite les données suivantes :

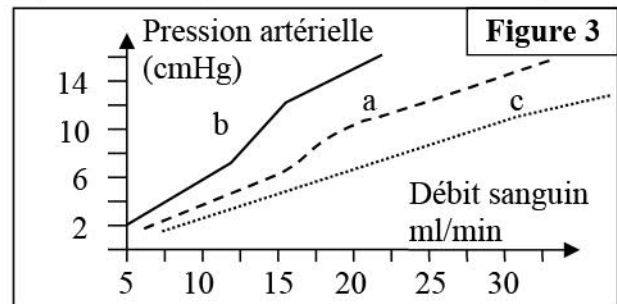
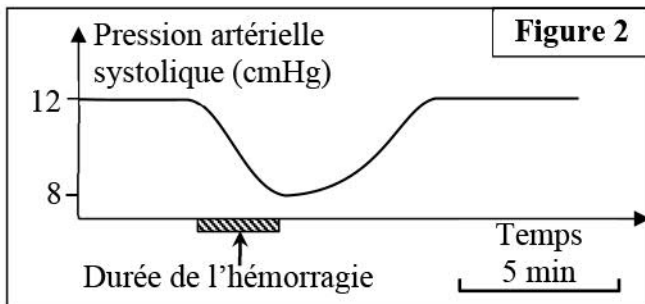
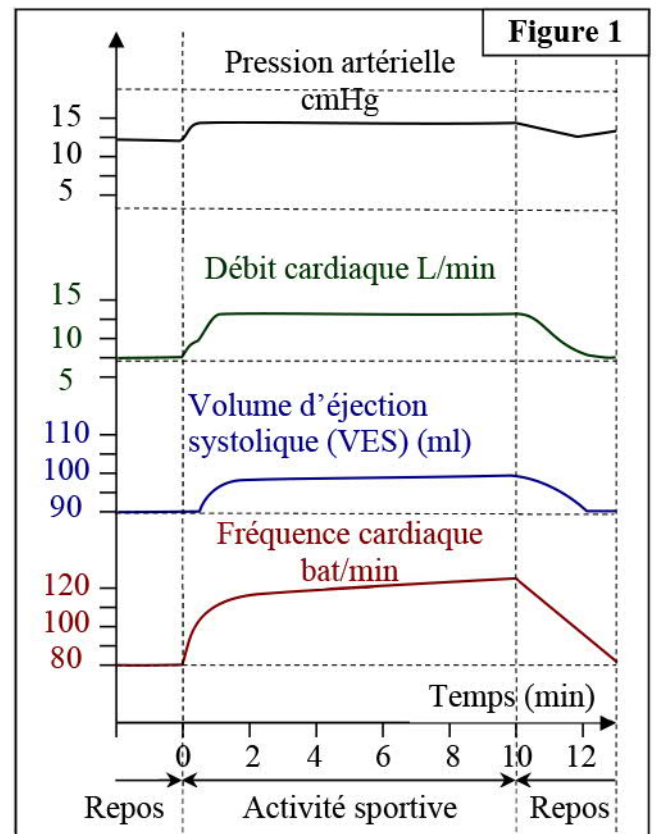
★ Chez un sujet sain, on enregistre simultanément la pression artérielle (PA), le débit cardiaque (DC), le volume d'éjection systolique (VES), et la fréquence cardiaque (FC), avant et après un exercice physique de 10 minutes. La figure 1, représente les résultats de ces mesures.

★ La figure 2, montre les changements de la pression artérielle moyenne après une hémorragie.

★ La figure 3, présente les variations de pression artérielle en fonction des changements de débit sanguin et le diamètre des artéoles :

- a = Dans le cas normal ;
- b = Dans le cas de la vasoconstriction ;
- c = Dans le cas de la vasodilatation.

A partir de l'exploitation des données de ce document, déterminer le lien entre les modifications de la pression artérielle et celles des paramètres de l'activité cardiaque.



➤ Exploitation des données du document :

- **Figure 1** : Au repos, toutes les valeurs mesurées (PA, DC, VRS et FC) sont maintenues constantes. Avec le début de l'activité sportive, on constate une augmentation de la fréquence cardiaque, du volume systolique, du débit sanguin et de la pression artérielle, ils restent donc constants à une valeur maximale pendant toute la durée de l'exercice musculaire. Immédiatement après la fin de l'exercice, tous les paramètres sont ramenés progressivement à leurs valeurs d'origine.
- **Figure 2** : Une hémorragie entraîne directement une diminution de la pression artérielle (hypotension), et dès que l'hémorragie s'arrête, la pression artérielle revient à sa valeur initiale.
- **Figure 3** : La pression artérielle varie avec la variation du calibre (diamètre) des vaisseaux sanguins. Cette pression augmente lors de la vasoconstriction (réduction du diamètre) et diminue lors d'une vasodilatation (augmentation du diamètre).

➤ Explications et conclusions :

Plusieurs facteurs entraînent la variation de la pression artérielle :

• L'activité de la pompe cardiaque :

Si le rythme cardiaque (fréquence) augmente, le débit augmente et par suite la pression artérielle augmente. Si le rythme cardiaque diminue, le débit diminue et la pression artérielle diminue.

• **La variation du volume sanguin :**

Le sang circule dans un système clos, donc toute augmentation du volume sanguin entraînera une augmentation de la pression artérielle.

• **La variation du calibre (ou diamètre) des vaisseaux :**

La vasoconstriction entraîne une résistance des vaisseaux au flux sanguin ce qui entraîne l'augmentation de la pression artérielle, tandis que la vasodilatation entraîne une diminution de la résistance et donc une diminution de la pression artérielle.

Dans tous ces cas la variation de la pression artérielle n'est que passagère. Il existe donc un système régulateur qui rétablit la pression artérielle à sa valeur normale. Comment fonctionne ce système régulateur pour assurer le maintien de la constance de la pression artérielle ?

③ **La régulation de la pression artérielle :**

1) **Le rôle du système nerveux dans la régulation de la pression artérielle :**

a) **Mise en évidence des récepteurs de la pression artérielle :**

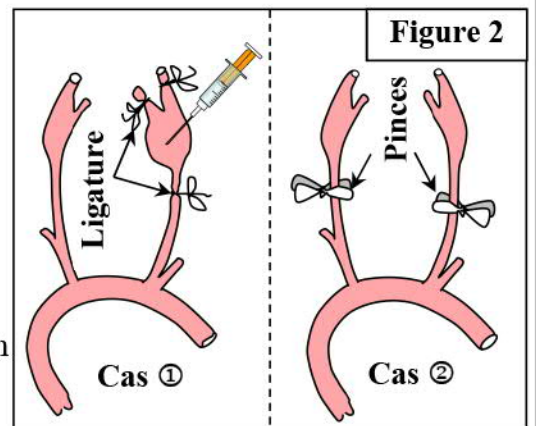
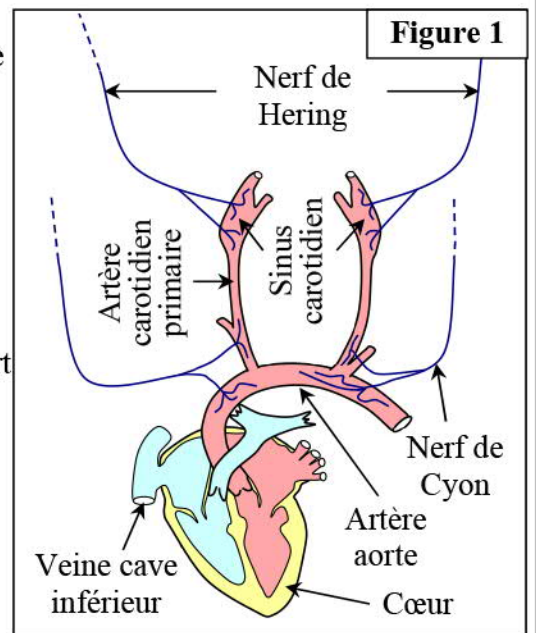
★ **Données expérimentales :** (Voir document 6)

Document 6 : Mise en évidence des récepteurs de la pression artérielle :

Des observations ont montré que les sinus carotidiens et la crosse aortique, contiennent des terminaisons nerveuses liées à la couche musculaire de la paroi artérielle. La figure 1 est un schéma de l'innervation des artères associées au cœur.

Pour détecter les zones de surveillance des changements de pression artérielle, nous effectuons les expériences suivantes :

- Après suppression des connections nerveuses au niveau du cœur, suite à une greffe cardiaque, la fréquence cardiaque au repos devient plus élevée et ne varie pas en fonction de l'effort physique.
- Après isolement du sinus carotidiens chez un animal par des ligatures (Figure 2 – cas ①), on injecte du liquide physiologique pour provoquer une hypertension au niveau du sinus. On constate un ralentissement du rythme cardiaque et une baisse de la pression artérielle dans le système vasculaire de l'animal.
- La ligature des deux carotides chez un animal au-dessous du sinus carotidien (Figure 2 – cas ②), entraîne une diminution de la pression dans les deux sinus carotidiens et par conséquent une accélération du rythme cardiaque (tachycardie) et donc une augmentation de la pression artérielle dans le système vasculaire.
- La stimulation du nerf de Hering ou du nerf de cyon, entraîne une diminution de la fréquence cardiaque. Alors que la section de ces deux nerfs entraîne l'accélération de la fréquence cardiaque et aussi l'augmentation de la pression artérielle.



En exploitant ces données expérimentales, expliquer le rôle du sinus carotidien, et en déduire les informations qui permettent de mettre en évidence la présence de récepteurs de la pression (barorécepteurs) dans ce sinus carotidien.

★ **Exploitation des données :**

A partir de l'exploitation des données du document 5 on peut dire que :

- Les nerfs du cœur interviennent dans la régulation de la pression artérielle.
- L'hypertension au niveau du sinus carotidien est corrigée par un ralentissement du rythme cardiaque.
- L'hypotension au niveau du sinus carotidien est corrigée par une accélération du rythme cardiaque.
- Les nerfs afférents de Hering et de Cyon, transmettent des influx nerveux du cœur vers des centres cardio-modérateurs.

★ **Conclusion :**

Le sinus carotidien renferme des récepteurs sensibles à toute variation de la pression du sang : ce sont des barorécepteurs. Ces barorécepteurs sont des terminaisons nerveuses, appartenant aux nerfs sensitifs : Hering et Cyon, et qui détectent en permanence les variations de la pression artérielle et envoient des messages nerveux sensitifs centres cardio-modérateurs.

b) Rôle des réflexes nerveux dans la régulation de la pression artérielle :

★ **Données expérimentales :** (Voir document 7)

Document 7 : Rôle des réflexes nerveux dans la régulation de la pression artérielle :

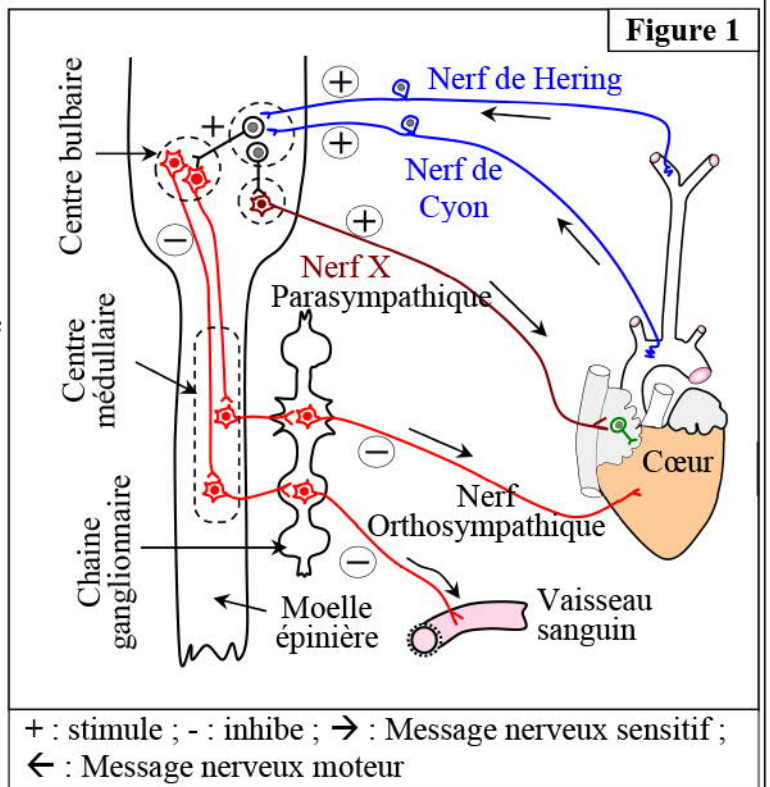
Le schéma de la figure 1 représente les centres nerveux et les nerfs contrôlant la pression artérielle.

Le cœur et les vaisseaux sanguins sont innervés par le système nerveux végétatif (ou autonome) (Voir figure ci-contre).

Ce système se présente sous forme de :

- ✓ Centre nerveux : parasympathique, localisé au niveau du bulbe rachidien et sympathique au niveau du bulbe rachidien et au niveau de la moelle épinière.
- ✓ La voie afférente : constituée par les nerfs de Hering et de Cyon.
- ✓ La voie efférente : constituée par les nerfs parasympathiques : Le nerf X ou le nerf vague ou le nerf pneumogastrique. Les nerfs sympathiques ou orthosympathiques.

Pour mettre en évidence le rôle de ce système dans la régulation de la pression artérielle, nous suggérons les expériences suivantes :



★ **Localisation des centres nerveux contrôlant la pression artérielle :**

Les zones nerveuses	Les résultats de leur stimulation	Les résultats de leur destruction ou leur section
Bulbe rachidien ventrale	- Diminution de la fréquence cardiaque. - Vasodilatation. - Diminution de la pression artérielle.	- Elévation de la fréquence cardiaque. - Elévation de la pression artérielle.
Bulbe rachidien latérale et moelle épinière	- Elévation de la fréquence cardiaque. - Vasoconstriction. - Elévation de la pression artérielle.	- Diminution de la fréquence cardiaque. - Diminution de la pression artérielle.

Document 7 : (Suite) :

★ Détermination du rôle des nerfs parasympathiques et orthosympathiques dans la régulation de la pression artérielle :

Le nerf	Conséquences de sa stimulation	Conséquences de sa section
Parasympathique : nerf pneumogastrique ou le nerf X	- Diminution de la fréquence cardiaque. - Diminution de la pression artérielle.	- Elévation de la fréquence cardiaque. - Elévation de la pression artérielle.
Orthosympathique ou sympathique	- Elévation de la fréquence cardiaque. - Elévation de la pression artérielle.	- Diminution de la fréquence cardiaque. - Hypotension.

1) En exploitant les résultats de ces expériences, déduire le rôle des centres nerveux et des nerfs sympathiques et parasympathiques dans la régulation de la pression artérielle.

★ Activité des fibres nerveuses innervant le cœur et les vaisseaux sanguins :

Chez un mammifère, on enregistre les influx nerveux dans les fibres nerveuses innervant le cœur et les vaisseaux sanguins, à la suite de changements de la pression artérielle, et on détermine également les changements de fréquence cardiaque et la résistance vasculaire. Les résultats de cette étude sont présentés par le tableau ci-contre.

	Hypotension	Normal	Hypertension
Pression artérielle			
Influx Barorécepteur			
Influx Vague (Vers cœur)			
Influx Sympathique			
Fréquence cardiaque			
Influx Vasoconstricteurs (vers vaisseaux)			
Résistance périphérique			

2) Décrire comment les changements de la pression artérielle affectent l'activité de diverses voies nerveuses.

3) En se basant sur tout ce qui précède, expliquez comment le système nerveux intervient dans la régulation de la pression artérielle

★ Exploitation des données :

1) D'après les résultats des expériences, on peut déduire :

★ Localisation des centres nerveux contrôlant la pression artérielle :

A partir de l'analyse des données expérimentales, on peut conclure qu'il existe deux centres nerveux qui contrôlent l'activité du cœur et, par conséquent, la pression artérielle :

- ✓ Un centre bulbaire ventral qui ralentit le cœur, et par conséquence fait baisser la pression artérielle.
- ✓ Centre bulbaire latéral et centre médullaire qui accélèrent le cœur et rétrécissent les vaisseaux sanguins, ce qui augmente la pression artérielle.

★ Rôle des nerfs parasympathiques et orthosympathiques dans la régulation de la pression artérielle :

Les centres nerveux agissent sur l'activité du cœur et des vaisseaux sanguins par des voies efférentes qui sont de deux types :

- ✓ Des fibres nerveuses parasympathiques (Nerf X = Nerf pneumogastrique = Nerf vague), qui exercent un effet cardio-modérateur entraînant la diminution de la pression artérielle.
- ✓ Des fibres nerveuses sympathiques (Orthosympathiques), qui exercent un effet cardio-accélérateur et vaso-constricteur, d'où l'augmentation de la pression artérielle.

2) Effet des variations de la pression artérielle sur l'activité de diverses voies nerveuses :

L'étude de l'activité nerveuse des fibres innervant le cœur et les vaisseaux sanguins montre que :

- ✓ Lorsque la pression artérielle augmente, la fréquence de potentiel d'action augmente au niveau du nerf vague, tandis que cette fréquence diminue au niveau du nerf sympathique. La fréquence cardiaque et la résistance vasculaire diminuent également.
- ✓ Lorsque la pression artérielle diminue, la fréquence de potentiel d'action diminue au niveau du nerf vague, tandis que cette fréquence augmente au niveau du nerf sympathique. La fréquence cardiaque et la résistance vasculaire augmentent également.

3) D'après ce qui précède, On peut dire que :

La régulation de la pression artérielle est une action réflexe, faisant intervenir des mécanismes nerveux involontaires rapides et se présente comme suit :

- L'augmentation de la pression artérielle au niveau du sinus carotidien et de la crosse aortique est détectée par les barorécepteurs ce qui augmente la fréquence des potentiels d'action dans les nerfs de Cyon et de Hering. Ce message nerveux sensitif :
 - ✓ Active le centre bulbaire cardiomodérateur qui envoie un message modérateur vers le cœur par l'intermédiaire du nerf X, ce qui entraîne un ralentissement cardiaque.
 - ✓ Inhibe les neurones du centre vasomoteur par l'intermédiaire d'un interneurone inhibiteur ce qui entraîne l'inhibition des neurones orthosympathiques et une vasodilatation.

Le ralentissement cardiaque et la vasodilatation corrigent l'hypertension et ramènent la pression artérielle à sa valeur normale : ***c'est un mécanisme hypotensif.***

- La diminution de la pression artérielle au niveau du sinus carotidien et de la crosse aortique entraîne une diminution de la stimulation des barorécepteurs, ce qui diminue la fréquence des potentiels d'action dans les nerfs de Cyon et de Hering. Ce message nerveux sensitif :
 - ✓ Provoque la diminution de la stimulation exercée sur le noyau moteur du nerf X. Le système parasympathique est inhibé et le système sympathique (orthosympathique) cardio-accélérateur est activé : On obtient une accélération du rythme cardiaque, une vasoconstriction.

L'accélération cardiaque et la vasoconstriction corrigent l'hypotension et ramènent la pression artérielle à sa valeur normale : ***c'est un mécanisme hypertensif.***

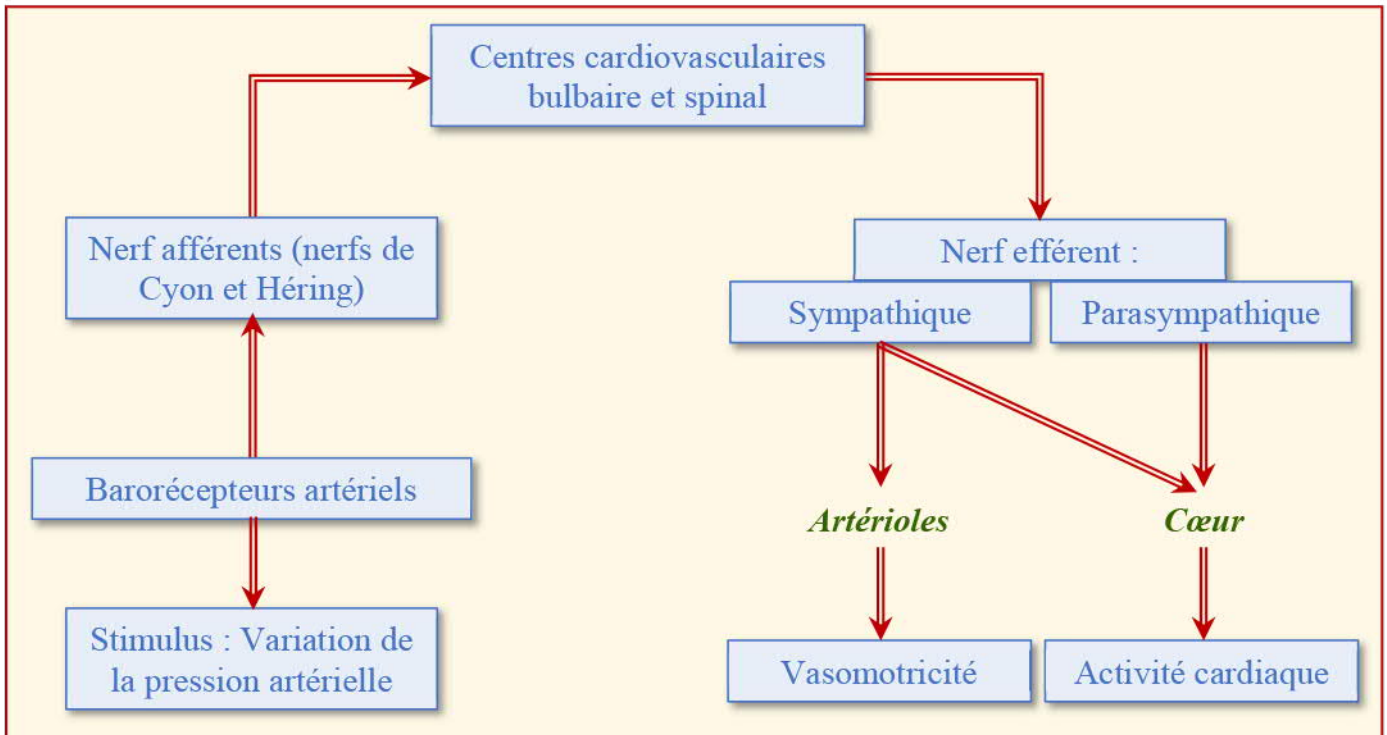
★ Conclusion :

La pression artérielle s'effectue par un mécanisme de type réflexe qui comprend :

- ***Des récepteurs :*** ce sont des barorécepteurs situés au niveau de la crosse aortique et du sinus carotidien. Ils enregistrent les variations de la pression artérielle et codent ces informations sous forme d'influx nerveux.
- ***Des voies afférentes :*** constituées par les nerfs de Cyon et de Hering. Elles transmettent les influx respectivement de la crosse aortique et des sinus carotidiens vers le centre nerveux.
- ***Des centres nerveux :*** qui intègrent les informations en provenance des barorécepteurs. Ils sont localisés dans le bulbe rachidien et dans la moelle épinière.

➤ **Des voies efférentes** : elles sont de deux types :

- Des fibres parasympathiques : qui exercent un effet modérateur sur le rythme cardiaque et donc une diminution de la pression artérielle. Elles sont représentées par le nerf X.
- Des fibres sympathiques qui augmentent le rythme cardiaque et provoquent une vasoconstriction et donc une augmentation de la pression artérielle.



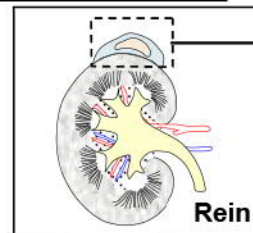
2) Le rôle des hormones dans la régulation de la pression artérielle :

a) La régulation à court terme de la pression artérielle :

★ **Observations et données expérimentales** : (Voir document 8)

Document 8 : Régulation à court terme de la pression artérielle :

★ L'adrénaline et la noradrénaline sont deux hormones qui appartiennent au groupe des catécholamines, sécrétées dans le sang par la médullosurrénale, partie centrale de la glande surrénale (②), situées au-dessus des reins et qui présente aussi une partie externe : la corticosurrénale (①) (Voir figures ci-contre).



★ Les catécholamines sont sécrétées dans les conditions normales, à des concentrations très faibles : $0.2 \mu\text{g/Kg/min}$ pour la noradrénaline et $0.05 \mu\text{g/Kg/min}$ pour l'adrénaline.

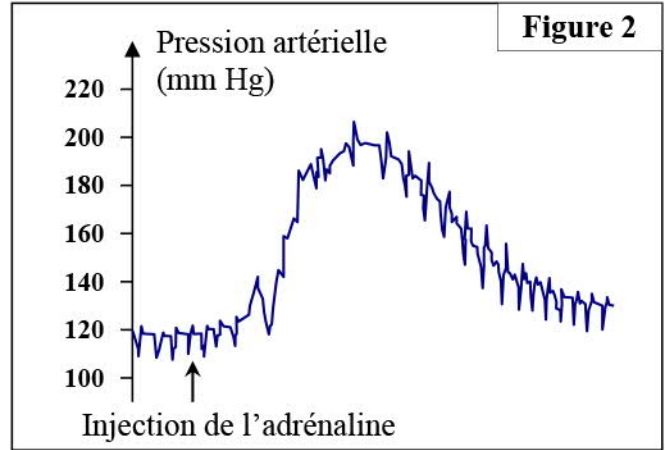
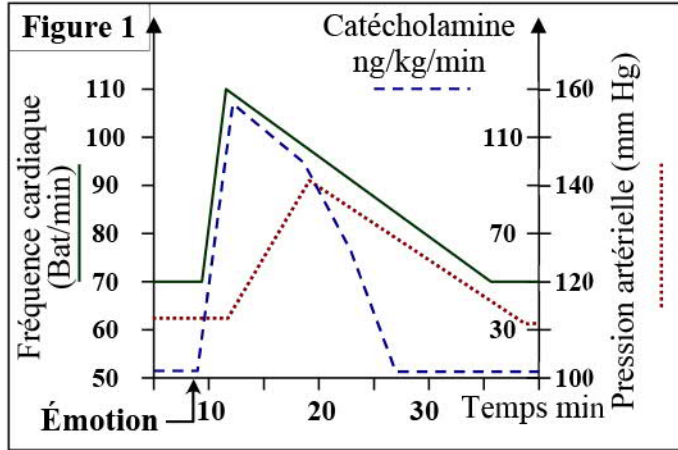
Les personnes ayant des taux plasmatiques élevés de catécholamines présentent les signes cliniques suivants : Vasoconstriction, élévation de la fréquence cardiaque et hypertension artérielle.

★ Des expériences menées sur des animaux ont montré que l'émotion provoque une augmentation soudaine de la sécrétion d'adrénaline par la glande surrénale. La figure 1 ci-dessous, montre les enregistrements de la fréquence cardiaque, de la pression artérielle et de la quantité de catécholamines plasmatiques lorsqu'une personne est dans un état d'émotion (Exemples : peur, stress, colère...).

★ Après avoir injecté de l'adrénaline ou de la noradrénaline à un chien en bonne santé, nous suivons les changements de pression artérielle. Les résultats obtenus sont représentés sur la figure 2 ci-dessous.

A partir de l'analyse des données de ce document, déterminer l'effet des catécholamines (par exemple l'adrénaline) sur l'activité cardiaque, et son mécanisme impliqué dans la régulation de la pression artérielle.

Document 8 : (Suite) :



★ **Analyse des données du document :**

Lors d'une émotion, comme la peur par exemple, on constate une augmentation rapide de la fréquence cardiaque, accompagnée d'une augmentation de la sécrétion d'adrénaline par la médullosurrénale, puis après un court laps de temps la pression artérielle augmente. Ces perturbations se corrigent après quelques minutes.

L'injection de l'adrénaline à un chien en bonne santé, provoque une augmentation rapide de la pression artérielle. Cette modification de la pression sera corrigée rapidement.

★ **Conclusions :**

Les catécholamines sont des hormones hypertensives. Dans des conditions physiologiques particulières (stress, colère, émotion ...), il y a une décharge d'adrénaline par les médullosurrénales. Cette hormone véhiculée par le sang entraîne :

- ✓ Une accélération du rythme cardiaque et par conséquent agit sur son débit.
- ✓ Une vasoconstriction des artéioles et par conséquent agit sur la résistance de l'écoulement du sang.

D'où une augmentation de la pression artérielle. Ceci constitue une régulation hormonale à court terme.

b) La régulation à moyenne terme de la pression artérielle :

★ **Observations et données expérimentales :** (Voir document 9)

Document 9 : régulation à moyenne terme de la pression artérielle :

★ L'obturation des artères du rein gauche, chez un individu hypertendu, conduit à une baisse importante de la pression sanguine au niveau du rein gauche et une élévation intense de la pression sanguine au niveau du rein droit.

Le tableau de la figure 1 montre les mesures de la concentration plasmatique de la rénine (enzyme sécrétée par le rein) dans l'artère et la veine rénales.

Figure 1	Concentration plasmatique de la rénine en UA		
	Individu malade		Individu sain
	Rein droit	Rein gauche	
Artère rénale (Sang entrant)	6	6	4
Veine rénale (Sang sortant)	6	12	5

★ L'angiotensine est un protide sécrété par les cellules hépatiques sous forme d'un précurseur appelé : angiotensinogène. Cette protéine est toujours présente dans le plasma ; mais, elle ne se transforme en angiotensine qu'en présence d'une enzyme : la rénine ; sécrétée par les reins.

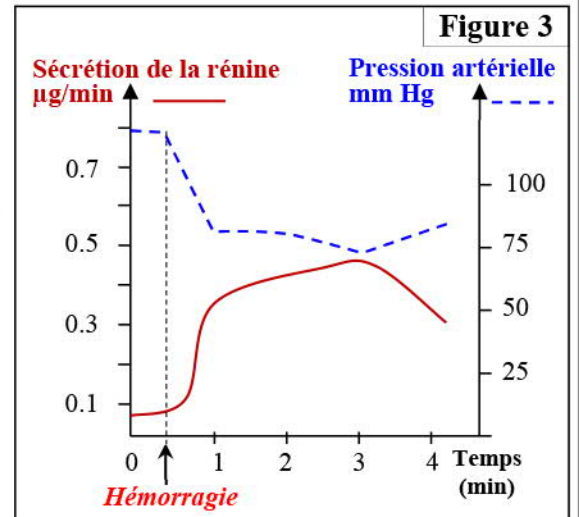
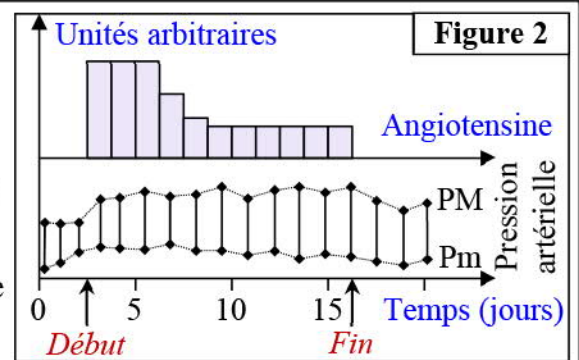
Document 9 : (Suite) :

★ Chez une personne saine, on injecte de l'angiotensine pendant plusieurs jours ; ensuite, on mesure chaque jour la pression artérielle chez la même personne suivant la quantité de l'angiotensine injectée. La figure 2 représente le résultat de cette étude.

★ Pour connaître le mode de sécrétion de la rénine, une étude de l'action d'une hémorragie sur la sécrétion de cette enzyme a été réalisée chez le chien :

Après ablation des deux glandes surrénales et de l'un des deux reins d'un chien, et section des nerfs associés au rein restant, on suit l'évolution de la quantité de rénine sécrétée par le rein restant et la variation de la pression artérielle à l'intérieur de celui-ci, avant et après que ce chien a subi une hémorragie. Le graphique de la figure 3 représente les résultats obtenus.

A partir de l'analyse des observations cliniques et des données expérimentales de ce document, déduire le mécanisme contrôlant la sécrétion de la rénine et sa relation avec la régulation de la pression artérielle.



★ Analyse des données du document :

- La figure 1, montre que la diminution de la pression dans les artéioles rénales stimule les reins à sécréter de la rénine dans le sang, ce qui entraîne une augmentation de la pression artérielle.
- A partir des données de la figure 2, on constate que l'injection d'angiotensine conduit à une augmentation de la valeur de la pression artérielle, qu'elle soit la valeur minimale ou maximale.
- La figure 3 montre que l'hémorragie entraîne une diminution du volume sanguin et le sang atteint les reins avec une faible pression. Cette faible pression stimule les reins et ils sécrètent l'enzyme rénine. Donc le facteur responsable de la régulation de la sécrétion de rénine est la variation de la pression artérielle au niveau des artéioles rénales.

★ Conclusions :

La baisse de la pression au niveau de l'artère rénale provoque la sécrétion de la rénine par le rein dans le sang. La rénine transforme l'angiotensinogène, synthétisé par le foie sous une forme inactive, en angiotensine.

L'angiotensine est une hormone hypertensive, en accélérant le rythme cardiaque et en provoquant une vasoconstriction.

★ Remarque :

D'autres études ont montré qu'une concentration plasmatique élevée de Na^+ stimule les reins à sécréter l'enzyme rénine et par suite augmenter la pression artérielle.

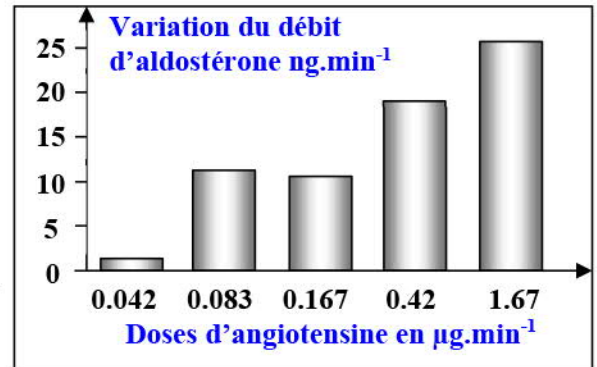
a) La régulation à long terme de la pression artérielle :

- a₁ – Le rôle de l'aldostérone dans la régulation de la pression artérielle :

★ Observations et données expérimentales : (Voir document 10)

Document 10 : Rôle de l'aldostérone dans la régulation de la pression artérielle :

- ★ Une tumeur de la glande surrénale entraîne une augmentation de la pression artérielle due au fait que le corps retient de grandes quantités de Na^+ , et donc une rétention d'eau, tandis que l'atrophie de cette glande, chez certains patients, entraîne une diminution de la pression artérielle résultant de l'excrétion de grandes quantités de Na^+ dans l'urine, perdant ainsi de grandes quantités d'eau.
- ★ L'injection des extraits hormonaux du cortex surrénal à un animal surrénalectomisé provoque une diminution de la libération de Na^+ dans l'urine. Les analyses ont montré que la substance active des extraits est l'hormone aldostérone.
- ★ Chez un mammifère qui a subi un régime alimentaire sans Na^+ , on observe un excès de sécrétion de l'aldostérone. Dans le cas inverse, il y a diminution de sécrétion de cette hormone.
- ★ La perfusion de la surrénale par des solutions de différentes concentrations de NaCl ne provoque aucune modification de la sécrétion de l'aldostérone, mais lorsqu'on perfuse l'artériole afférent du glomérule par une solution diluée de NaCl , on constate une libération de la rénine suivie d'une sécrétion de l'aldostérone.
- ★ Chez un chien qui a subi la néphrectomie (l'ablation du rein), on suit la variation de la sécrétion d'aldostérone par la corticosurrénale après injection d'angiotensine. Le graphique ci-contre, représente les résultats obtenus.



A partir de l'analyse des données de ce document, déterminer le rôle de l'aldostérone dans la régulation de la pression artérielle.

★ Conclusions :

L'aldostérone est une hormone sécrétée par la glande surrénale. Elle joue un rôle important dans la régulation de la pression artérielle.

Dans le cas d'une diminution de la pression artérielle, l'angiotensine est activée entraînant la sécrétion de l'aldostérone. Elle permet au rein de réabsorber le sodium (Na^+). Le sodium ainsi retenu dans l'organisme déclenche un phénomène d'osmose, entraînant une rétention d'eau dans le système vasculaire et augmentant ainsi la pression artérielle.

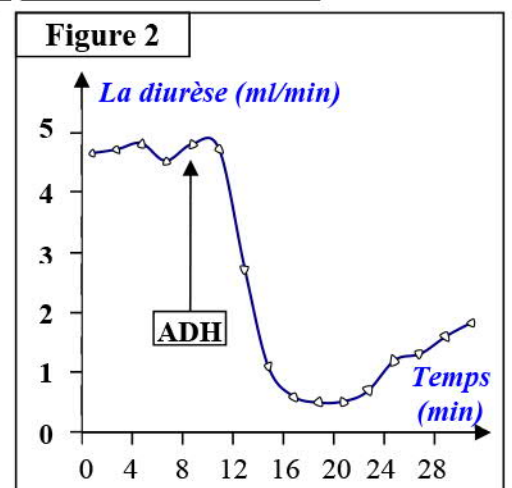
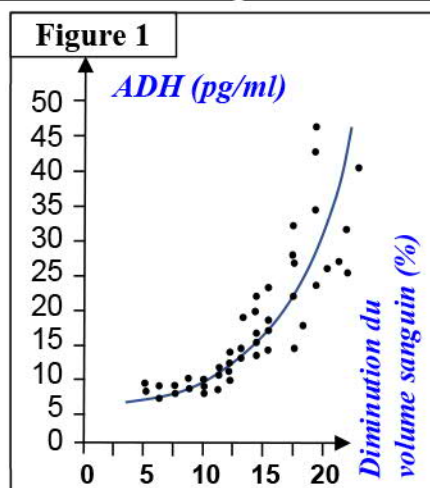
- a₂ – Le rôle de l'ADH ou vasopressine dans la régulation de la pression artérielle :

★ Observations et données expérimentales : (Voir document 11)

Document 11 : Rôle de l'ADH dans la régulation de la pression artérielle :

- ★ Afin de mettre en évidence le rôle de l'hormone ADH (= vasopressine = Hormone Antidiurétique) dans la régulation de la pression artérielle, on mesure chez un chien, à la fois, la concentration d'ADH et le volume d'urine excrétée (diurèse).

Les figures 1 et 2, ci-contre, présentent les résultats obtenus.



Document 11 : (Suite) :

- Figure 1 : L'évolution de la concentration d'ADH dans le sang en fonction de l'évolution du pourcentage de diminution du volume sanguin.
- Figure 2 : Evolution de la diurèse après injection intraveineuse de l'ADH.

★ Afin de mettre en évidence l'origine de l'hormone ADH et les étapes de son intervention dans la régulation de la pression artérielle, on réalise chez le chien les expériences représentées sur le tableau suivant :

<i>Expériences</i>	<i>Résultats</i>	
Stimulation de la zone S de l'hypothalamus	- Augmentation d'ADH dans le sang veineux hypophysaire. - Diminution du débit urinaire.	
Section des fibres au niveau C puis stimuler la zone S.	- Absence d'ADH dans le sang veineux de l'hypophyse. - Augmentation du débit urinaire.	
Ablation de la post-hypophyse	- Augmentation du volume d'urine excrétée	
Isoler le rein et l'injecter avec des extraits du post-hypophyse	- Diminution du volume d'urine excrétée.	

En exploitant les des données de ce document :

- Déterminer la relation entre la concentration d'ADH et la variation du volume sanguin. Puis identifier l'effet de l'injection d'ADH sur le volume d'urine excrétée.
- Identifier l'origine d'ADH et les structures anatomiques impliquées dans la régulation du volume d'urine excrétée.
- Déduire le rôle de l'ADH dans la régulation de la pression artérielle.

★ **Exploitation des données :**

Figure 1 : On constate que plus le volume sanguin diminue, la concentration d'ADH dans le sang augmente.

Figure 2 : on constate qu'après injection de l'ADH, la diurèse (débit urinaire) diminue.

Données expérimentales : Sous le contrôle de l'hypothalamus, la posthypophyse, sécrète l'ADH, hormone antidiurétique ou vasopressine qui, en augmentant la réabsorption de l'eau au niveau des reins, entraîne une augmentation du volume sanguin et par conséquent une augmentation de la pression artérielle.

④ **Conclusion :** (Voir schéma ci-dessous)

La régulation de la pression artérielle est un exemple d'intégration neurohormonale, en effet les divers mécanismes de régulation ne sont pas totalement indépendants :

- La régulation à court terme assure un contrôle immédiat, il met en jeu surtout le système nerveux.
- Le système humoral prend ensuite le relais lorsqu'il s'agit d'une variation de pression qui se maintient pendant un certain temps : régulation à moyen ou à long terme.
- L'hypothalamus assure l'intégration des messages provenant non seulement de l'appareil circulatoire lui-même, mais, aussi de l'environnement extérieur à l'organisme.

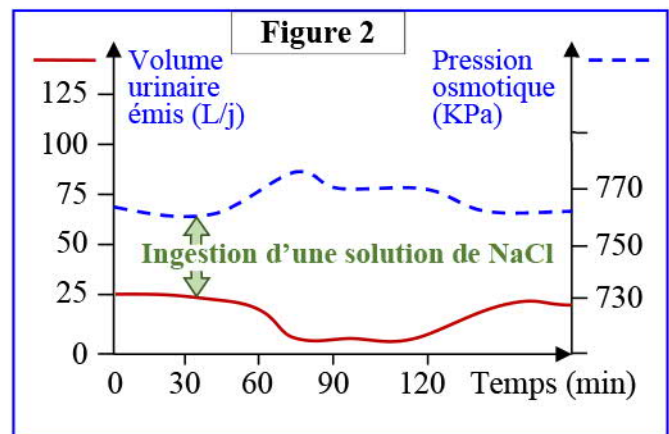
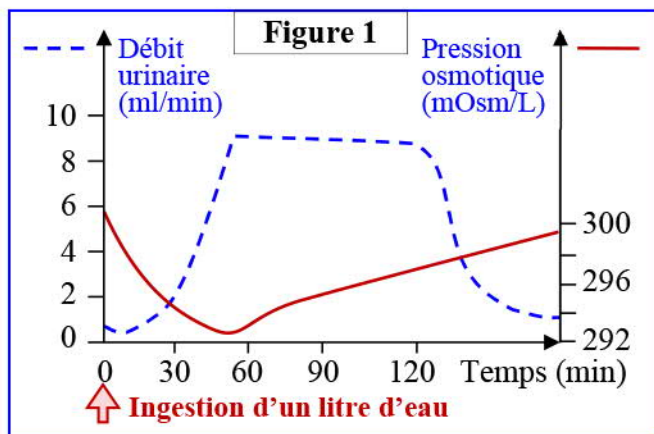
Document 12 : Mise en évidence de l'équilibre hydrominéral du milieu intérieur :

★ Observations cliniques :

- La diminution de la pression osmotique du milieu intérieur, chez les gens qui souffrent de la maladie Schwartz-Bartter, provoque une turgescence des cellules nerveuses. Ceci est accompagné de comas répétitifs qui peuvent causer la mort.
- La diminution de Ca^{++} dans le milieu intérieur provoque une élévation du seuil d'excitabilité des cellules nerveuse et des perturbations de l'activité cardiaque.
- Le déficit de K^+ dans le milieu intérieur provoque une augmentation de la fréquence cardiaque.

★ Données expérimentales :

- La figure 1, représente la variation de la pression osmotique du plasma et du débit urinaire après ingestion d'un litre d'eau.
- La figure 2, présente la variation de la pression osmotique du plasma et du volume urinaire émis après ingestion d'une solution saline.



L'osmole (Osmol) = Pression osmotique d'une solution qui contient un mole gramme par litre d'eau.

A partir de l'analyse des données de ce document,

- Déduire l'importance de l'équilibre hydrominéral du milieu intérieur dans le fonctionnement de l'organisme.
- Montrer que l'équilibre hydrominéral est un paramètre régulé.

b) Exploitation des données :

- ✓ Dans le cas de la maladie Schwartz-Bartter, L'osmolalité du plasma (Pression osmotique) est abaissée, cela provoque une rétention d'eau dans l'organisme. Cet excès d'eau provoque une dilution du sang et se traduit par des complications tel que des troubles neurologiques.
- ✓ Tout modification de la composition chimique du milieu intérieur, tel que la diminution du taux de Ca^{++} ou K^+ , entraine des perturbations physiologiques tel que des troubles de l'activité cardiaque.
- ✓ La consommation excessive d'eau entraine une diminution de la pression osmotique du plasma et l'augmentation du débit urinaire.
- ✓ La consommation d'une quantité de sel, entraine une augmentation de la pression osmotique du plasma et diminue le débit urinaire.

c) Conclusion :

Dans les conditions physiologiques normales, les variations de la composition chimique du milieu intérieur peuvent être corrigées grâce à des mécanismes régulateurs que possède l'organisme.

Le bilan journalier de l'eau et les sels minéraux importés au corps et ses pertes en ces éléments est équilibré, chose qui assure une pression osmotique plasmatique constante, indispensable au bon fonctionnement des cellules. Donc la pression osmotique du plasma est une constante physiologique qui nous renseigne sur l'état de l'équilibre hydrominéral du milieu intérieur.

② Rôle de l'ADH et de l'aldostérone dans l'équilibre hydrominéral :

a) Observations cliniques et données expérimentales : (Voir document 13)

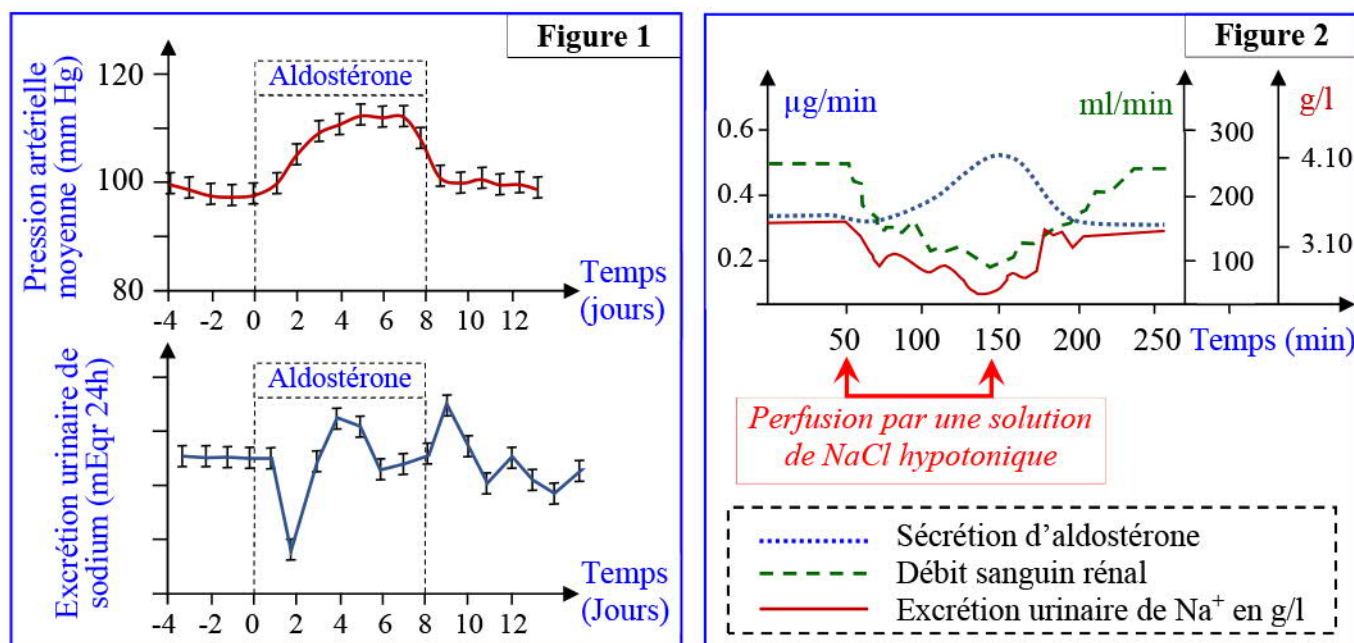
Document 13 : Rôle de l'ADH et de l'aldostérone dans l'équilibre hydrominéral :

★ Observations cliniques :

- L'ablation de la posthypophyse provoque une diurèse excessive. L'urine est très diluée. Le même résultat est observé en cas d'une faible sécrétion d'ADH.
- Certaines tumeurs, apparues au niveau de l'hypothalamus, peuvent conduire à une sécrétion excessive d'ADH qui engendre une baisse de concentration plasmatique de Na^+ et une augmentation de l'élimination de cet ion dans l'urine.
- Chez les malades dont la surrénale est atrophiée, on observe l'excrétion d'une grande quantité de Na^+ dans l'urine.
- La section ou la destruction du corticosurréal chez un animal est accompagnée de perturbations de l'équilibre hydrominéral.

★ Données expérimentales :

- Les graphiques de la figure 1 présente l'effets physiologiques après injection d'aldostérone sur la pression artérielle et l'excrétion urinaire de Na^+ .
- La figure 2 présente l'effets de l'aldostérone dans le maintien de l'équilibre hydrominéral.



En exploitant les données de ce document, déduire le rôle de l'ADH dans le maintien de l'équilibre hydrominéral.

b) Exploitation des données :

- ✓ L'ADH, sécrétée par la posthypophyse, est une hormone antidiurétique. Elle exerce son action sur les reins en permettant la réabsorption de l'eau au niveau des tubules rénaux et ainsi contribue au maintien de l'équilibre hydrique.

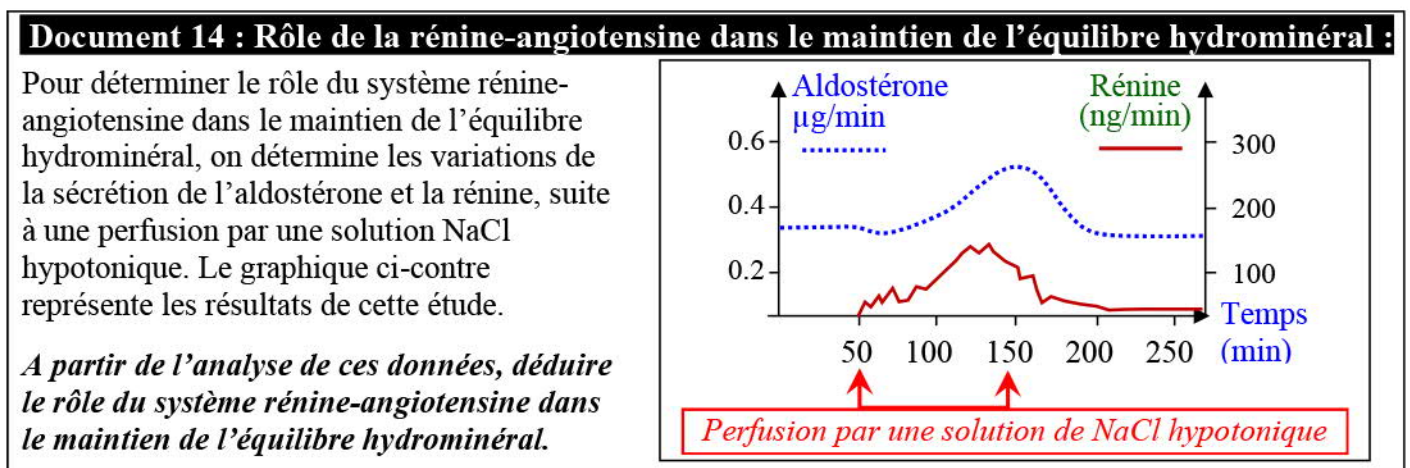
- ✓ La sécrétion excessive d'ADH engendre une baisse de concentration plasmatique de Na^+ et une augmentation de l'élimination de cet ion dans l'urine. Alors que lors d'une faible sécrétion d'ADH, on observe l'excrétion d'une grande quantité de Na^+ dans l'urine. Les sels sont donc réabsorbés au niveau des tubes urinaires pour conserver l'équilibre hydrominéral.
- ✓ L'injection de l'aldostérone, entraîne une augmentation de la pression artérielle et une diminution de l'excrétion urinaire du sodium.
- ✓ Une perfusion par une solution de NaCl hypotonique, entraîne une augmentation de la sécrétion de l'aldostérone et la diminution du débit sanguin rénal et de l'excrétion urinaire de Na^+ .

c) Conclusion :

L'excrétion d'eau par les reins est en effet régulée de façon à maintenir une composition et une concentration constante des liquides extracellulaires et, en particulier, une osmolarité plasmatique constante. Cela est rendu possible grâce des mécanismes régulateurs qui font intervenir des facteurs nerveux et humoraux : L'ADH (Hormone antidiurétique) sécrétée par la posthypophyse et l'aldostérone sécrétée par la corticosurrénale.

③ Rôle de la rénine-angiotensine dans le maintien de l'équilibre hydrominéral :

a) Données expérimentales : (Voir document 14)



b) Analyse des données :

La faible concentration d'ions Na^+ provoque une élévation de la sécrétion de la rénine. La présence de la rénine est accompagnée par l'augmentation de la sécrétion de l'aldostérone.

c) Déduction :

Le système rénine-angiotensine intervient dans le maintien de l'équilibre hydrominéral. La rénine est une enzyme fabriquée par le rein, sous l'effet des variations du volume sanguin et les variations de la concentration des ions Na^+ tubulaire. La rénine active l'angiotensinogène, hormone sécrétée par le foie, qui devient, par la suite, angiotensine dont le rôle est d'activer, à son tour, la sécrétion d'aldostérone, en agissant sur la corticosurrénale. L'aldostérone intervient directement dans la réabsorption des ions Na^+ .